

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



TESIS:

**Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los
principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho,
2025.**

Para optar el título profesional de:
QUÍMICO FARMACÉUTICO

PRESENTADO POR:
Bach. Cielo Angella VEGA BELLIDO

ASESOR:
Dr. Pablo Williams COMÚN VENTURA

AYACUCHO - PERÚ
2025

A mis padres; por ser mi
sustento en cada caída.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por aceptarme como miembro de esta excelsa casa de estudios superiores y formarme como una profesional.

A la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, por su invaluable contribución en este proceso de formación profesional.

A mi asesor Dr. Pablo Williams Común Ventura por su excepcional compromiso y valiosa guía durante la realización de esta investigación.

Del mismo modo, un agradecimiento especial a la UNMSM por permitir el análisis en su laboratorio.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II: DESARROLLO DE LA PERSPECTIVA TEÓRICA	3
2.1. Marco referencial	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes Nacionales	4
2.1.3. Antecedentes Locales	6
2.2. Marco Teórico	8
2.2.1. Toxicología del arsénico	8
2.2.2. Toxicología del cadmio	10
2.2.3. Toxicología del plomo	11
2.2.4. Niveles máximos permitidos de metales en agua potable.	13
2.2.5. Espectroscopia de absorción atómica (AAS)	13
2.2.6. Red de abastecimiento de agua potable de ciudad Ayacucho.	15
2.3. Marco conceptual	16
2.3.1. Metales pesados	16
2.3.2. Agua potable	17
2.3.3. Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	17
2.3.4. Represa de agua	17
2.3.5. Reservorio de agua	17
2.3.6. Modos de contaminación de agua por metales pesados	17
2.4. Marco ético y legal	18
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Alcance de la investigación	19
3.2. Diseño de investigación	19
3.3. Unidad de análisis	19
3.4. Población de estudio	19
3.5. Muestra	19
3.6. Criterios de selección	20
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21

3.7.1.	Recolección y transporte de muestras	21
3.7.2.	Cuantificación de arsénico	21
3.7.3.	Cuantificación de cadmio	22
3.7.4.	Cuantificación de plomo	24
3.8.	Análisis de datos	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		27
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		33
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES		39
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES		41
BIBLIOGRAFÍA		43
ANEXOS		51

ÍNDICE DE TABLAS

	página
Tabla 1. Valor máximo admisible de metales según INACAL y OMS.	13
Tabla 2. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de arsénico	22
Tabla 3. Programa de horno de grafito para cuantificar arsénico	22
Tabla 4. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de cadmio	23
Tabla 5. Programa de horno de grafito para cuantificar cadmio	24
Tabla 6. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de plomo	25
Tabla 7. Programa de horno de grafito para cuantificar plomo	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1. Componentes básicos de un espectrofotómetro de absorción atómica	14
Figura 2. Atomizador de horno de grafito © 1998 - 2024 PerkinElmer.	14
Figura 3. Sistema de captación, tratamiento y distribución de agua potable en ciudad Ayacucho	16
Figura 4. Niveles de arsénico en los reservorios de ciudad Ayacucho, 2025	27
Figura 5. Niveles de cadmio en los reservorios de la ciudad Ayacucho, 2025	28
Figura 6. Niveles de plomo en los reservorios clave de ciudad Ayacucho, 2025	29
Figura 7. Niveles promedio de arsénico, cadmio y plomo en los reservorios Cabecera I y Cabecera II de Quicapata, y reservorio cabecero de Cabrapata	30
Figura 8. Niveles promedio de arsénico, cadmio y plomo en principales reservorios de la ciudad de Ayacucho, 2025.	31

ÍNDICE DE ANEXOS

	página
Anexo 1. Matriz de definición y operacionalización de variables	53
Anexo 2. Matriz de consistencia	54
Anexo 3. Curva de calibración del arsénico para determinación de arsénico en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.	55
Anexo 4. Curva de calibración del cadmio para determinación de cadmio en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.	56
Anexo 5. Curva de calibración del plomo para determinación de plomo en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.	57
Anexo 6. Análisis de datos de la concentración de arsénico, cadmio y plomo obtenidos mediante el método de la espectrofotometría de absorción atómica.	58
Anexo 7. Verificación del espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito marca SHIMADZU modelo AA-7000.	59
Anexo 8. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera I-Quicapata (muestra 01).	60
Anexo 9. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera I-Quicapata (muestra 02).	61
Anexo 10. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera I-Quicapata (muestra 03).	62
Anexo 11. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera II-Quicapata (muestra 01).	63
Anexo 12. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera II-Quicapata (muestra 02).	64
Anexo 13. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera II-Quicapata (muestra 03).	65
Anexo 14. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 01)	66
Anexo 15. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 02).	67
Anexo 16. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 03).	68

RESUMEN

En Ayacucho ha incrementado drásticamente el uso de fertilizantes e insecticidas en la agricultura, además de la deforestación y degradación de cuencas hidrográficas, dichos aspectos han estado afectando la principal reserva de agua “presa Cuchoquesera”. El presente estudio tuvo como objetivo determinar los niveles de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025. Se cuantificó los metales de estudio con técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, obteniendo los siguientes resultados: en el reservorio cabecera I de Quicapata se encontró $1,75 \pm 0,27$ $\mu\text{g/L}$ As, $0,88 \pm 0,35$ $\mu\text{g/L}$ Cd y $2,29 \pm 0,91$ $\mu\text{g/L}$ Pb; en el reservorio cabecera II de Quicapata se evidenció $1,84 \pm 0,26$ $\mu\text{g/L}$ As, $0,99 \pm 0,08$ $\mu\text{g/L}$ Cd y $2,01 \pm 0,61$ $\mu\text{g/L}$ Pb; y en el reservorio cabecera de Cabrapata el nivel de As fue $2,02 \pm 0,69$ $\mu\text{g/L}$, $0,84 \pm 0,41$ $\mu\text{g/L}$ Cd y $2,26 \pm 1,00$ $\mu\text{g/L}$ Pb. Este estudio concluye que los niveles promedio de As, Cd y Pb en el agua potable de los 03 reservorios principales de ciudad Ayacucho en el año 2025 son $1,87 \pm 0,08$ $\mu\text{g/L}$ As; $0,91 \pm 0,04$ $\mu\text{g/L}$ Cd y $2,18 \pm 0,09$ $\mu\text{g/L}$ Pb, niveles que no superan los límites legales establecidos por el INACAL y OMS, pero su presencia exige vigilancia activa para prevenir riesgos a largo plazo.

Palabras clave: agua potable, arsénico, cadmio, plomo, espectrofotometría de absorción atómica.

ABSTRACT

In Ayacucho, the use of fertilizers and pesticides in agriculture has increased dramatically, along with deforestation and degradation of watersheds, factors that have been affecting the main water reserve "Cuchoquesera Dam." This study aimed to determine the levels of arsenic (As), cadmium (Cd), and lead (Pb) in drinking water from the main reservoirs supplying the city of Ayacucho in 2025. The studied metals were quantified using graphite furnace atomic absorption spectrophotometry, obtaining the following results: in Head Reservoir I of Quicapata, levels of 1.75 ± 0.27 $\mu\text{g/L}$ As, 0.88 ± 0.35 $\mu\text{g/L}$ Cd, and 2.29 ± 0.91 $\mu\text{g/L}$ Pb were found; in Head Reservoir II of Quicapata, levels of 1.84 ± 0.26 $\mu\text{g/L}$ As, 0.99 ± 0.08 $\mu\text{g/L}$ Cd, and 2.01 ± 0.61 $\mu\text{g/L}$ Pb were evidenced; and in the Head Reservoir of Cabrapata, As levels were 2.02 ± 0.69 $\mu\text{g/L}$, Cd 0.84 ± 0.41 $\mu\text{g/L}$, and Pb 2.26 ± 1.00 $\mu\text{g/L}$. This study concludes that the average levels of As, Cd, and Pb in drinking water from the three main reservoirs of Ayacucho city in 2025 were 1.87 ± 0.08 $\mu\text{g/L}$ As, 0.91 ± 0.04 $\mu\text{g/L}$ Cd, and 2.18 ± 0.09 $\mu\text{g/L}$ Pb, concentrations that do not exceed the legal limits established by INACAL and WHO, but their presence requires active monitoring to prevent long-term risks.

Keywords: drinking water, arsenic, cadmium, lead, Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua apta para consumo humano es un derecho fundamental humano internacionalmente reconocida mediante la asamblea general de la ONU¹; ello no solo implica acceso físico y económico, sino también agua de calidad que no implique daño a la salud pública. Sin embargo; la contaminación hídrica por metales pesados como arsénico, cadmio y plomo están representando una amenaza significativa a la salud humana, dichos metales son considerados tóxicos incluso a bajas concentraciones por su capacidad de acumularse teniendo consecuencias a largo plazo como enfermedades crónicas, cáncer y trastornos neurológicos.²

En el marco peruano la ley N° 30588 reconoce el acceso al agua potable como un derecho, pero la contaminación de agua por metales pesados ha sido documentada en las distintas regiones peruanas, en la cual se asocia principalmente al manejo inadecuado de agroquímicos, minería informal, pasivos ambientales y manejo inadecuado de residuos sólidos.³ La ciudad Ayacucho está ubicada en la sierra sur-Perú es abastecida por varios reservorios, de las cuales existe poca información actualizada acerca de la presencia de metales pesados en sus aguas.

El efecto de los metales pesados sobre la salud es altamente perjudicial, el arsénico ocasiona las variantes de cáncer que impactan en la dermis, pulmón, vejiga, riñón y entre otros perteneciendo al grupo 1 (carcinógeno confirmado).⁴ mientras que el cadmio ocasiona irritación severa del estómago, asimismo afecta los riñones e hígado, de igual forma es un carcinógeno del grupo 1 (carcinógeno confirmado) .^{5,6} y el plomo ocasiona daño neurológico, afecta los riñones; y estudios recientes han demostrado que no existe un nivel seguro de exposición al plomo en niños, ya que incluso a bajas concentraciones puede causar daños irreversibles, está considerado en el grupo 2A (probablemente carcinógeno) .^{7,8} Es por ello que la OMS (Organización mundial de la salud) establece niveles máximos permitidos de estos metales: 0,01 mg/L para arsénico, 0,003 mg/L para cadmio y 0,01 mg/L para plomo.²

En el contexto de Ayacucho, estos riesgos adquieren especial relevancia debido a las condiciones de salud reportadas en la población. De acuerdo al sistema informático del

estado nutricional SIEN-HISMINSA, Ayacucho es una región con prevalencia de anemia en niños menores de 03 y 05 años.⁹ Además la DIRESA de Ayacucho reportó en el mes de diciembre del 2024, 20 casos de tumor maligno de la piel sitio no especificado, 7 casos de enfermedad renal crónica no especificada y 13 casos de anemia de tipo no especificado en el Hospital regional de Ayacucho Miguel Angel Mariscal Llerena.¹⁰ Estas cifras resaltan la necesidad de investigar la posible relación entre la existencia de elementos metálicos tóxicos en el agua potable y la incidencia de enfermedades en la región.

El análisis riguroso de la concentración de metales tóxicos en muestras de agua potable es de gran importancia para evaluar su calidad y garantizar la seguridad de la población. En este estudio se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica con atomizador electrotérmico de grafito una técnica analítica reconocida internacionalmente por su alta sensibilidad y especificidad en la detección de metales pesados a concentraciones bajas, en el orden de partes por billón.¹¹

En consecuencia, se planteó el siguiente problema de investigación: ¿Cuáles son los niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025?

El presente estudio tiene como objetivo general: determinar los niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.

Objetivos específicos:

- Determinar la concentración de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho.
- Determinar la concentración de cadmio por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho.
- Determinar la concentración de plomo por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho.
- Comparar la concentración de arsénico, cadmio y plomo con los límites permisibles en agua potable establecidos por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

CAPITULO II: DESARROLLO DE LA PERSPECTIVA TEÓRICA

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes internacionales

En 2023 Bafe, *et al.*¹² evaluaron el nivel de concentración de determinados metales pesados en agua potable de Gazer y en determinadas zonas de Kebele, en el distrito de Ari del Sur, en el sur de Etiopía; su objetivo fue analizar los parámetros de potabilidad del agua en la ciudad de Gazer y Kebele, para ello emplearon la técnica de espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES); en las muestras de Kebele obtuvieron los siguientes resultados: Mn 973 µg/L, Cu 1068 µg/L, Cr 2785 µg/L, Fe 4302 µg/L, Cd 1218 µg/L, Pb 720 µg/L, Co 1478 µg/L y Zn 1790 µg/L y en el agua potable de Gazer Town las concentraciones obtenidas fueron Mn 9 µg/L, Pb 17,6 µg/L, Co 7,6 µg/L, Cu 12 µg/L, Fe 765 µg/L, Zn 494 µg/L y las concentraciones de Cd y Cr eran inferior al umbral de cuantificación instrumental. Por lo cual se concluyó que el agua potable de Kebele está contaminado por metales pesados, excepto Co y Zn, ya que superan los valores recomendados por la USEPA, OMS y Gobierno de Nueva Zelanda; mientras que el agua potable de Gazer Town está contaminado únicamente con plomo.¹²

En el 2021 Chukwuemeka, *et al.*¹³ determinaron la contaminación en la superficie de muestras de agua del río Ogbajarajara, Nigeria; su objetivo fue determinar la contaminación ya sea por aniones, cationes y metales pesados en agua superficial del río Ogbajarajara; para ello emplearon el método de espectroscopia fotómetro y espectrometría de absorción atómica. En los resultados se evidencio que las concentraciones de hierro fueron de 8,42 mg/L y 6,28 mg/L en la estación húmeda y seca, Cu se registró entre 0,08 mg/L y 0,07 mg/L, Pb entre 0,69 mg/L y 0,40 mg/L, Zn se registró entre 2,29 mg/L y 1,15 mg/L, Mn se registró entre 0,07 mg/L y 0,06 mg/L, mientras que Cd y Ni no fueron detectados. Concluyendo que las aguas superficiales del río Ogbajarajara se encuentran contaminadas por metales como Fe, Zn y Pb, por lo cual el agua no es apropiada para su consumo.¹³

En el año 2020 Bravo, *et al.*¹⁴ en Machala – Ecuador, determinaron la concentración de cadmio mediante espectrofotometría de absorción atómica en agua potable de la

provincia El Oro; el estudio tuvo como finalidad determinar las concentraciones de cadmio en agua de consumo humano en las localidades de Santa Rosa y Machala, utilizando para ello la técnica de absorción atómica; respecto a los resultados, en el cantón de Santa Rosa las localidades obtuvieron las siguientes concentraciones: Cdma. Las Palmeras 0,00433 ppm, Barrio Atahualpa 0,00417 ppm, Cdma. San Vicente 0,00450 ppm, Cdma. San Marcos 0,00333 ppm, Barrio Jesús coronel de Vite 0,00467 ppm; y en el Cantón Machala está Los sauces 0,00317 ppm. Por lo cual concluyendo que el agua de consumo humano del Canton de Santa Rosa y Machala presenta contaminación por cadmio superando el parámetro establecido por la OMS y la Norma Técnica Ecuatorial INEN 1108.¹⁴

En 2016 Elhamili, *et al.*¹⁵ en Libia, determinaron metales pesados en agua corriente y subterránea mediante espectrometría de absorción atómica; su objetivo fue investigar la calidad del agua potable suministrada a la red general de agua potable de la ciudad de Trípoli, Libia. Se empleó la técnica de la espectrometría de absorción atómica para el análisis químico determinando principalmente Zn, Cd, Cu, Pb, Fe, mientras que para la prueba biológica utilizaron el método del número más probable (NMP). En cuanto a los resultados de la concentración de metales fueron los siguientes: 1 mg/L para Cu, hasta 2 mg/L para Fe, hasta 1 mg/L para Zn, hasta 10 mg/L para Pb y hasta 1 mg/L para Cd; y la prueba de NMP reportó que después de 24 horas y 48 horas no se evidenciaron cambios de color y no hay burbujas en el tubo Durham. Concluyendo que todas las muestras de agua son aceptadas y aptas para la salud pública; excepto la concentración de Fe que evidencia una concentración menor al rango aceptado por el estándar Libio.¹⁵ Bolaños¹⁶ en el año 2016, determinó arsénico en agua potable del cantón de Grecia, empleando la técnica de absorción atómica acoplada a un generador de hidruros; encontrando como resultados en Grecia, las 26 fuentes de agua analizadas mostraron concentraciones entre 0,00055 – 0,00220 mg/L, con una media de 0,00135 mg/L. Concluyendo que las concentraciones de arsénico detectadas están muy por debajo de 0,01 mg/L que fija la regulación de agua potable en Costa Rica.¹⁶

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el año del 2023 Vidarte¹⁷ determinó y cuantificó metales pesados (As, Cd, Hg, Pb) en la cuenca media del Rio Chancay – Lambayeque, 2022. Empleó la técnica de espectrometría de masa de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). El análisis de los parámetros físicos reveló fluctuaciones térmicas entre 22,1 °C y 24,0 °C, mientras

que el pH presentó variaciones desde 7,40 hasta 8,01. En cuanto a los metales analizados se detectaron concentraciones máximas de 0,00405 mg/L para arsénico y 0,00127 mg/L para plomo. Por otro lado, los niveles de cadmio ($< 0,00001$ mg/L) y mercurio ($< 0,000070$ mg/L) se situaron por debajo de los límites de cuantificación. Por lo cual, concluyó en su estudio que el agua de la cuenca media del río Chancay - Lambayeque puede ser aprovechada para producir agua potable con desinfección.¹⁷

En el año 2021 Cusicheérez, *et al.*¹⁸ determinaron metales tóxicos en agua para consumo humano de la ciudad de Junín, empleando la técnica de espectroscopia de absorción atómica. En los resultados se observaron diferencias en las concentraciones de los metales: plomo y arsénico registraron valores entre 0,001 y 0,002 mg/L, en contraste el cadmio que alcanzó hasta 0,003 mg/L. En conclusión, los niveles de metales pesados (Pb, Cd y As) en agua de consumo de Junín se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por D.S. 004-2017- MINAN para aguas destinadas a potabilización.¹⁸

En el año 2019 Belizario, *et al.*¹⁹ determinaron el contenido de fósforo y arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú, empleando la técnica de espectroscopia de masas de plasma (ICP-MS); los resultados obtenidos determinaron que los niveles máximos registrados superan los parámetros normativos peruanos, con valores de 1,043 mg/L para aluminio, 0,856 mg/L para hierro, 0,460 mg/L para manganeso, 0,029 mg/L para arsénico y 10,287 mg/L para fósforo. Estos resultados exceden los límites establecidos en la normativa ambiental vigente, demostrando un significativo deterioro de la calidad del agua. El estudio concluyó que esta contaminación deriva principalmente de los vertimientos no regulados de aguas servidas y desechos sólidos urbanos provenientes del área metropolitana de Juliaca, en la región de Puno.¹⁹

En el año 2019 Macha²⁰, determinó cadmio, arsénico y plomo por espectrofotometría de absorción atómica en aguas de pozo de Castillo Grande - Tingo María, julio-setiembre 2019, empleando la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la concentración promedio de cadmio fue de 6 $\mu\text{g/L}$ siendo superior al límite permisible de 5 $\mu\text{g/L}$ estipulada por la OMS, mientras que la concentración promedio de arsénico fue de 1,25 $\mu\text{g/L}$ siendo inferior a 10 $\mu\text{g/L}$ y el promedio de plomo fue de 4,75 $\mu\text{g/L}$ siendo inferior a 10 $\mu\text{g/L}$ estipulada por la OMS; concluyendo contaminación del agua del pozo Castilla Granda por cadmio.²⁰

En el año 2015 Raraz²¹, efectuó la determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa, distrito de Yanacancha, Pasco, empleando el método de espectrofotometría por absorción atómica con horno de grafito. En los resultados se revelaron concentraciones significativas de metales pesados en el agua de consumo humano, registrando un valor máximo de 0,1076 mg/L para cadmio, con promedios zonales de 0,0024 mg/L (zona baja), 0,0117 mg/L (zona media) y 0,0099 mg/L (zona alta). Para plomo se detectó una concentración máxima de 0,5504 mg/L y un promedio general de 0,2152 mg/L, con variaciones zonales entre 0,1925 – 0,2313 mg/L. En conclusión la presencia hay niveles preocupantes de Cd y Pb en el agua potable.²¹

En el año 2015 Cossio²², evaluó la presencia de metales pesados (Pb y Cd) en aguas del río Apurímac, específicamente en la zona del VRAEM, cuyo objetivo fue determinar el nivel de contaminación del río Apurímac por la presencia de metales pesados como plomo y cadmio; como parte de la metodología recolectó muestras de 03 estaciones diferentes de monitoreo de agua durante el periodo de diciembre de 2013 a setiembre del 2014, empleando la técnica analítica de espectroscopia por absorción atómica. Los resultados obtenidos reportan que durante el 2014 las concentraciones de plomo en el río Apurímac presentaron un promedio de 0,0107 mg/L, con valores que oscilaron entre 0,001 mg/L (mínimo) y 0,031 mg/L (máximo); en el caso del cadmio los niveles se mantuvieron consistentemente por debajo de 0,001 mg/L. Concluyendo que la contaminación por ambos metales se mantuvo en rangos bajos durante el periodo analizado, sin superar los límites establecidos en la normativa peruana para aguas de categoría 3 (0,05 mg/L para Pb y de 0,005 mg/L para Cd).²²

2.1.3. Antecedentes Locales

En el 2019 Zuñiga²³, determinó la concentración de metales pesados como plomo, cromo y cadmio en tierras de cultivo y vegetales regados con efluentes depurados de la estación de tratamiento de aguas residuales de La totora, Ayacucho; planteándose como objetivo determinar la concentración de plomo, cromo y cadmio existentes en suelos; para ello empleo la técnica de la espectrofotometría de masas con plasma acoplado obteniendo como resultado que el contenido máximo de cadmio en el agua de irrigación fue 0,00154 mg/L, mientras que en la tierra de cultivo es menor 0,020 mg/kg, en las hortalizas como la lechuga se tuvo 0,020 mg/kg y en espinaca 0,1142 mg/kg; mientras que el contenido de cromo fue 0,0310 mg/L para el agua de riego y menor cantidad de

0,050 mg/kg para el suelo agrícola, la lechuga y espinaca; los análisis mostraron una concentración de plomo de 0,0259 mg/L en agua utilizada para riego, mientras que en el suelo cultivable se registró un nivel máximo de 10,991 mg/kg. En cuanto a los vegetales analizados (lechuga y espinaca), los resultados fueron inferiores 0,020 mg/kg. Concluyendo, que de acuerdo a los estándares de calidad ambiental (ECA), los niveles detectados de plomo, cromo y cadmio se encontraron por debajo de los límites máximos permitidos, indicando cumplimiento de la normativa vigente.²³

En el año 2021 Bellido²⁴ investigó los niveles de metales pesados en el agua de consumo humano y su efecto en pobladores en el distrito de Chipao-Ayacucho, teniendo como objetivo generar una propuesta de determinación de contaminación de aguas para consumo humano con metales pesados en el distrito de Chipao Ayacucho, para ello se empleó la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados reportan las siguientes concentraciones: Al < 0,003 mg/L, Ba 0,006 mg/L, B 0,147 mg/L, Fe <0,001 mg/L, Mn 3,402 mg/L, Pb <0,0006 mg/L, Zn <0,002 mg/L, Sb 0,00013 mg/L, Be 0,00006 mg/L, Cd 0,0003 mg/L, Cr 0,0003 mg/L, Sb 0,00006 mg/L, Cu: 0,00009 mg/L, Se 0,00013 mg/L. Concluyendo que todos los metales están por debajo de los niveles estipulados por los estándares de calidad ambiental (ECA).²⁴

En el año 2023 Quispe, *et al.*²⁵ investigaron la concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana*, Luricocha, Huanta, teniendo como objetivo determinar el nivel de concentración de plomo y cadmio en la planta de la *Persea americana*, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Como resultados se encontró que los plantones cultivados en suelos arcillosos registraron concentraciones de 49,23 mg/kg de plomo y 0,330 mg/kg de cadmio; a diferencia de aquellos desarrollados en suelos franco-arcillosos presentaron 45,71 mg/kg de plomo y 0,331 mg/kg de cadmio; lo que sugiere variaciones en la acumulación de metales según la textura del suelo, Concluyendo que el plomo y cadmio están por debajo de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas.²⁵

En el año 2019 Córdova²⁶ realizó un estudio donde evaluó los efluentes generados por la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá y su relación con la presencia de metales pesados en hortalizas cultivadas en la comunidad de Totorá, Ayacucho, durante el periodo 2017-2018. Como objetivo se planteó de determinar la incidencia de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá en la contaminación por metales pesados como cadmio y cromo de hortalizas como rabanito, espinaca y lechuga, para ello se empleó la técnica espectroscopía de emisión atómica,

cuantificando cadmio en espinaca 0,42 mg/kg, lechuga 0,176 mg/kg y rabanito < 0,10 mg/kg; mientras cromo en lechuga 2,63 mg/kg, espinaca 1,04 mg/kg y rabanito 1,00 mg/kg. Concluyendo nivel alto de cadmio en espinaca, y niveles altos de cromo en espinaca, lechuga y rabanito todas ellas regadas con aguas residuales de totora, esto evidencia que los efluentes de esta planta influyen de manera diferenciada en la acumulación de metales pesados en los cultivos regados con estos recursos hídricos.²⁶ En el 2025 Huallpa²⁷ evaluó la eficiencia de *Medicago sativa* (Alfalfa) como bioabsorbente para la eliminación de metales pesados presentes en biosólidos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “La totora” en Ayacucho. El objetivo principal fue determinar el potencial de este cultivo para fitorremediar los residuos sólidos contaminados por la PTAR. empleando la técnica de espectroscopia de emisión atómica (ICP-OES) para determinar la concentración de metales antes de la siembra y después de la siembra de alfalfa. Los resultados reportan que la concentración inicial del cromo fue 320,7 mg/kg, para cadmio 7,3 mg/kg y del plomo 37,7 mg/kg; después de la siembra la concentración de los metales fue para cromo de 257,7 mg/kg, cadmio 7,0 mg/kg y plomo 27,3 mg/kg, logrando remover un 43 % de cromo, 76 % de cadmio y 71 % de plomo, generando que el cadmio y plomo estén por debajo de los límites máximos permisibles para uso agrícola. Concluyendo de este modo que la alfalfa (*Medicago sativa*) permite remover metales pesados, pudiendo ser aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totora”.²⁷

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Toxicología del arsénico

a. Características fisicoquímicas

Es un elemento químico con número atómico de 33, presenta 17 isótopos inestables que exhiben desintegración radiactiva. En su forma metálica pura, este material muestra propiedades conductoras tanto de electricidad como de calor.⁴

b. Fuentes de contaminación

Se encuentra en las superficies de las rocas combinado con otros elementos metálicos como manganeso y otros; el arsénico como arsenopirita es usado en el acondicionamiento de cultivos como pesticidas y herbicidas, además de cerámicas, vidrios y pigmentos.^{4,28} En agua potable, el arsénico se halla en forma inorgánica como arsenato (As^{+5}) y arsenito (As^{+3}).²⁹

c. Toxicodinámica

Ejerce sus efectos tóxicos a través de unión con grupos sulfhidrilos que componen distintos sistemas enzimáticos; la inhibición de las vías metabólicas encargadas de la oxidación del piruvato durante el ciclo de Krebs genera un bloqueo en la cadena respiratoria celular, comprometiendo así el metabolismo energético. Asimismo, es considerado un carcinógeno ya que afecta el ADN mediante mecanismos como reparación del material genético, estrés oxidativo por metilación del ADN. El arsenato es fácilmente absorbido por el tracto gastrointestinal por lo cual llega a la sangre y al enlazarse con la hemoglobina llegan a los órganos como hígado, riñones y otros. Se almacena en mayor proporción en piel, hueso y músculos.³⁰ Se tiene a la formas orgánicas como el arsenato (arsénico pentavalente) quien se une a la glucosa ocasionando inhibición de la hexoquinasa causando disminución de glucólisis por ende agotamiento de ATP en el cuerpo; mientras que el arsenito (arsénico trivalente) es más tóxica por su unión a grupos tiol y sulfhidrilos, afectando enzimas como por ejemplo la piruvato deshidrogenasa debido a que usa un ditiol para su activación.²⁸

d. Toxicocinética

Absorción: es a través de la vía digestiva, a nivel del intestino delgado donde se reduce de arseniato a arsenito.³⁰

Distribución: a través de las acuaporinas ingresa a hepatocitos.³⁰

Metabolismo: en el hígado es transformado en subproductos que son metilados, tiende a ser acumulado a nivel del hígado, riñones, corazón, sistema nervioso y otros.³⁰

Excreción: su excreción tarda en 4- 5 días; el arsenito tiene menor eliminación que el arsenato y el arsenico orgánico; la eliminación se da principalmente por vía renal.^{28,30}

e. Efectos nocivos

Ocasiona los tipos de cáncer que afectan la piel como basilioma y carcinoma de células escamosas; en el pulmón ocasiona carcinoma broncogénico, hemangiosarcoma hepático, cáncer de vejiga, riñón, además de la zona de nasofaringe.⁴ La agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC) considera al arsénico como cancerígeno debido a su proceso de biotransformación con reacciones de reducción, oxidación y metilación.^{28,29} A nivel cardiovascular, la exposición crónica se relaciona con mayor incidencia de eventos cerebrovasculares, desarrollo de hipertensión arterial, formación de placas ateroscleróticas en arterias carótidas y aparición de diabetes mellitus tipo 2. En el sistema hepático, se observa elevación de enzimas hepáticas y progresión a cirrosis. Particularmente, el consumo de agua con concentraciones

elevadas de arsénico (300,0 mg/L) se ha vinculado estadísticamente con casos de hepatitis crónica.³⁰

2.2.2. Toxicología del cadmio

a. Características fisicoquímicas

El cadmio (Cd, número atómico 48, masa atómica 112, punto de fusión 321 °C, punto de ebullición 765 °C) es un elemento blando, maleable, de color blanco plateado, azul, brillante y electropositivo. No tiene olor ni sabor y es altamente tóxico.³¹

b. Fuentes de contaminación

El cadmio se ha utilizado en baterías de níquel-cadmio, pigmentos en la producción de pinturas, galvanoplastia y en la producción de plásticos de cloruro de polivinilo, son de origen antropogénico debido al uso de combustibles fósiles, minerales metálicos y quema de residuos además de uso de abonos industriales; al interactuar con el terreno y las precipitaciones pluviales son transferidos a fuentes naturales de agua como los ríos.^{4,31,32}

c. Toxicodinámica

El cadmio afecta la proliferación, diferenciación y apoptosis celular, estas actividades interactúan con los mecanismos de reparación del ADN, la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la inducción de la apoptosis. El cadmio se une a las mitocondrias y puede inhibir la respiración celular y la fosforilación oxidativa en bajas concentraciones. Su toxicidad está relacionada con el agotamiento del glutatión reducido (GSH), que une grupos sulfhidrilo a las proteínas y aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), como iones superóxido, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilos. El cadmio también inhibe enzimas antioxidantes como la catalasa, la superóxido dismutasa de manganeso y la dismutasa de cobre/zinc.³¹

d. Toxicocinética

- **Absorción:** la exposición del Cadmio se puede dar por el aire, el agua, suelo y alimentos. La absorción se da principalmente a través del tracto respiratorio y en menor medida a través del tracto gastrointestinal, mientras que la absorción cutánea es relativamente rara.³³
- **Distribución:** se transporta al torrente sanguíneo a través de los eritrocitos y la albúmina y luego se acumula en los riñones, el hígado y el intestino.³³
- **Excreción:** la excreción de cadmio del cuerpo es lenta y se produce a través de los riñones, la orina, la saliva y la leche durante la lactancia.³³

e. Efectos nocivos

Cadmio es un carcinógeno en humanos considerado por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). Puede considerarse un carcinógeno pulmonar, también inductor de cánceres de próstata o riñón³¹⁻³³. Los mecanismos celulares y moleculares que implican la carcinogenicidad del cadmio incluyen la activación de protooncogenes, la inactivación de genes supresores de tumores, la alteración de la adhesión celular y la inhibición de la reparación del ADN. Asimismo se implica al cadmio con neoplasias malignas en el hígado, sistema hematopoyético, vejiga y estómago.³¹ La exposición al cadmio desencadena la enfermedad de Itai-itai, caracterizada por alteraciones óseas que incluyen osteoporosis, reducción del grosor cortical, pérdida de tejido trabecular, disminución de osteocitos y reducción de mucopolisacáridos ácidos en el cartílago de crecimiento. Paralelamente ejerce efectos nefrotóxicos, manifestándose mediante trastornos como glucosuria, excreción urinaria anormal de aminoácidos y fosfatos, hipercalciuria, poliuria y deterioro de la capacidad de filtración renal.³¹⁻³³ en el sistema reproductivo en animales se ha encontrado que el cadmio disminuye el libido, la fertilidad y el nivel sérico de testosterona, el cadmio ocasiona formas inmaduras de espermatozoides y también la función del ovario ocasionando que los ovocitos puedan verse inhibidas.³¹

2.2.3. Toxicología del plomo

a. Características fisicoquímicas

Es considerado un metal pesado ubicado en la tabla periódica en el periodo 6 y grupo IV A, con punto de ebullición de 1725 °C, con punto de fusión de 327,4 °C y su densidad de 11,4 g/mL; en forma natural es sólido y no es biodegradable.³⁴

b. Fuentes de contaminación:

La aparición de plomo en agua se le atribuye a la lixiviación procedentes de infraestructuras de tubería y conexiones hidráulicas; dentro de ellos se puede mencionar a las tuberías donde un agua con pH inferior a 8 y temperatura elevada aumenta la solubilidad del plomo.³⁵ Asimismo el plomo es ampliamente usada en baterías de almacenamiento, además se emplea como protección contra radiaciones ionizantes y en el recubrimiento de tanques y tubería; y sus sales inorgánicas en vidrios, pigmentos, vidriados, plásticos, pinturas y compuestos de caucho.^{35,36} Además es usado como aditivo en latas de conserva, insecticidas, aceites, cosmetología.⁴

c. Toxicodinámica

El plomo tiene alta afinidad por los grupos sulfidrílicos y grupos donantes de electrones, por su similitud con otros cationes divalentes como el calcio y el zinc; debido a la amplia ubicación de grupos donantes en distintas partes del cuerpo, el plomo afecta a varios sistemas orgánicos.³⁷ Ocasiona cambios microvasculares cerebrales inducidos por el plomo que conducen al hidrocefalia e hipertensión intracraneal. el plomo causa anemia al interferir con la función de varias enzimas involucradas en la síntesis del hemo, así como con las enzimas involucradas en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular de los eritrocitos, lo que conduce a una disminución de la producción y una mayor destrucción de eritrocitos, respectivamente. Desde una perspectiva renal, el plomo puede inducir una disfunción global del túbulo proximal y el plomo también compite con el ácido úrico por la excreción en el túbulo distal, lo que conduce a mayores concentraciones sanguíneas de urato, que finalmente se deposita como cristales de urato en las articulaciones y es el mecanismo subyacente a la llamada "gota saturnina".^{37,38}

d. Toxicocinética

Absorción: esta influenciada por factores como la motilidad gastrointestinal, el estado nutricional del individuo y factores etarios, incrementándose en casos de déficit de hierro o calcio.³⁹ El plomo se absorbe por los pulmones (inhalación) y tracto gastrointestinal (ingestión). Los niños generalmente absorben alrededor del 40 al 50 % del plomo que ingieren, mientras que los adultos son alrededor del 10 al 15 %.^{37,39} El plomo que no es excretado por lo que es almacenado por el cuerpo por en 3 compartimientos como es la sangre, huesos y dientes que contienen casi la totalidad del plomo, así como otros tejidos el cerebro, músculos, hígado, riñones, pulmones, y corazón.^{37,39}

Distribución: se une los eritrocitos y se distribuye en los huesos y los tejidos blandos. El compartimento de los tejidos blandos donde hay mayor órgano hepático y cortéx renal.³⁷ En exposiciones crónicas el plomo forma complejos estables con el fosfato, por lo que sustituye al calcio en la hidroxapatita del hueso.³⁷

Metabolismo: el plomo no es metabolizado por el cuerpo, simplemente forma uniones reversibles con aminoácidos, proteínas y compuestos de sulfhidrilo.³⁷

Excreción: es eliminado básicamente por la orina y las heces; por vía fecal es eliminado cerca del 85% del plomo no absorbido y vía renal un 80%; El plomo inorgánico se absorbe, distribuye y excreta de forma directa; pero el plomo orgánico tiende a

transformarse a fosfato plumboso y luego a fosfato plúmbico, por lo cual es menos soluble y excretado en menor cantidad; por lo cual es alta su concentración y acumulación en el organismo.³⁴

e. Efectos nocivos

A nivel bucal ocasiona una línea de plomo en la zona gingival asimismo se llegan a desarrollar manchas grises en la mucosa bucal y lengua.³⁵ en el sistema neurológico causa encefalopatía que afecta en mayor grado a niños y neuropatía óptica, además de ocasionar deficiencias cognitivas y neurológicas que incluye déficit en las capacidades de lectoescritura y conductas sociocomunicativas.³⁵ a nivel cardiovascular el plomo aumenta los intervalos QT y QRS, conduciendo a defectos de la conductividad intraventricular y auriculoventricular.³⁵ mientras que a nivel renal ocasiona nefropatía crónica e insuficiencia renal crónica, haciendo que haya una excreción menor de ácido úrico por lo cual trae consecuencias de hiperuricemia con posible gota.³⁶ mientras que en la sangre el plomo disminuye la producción del grupo hemo por lo cual se tiene como consecuencia anemia; también se evidencia leucocitosis además de hemólisis.³⁵

2.2.4. Niveles máximos permitidos de metales en agua potable.

El agua para consumo humano no debe ocasionar ningún riesgo a la salud cuando se consuma a largo plazo.^{40,41}

Tabla 1. Valor máximo admisible de metales según INACAL y OMS.

Constituyentes inorgánicos	Valor máximo admisible (mg/L)- INACAL ⁴⁰ (revisada 2021)	Valor orientativo (mg/L) OMS ⁴¹
Arsénico (As)	0,500	0,010
Bario (Ba)	1,000	1,300
Cadmio (Cd)	0,005	0,003
Cromo total (Cr)	0,050	0,050
Plomo (Pb)	0,050	0,010
Mercurio (Hg)	0,001	0,006
Nitrato (NO ₃)	45,00	50,00
Selenio (Se)	0,010	0,040

Fuente: INACAL, Norma Técnica Peruana 214.003.⁴⁰

2.2.5. Espectroscopia de absorción atómica (AAS)

Principio del método

El método se basa en la absorción de energía electromagnética de frecuencia características por parte de átomos libres, promoviendo electrones desde su estado basal a niveles energéticos superiores. Le medida de esta absorción cuantifica la densidad atómica del elemento objetivo de la muestra, siguiendo la ley de beer-lambert.⁴²



Figura 1. Componentes básicos de un espectrofotómetro de absorción atómica.¹¹

Espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (ETV-GFAAS)

El análisis comienza con la introducción de la solución muestra mediante un sistema de dosificación preciso hasta la cavidad de un tubo de grafito. El programa térmico programado ejecuta sucesivas etapas: inicialmente se eliminan los componentes volátiles mediante desecación controlada, seguido de la degradación pirolítica de la matriz orgánica, posteriormente un rápido incremento de la temperatura genera una nube atómica en estado fundamental. La población atómica es sometida a radiación electromagnética de longitud de onda específica, induciendo transiciones electrónicas características. El sistema permite dos modos de deposición: contacto directo con la superficie del grafito o mediante un dispositivo de plataforma integrada. Durante el ciclo analítico, se mantiene una atmósfera protectora de gas noble (nitrógeno o argón), que se interrumpe estratégicamente durante la fase de medición para registrar la señal de absorbancia atómica transitoria generada por las especies vaporizadas.¹¹

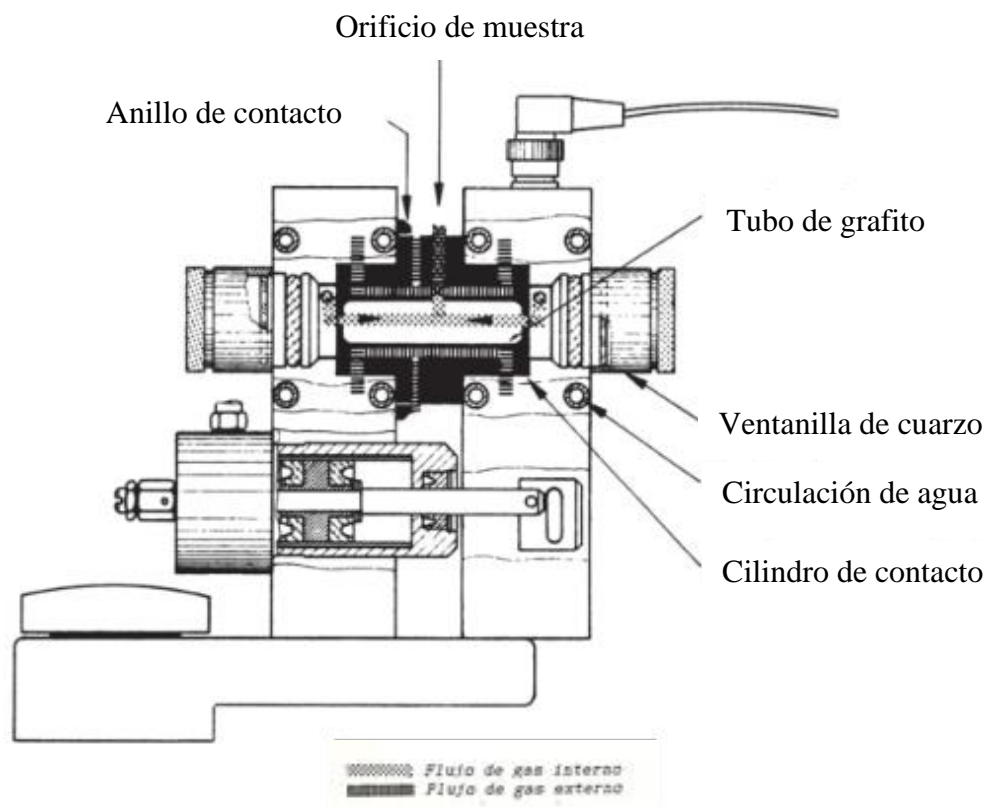


Figura 2. Atomizador de horno de grafito © 1998 - 2024 PerkinElmer.⁴³

2.2.6. Red de abastecimiento de agua potable de ciudad Ayacucho.

Fuente de abastecimiento (captación y conducción de agua cruda): la entidad de EPSASA cuenta con dos recursos hídricos de origen superficial para su suministro.⁴⁴

- **Sistema ex proyecto especial rio Cachi:** administrada por el gobierno regional de Ayacucho, estas fuentes abastecen a EPSASA en la localidad de Campanayoc (distrito de Carmen Alto), con un caudal de 500 litros por segundo.
- **Sistema Chiara:** La fuente más antigua y tiene un caudal de 105 litros por segundo teniendo 4 captaciones como la bocatoma de Molinohuayco, Ccoscohuaycco, Mutuyhuaycco y Lambrashuaycco.⁴⁴

Proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable por SEDA-Ayacucho.⁴⁵

- **Embalses reguladores:** son unidades donde se almacena agua señala como presedimentación
- **Cámara de mezcla rápida:** Se adiciona al agua el coagulante químico como el sulfato de aluminio, para separar las impurezas.
- **Floculación:** Se aglutinan las partículas coloidales que contiene el agua, formandose los flocs.
- **Sedimentación:** los flocs formados se separan por acción de gravedad.
- **Filtración:** el agua sedimentada es filtrada por un conjunto de capas filtrantes de grava, arena ya antracita, con el fin de retener los flocs.⁴⁵
- **Cloración o desinfección:** se adiciona cloro gaseoso con la finalidad de destruir microorganismos.

Plantas de tratamiento de agua potable

a. Quicapata

- **Planta 1:** Con un caudal de diseño de 360 litros por segundo, la planta incluye una cámara de mezcla rápida, seis unidades de floculación con pantallas verticales, ocho módulos de decantación tubular, dos sedimentadores, cuatro filtros de velocidad rápida, tuberías de distribución, una sala de control, un tanque de almacenamiento para agua de retrolavado, un área de dosificación de coagulante (sulfato de aluminio) y un local para la cloración.⁴⁴
- **Planta 2:** Con capacidad 180 litros por segundo. Consta de una unidad de mezcla rápida, un canal de distribución hidráulica, seis floculadores de pantalla vertical,

un sedimentador, cuatro filtros autolavantes y sala dosificadora de sulfato de aluminio.⁴⁴

- b. **Cabrapata:** La planta de tratamiento consta de cámara de mezcla, floculadores, decantador, filtros y cámara de cloración y 02 dosificadores de sulfato.⁴⁶

Conducción de agua tratada

a. Quicapata

A partir de dos reservorios cabecera I (3000 m³) y cabecera II (1500 m³), el agua tratada es conducida por estructura tubular a los principales reservorios de la ciudad como reservorio Acuchimay, libertadores I, libertadores II y reservorio Miraflores.⁴⁴

b. Cabrapata

A partir del reservorio cabecera de 300 m³ por estructura tubular es conducido hasta reservorios secundarios como reservorio Cruzpata, Rio Seco, Pueblo Libre, Picota y Pillpintuyoc quienes básicamente benefician a la población de Huaschura, Mollepata y anexos.⁴⁶



Figura 3. Sistema de captación, tratamiento y distribución de agua potable en ciudad Ayacucho.⁴⁵

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Metales pesados

Son aquellos metales o metaloides con potencial de producir toxicidad en el ser vivo incluso a concentraciones muy bajas; estos elementos químicos se caracterizan por tener alta densidad (mayor a 4 g/cm³) masa y peso atómico por encima de 20. Dentro

de este amplio grupo denominado metales pesados se encuentran: berilio, aluminio, cobre, cadmio, mercurio, plomo, cobre y entre otros.⁴⁷⁻⁴⁹

2.3.2. Agua potable

El agua es esencial para la vida, y el agua de consumo humano es aquella apta para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal, y que cumple con requisitos físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos establecidos por autoridades competentes de cada país, en el Perú es la DIGESA.

2.3.3. Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

Instalación diseñada para eliminar contaminantes ya sea físicos, biológicos y químicos, teniendo el objetivo de hacer este líquido potable; básicamente purifica agua de fuentes naturales, dentro de los procesos que realiza están la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.²

2.3.4. Represa de agua

Estructura artificial hecha de concreto, roca o tierra que almacena, regula y controla el flujo de agua en un río o cuenca hidrográfica, retiene gran volumen de agua con fin de abastecer agua potable a grandes ciudades; su importancia radica en garantizar agua en épocas de sequía.⁵⁰

2.3.5. Reservorio de agua

Almacena agua tratada (potable), con el fin de garantizar su disponibilidad, mantener presión en redes de distribución y regular el suministro.²

2.3.6. Modos de contaminación de agua por metales pesados

Fuentes naturales

Los metales pesados se encuentran en la corteza en rocas metamórfica, magmáticas y sedimentarias (ejemplo, galena para plomo); su exposición y distribución en el ambiente depende básicamente de los procesos erosivos y meteorización; asimismo las erupciones volcánicas y fuentes hidrotermales emiten metales (ejemplo, arsénico como arsenopirita).^{51,52}

Fuentes antropogénicas

Se deben a vertidos industriales tales como industria minería, fabricación de baterías e industrias textil y curtidorías; asimismo la agricultura contamina por el uso de fertilizantes fosfatos, pesticidas y fertilizantes (Iodos residuales) que se filtran al agua; asimismo los residuos urbanos y basura como pilas, electrónicos y pinturas, además de incineración de residuos.^{51,53}

2.4. Marco ético y legal

- Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338): Regula el uso y gestión del agua en el Perú, incluyendo la calidad del agua para consumo humano.
- Ley N° 30588, reconoce el derecho de acceso a agua potable.
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA: Establece los estándares de calidad ambiental para agua, donde se estipulan los límites máximos permisibles de metales pesados en agua potable.
- Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS): entidad internacional que brinda valores guía para la concentración de metales pesados en agua potable.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Alcance de la investigación

Descriptivo.⁵⁴

3.2. Diseño de investigación

No experimental, transversal.⁵⁴

3.3. Unidad de análisis

Cada muestra de agua potable obtenida de los principales reservorios.

3.4. Población de estudio

Agua potable de los reservorios principales de la ciudad de Ayacucho con un volumen total de 4800 m³, con las siguientes características: agua proveniente del ex proyecto especial rio Cachi y sistema Chiara que pasan por las 02 plantas de tratamiento ubicadas en Quicapata y 01 planta de tratamiento en Cabrapata.

3.5. Muestra

Se realizó un muestreo estratificado considerando a cada reservorio como grupos homogéneos dentro de la población total. Dentro de cada reservorio se realizó un muestreo puntual recogiendo 250 mL de agua potable por triplicado de cada reservorio.

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Cabrapata: Cabecera N° 1 con capacidad de 300 m³

- Muestra 01: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 11 de enero del 2025 a las 08:30 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 02: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 11 de enero del 2025 a las 12:10 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 03: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 11 de enero del 2025 a las 15:18 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Quicapata: Reservorio de cabecera N° 1 con capacidad de 1500 m³

- Muestra 01: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 08:15 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 02: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 12:22 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 03: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 15:15 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.

Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Quicapata: Reservorio de cabecera N° 2 con capacidad de 3000 m³

- Muestra 01: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 08:45 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 02: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 13:00 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.
- Muestra 03: El muestreo se realizó de la tubería de salida el 12 de enero del 2025 a las 15:48 horas recogiendo 250 mL de agua en frascos de polietileno de alta densidad de primer uso.

3.6. Criterios de selección

3.6.1. Criterios de inclusión

- Reservorios en estado funcional estipulado por el SEDA Ayacucho.
- Reservorios cabeceros con gran capacidad de almacenamiento.

3.6.2. Criterios de exclusión

- Reservorios con fuga de agua.
- Reservorios con contaminación por mohos que alteren la característica física incolora del agua.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Recolección y transporte de muestras

Se siguió la guía rápida para la toma de muestras de agua potable del EPA (Environmental protection agency)⁵⁵, empleando para la recolección de la muestra frascos de polietileno de alta densidad (de primera calidad) de 250 mL dotados de cierre hermético. Se recolectó agua potable de los siguientes reservorios:

- Reservorio Quicapata (Cabecera I)
- Reservorio Quicapata (Cabecera II)
- Reservorio Cabrapata (Cabecera I)

Las muestras fueron analizadas antes de los 14 días ya que no se le agrego conservantes.⁵⁵

3.7.2. Cuantificación de arsénico

Metodología tomada de Standard methods for the examination of water and wastewater.⁵⁶

Preparación de muestra

- Se trasvasó 25 mL de muestra en un vaso precipitado y con una pipeta volumetrica se agregó 5mL de ácido nítrico grado traza (alta pureza concentrado) y 5 mL de ácido perclórico (concentrado para análisis de trazas) para su posterior digestión.
- Luego se calentó la muestra hasta sequedad sobre una plancha térmica a ebullición lenta y tapando el vaso con luna de reloj.
- A la muestra secada se le agregó 10 mL de agua ultra pura, seguidamente se procedió a filtrarlo para luego transferirlo a una fiola de 100 mL, para ser enrasado con agua ultra pura para proceder al análisis con el equipo.
- Se preparó el modificador de matriz siendo el nitrato de paladio 1000 ppm donde se pesó 0,2 g de nitrato de paladio en 100 mL de agua desionizada acidificada con NHO_3 al 1% y se le colocó en los viales de reactivo del equipo para leer tanto el estándar y muestras.

Preparación de estándares

- Se preparó una estándar madre de 100 $\mu\text{g/L}$ a partir de una concentración de 1000 mg/L de arsénico. El equipo procedió a realizar sus propias diluciones para obtener estándares de 2 $\mu\text{g/L}$, 10 $\mu\text{g/L}$ y 18 $\mu\text{g/L}$.

Técnica operativa

- Se encendió el equipo de absorción atómica marca SHIMADZU modelo AA-7000, se colocó la lámpara de cátodo hueco y se realizó el control de verificación del instrumento asegurando la alineación correcta entre el quemador y el haz de luz que emite la lámpara antes de iniciar cada lectura analítica.
- Para la cuantificación se siguió las siguientes condiciones:

Tabla 2. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de arsénico

Longitud de onda	193,7 nm
Ancho de ranura	0,7 nm
Lámpara	lámpara de cátodo hueco con corrección de fondo de lámpara de deuterio
Corriente de lámpara (mA)	12 mA
Tubo de grafito	Tubo de grafito de alta densidad

- Mientras que se hizo el programa del horno de grafito de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3. Programa de horno de grafito para cuantificar arsénico

Paso	Temperatura (°C)	Tiempo de Rampa (sec)	Calor	Flujo de gas (L/min)	Gas
Secado inicial	150	20	rampa	0,1	argón
Descomposición de matriz	250	10	rampa	0,1	argón
Atomización de arsénico	600	10	rampa	1	argón
Atomización de arsénico	600	10	escalón	1	argón
Atomización de arsénico	600	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	2400	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	2500	2	escalón	1	argón

- El equipo preparó una serie de estándares mediante diluciones seriadas a partir de la solución madre 100 µg/L para construir la curva de calibración, incorporando nitrato de paladio en concentración de 1000 ppm como modificador de matriz.
- Cada muestra fue transferida a viales 2 mL, inyectando 20 µL de la muestra y 5 µL de modificador de matriz para medir la absorbancia por triplicado.

3.7.3. Cuantificación de cadmio

Metodología tomada de Standard methods for the examination of water and wastewater.⁵⁶

Preparación de muestra

- Se trasvasó 25 mL de muestra en un vaso precipitado y con una pipeta volumétrica se agregó 10 mL de ácido nítrico para su posterior digestión evitando la sequedad.
- Luego se calentó la muestra hasta reducir a un volumen de 10 mL a ebullición lenta antes de que tenga lugar a una precipitación; para ello se agrega 5 mL de agua ultra pura.
- Se procedió a filtrarlo para luego transferirlo a un matraz aforado de 100 mL con agua ultra pura para proceder al análisis con el equipo.

Preparación de estándares

- Se preparó un estándar de 100 $\mu\text{g/L}$ a partir de una concentración de 1000 mg/L de cadmio. El equipo procedió a realizar sus propias diluciones seriadas para obtener estándares de 1 $\mu\text{g/L}$, 2 $\mu\text{g/L}$ y 3 $\mu\text{g/L}$.

Técnica operativa

- Se colocó la lámpara de cátodo hueco y se verificó la calibración del instrumento asegurando el alineamiento del quemador con el haz de luz que emite la lámpara antes de iniciar cada lectura analítica.
- Se colocó en el equipo los parámetros ópticos

Tabla 4. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de cadmio

Longitud de onda	228,8 nm
Ancho de ranura	0,7 nm
Lámpara	lámpara de cátodo hueco con corrección de fondo de lámpara de deuterio
Corriente de lámpara (mA)	8 mA
Tubo de grafito	Tubo de grafito de alta densidad

- El equipo preparó una serie de estándares mediante diluciones seriadas a partir de la solución madre 100 $\mu\text{g/L}$ para construir la curva de calibración, incorporando nitrato de paladio en concentración de 1000 ppm como modificador de matriz.
- Cada muestra fue transferida a viales 2 mL, inyectando 20 μL de la muestra y 5 μL de modificador de matriz para medir la absorbancia por triplicado
- Para empezar con la cuantificación se programó al equipo ciclos de calentamiento para secar la muestra, volatilizar el analito y atomizarlo; para ello se sigue el siguiente programa.

Tabla 5. Programa de horno de grafito para cuantificar cadmio

Paso	Temperatura (°C)	Tiempo de Rampa (sec)	Calor	Flujo de gas (L/min)	Gas
Secado inicial	100	20	rampa	0,1	argón
Descomposición de matriz	230	10	rampa	0,1	argón
Atomización de cadmio	500	10	rampa	1	argón
Atomización de cadmio	500	10	escalón	1	argón
Atomización de cadmio	500	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	1800	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	2000	2	escalón	1	argón

3.7.4. Cuantificación de plomo

Metodología tomada de Standard methods for the examination of water and wastewater.⁵⁶

Preparación de muestra

- Se trasvasó 25 mL de muestra en un vaso precipitado y con una pipeta graduada se agregó 10 mL de ácido nítrico para su posterior digestión evitando la sequedad.
- Luego se calentó la muestra hasta reducir a un volumen de 10 mL a ebullición lenta antes de que tenga lugar a una precipitación; para ello se agrega 5 mL de agua ultra pura.
- Se procedió a filtrarlo para luego transferirlo a un matraz aforado de capacidad de 100 mL con agua de pureza elevada para proceder al análisis con el equipo.

Preparación de estándares

- Se preparó un estándar de 100 µg/L a partir de una concentración de 1000 mg/L de plomo. El equipo procedió a realizar sus propias diluciones para obtener estándares de 4 µg/L, 12 µg/L y 20 µg/L.

Técnica operativa

- Se colocó la lámpara de cátodo hueco y se verificó la calibración del instrumento.
- Se colocó en el equipo los parámetros ópticos.

Tabla 6. Parámetros espectrofotométricos para cuantificación de plomo

Longitud de onda	283,3 nm
Ancho de ranura	0,7 nm
Lámpara	lámpara de cátodo hueco con corrección de fondo de lámpara de deuterio
Corriente de lámpara (mA)	10 mA
Tubo de grafito	Tubo de grafito de alta densidad

- Se programa al equipo ciclos de calentamiento para secar la muestra, volatilizar el analito y atomizarlo; para ello se sigue el siguiente programa:

Tabla 7. Programa de horno de grafito para cuantificar plomo

Paso	Temperatura (°C)	Tiempo de Rampa (sec)	Calor	Flujo de gas (L/min)	Gas
Secado inicial	120	20	rampa	0,1	argón
Descomposición de matriz	300	10	rampa	0,1	argón
Atomización de plomo	700	10	rampa	1	argón
Atomización de plomo	700	10	escalón	1	argón
Atomización de plomo	700	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	2200	3	escalón	0	argón
Mantenimiento de la atomización completa	2500	2	escalón	1	argón

- El equipo preparó una serie de estándares mediante diluciones seriadas a partir de la solución madre 100 µg/L para construir la curva de calibración, incorporando nitrato de paladio en concentración de 1000 ppm como modificador de matriz.
- Cada muestra fue transferida a viales 2 mL, inyectando 20 µL de la muestra y 5 µL de modificador de matriz para medir la absorbancia por triplicado

3.8. Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron procesados utilizando la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; mientras que el análisis de las medias se hizo mediante la prueba de varianza (ANOVA) y Kruskal-Wallis con una significancia al 95 % de confianza ($p < 0,05$). Se empleó herramientas informáticas como SPSS Statistics versión 24, Microsoft Excel 2019 y Graphad prism; los resultados fueron representados en cuadros y gráficos.

3.9. Consideraciones éticas

No aplica.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

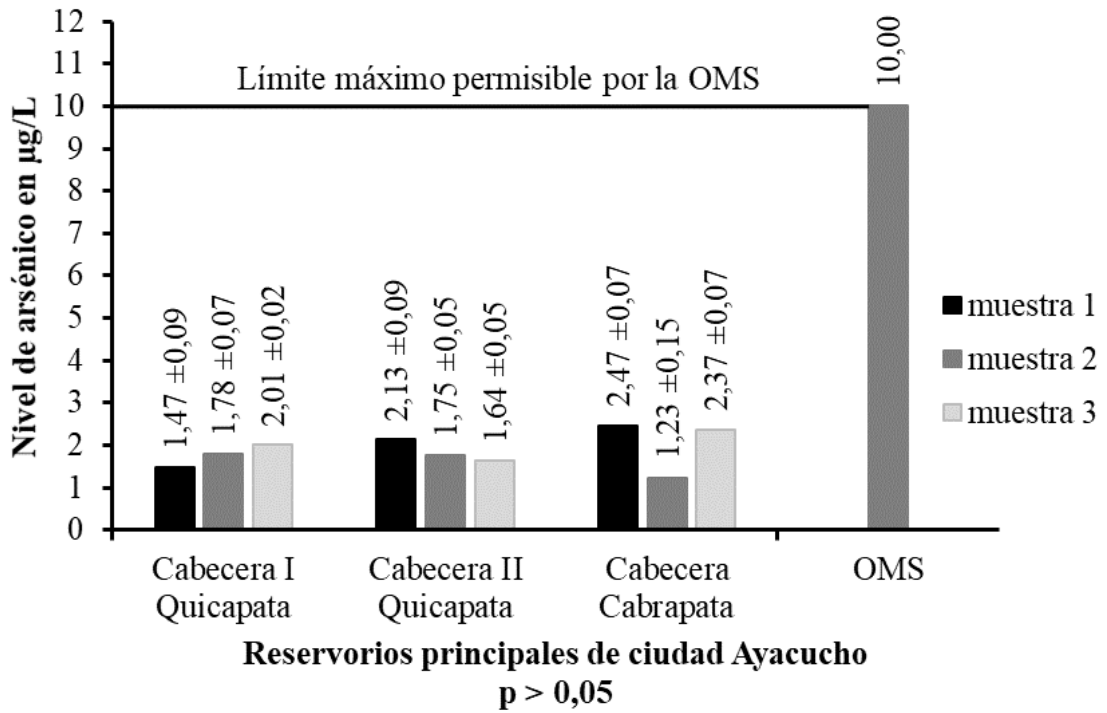


Figura 4. Niveles de arsénico en los reservorios de ciudad Ayacucho, 2025.

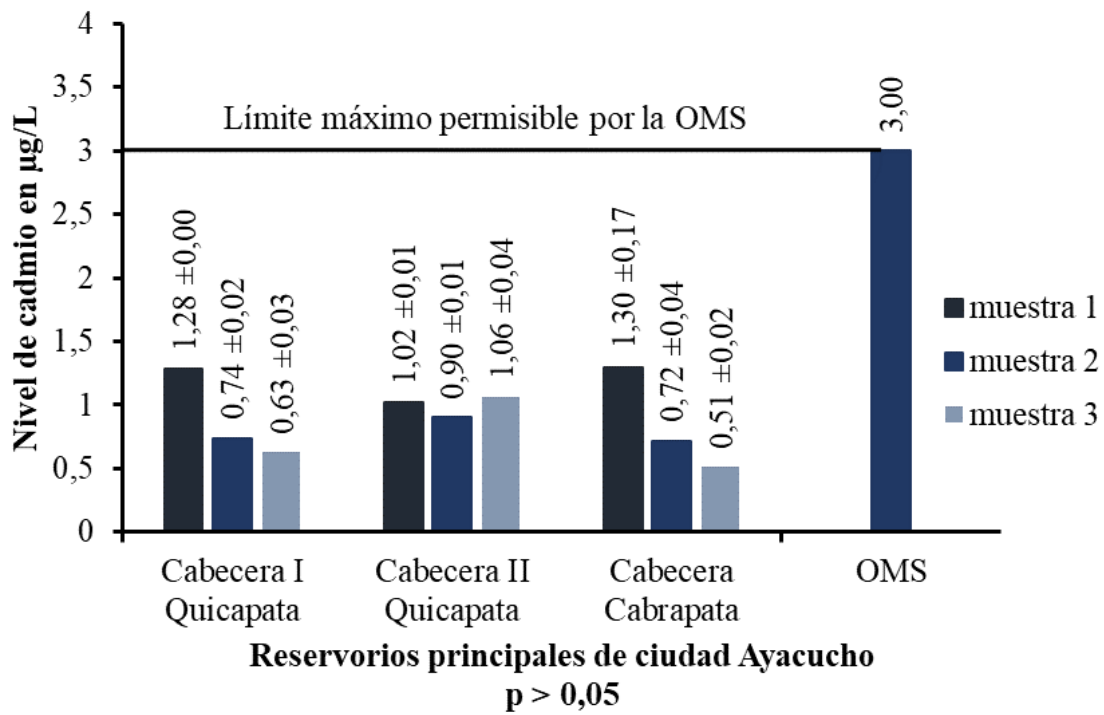


Figura 5. Niveles de cadmio en los reservorios de la ciudad Ayacucho, 2025.

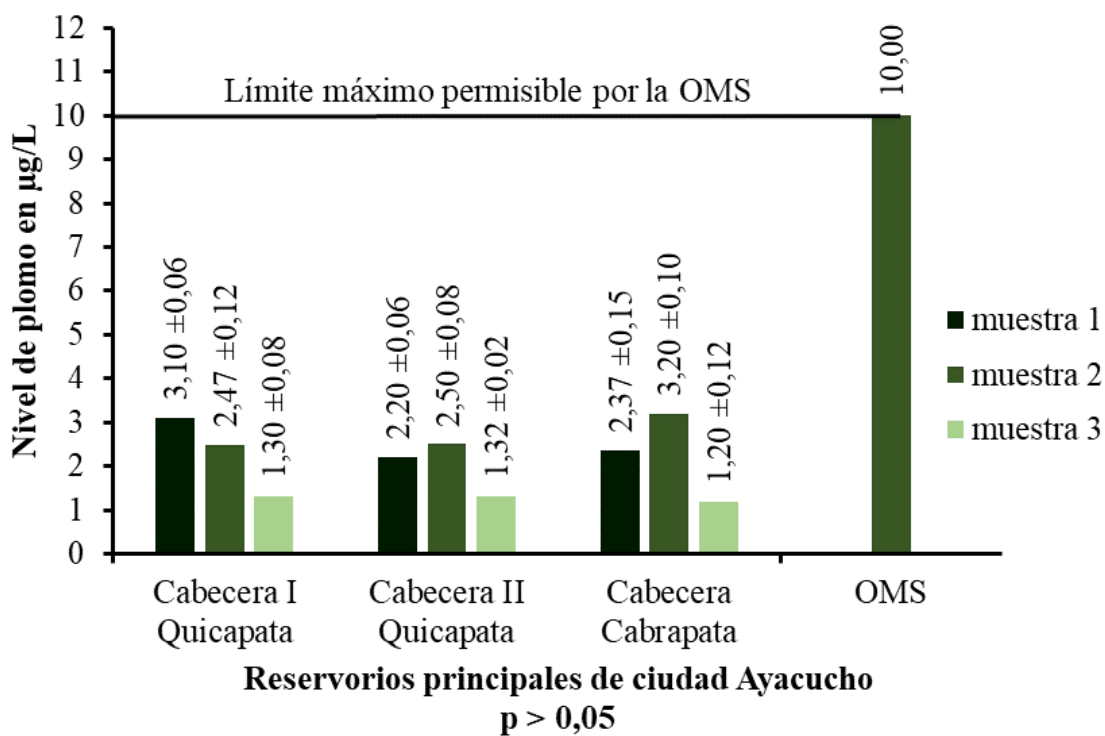


Figura 6. Niveles de plomo en los reservorios clave de ciudad Ayacucho, 2025.

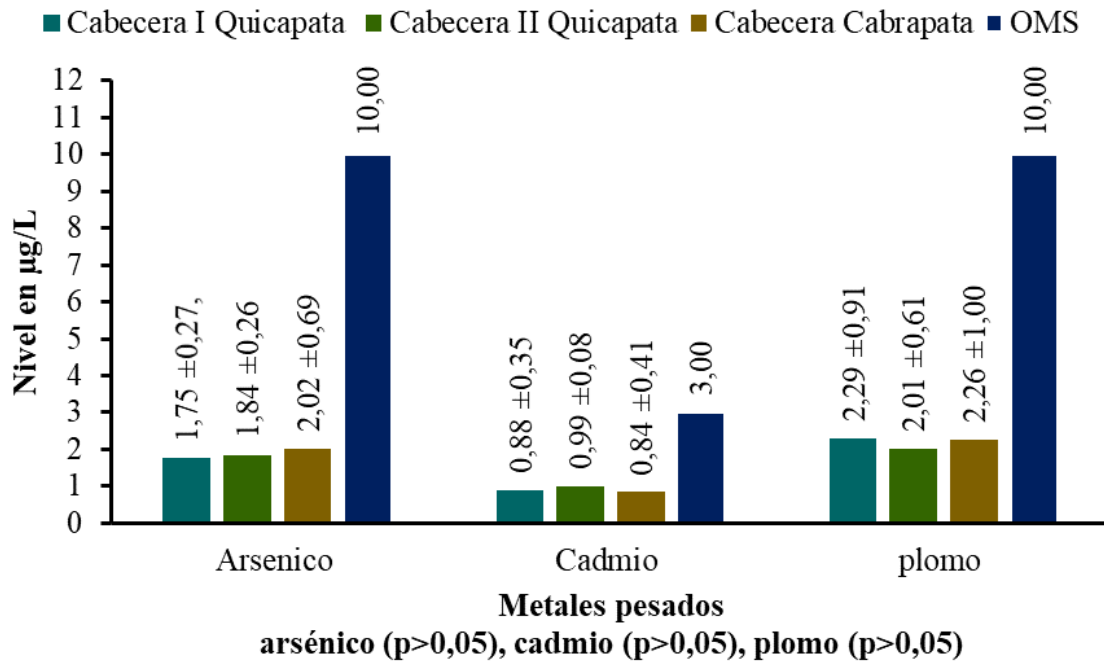


Figura 7. Niveles promedio de arsénico, cadmio y plomo en los reservorios Cabecera I y Cabecera II de Quicapata, y reservorio cabecero de Cabrapata.

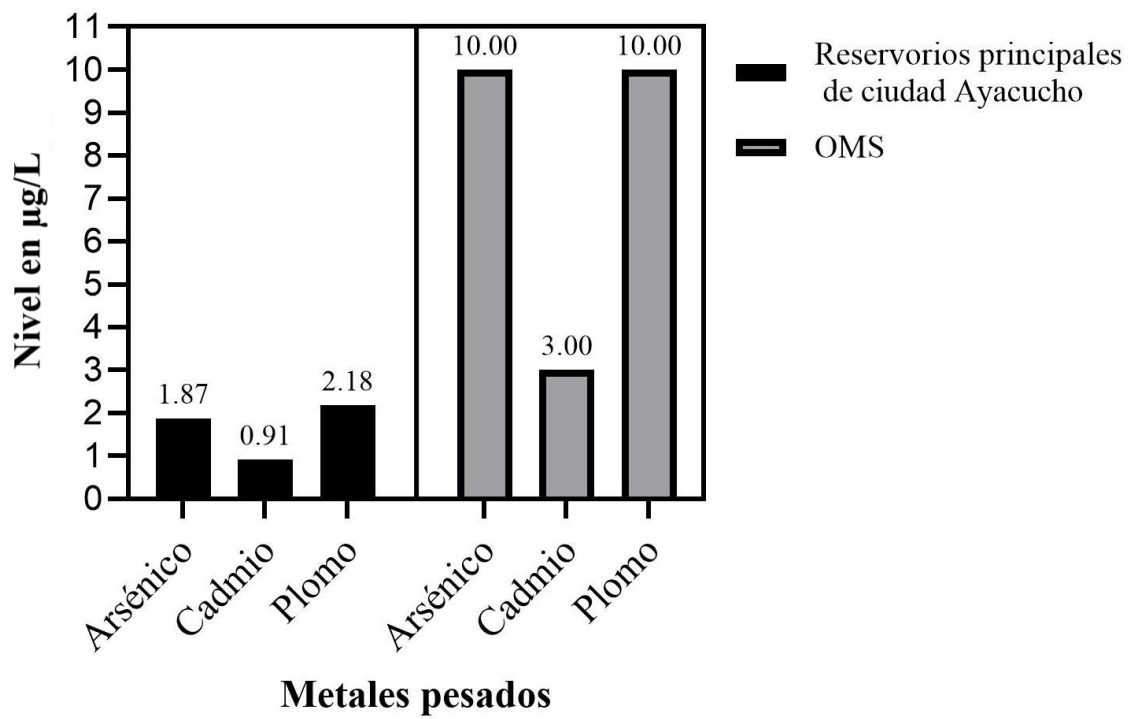


Figura 8. Niveles promedio de arsénico, cadmio y plomo en principales reservorios de la ciudad de Ayacucho, 2025.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La contaminación acuática por metales tóxicos como arsénico, cadmio y plomo están representando una amenaza significativa a la salud humana, dichos metales son considerados tóxicos incluso a bajas concentraciones por su capacidad de acumularse teniendo consecuencias a largo plazo como enfermedades crónicas, cáncer y trastornos neurológicos.² Cabe señalar que el acceso a agua apta consumo humano es un derecho que es reconocido a nivel mundial por parte de la ONU¹ y OMS⁵⁷, donde se manifiesta y se hace énfasis en su calidad; en el entorno peruano esta la ley N° 30588 donde estipula que el acceso al agua potable es de manera gradual y sin exclusiones siendo el principal objetivo lo humanos.⁵⁸ y la ley N° 29338 la cual promueve la protección de calidad de agua buscando el equilibrio de aspectos económicos, sociales y ambientales.⁵⁹ La importancia de una agua de calidad es impredecible sin embargo, no hay estudios acerca de los niveles exactos de metales pesados en el agua potable de la ciudad de Ayacucho; he ahí la importancia de esta investigación.

Teniendo como base a los antecedentes citados, se realizó el presente trabajo de investigación cuyo objetivo fue determinar los niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025; se han hecho ya varios estudios de control de calidad de agua en diversas regiones del Perú como la ciudad de Junín.¹⁸ ciudad de Tingo María²⁰ y entre otros empleando la técnica de espectroscopia de absorción atómica; asimismo estos estudios son planteados a nivel internacional en países como Etiopía¹² Ecuador¹⁴ y Grecia¹⁶ incluyendo tecnologías modernas como la espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente. A nivel local los estudios de calidad de agua de consumo humano son escasos ya que la mayoría confía en que el agua que se consume está libre de metales pesados debido a que hay muy poca actividad minera e industrial, sin embargo en Ayacucho la actividad agrícola con usos de productos químicos ha incrementado drásticamente, estos productos químicos al entran en contacto directo con los suelos mediante las lluvias son transportados a los ríos, quienes finalmente son usados y tratados para consumo humano.^{4,60} Se evidenciaron estudios en el distrito de Chipao en

la provincia de Lucanas en Ayacucho donde entre los diversos metales analizados como plomo, cadmio, cromo y otros se evidenciaron por debajo de los límites máximos permisibles por el estándar de calidad ambiental (ECA).²⁴

Los metales pesados son altamente perjudiciales para la salud, el arsénico ocasiona los tipos de cáncer que afectan la piel, pulmón, vejiga, riñón estipulado por la agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC) considerado en el grupo 1 (carcinógeno confirmado)⁴, además el consumo de agua con concentraciones elevadas de arsénico (300,0 mg/L) se ha vinculado estadísticamente con casos de hepatitis crónica.³⁰ mientras que el cadmio también es considerado por el IARC como carcinógeno pulmonar perteneciente al grupo 1, además de ser inductor de cánceres de próstata y riñón³¹⁻³³, asimismo ocasiona irritación severa del estómago y afecta los riñones e hígado^{5,6}, del mismo modo desencadena la enfermedad de Itai-itai, caracterizada por alteraciones óseas que incluyen osteoporosis; respecto al plomo este metal pesado ocasiona daño neurológico causando encefalopatía que conlleva deficiencias cognitivas y en las capacidades de lectoescritura y conductas sociocomunicativas.³⁵ y a nivel renal ocasiona nefropatía crónica e insuficiencia renal, disminuye la producción del grupo hemo conllevado a anemia.^{7,8} Debido a las consecuencias graves de estos metales en la salud humana se estipuló a nivel nacional valores máximos por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) a través de la NTP 214.003⁴⁰, donde los valores máximos de arsénico, cadmio y plomo son 500 µg/L, 5 µg/L y 50 µg/L respectivamente. Mientras que la Organización mundial de la salud (OMS) establece niveles máximos permitidos de estos metales: 10 µg/L para arsénico, 3 µg/L para cadmio y 10 µg/L para plomo.²

Dando cumplimiento al objetivo planteado se cuantificó arsénico, cadmio y plomo en agua potable tomadas de los principales reservorios de la ciudad de Ayacucho, señalando dentro de ellos a los reservorios cabecera I y cabecera II de Quicapata y reservorio cabecera de Cabrapata; en cuanto al nivel de arsénico el reservorio de Cabrapata tuvo el nivel más alto con 2,02 µg/L mientras que los reservorios de cabecera I y cabecera II de Quicapata tuvieron 1,75 µg/L y 1,84 µg/L respectivamente; en cuanto al cadmio el reservorio cabecera II- Quicapata tuvo mayor concentración con 0,99 µg/L, reservorio cabecera I de Quicapata 0,88 µg/L y cabecera Cabrapata 0,84 µg/L; con respecto al plomo la cabecera I-Cabrapata tuvo mayor concentración con 2,29 µg/L, seguido por cabecera-Cabrapata 2,26 µg/L y cabecera II- Quicapata con 2,01 µg/L; evidenciándose que los niveles señalados de los metales pesados en estudio no superan

los niveles estipulados a nivel nacional por el INACAL⁴⁰ y tampoco supera los estándares internacionales de la OMS² por lo cual el agua potable de la ciudad de Ayacucho es óptimo para que el humano pueda beberlo; sin embargo la existencia de arsénico, cadmio y plomo es inminente, estudios recientes han demostrado que no existe un nivel seguro de exposición al plomo en niños, ya que incluso a bajas concentraciones puede causar daños irreversibles.^{7,8} Asimismo, cabe mencionar que estos metales tienen la capacidad de acumularse incluso a concentraciones bajas por lo que la exposición crónica puede traer efectos adversos perjudiciales y en especial a poblaciones vulnerables como niños y mujeres embarazadas.^{30,31,37} Los niveles estipulados por la OMS busca básicamente reducir el riesgo, mas no garantiza la ausencia total de daño⁵⁷, es así que de acuerdo al sistema informático del estado nutricional SIEN-HISMINS, Ayacucho es una región con prevalencia de anemia en niños menores de 03 a 05 años.⁹ Además la DIRESA¹⁰ de Ayacucho reportó en el mes de diciembre del 2024, 20 casos de tumor maligno de la piel sitio no especificado, 7 casos de enfermedad renal crónica no especificada y 13 casos de anemia de tipo no especificado en el Hospital regional de Ayacucho Miguel Angel Mariscal Llerena.¹⁰

En cuanto al análisis estadístico con la prueba ANOVA, en el arsénico y cadmio no se evidenciaron diferencias significativas entre las medias de los tres reservorios en análisis, y en lo respecta al plomo la prueba de Kruskal-Wallis tampoco reportó diferencias significativas; por lo cual se puede mencionar que la concentración de arsénico en los reservorios principales es de 1,87 µg/L de arsénico, 0,91 µg/L de cadmio y 2,18 µg/L de plomo, evidenciando que los valores están por debajo de los límites máximos permisibles estipulado por el INACAL en la NTP 214.003⁴⁰ y OMS⁴¹.

La OMS estima que el consumo prolongado de agua con arsénico con > 50 µg/L^{28,61} aumenta el riesgo para la salud, asumiendo el consumo diario de 2 L (recomendado por la OMS) siendo la concentración de 1,87 µg/L de arsénico en agua potable de ciudad Ayacucho, la ingesta diaria sería de 3,74 µg/día y la OMS considera < 0,3 µg/kg de peso/día⁶² un límite seguro (21 µg/día para 70 kg), con el consumo diario obtenido de arsénico 3,74 µg/día el valor esta debajo del umbral, el consumo por 51 años recién puede alcanzar la dosis acumulada asociada a cáncer (1000 µg/kg).^{28,61}; respecto al cadmio teniendo un consumo diario de 2 L siendo el nivel de 0,91 µg/L en agua potable de ciudad Ayacucho, la ingesta diaria es de 1,82 µg/día y la EFSA (Autoridad europea de seguridad alimentaria)⁶³ considera una ingesta semanal tolerable de 2,5 µg/kg de peso un límite seguro⁶³ (175 µg/semanal para 70 kg), hallando el consumo anual es 664

$\mu\text{g/año}$, y para daño renal crítica se necesitan entre 5000 – 10000 μg acumulados, por lo cual entre 7 a 15 años se puede llegar a los niveles de riesgo.⁶³ Mientras que en cuanto al plomo no existe un nivel seguro tanto para la OMS, EPA y la EFSA; incluso el EPA⁶⁴ señala que el objetivo máximo de plomo en agua es 0 $\mu\text{g/L}$ debido a ser un metal sin umbral seguro ya que incluso a niveles bajos pueden causar daños acumulativos en niños y embarazadas; el nivel de plomo 2,18 $\mu\text{g/L}$ en agua potable de ciudad Ayacucho con consumo diario de 2 L y asumiendo el peso de un niño de 18 kg evidencia un valor de 0,24 $\mu\text{g/kg}$ por día de plomo; por lo que la exposición prolongada puede causar efecto crónico en 1 a 2 años en infantes conllevando a la reducción de coeficiente intelectual, anemia y problemas de aprendizaje.^{7,64}

La concentración baja de metales pesados puede atribuirse a ausencia de fuentes industriales y minerías que puedan contaminar de manera drástica el agua de consumo humano; sin embargo es importante resaltar la efectividad de los procesos de acondicionado hídrico implementados en ciudad Ayacucho por la entidad de SEDAPAL en la cual incluyen cámaras de mezclas rápidas, floculados, decantadores tubulares, sedimentadores, filtros rápidos, dosificación con sulfato de aluminio y/o policloruro de aluminio, y sala de cloración.⁴⁴ En comparación, los hallazgos obtenidos en este estudio es concordante con el estudio de Cusicheérez et al.¹⁸ quien en el año 2021 investigó el agua de consumo humano en la ciudad de Junín donde encontró concentraciones entre 0,001 $\mu\text{g/L}$ a 0,002 $\mu\text{g/L}$ y del Cd entre 0,001 $\mu\text{g/L}$ a 0,003 $\mu\text{g/L}$ concluyendo que el agua es seguro para consumo humano ya que no sobrepasan los niveles estipulados por la OMS¹⁴ mientras que en la región de Huánuco en la ciudad de Tingo María, Macha²⁰ en el 2019 evidenció contaminación del agua del pozo Castilla Granda por cadmio ya que el nivel encontrando fue 6 $\mu\text{g/L}$, superando el valor estipulada por la OMS de 5 $\mu\text{g/L}$. A nivel local Bellido²⁴ en el año 2021 investigó los niveles de metales pesados en el agua de consumo humano en el distrito de Chipao-Ayacucho, evidenciándose que los metales como plomo fue <0,0006 ppm y cadmio 0,0003 ppm, ambos metales se encontraron por debajo de los niveles estipulados por el estándar de calidad ambiental (ECA).²⁴ La diferencia en los niveles de metales pesados podría explicarse por las características geológicas y ambientales de cada región, además que las actividades antropogénicas que contribuyen a la contaminación de manera drástica; entre ellos encabezan las actividades agrícolas, mineras, explotación forestal.⁶⁵

Ayacucho es una ciudad que tiene actividad agrícola elevada ya que esta es la principal subsistencia con cultivos como la papa, maíz, la quinua y otros tubérculos andinos como mashua, oca y olluco. En los últimos años se incrementó el uso de fertilizantes y pesticidas en este sector haciendo que los suelos se enriquezcan con arsénico, cadmio, plomo, mercurio.²⁵ Loyde L, *et al.*⁶⁶ en su estudio ha destacado que los fertilizantes fosfatos, pesticidas y los Iodos residuales son las principales fuentes de metales pesados en el suelo que con la ayuda de las lluvias llegan a las fuentes acuíferas.⁶⁶ En la zona de la sierra del Perú ha incrementado justamente el uso de productos químicos especialmente en la producción intensiva de papa en Ayacucho.⁶⁷ De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (ANA)⁶⁸ las fuentes de contaminación para la presa de Cuchoquesera (principal fuente de abastecimiento de agua) son los vertimientos de aguas residuales, las fuentes agrícolas y los residuos sólidos los cuales son depositados en las ribereñas de los ríos.⁶⁸ Sin embargo el gobierno regional ha implementado un plan de gestión ambiental para la presa Cuchoquesera donde básicamente señala el tratamiento de aguas residuales, educación ambiental y monitoreo de la calidad de agua por la ANA.⁵⁰ Aunque los resultados obtenidos son alentadores ya indican que el agua potable consumida por los Ayacuchanos no representa un riesgo significativo para la salud en relación a la exposición de arsénico, cadmio y plomo, es fundamental que se mantenga un sistema de monitoreo constante para poder detectar posibles cambios en la calidad del agua, especialmente cuando se está en un contexto de crecimiento urbano y cambios climáticos. Por lo cual es importante seguir profundizando este tema realizando estudios a largo plazo incluyendo la recolección de muestras en diferentes épocas del año; además de evaluar otros contaminantes en el agua. Estos resultados impulsan y refuerzan la necesidad de implementar políticas de gestión ambiental que aseguren la protección de los recursos hídricos y la salud de la población a largo plazo. Es por ello que una alternativa sostenible ambientalmente para salvaguardar el agua destinada a consumo humano de la contaminación por metales pesados es la biorremediación donde se permite mitigar la presencia de metales pesados. Estudios recientes demostraron que microorganismos como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus almeriensis* son capaces de absorber metales pesados como arsénico, cadmio y plomo en aguas contaminadas logrando eficiencias de remoción de 70-90%, como se observó en investigaciones realizadas en el río Loa en Chile donde estas microalgas redujeron significativamente el As (redujo de 2,2 a 0,0 mg/g con *C. vulgaris* y 2,3 a 1,7 mg/g *S. almeriensis*).⁶⁹ A nivel local se evaluó la eficiencia de *Medicago sativa* (Alfalfa) como

bioabsorbente para la eliminación de metales pesados presentes en biosólidos generados por la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “La totora” donde se mostró resultados relevantes mostrando que la planta logró remover un 76% de cadmio y un 71% de plomo.²⁷; estos métodos no solo son económicos y escalables, sino que también aprovechan procesos naturales, minimizando el uso de químicos y energía; aunque se debe minimizar las practicas antropogenéticas que contaminan el agua.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

1. Los niveles de arsénico, cadmio y plomo en el agua potable de los reservorios principales de ciudad Ayacucho fueron $1,87 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$; $0,91 \pm 0,04 \mu\text{g/L}$ y $2,18 \pm 0,09 \mu\text{g/L}$ respectivamente.
2. La concentración promedio de arsénico en agua potable fueron $1,75 \pm 0,27 \mu\text{g/L}$; $1,84 \pm 0,26 \mu\text{g/L}$ y $2,02 \pm 0,69 \mu\text{g/L}$ en los reservorios cabecera I y II de Quicapata y reservorio cabecero de Cabrapata respectivamente.
3. La concentración promedio de cadmio en agua potable fueron $0,88 \pm 0,35 \mu\text{g/L}$; $0,99 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$ y $0,84 \pm 0,41 \mu\text{g/L}$ en los reservorios cabecera I y II de Quicapata y reservorio cabecero de Cabrapata respectivamente.
4. La concentración promedio de plomo en agua potable fueron $2,29 \pm 0,91 \mu\text{g/L}$; $2,01 \pm 0,61 \mu\text{g/L}$ y $2,26 \pm 1,00 \mu\text{g/L}$ en los reservorios cabecera I y II de Quicapata y reservorio cabecera de Cabrapata respectivamente.
5. Los niveles promedio obtenido de arsénico, cadmio y plomo encontrados en los reservorios cabecera I y II de Quicapata y reservorio cabecera de Cabrapata se encuentran por debajo de los límites permitidos por el estándar nacional estipulado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) y la organización mundial de la salud (OMS).

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

- Realizar un monitoreo continuo y sistemático en el cual se incluyan estudios a largo plazo donde la recolección de muestras de agua sea en diferentes épocas del año.
- Identificar puntos críticos de muestreo no solo en los reservorios sino también en plantas de tratamiento y redes de distribución.
- Incluir en el análisis una mayor cantidad de contaminantes que sean examinados con equipos sofisticados que estén a la vanguardia de la tecnología.
- Fomentar la realización de estudios complementarios que busquen evaluar el impacto de los metales pesados en la salud de la población vulnerable como niños, mujeres embarazadas y adultos mayores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Naciones Unidas. El derecho humano al agua y el saneamiento en la implementación de la Agenda 2030. Nueva York: Asamblea General; 2020.
2. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum [Internet]. 4th ed., 1st add. Geneva: World Health Organization; 2017 [citado 22 de febrero de 2025]. 541 p. Disponible en: <https://iris.who.int/handle/10665/254637>
3. Ministerio de ambiente P. Calidad del agua en el Perú retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales [Internet]. 1ra ed. Perú: Derecho Ambiente y Recursos Naturales; 2017. 136 p. Disponible en: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/4.4_libro_aguas-residuales-tratadas-peru.pdf
4. Londoño-Franco LF, Londoño-Muñoz PT, Muñoz-García FG. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. diciembre de 2016;14(2):145-53.
5. Octavio P, Olmos DA. Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. Herreriana. 5 de julio de 2022;4(1):43-7.
6. Rodríguez D. Intoxicación ocupacional por metales pesados. MEDISAN. diciembre de 2017;21(12):3372-85.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Lead [Internet]. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2020 [citado 22 de febrero de 2025]. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Toxicological Profiles). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK589538/>
8. WHO. Guideline for the Clinical Management of Exposure to Lead. 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2021. 1 p.
9. Instituto Nacional de Salud. tablero de indicadores de anemia [Internet]. 2024 [citado 23 de agosto de 2024]. Disponible en: https://public.tableau.com/views/Tablero_SIEN_Anemia_17055158650510/SIEN_Anemia?:embed=y&:showVizHome=no&:host_url=https%3A%2F%2Fpublic.tableau.com%2F&:embed_code_version=3&:tabs=no&:toolbar=yes&:animate_transition=yes&:display_static_image=no&:display_spinner=no&:display_overlay=yes&:display_count=yes&:language=es-ES&publish=yes&:loadOrderID=0

10. DIRESA de Ayacucho. Estadística SIRIS [Internet]. DIRESA. 2024 [citado 28 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://sirisayacucho.pe/estadistica-siris/>
11. United States Pharmacopeial Convention. USP 41. Estados Unidos: Farmacopea de la Estados Unidos de América; 2017.
12. Bafe Dilebo W, Desta Anchiso M, Tereke kidane T, Eskezia Ayalew M. Assessment of Selected Heavy Metals Concentration Level of Drinking Water in Gazer Town and Selected Kebele, South Ari District, Southern Ethiopia. *Int J Anal Chem.* 3 de mayo de 2023;2023:1524850.
13. Chukwuemeka S, Obinna V, Chizoruo F, Li G, Chinweuba A, Ebere Enyoh CC. Determination of pollutions in the surface of water samples from Ogbajarajara river, Nigeria by spectrophotometer and atomic absorption spectrometry before evaluation of health risk assessment. *Anal Method Environ Chem J.* 1 de marzo de 2022;5(1):5-21.
14. Bravo ZV, García WY. Determinación de la concentración de cadmio mediante espectrofotometría de absorción atómica en Agua Potable de la Provincia El Oro, 2020 [Internet] [bachelorThesis]. Machala : Universidad Técnica de Machala; 2020 [citado 24 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15703>
15. Elhamili A, Abokhshim A, Elaroud K, Elbaruni S. Determination of Heavy Metals in Tap and Underground Water Using Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of Chemical and pharmaceutical research.* 2016;8(10):108-11.
16. Bolaños J. Determinación de arsénico en agua potable del cantón del Grecia. ISUCR [Internet]. 7 de julio de 2016 [citado 23 de febrero de 2025];17(35). Disponible en: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/25561>
17. Vidarte R. Determinación y Cuantificación de Metales Pesados (As, Cd, Hg, Pb) en la Cuenca Media del Rio Chancay – Lambayeque _ 2022. 2023 [citado 24 de agosto de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11152>
18. Cusicheérez L, Espinoza C, Espinoza G. Determinación de metales pesados en agua para consumo humano de la ciudad de Junín. *Prospectiva Universitaria.* 31 de diciembre de 2021;18(1):53-8.
19. Belizario G, Capacoila J, Huaquisto E, Cornejo DA, Chui HN. Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas

- superficiales del Río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*. diciembre de 2019;36(5):223-8.
20. Macha E. Determinación de cadmio, arsénico y plomo por espectrofotometría de absorción atómica en aguas de pozo de Castillo Grande - Tingo María, julio - setiembre 2019 [Internet]. UNMSM; 2019 [citado 24 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/d41bdb51-0dc1-40eb-9b51-c59b51136e3e>
 21. Raraz E. Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco [Internet]. [Lima]: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2015. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/ff27fbd7-1c85-4b12-9234-4be5e5c1778d>
 22. Cossio L. Contaminación de plomo y cadmio del Rio Apurimac- VRAE [Internet]. [Ayacucho]: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga; 2015 [citado 24 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4395cc88-2c8c-409b-be86-a0f863bd9a28/content>
 23. Zuñiga R. Evaluación del contenido de plomo, cromo y cadmio en suelos y hortalizas regados con efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales - La Totorá, Ayacucho. 2019 [citado 24 de febrero de 2025]; Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5890>
 24. Bellido C. Niveles de metales pesados en el agua de consumo humano y su efecto de pobladores en el distrito de Chipao Ayacucho [Internet]. [Ica]: Universidad Nacional San Luis Gonzaga; 2021. Disponible en: <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f3541e07-f5a0-453c-a301-17db106e7355/content>
 25. Quispe U, Quispe J, Casas R, Huamani I, Benavides R. Concentración de metales pesados en cultivos de *Persea americana*, Luricocha, Huanta. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*. agosto de 2023;7(20):376-86.
 26. Córdova A. Efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales totora y la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018 [Internet]. [Lima]: Universidad Nacional Federico Villarreal; 2019. Disponible en:

<https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3618/C%C3%93RDOVA%20MIRANDA%20%20ALCIRA%20IRENE%20-%20DOCTORADO.pdf?sequence=1>

27. Huallpa H. Remoción de metales pesados de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” Ayacucho, utilizando la alfalfa (*medicago sativa*). *Revista de Investigación Científica de la UNF – Aypate*. 2024;3(4):62-80.
28. Kuivenhoven M, Mason K. Arsenic Toxicity. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citado 27 de septiembre de 2024]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541125/>
29. Medina-Pizzali M, Robles P, Mendoza M, Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. marzo de 2018;35:93-102.
30. Rodríguez Padilla C. Intoxicación por arsénico. *Medicina Legal de Costa Rica*. diciembre de 2021;38(2):4-16.
31. Rafati Rahimzadeh M, Rafati Rahimzadeh M, Kazemi S, Moghadamnia A akbar. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian J Intern Med*. 2017;8(3):135-45.
32. Khan Z, Elahi A, Bukhari DA, Rehman A. Cadmium sources, toxicity, resistance and removal by microorganisms-A potential strategy for cadmium eradication. *Journal of Saudi Chemical Society*. 1 de noviembre de 2022;26(6):101569.
33. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. The Effects of Cadmium Toxicity. *Int J Environ Res Public Health*. junio de 2020;17(11):3782.
34. Rodríguez A, Cuéllar L, Maldonado G, Suardíaz M. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Rev Cubana Invest Bioméd*. 20 de febrero de 2017;35(3):251-71.
35. OMS. Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo. En: Organización Mundial de la Salud. World Health Organization; 2022 [citado 17 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK581819/>
36. Avalos-Ramírez YJ. Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*. 14 de agosto de 2023;10(2):59-68.

37. Halmo L, Nappe TM. Lead Toxicity. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citado 31 de agosto de 2024]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK541097/>
38. Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary Toxicology*. junio de 2015;8(2):55.
39. Azcona M, Ramirez R, Vicente G. Efectos tóxicos del plomo [Internet]. *Rev Esp Méd Quir*; 2015. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2015/rmq1511.pdf>
40. INACAL. Calidad de agua [Internet]. Norma técnica peruana 214.003; 2021 [citado 24 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/717978153/32981-NTP-214-003-revisada-el-2021-CALIDAD-AGUA-POTABLE-2>
41. Organization WH. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. World Health Organization; 2022. 614 p.
42. Agilent Technologies. Fundamentos de Espectroscopia Atómica: Academic & institutional research; 2016.
43. J I, Vernilli F, S P, Baccan N, F S. Tratamentos para obtenção de TaC em superfície de grafite. Parte I: Imersão em solução aquosa de TaF72-. *Cerâmica*. 1 de septiembre de 2001;47.
44. SEDA Ayacucho. Memoria descriptiva de la infraestructura sanitaria de la localidad de Ayacucho al 31-12-2018 [Internet]. Departamento de producción de agua potable; 2018. Disponible en: <https://www.sedaayacucho.pe/archivos/554-la-memoria-descriptiva-de-la-infraestructura-localidad-de-huamanga.pdf>
45. SEDA Ayacucho. sistema de captación, tratamiento y distribución de agua potable en Huamanga [Internet]. 2022. Disponible en: https://www.facebook.com/sedaayacucho/photos/a.888014121335871/2589584451178821/?type=3&locale=hi_IN
46. SEDA Ayacucho. Memoria anual [Internet]. SEDA; 2017. Disponible en: <https://www.sedaayacucho.pe/archivos/79-45-memoria-anual-2017-proyecto.pdf>
47. Covarrubias SA, Cabriales JJP. Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 5 de abril de 2017;33:7-21.

48. Caviedes Rubio DI, Muñoz Calderón RA, Perdomo Gualtero A, Rodríguez Acosta D, Sandoval J. Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales: una revisión. *Ingeniería y Región*. 2015;(13):73-90.
49. Pabón SE, Benítez R, Sarria RA, Gallo JA, Pabón SE, Benítez R, et al. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*. junio de 2020;14(27):9-18.
50. Gobierno regional de Ayacucho. Plan de gestión ambiental para la presa Cuchoquesera. 2021.
51. Hama K, Mustafa F, Omer K, Hama S, Fayaq R, Othman K. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. *RSC Adv*. 2023;13(26):17595-610.
52. Singh V, Ahmed G, Vedika S, Kumar P, Chaturvedi S, Nand S, et al. Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. *Sci Rep*. 31 de marzo de 2024;14(1):7595.
53. Méndez P, Flores A, Melendres E, Tierra L. Procesos de eliminación de metales pesados [Internet]. Puerto Madero Editorial Académica. La Plata: Puerto Madero Editorial Académica; 2024 [citado 9 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/pmea/catalog/book/88>
54. Sampieri RH. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana; 2018. 753 p.
55. Environmental protection agency. Quick Guide To Drinking Water Sample Collection [Internet]. EPA; 2016. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/drinking_water_sample_collection.pdf
56. Eaton A, Rice E, Bridgewater L, editores. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23 ed. New York: American Public Health Association; 2017. 1 p.
57. OMS. Agua para consumo humano [Internet]. 2023 [citado 23 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
58. Poder judicial. Ley de reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua como derecho constitucional [Internet]. Estado Peruano; 2017. Disponible

en:

https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ley_n.de_g_30588.pdf

59. Ministerio de agricultura. Ley de recursos hídricos ley N° 29338 [Internet]. El Perú primero; 2019. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/228/ANA0000044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
60. Soto-Benavente M, Rodríguez-Achata L, Olivera M, Arostegui Sánchez V, Colina Nano C, Garate Quispe J, et al. Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*. enero de 2020;11(1):49-59.
61. OMS. Arsénico [Internet]. 2022 [citado 28 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
62. Medina M, Robles P, Mendoza M, Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. marzo de 2018;35:93-102.
63. EFSA. Statement on tolerable weekly intake for cadmium. *EFSA Journal*. 2011;9(2):1975.
64. US EPA. Información básica sobre el plomo en el agua potable [Internet]. 2016 [citado 22 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable>
65. Centro nacional de planteamiento estratégico. El impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente en el Perú [Internet]. gob.pe. 2023 [citado 8 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/748658-el-impacto-negativo-de-las-actividades-humanas-en-el-medio-ambiente-en-el-peru>
66. Loyde L, González B, Cruz A, Loredó R. Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos (Sonora)*. diciembre de 2022;16(33):93-8.
67. Unidad de inteligencia comercial. Análisis de mercado [Internet]. Ministerio de agricultura y riego; 2020. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1471847/An%C3%A1lisis%20de%20Mercado%20-%20Papa%202020.pdf>

68. Autoridad Nacional del Agua. Informe de calidad del agua de la presa Cuchoquesera. Gobierno regional de ayacucho; 2020.
69. Saavedra R. Biorremediación de aguas con metales pesados mediante biomasa microalgal [Internet]. [Chile]: Univerdad de Valladolid; 2019. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/42745/TESIS-1719-201005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de definición y operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Valoración	Escala de medición	Ítem del instrumento
Nivel de arsénico	concentración del metal pesado en agua potable, engloba la presencia del metal ya sea de forma natural o por actividades antropogénicas; y su medición es crucial para evaluar riesgos a la salud.	Se medirá en $\mu\text{g/L}$, en el proceso se incluye recolección de muestras, preparación mediante digestión ácida, verificación del equipo, medición de los estándares y muestras	<ul style="list-style-type: none"> • agua potable • Forma química: inorgánico como arsenito y arseniato. 	Límite máximo estipulado por el INACAL 500 $\mu\text{g/L}$ y la OMS 10 $\mu\text{g/L}$.	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de método analítico validado internacionalmente. • Verificación del equipo. 		
Nivel de cadmio			<ul style="list-style-type: none"> • agua potable • Forma química: como iones de cadmio y compuestos inorgánicos como CdCl_2, CdSO_4, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 	Límite máximo estipulado por el INACAL 5 $\mu\text{g/L}$ y la OMS 3 $\mu\text{g/L}$.	<ul style="list-style-type: none"> • Medición del blanco • Verificación de la repetibilidad. • Equipo altamente sensible con límite de detección de 0,1 $\mu\text{g/L}$ para arsénico, 0,05 $\mu\text{g/L}$ para cadmio, 0,1 $\mu\text{g/L}$ para plomo. 	Escala de razón (cuantitativa continua)	Espectrofotómetro de absorción atómica
Nivel de plomo			<ul style="list-style-type: none"> • agua potable • Forma química: como iones de plomo y compuestos inorgánicos como PbCl_2, PbSO_4, PbCO_3. 	Límite máximo estipulado por el INACAL 50 $\mu\text{g/L}$ y la OMS 10 $\mu\text{g/L}$			

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Matriz de consistencia

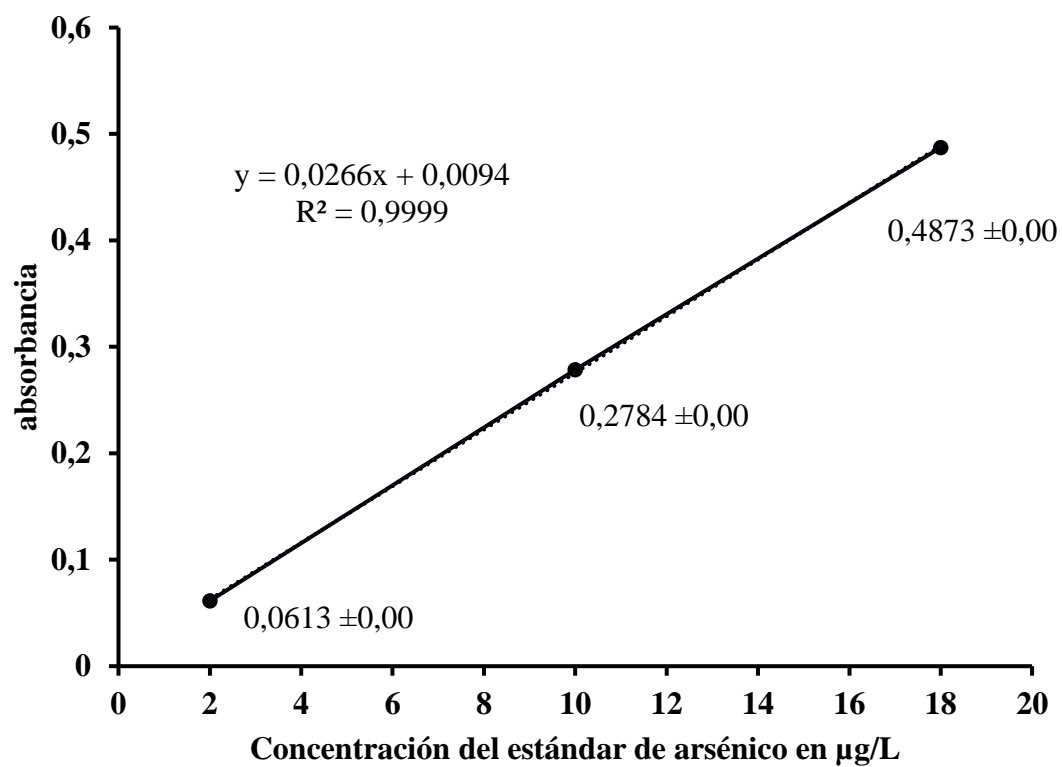
Título: Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.

Autor: Cielo Angella VEGA BELLIDO

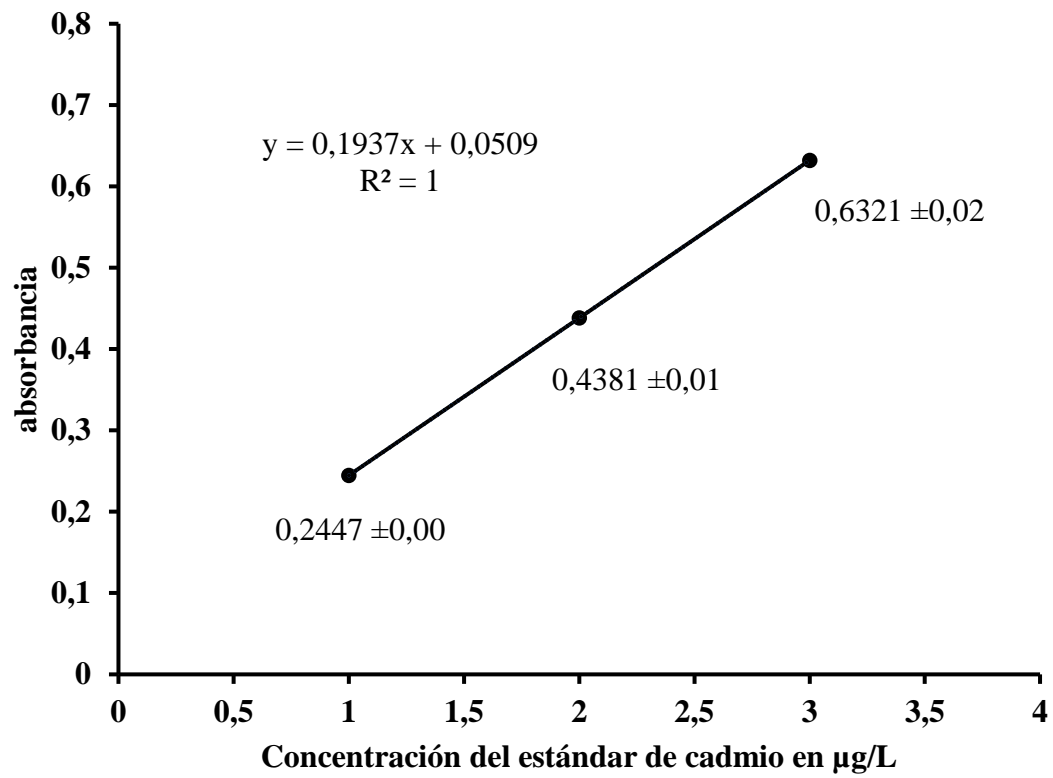
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál será el nivel de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>determinar los niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>HI: Los niveles de arsénico, cadmio y plomo están fuera de los límites máximos permisibles.</p>		<p>Alcance de la investigación</p> <p>Descriptivo</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>No experimental, transversal</p> <p>Población de estudio</p> <p>Agua potable de los reservorios principales de la ciudad de Ayacucho con un volumen total de 4800 m³.</p> <p>Muestra</p> <p>Se realizó un muestreo estratificado considerando a cada reservorio como grupos homogéneos dentro de la población total. Dentro de cada reservorio se realizó un muestreo por conveniencia recogiendo 250 mL de agua potable por triplicado de cada reservorio.</p> <p>Muestreo</p> <p>Muestreo estratificado</p> <p>Diseño metodológico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recolección y transporte de muestras. • Preparación de la muestra • Preparación de los estándares para la curva de calibración. • Determinación de la concentración de los metales pesados en estudio. <p>Análisis de datos</p> <p>Los resultados obtenidos fueron procesados utilizando el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Kruskal-Wallis con una significancia al 95 % de confianza ($p < 0,05$);</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál será la concentración de arsénico en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho? • ¿Cuál será la concentración de cadmio en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho? • ¿Cuál será la concentración de plomo en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho? • ¿Los niveles de arsénico, cadmio y plomo estarán dentro de los límites permisibles establecidos por el INACAL y Organización Mundial de la Salud (OMS)? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la concentración de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho. • Determinar la concentración de cadmio por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho. • Determinar la concentración de plomo por espectrofotometría de absorción atómica en muestras de agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho. • Comparar la concentración de arsénico, cadmio y plomo con los límites permisibles en agua potable establecidos por el INACAL y OMS. 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • H1.1: la concentración de arsénico supera límites máximos permisibles por INACAL 500 µg/L y OMS 10 µg/L. • H1.2: la concentración de cadmio supera límites máximos permisibles por INACAL 5 µg/L y OMS 3 µg/L. • H1.3: la concentración de plomo supera límites máximos permisibles por INACAL 50 µg/L y OMS 10 µg/L. • H1.4: El agua de los reservorios Cabecera I y cabecera II de Quicapata y cabecera de Cabrapata superan los límites máximos permisibles por el INACAL Y OMS. 	<p>Variable 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua potable • Concentración de metales en µg/L 	

Fuente: Elaboración propia

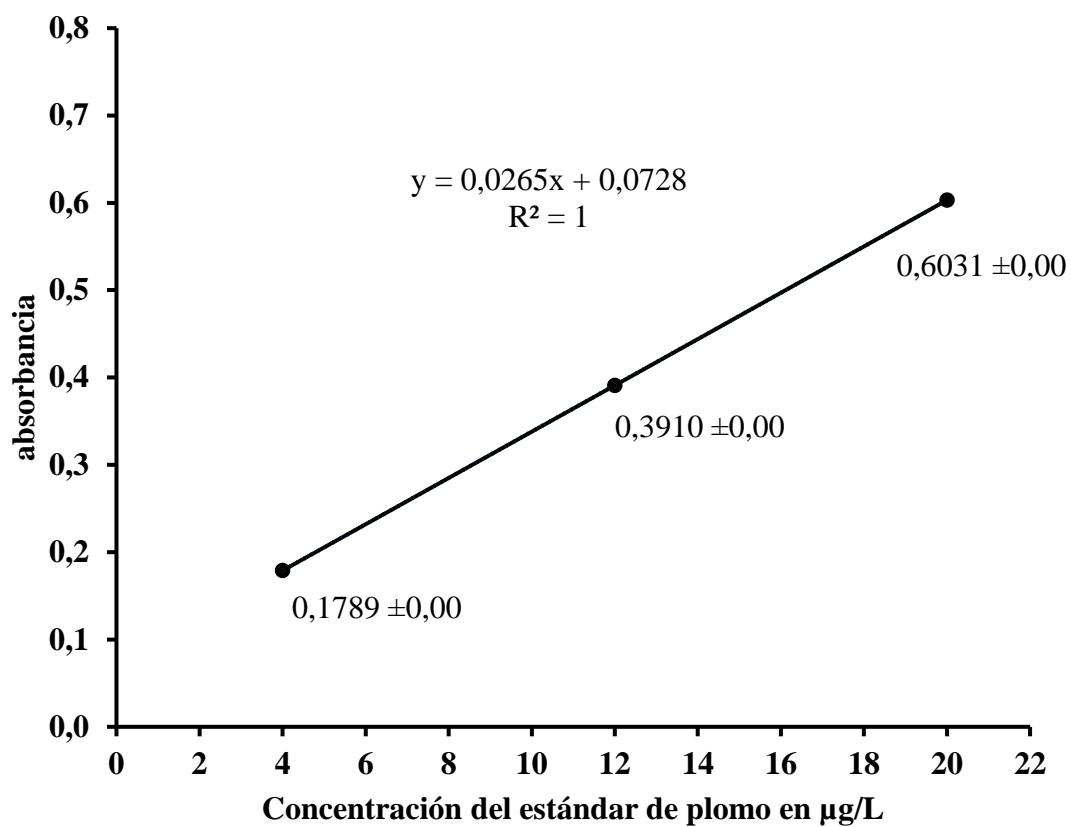
Anexo 3. Curva de calibración del arsénico para determinación de arsénico en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.



Anexo 4. Curva de calibración del cadmio para determinación de cadmio en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.



Anexo 5. Curva de calibración del plomo para determinación de plomo en muestras hídricas potable de principales reservorios de la ciudad Ayacucho en 2025.



Anexo 6. Análisis de datos de la concentración de arsénico, cadmio y plomo obtenidos mediante el método de la espectrofotometría de absorción atómica.

Estadísticos

	arsénico	cadmio	plomo
N	27	27	27
Asimetría	-0,096	0,489	-0,117
Error estándar de asimetría	0,448	0,448	0,448

Nota: los datos provienen de una distribución simétrica evidenciándose que el valor de la asimetría (skewness) es $< 0,5$.

Pruebas de normalidad

Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	p
arsénico	.978	27	.821
cadmio	.962	27	.405
plomo	.919	27	.037

Nota: mediante la prueba de shapiro-wilk los datos en arsénico y cadmio siguen una distribución normal ($p \geq 0,05$), mientras que los datos del plomo no siguen una distribución normal ($p < 0,05$).

Prueba paramétrica para arsénico y cadmio

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Concentración de arsénico (ppb)	Entre grupos	.114	2	.057	.279	.766
	Dentro de grupos	1.228	6	.205		
	Total	1.342	8			
Concentración de cadmio (ppb)	Entre grupos	.036	2	.018	.184	.837
	Dentro de grupos	.591	6	.098		
	Total	.627	8			

Nota: el valor de p es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula (los promedios son iguales)

Prueba no paramétrica para plomo

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. ^{a,b}	Decisión
1	La distribución de concentración de plomo (ppb) es la misma entre categorías de Reservorios.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.957	Conserve la hipótesis nula.

a. El nivel de significación es de .050.

b. Se muestra la significancia asintótica.

Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

N total	9
Estadístico de prueba	.089 ^a
Grado de libertad	2
Sig. asintótica (prueba bilateral)	.957

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Anexo 7. Verificación del espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito marca SHIMADZU modelo AA-7000.

Criterio:

Tolerancia de Absorbancia: Mayor o igual a 0.1500 Abs Tolerancia de Repetibilidad: 2.50%

Resultado:

Sample:	Mn	1.0ppb
Absorbance(Furnace)	(Tolerance::0.1500Abs <=)	
Measured Value:	5times Meas. AVE:	1.4806Abs
Result:	Passed	

Anexo 8. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera I-Quicapata (muestra 01).



INFORME DE ENSAYO N° 010-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	010
Denominación de la muestra	AGUA 1
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
010-01	ARSÉNICO	01	1.47	µg/L
010-01	CADMIO	01	1.28	µg/L
010-01	PLOMO	01	3.1	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

Anexo 9. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera I-Quicapata (muestra 02).



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



INFORME DE ENSAYO

Nº 011-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	011
Denominación de la muestra	AGUA 2
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
011-01	ARSÉNICO	02	1.78	µg/L
011-01	CADMIO	02	0.74	µg/L
011-01	PLOMO	02	2.47	µg/L

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ
QUÍMICO
CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

Anexo 10. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera I-Quicapata (muestra 03).



INFORME DE ENSAYO N° 012-2025

Ciiente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	012
Denominación de la muestra	AGUA 3
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
012-01	ARSÉNICO	03	2.01	µg/L
012-01	CADMIO	03	0.63	µg/L
012-01	PLOMO	03	1.3	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLIZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 11. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera II-Quicapata (muestra 01).



INFORME DE ENSAYO

Nº 013-2025

Ciente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	013
Denominación de la muestra	AGUA 4
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
013-01	ARSÉNICO	04	2.13	µg/L
013-01	CADMIO	04	1.02	µg/L
013-01	PLOMO	04	2.2	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 12. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable de la cabecera II-Quicapata (muestra 02).



INFORME DE ENSAYO

Nº 014-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	014
Denominación de la muestra	AGUA 5
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
014-01	ARSÉNICO	05	1.75	µg/L
014-01	CADMIO	05	0.9	µg/L
014-01	PLOMO	05	2.5	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 13. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera II-Quicapata (muestra 03).



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

INFORME DE ENSAYO N° 015-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	015
Denominación de la muestra	AGUA 6
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
015-01	ARSÉNICO	06	1.64	µg/L
015-01	CADMIO	06	1.06	µg/L
015-01	PLOMO	06	1.32	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS

(Firma manuscrita)
 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 14. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 01)



INFORME DE ENSAYO N° 016-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	016
Denominación de la muestra	AGUA 7
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
016-01	ARSÉNICO	07	2.47	µg/L
016-01	CADMIO	07	1.3	µg/L
016-01	PLOMO	07	2.37	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 15. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 02).



INFORME DE ENSAYO N° 017-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	017
Denominación de la muestra	AGUA 8
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
017-01	ARSÉNICO	08	1.23	µg/L
017-01	CADMIO	08	0.72	µg/L
017-01	PLOMO	08	3.2	µg/L

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 COP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

Anexo 16. Resultados analíticos de metales pesados (As, Cd y Pb) en agua potable del reservorio cabecera-Cabrapata (muestra 03).



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
 UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

INFORME DE ENSAYO N° 018-2025

Cliente	CIELO VEGA
Dirección del cliente	JR. RODOLFO BELTRÁN 1109
Referencia USAQ	018
Denominación de la muestra	AGUA 9
Fecha de recepción	17/01/2025
Fecha de análisis	20/01/2025
Fecha de emisión de informe	29/01/2025
Características de muestra.	Líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
018-01	ARSÉNICO	09	2.37	µg/L
018-01	CADMIO	09	0.51	µg/L
018-01	PLOMO	09	1.2	µg/L

Determinación o parámetro	Limite de detección	Método
Arsénico	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Cadmio	0.05 µg/L	USAQ-ME-04 AAS
Plomo	0.1 µg/L	USAQ-ME-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLIZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218
 E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

RESOLUCIÓN DECANAL N° 404-2025-UNSCH-FCSA-D

BACHILLER: CIELO ANGELLA VEGA BELLIDO

En la ciudad de Ayacucho, siendo las once y cuarenta de la mañana del día seis del mes de junio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el auditorium de la Escuela Profesional de Enfermería los docentes miembros del jurado evaluador, para el acto de sustentación del trabajo de tesis titulado **Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025**, presentado por la bachiller **CIELO ANGELLA VEGA BELLIDO** para optar el título profesional de Químico Farmacéutica. El jurado evaluador está conformado por:

Presidente : Prof. Johnny Aldo Tinco Jayo (Delegado por el decano)
Jurados : Prof. Edwin Carlos Enciso Roca
 : Prof. Kirianova Godoy Bautista
4to jurado : Prof. Stephany Massiell Barbaran Vilcatoma
Asesor : Prof. Pablo Williams Común Ventura
Secretaria Docente : Prof. Gabriela Bellido Mujica

Con el quorum de reglamento se dio inicio la sustentación de tesis, el presidente de la comisión pide a la secretaria docente dar lectura a los documentos presentados por el recurrente, resolución decanal y algunas indicaciones al sustentante.

Da inicio la exposición la Bachiller **CIELO ANGELLA VEGA BELLIDO**, y una vez concluida, el presidente de la comisión solicita a los miembros del jurado evaluador realizar sus respectivas preguntas, seguidamente se da pase al asesor de tesis, para que pueda aclarar algunas preguntas, interrogantes, aclaraciones.

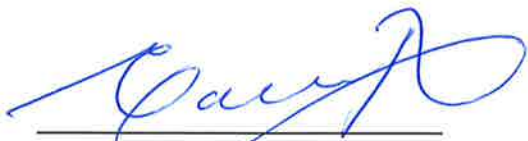
El presidente invita a la sustentante abandonar el auditorium para que pueda proceder con la calificación.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINAL

Bachiller: **CIELO ANGELLA VEGA BELLIDO**

JURADOS	Texto	Exposición	Preguntas	P. Final
Prof. Edwin Carlos Enciso Roca	17	17	17	17
Prof. Kirianova Godoy Bautista	18	18	17	18
Prof. Stephany M. Barbaran Vilcatoma	18	19	18	18
PROMEDIO FINAL				18

De la evaluación realizada por los miembros del jurado calificador, llegaron al siguiente resultado: Aprobar a la Bachiller **CIELO ANGELLA VEGA BELLIDO**; quien obtuvo la nota final de dieciocho (18) para la cual los miembros del jurado evaluador firman al pie del presente, siendo las 01:00 de la tarde, se da por concluido el presente acto académico.



Prof. Edwin Carlos Enciso Roca

Jurado 1



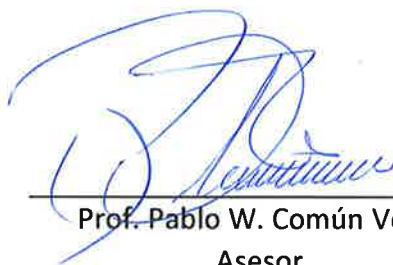
Prof. Kirianova Godoy Bautista

Jurado 2



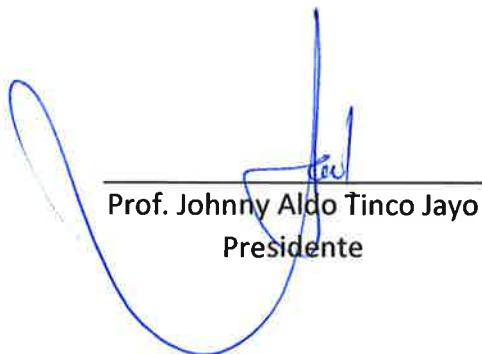
Prof. Stephany M. Barbaran Vilcatoma

Jurado 3



Prof. Pablo W. Común Ventura

Asesor



Prof. Johnny Aldo Tinco Jayo

Presidente



Prof. Gabriela Bellido Mujica

Secretaria docente

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANA FACULTAD
DE CIENCIAS DE LA SALUD

El Instructor en Segunda Instancia, en virtud de la RCU N.º 039-2021-UNSCH-CU, y en calidad de director de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, emite la presente

CONSTANCIA

DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A Cielo Angella VEGA BELLIDO, Bachiller de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud, en mérito a que la tesis titulada: Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.; ha alcanzado un índice de similitud de 13% (trece); cumpliendo satisfactoriamente lo establecido en el Art. 13 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga mediante el uso del SOFTWARE TURNITIN.

En ese sentido, se emite la presente constancia en señal de conformidad.

Ayacucho, 26 de mayo de 2025.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

Marco R. Aronés Jara
DIRECTOR

Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.

by Cielo Angella VEGA BELLIDO

Submission date: 26-May-2025 10:16PM (UTC-0500)

Submission ID: 2685756881

File name: BORRADOR_DE_TESIS-_CIELO_ANGELLA_VEGA_BELLIDO.pdf (1.81M)

Word count: 16539

Character count: 84777

Niveles de arsénico, cadmio y plomo en agua potable de los principales reservorios que abastecen la ciudad de Ayacucho, 2025.

ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	3%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Student Paper	2%
3	cybertesis.unmsm.edu.pe Internet Source	1%
4	repositorio.upsc.edu.pe Internet Source	1%
5	repositorio.uwiener.edu.pe Internet Source	1%
6	www.sedaayacucho.pe Internet Source	1%
7	repositorio.unsch.edu.pe Internet Source	1%
8	repositorio.unica.edu.pe Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 30 words

Exclude bibliography On