

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**

**TÍTULO DE TESIS
EVALUACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MANTO
FREÁTICO DEL CP SALABAMBA,
LAS PIRIAS, 2024**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
AMBIENTAL**

Autoras:

**Bach. Horna Castro, Ana Claudia.
Bach. Sanchez Cubas, Evelyn Briyic.**

Asesor:

Dr. Garay Román, Juan Manuel.

**Línea de investigación: Tecnología para la gestión sostenible del territorio y los
recursos naturales**

**JAÉN – PERÚ
2025**

Horna Castro, Ana Claudia Sanchez Cubas, Evelyn B...

EVALUACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MANTO FREÁTICO DEL CP SALABAMBA, LAS PIRIAS, 2024

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old::1:3305957191

41 Páginas

Fecha de entrega

31 Jul 2025, 11:21 a.m. GMT-5

6850 Palabras

36.608 Caracteres

Fecha de descarga

31 Jul 2025, 11:23 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

ACI_N_DE_PLOMO_Y_CADMIO_EN_MANTO_FRE_TICO_DEL_CP_SALABAMBA,.docx

Tamaño de archivo

6.5 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dr. Segundo Sánchez Tello
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

12% Similitud general

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

Exclusiones

- N.º de fuente excluida

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dr. Segundo Sánchez Tello

Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 14 de agosto del año 2025, siendo las 10: 00a.m, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo

Secretario: Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula

Vocal: Dr. Wagner Colmenares Mayanga, para evaluar la Sustentación de:

() Trabajo de Investigación

(X) Tesis

() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **EVALUACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MANTO FREÁTICO DEL CP SALABAMBA, LAS PIRIAS, 2024**, presentado por las bachilleres **Horna Castro, Ana Claudia, Sanchez Cubas, Evelyn Briyic** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

a) Excelente	18, 19, 20	()
b) Muy bueno	16, 17	()
c) Bueno	14, 15	(14)
d) Regular	13	()
e) Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 11:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Presidente Jurado Evaluador


Dra. Irma Rumela Aguirre Zaquinaula
Secretario Jurado Evaluador


Dr. Wagner Colmenares Mayanga
Vocal Jurado Evaluador

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Ana Claudia Horna Castro, egresada de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 72516899.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“EVALUACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MANTO FREÁTICO DEL CP SALABAMBA, LAS PIRIAS, 2024”. Asesorado por el Dr. Juan Manuel Garay Román. El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

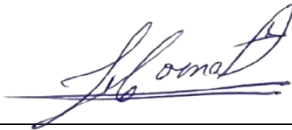
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

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

Fecha: Jaén, 17 de setiembre del 2025.



Ana Claudia Horna Castro.

ANEXO N°06:

**DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO
DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)**

Yo, Evelyn Briyic Sanchez Cubas, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75063927.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“EVALUACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MANTO FREÁTICO DEL CP SALABAMBA, LAS PIRIAS, 2024”. Asesorado por el Dr. Juan Manuel Garay Román. El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.

3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.

4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.

6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

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

Jaén, 17 de setiembre del 2025.



Evelyn Briyic Sanchez Cubas

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	07
II. MATERIAL Y MÉTODOS	11
2.1 Geografía de la zona de investigación	11
2.2 Población, muestra y muestreo	13
2.2.1 Población	13
2.2.2 Muestra	13
2.2.3 Muestreo	14
2.3 Metodología	15
2.4 Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos ...	16
2.4.1 Método	16
2.4.2 Técnica	16
2.4.3 Procedimiento	16
III. RESULTADOS	23
IV. DISCUSIÓN	31
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
AGRADECIMIENTOS	37
DEDICATORIA	38
ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. <i>Georreferencia</i>	14
Tabla 2. <i>ECA-2017-MINAM</i>	22
Tabla 3. <i>Valores de acidez hallados en agua subterránea CP Salabamba</i>	23
Tabla 4. <i>CE manto freático CP Salabamba</i>	24
Tabla 5. <i>Valores de oxígeno disuelto hallados en agua subterránea CP Salabamba...</i>	25
Tabla 6. <i>Valores hallados de turbidez del agua subterránea CP Salabamba</i>	26
Tabla 7. <i>Valores de Plomo hallados en agua subterránea CP Salabamba</i>	27
Tabla 8. <i>Valores de Cadmio hallados en agua subterránea CP Salabamba</i>	28
Tabla 9. <i>Comparación de valores hallados versus LMP Agua DS 004-2017-MINAM</i> .	28
Tabla 10. <i>Valor P de la correlación</i>	29
Tabla 11. <i>Cálculo del factor de correlación</i>	29
Tabla 12. <i>Varianza</i>	30

ÍNDICE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
Figura 1. <i>Fuente de agua freática del CP Salabamba, Las Pirias</i>	11
Figura 2. <i>Localidad de trabajo</i>	12
Figura 3. <i>Fotografía digital del nivel freático del agua a evaluar CP. Salabamba</i>	13
Figura 4. <i>Accesorios para el muestreo: Cooler, botellas, guantes, hielo</i>	13
Figura 5. <i>Toma de lecturas de lecturas del curso freático del agua</i>	14
Figura 6. <i>Adaptación del material para su traslado al Laboratorio</i>	15
Figura 7. <i>Evaluación de la acidez del agua subterránea CP Salabamba</i>	17
Figura 8. <i>Evaluación de conductividad eléctrica del agua subterránea CP Salabamba</i>	18
Figura 9. <i>Evaluación del oxígeno disuelto de la muestra de agua subterránea</i>	19
Figura 10. <i>Evaluación del oxígeno disuelto del agua subterránea CP Salabamba</i>	20
Figura 11. <i>Tendencia de la acidez del agua subterránea CP Salabamba</i>	24
Figura 12. <i>Tendencia de conductividad eléctrica agua subterránea CP Salabamba</i> ...	25
Figura 13. <i>Tendencia de la concentración ($\mu\text{g Pb/L}$) de Pb en agua subterránea</i>	27
Figura 14. <i>Reporte de análisis químico de metales pesados</i>	42
Figura 15 <i>Imágenes del proceso de muestreo y análisis</i>	43

RESUMEN

La posible presencia de metales pesados en agua subterránea planteó una problemática que merece resolver. La actual investigación tuvo como Objetivo evaluar la concentración de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y algunos parámetros organolépticos: pH, CE, O₂ y turbidez en agua freática utilizada para consumo por la población del CP Salabamba, Las Pirias. La Metodología consistió en utilizar instrumentos de precisión para determinar estos parámetros físicos químicos y compararlos con los LMP de la normatividad del DS 004-2017-MINAM. Los Resultados mostraron que el agua presentó un pH ligeramente alcalino (7.99), baja salinidad (conductividad promedio de 212.37 μ S/cm), buena oxigenación (7.47 mg/L) y baja turbidez (3.92 NTU). El Pb fue de 0.0028 mg/L y el Cd estuvo presente solo en trazas: < 0.001 mg/L, niveles que se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas no tratadas. Conclusión: Que el agua subterránea del CP Salabamba no representa riesgo para la salud humana en cuanto a la presencia de los metales pesados evaluados, sin embargo, se hace necesario implementar un plan de monitoreo por la geografía rocosa y mineral de Salabamba.

Palabras claves: Agua freática, contaminación de aguas, metales pesados.

ABSTRACT

The possible presence of heavy metals in groundwater posed a problem that deserves resolution. The current research aimed to evaluate the concentration of Lead (Pb), Cadmium (Cd) and some organoleptic parameters: pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and turbidity in groundwater used for consumption by the population of CP Salabamba, Las Pirias. The methodology consisted of using precision instruments to determine these physical and chemical parameters and compare them with the LMP of the DS 004-2017-MINAM regulations (Pb: 0.01 ppm and Cd: 0.003 ppm). The results showed that the water had a slightly alkaline pH (7.99), low salinity (average conductivity of 212.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$), good oxygenation (7.47 mg/L) and low turbidity (3.92 NTU). The average lead concentration was 0.0028 mg/L and cadmium was present only in traces: <0.001 mg/L, levels that are below the permissible limits established by the Environmental Quality Standards (ECA) for untreated water. Conclusion: That the groundwater of CP Salabamba does not represent a risk to human health in terms of the presence of the heavy metals evaluated; however, it is necessary to implement a monitoring plan due to the rocky and mineral geography of Salabamba.

Key words: Groundwater, water pollution, heavy metals.

I. INTRODUCCIÓN

Ante la carencia de fuentes de agua potable autorizada por una empresa de saneamiento y potabilización. La población del centro poblado (CP) de Salabamba, distrito Las Pirias, en Jaén se abastece de agua para su consumo a través de un hoyo de agua que brota del manto freático a 1840 msnm (O: 5°37'00.65" y S: 78°51'26.08"). Esta fuente de agua provee a la población estimada según el Área Técnica de la Municipal del distrito Las Pirias de 28 familias, de forma que se bebe y consume agua sin conocer si existe contaminación. La problemática además se agudiza por la probable la presencia de iones metálicos en el agua al concentrarse en cantidades aún desconocidas lo que no garantiza su consumo. La actual investigación ha resuelto tal conjetura al realizar una evaluación física química del agua que consume el centro poblado referido. Se ha incidido en determinar la presencia de metales pesados como el plomo y cadmio, sin que ello signifique que no pueda existir otro tipo de contaminación ni tampoco que son los únicos parámetros que se puedan evaluar el agua del manto freático. De forma que, al concluir esta investigación se pueda conocer el nivel de toxicidad respecto al ECA aprobado en el DS N° 004-2017-MINAM. Unos de los efectos inmediatos respecto a la contaminación hídrica es la presencia del sabor metálico en el agua según Belkhiri *et al.* (2018), sin embargo, existen metales cuya presencia metálica por más pequeña que sea están asociados a enfermedades catalogadas como graves y cancerígenas (Khan *et al.*, 2023), el riesgo de la presencia metálica es constante por cuanto el subsuelo es fuente de metales disueltos en el agua (Correa *et al.*, 2021) de allí la necesidad de realizar una evaluación periódica del agua subterránea de Salabamba, ante la ausencia de entidades reguladoras gubernamentales como EPS Marañon, por ello, la misma población gestiona su propia agua potable con el simple entubado hacia los hogares del centro poblado desconociendo asumiendo un riesgo en su consumo. La ejecución de esta investigación sobre el agua subterránea es un aporte para la población del CP Salabamba, distrito Las Pirias respecto a la concentración de metales como el plomo

permitirá evitar el riesgo a contraer enfermedades en la población de Salabamba, tales como anemia, hipertensión, disfunción renal, inmuno-toxicidad y toxicidad en los órganos reproductores de quienes ingieran trazas de plomo con el agua (Kumar *et al.*, 2022). Y, si el caso fuera que la concentración de cadmio estuviera en niveles de riesgo, el hecho de evitar su consumo evitará enfermedades (Zhang *et al.*, 2023). Siendo un hecho que actualmente los habitantes del centro poblado CP Salabamba del distrito Las Pirias, consumen diariamente el agua procedente del manto freático subterráneo, se ha incorporado esta investigación con una problemática social al analizar y determinar la presencia metálica del agua por ser un promotor de enfermedades en el organismo humano como la bioacumulación de metales (Kana, 2022). El agua freática reúne características esencialmente adecuadas en sales disueltas por el contacto de con rocas y piedras, por ello, se recurrió a unidades e instrumentos tecnológicos como el espectrofotómetro de absorción atómica, de forma que se ha identificado la cantidad de mg/L del Pb y Cd en el agua consumida.

Kana (2022) investigó sobre el agua subterránea como gestión del agua en prácticas antropogénicas, industriales; debido a que las actividades agrícolas pueden tener impactos negativos en la calidad del agua subterránea. Concluyeron que las actividades antropogénicas impactan dentro del área de estudio; además, presentó un caso para la evaluación ambiental (tanto de referencia como de impacto) y el monitoreo continuo para controlar la contaminación de agua subterránea. Belkhiri *et al.* (2018) investigaron metales pesados en agua subterránea, identificaron sus fuentes e impactos mediante herramientas estadísticas multivariadas y evaluación de riesgos. Utilizaron tres factores significativos mediante análisis factorial (FA) que explicaron el 75,69 % de la varianza total. Su análisis reveló contribuciones antropogénicas e interacción agua-roca de los metales en el agua subterránea. La ingestión de Cd y Pb eran superiores a los límites seguros, lo que representó una amenaza para los consumidores.

Mamattursun *et al.* (2023) evaluaron la contaminación hídrica y su repercusión en la salud humana y medio ambiente. Los resultados indicaron que el Cr, Cu y Zn en el agua subterránea son inferiores a los LMP de China (Clase III). Sin embargo, las concentraciones máximas de Mn, Cd y Ni superaron el Estándar de Calidad. Y, el

nivel de contaminación de metales pesados en el agua subterránea disminuyen en el siguiente orden: $Mn > Cd > Ni > Cr > Zn > Cu$, y se encuentra que las muestras de agua subterránea recolectadas están ligeramente contaminadas por iones metálicos. Khan *et al.* (2023) evaluaron distintos parámetros como posibles contaminantes del agua. Los valores promedio de pH, TDS, EC y T superaron los límites permitidos por la OMS.

Mahdi *et al.* (2022) evaluaron diez estaciones de muestreo de agua mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS). Sin embargo, sus resultados encontraron Selenio en todas las estaciones. Arsénico en el agua recolectada de estaciones de muestreo 1, 2, 3, 5, 6, 8 y 9. La concentración máxima fue detectado en las estaciones máximamente contaminadas. La estación Chebrolu mostró la presencia de todos. excepto manganeso. Las estaciones Rompicherla y Guntur mostraron todos los elementos excepto cobre y cadmio. Las estaciones Pedda Vadlapudi detectaron Ni, Cr, Zn, Fe, Mn, Cd y Hg. Zhang *et al.* (2023) investigaron problemas técnicos relacionadas a las actividades productivas, en especial aquellos que derivan en la presencia de metales, al ser responsable de serios impactos a la salud humana. Kumar *et al.* (2019) afirmaron por sus resultados los cuerpos de agua examinados están altamente contaminados por metales pesados, por ejemplo, el índice de toxicidad letal mediana mostró toxicidad máxima en As, Co, Cr y Ni en los cuerpos de agua superficiales. Además, Cr, Ni, As y Cd mostraron valores que podrían considerarse de alto riesgo para la generación de cáncer a través de la vía de ingestión en comparación con la vía dérmica. En tal sentido, se estableció como objetivo general evaluar el manto freático del CP Las Pirias, 2024. Y, como objetivos específicos: Evaluar el pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto del agua freática del CP Salabamba, Las Pirias. Determinar la concentración de Pb y Cd del agua freática por espectrofotometría de absorción atómica. Comparar el Pb y Cd del agua freática del CP Salabamba respecto al Estándar de Calidad Ambiental ECA-2017.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Geografía

Se ejecutó en una zona con topografía accidentada y clima tropical de montaña, el distrito Las Pirias presenta características geográficas que inciden directamente en los procesos de ocupación del suelo, actividad agrícola y posibles fuentes de contaminación y se sitúa en la región conocida como "ceja de selva", con importantes fuentes de agua freática (hoyos naturales). El territorio presentó variaciones altitudinales las cuales influyeron directamente en las condiciones climáticas. El clima fue templado en las zonas altas. Las temperaturas oscilan entre 18°C y 24°C en la parte alta, y alcanzan un promedio anual de 25°C en la cuenca baja.

Agua subterránea

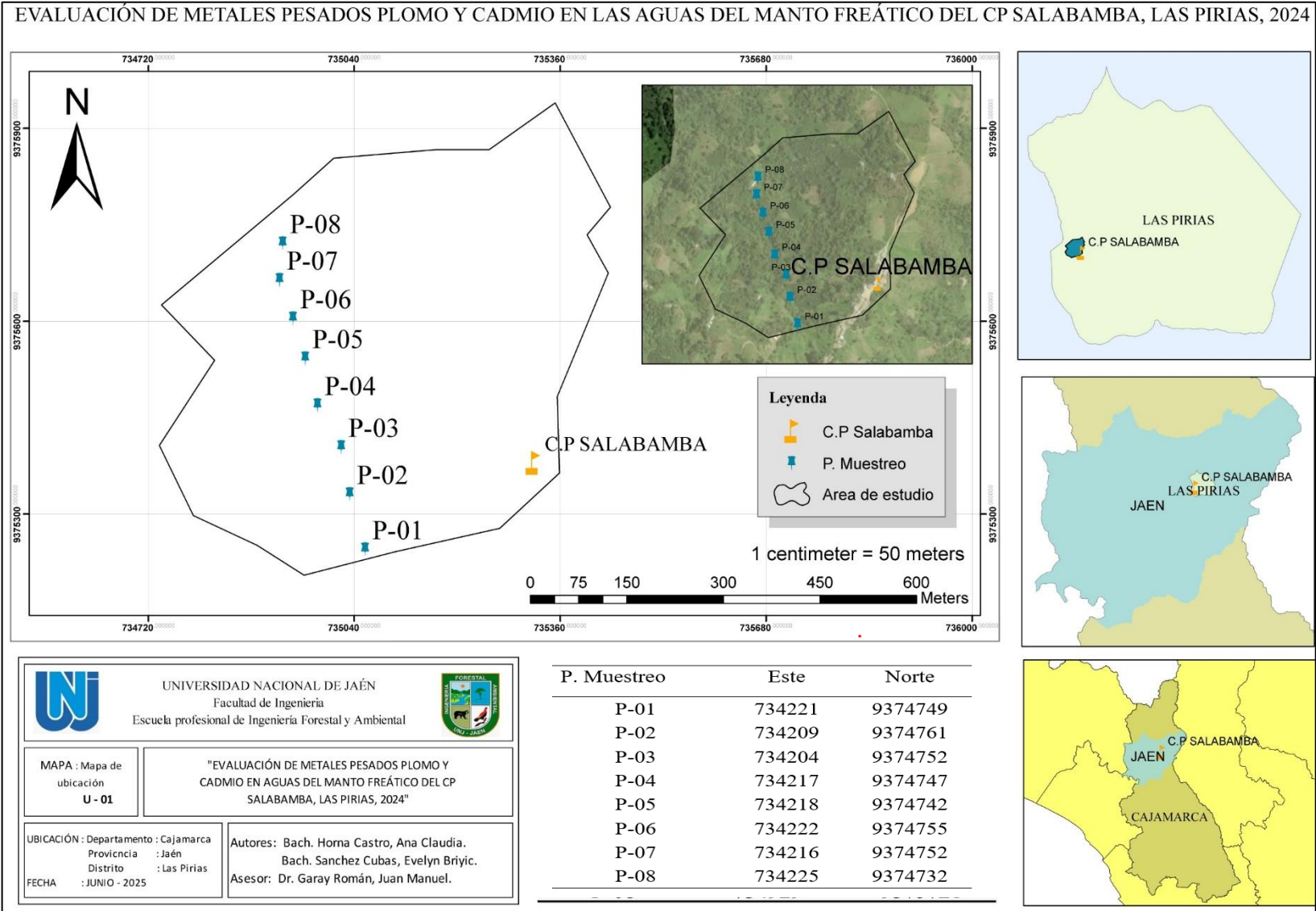
Esta agua proviene de la infiltración de lluvias, ríos o escorrentías, y se acumula sobre una capa impermeable que impide que siga filtrándose hacia abajo. Se descarta alguna contaminación microbiológica (exento de bacterias y hongos), sin embargo, el paso del agua por rocas y minerales hace que esta contenga minerales disueltos, como calcio, magnesio, hierro, bicarbonatos y otros metales pesados. Por eso, el agua freática suele tener sabor mineral y una conductividad eléctrica moderada a alta (Correa *et al.*, 2021).

Figura 1

Fuente de agua freática del CP Salabamba, Las Pirias



Figura 2. Localidad de trabajo



2.2 Población, muestra y muestreo

2.2.1 Población:

Fue el manto freático que provee a una apreciable población estimada en 28 familias pertenecientes al centro poblado Salabamba, distrito Las Pirias, Jaén. El hoyo del que brota agua del manto freático se ubicó a 1840 msnm (734221 mE y 9374749 mN).

Figura 3

Fotografía digital del nivel freático del agua a evaluar CP. Salabamba



2.2.2 Muestra

Fueron 15 muestras del manto freático del CP Salabamba, Las Pirias. De las cuales 8 muestras fueron evaluadas en el Laboratorio de la UNJ y las demás enviadas a un laboratorio especializado (dos muestras se conservaron como respaldo). Las muestras fueron analizadas y reportadas en las unidades exigidas por la normativa: ECA-2017.

Figura 4

Accesorios para el muestreo: Cooler, botellas, guantes, hielo.



2.2.3 Muestreo

El muestreo se realizó *in situ* sobre el nivel hídrico que recorre longitudinalmente un pequeño sector del centro poblado referido.

- Se realizó georreferenciación: El recorrido de la fuente de agua subterránea hasta su captación de forma que se anote cualquier foco de contaminación del agua freática

Tabla 1

Georreferencia del muestreo del afluyente subterráneo

Ubicación	Fechas	Altura msnm	UTM	
			mE	mN
P1	21/04/2025	1840.2	734221	9374749
P2	21/04/2025	1848.2	734209	9374761
P3	21/04/2025	1844.2	734204	9374752
P4	21/04/2025	1841.2	734217	9374747
P5	21/04/2025	1840.2	734218	9374742
P6	21/04/2025	1859.2	734222	9374755
P7	21/04/2025	1844.2	734216	9374752
P8	21/04/2025	1817.0	734225	9374732

Fuente: Datos de las tesis.

Figura 5

Toma de lecturas de lecturas del curso freático del agua



- Se utilizaron frascos de plástico nuevos los cuales una vez llenas de agua subterránea fueron purgadas durante cinco oportunidades. No se emplearon envases de vidrio por

cuanto, la normatividad solo lo exige para un análisis microbiológicos y parasitológicos, que fue el caso actual. En tanto, que para el análisis físico químico solo se utilizaron envases de plástico para su análisis respectivo.

- Se agregaron cinco gotas de ácido nítrico al 30 % de concentración para garantizar el análisis de metales plomo y cadmio. El insumo ácido suministrado por el laboratorio especializado Rivelab SAC.

Figura 6

Adaptación del material su traslado al Laboratorio



2.3 Metodología

Por el propósito aplicó el conocimiento ya existente (teoría, leyes científicas, principios técnicos, etc.) para intervenir, mejorar o transformar una realidad específica.

Por sus datos: Fue cuantitativa, porque utilizó instrumentos de medición y un análisis estadístico para inferir los resultados obtenidos.

Por su inferencia: Fue deductiva porque utilizó conceptos y teorías sobre el análisis del agua.

Variables de estudio:

Variables independientes:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Metales pesados: Pb y Cd.

Variable dependiente: ECA-2017.

2.4 Método y técnicas

2.4.1 Método

Se aplicó el método cuantitativo del tipo descriptivo, debido a que se evaluaron parámetros físicos, químicos (pH, conductividad eléctrica, concentración de Pb y concentración de Cadmio) del agua potable, con el fin de determinar su calidad respecto a los estándares establecidos por la normativa nacional (DS-004-2017-MINAM).

2.4.2 Técnica

Para la ejecución se requirió de la siguiente lista de materiales:

Materiales:

Materiales de laboratorio:

- Tres envases de vidrio (1000 mL.), dos matraces kitasato, doce balones de vidrio, una pipeta 10 mL, vasos de precipitado de 100 ml, probetas de 5, y 100 mL.

Instrumento de análisis analítico:

- Espectrofotómetro, pH-metro, Multiparámetro, Turbidímetro.

Reactivos químicos:

- Soluciones patrón para cadmio.
- Soluciones patrón para plomo.
- Reactivos específicos según método.

2.4.3 Procedimiento

Primer objetivo: Evaluar el pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto del agua freática del CP Salabamba, Las Pirias.

Cálculo del pH

- El método basado fue la Norma Técnica Peruana NTP 214.003, que se fundamentó en principios establecidos que para el cálculo la actividad de los iones hidrógeno (H^+) (Mahdi *et al.*, 2022), para ello se utilizó un potenciómetro (pH-metro) equipado con un electrodo combinado de vidrio.

Materiales empleados:

pH-metro digital, electrodo combinado (vidrio-calomel o vidrio-Ag/AgCl), soluciones buffer estándar, vaso precipitados, agua destilada o desionizada, papel absorbente libre de pelusa.

Procedimiento utilizado:

- Se encendió el equipo y se dejó estabilizar, se calibró el equipo utilizando tres soluciones buffer (pH 7.00 como punto medio, y pH 4.00 con una tercera solución pH 10.00).
- Se midió el pH a temperatura ambiente de 25 °C., asegurándose de que esté completamente cubierto, se dejó cinco minutos que se estabilice la medición y se tomó nota de la lectura del pH del agua.

Figura 7

Medición de acidez



Cálculo de la conductividad eléctrica

El método basado fue la Norma 2510 B. Laboratory Method. Standard Methods Committee, 1997. Editorial revisions, 2011. Joint Task Group: 20th Edition.

Materiales empleados:

Multiparámetro de tres electrodos (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto), vasos distintos volúmenes, agua desionizada, papel absorbente.

Procedimiento utilizado:

- Se utilizó un multiparámetro con el cable de salida para la conductividad eléctrica, antes de introducir el bulbo a cada vaso y después de cada lectura se procedió a enjuagar el terminal abundantemente, para garantizar el calibrado.
- Para la calibración del multiparámetro se preparó una solución de cloruro de potasio 0,1 M, para ello se pesó 7,45 g de KCl, se llevó a 105 °C para desecar la sal, luego se disolvió en agua destilada. En ese instante, la conductividad medida fue de 1.412 mS/cm.

Figura 8

Evaluación de la conductividad eléctrica del agua subterránea CP Salabamba



Cálculo del oxígeno disuelto

El método se basó en la Norma Técnica Peruana NTP 214.006, y el método 4500-O G de la APHA basado en el método electrométrico con sensor polarográfico o galvánico, incorporado en un multiparámetro.

Materiales empleados:

Multiparámetro con el electrodo de oxígeno disuelto, vasos de vidrio, agua destilada, solución de calibración (oxígeno 0%), papel absorbente libre de pelusa.

Procedimiento utilizado:

- Se verificó que sensor de oxígeno esté correctamente instalado y que la membrana esté limpia, sin burbujas de aire ni daños, luego se calibró el sensor con una solución de sulfito de sodio al 2 % (exenta de oxígeno), en estas condiciones el multiparámetro marcó 0 % de O₂.
- Una vez calibrado el multiparámetro, se realizó un enjuague del sensor del multiparámetro con abundante agua destilada, se introdujo cuidadosamente el sensor en la muestra sin formar burbujas, se dejó estabilizar la lectura por varios minutos hasta que estabilice y se tomó lectura del OD (oxígeno disuelto en mg/L).

Figura 9

Evaluación del oxígeno disuelto



Cálculo turbidez

Para una mejor evaluación del agua, se consideró evaluar la turbidez del agua, no obstante que las muestras son de procedentes de una fuente freática (subterránea). El método de análisis fue el recomendado por Mamattursun *et al.* (2023): Método 2130 B de APHA, cuya norma de referencia fue NTP 214.009:2001 (equivalente a ISO 7027).

Materiales empleados:

Turbidímetro, celdas de medición, agua destilada, paño limpio, estándares de calibración de turbidez: 0 NTU y 20 NTU.

Procedimiento utilizado:

- Se encendió el turbidímetro y se procedió a la calibración con dos patrones característicos: 0 y 20 NTU, el primero fue obtenido del agua destilada. A continuación, se procedió a limpiar las cubetas para el análisis a fin de evitar errores en las lecturas.
- Seguidamente, se llenaron las celdas con cada una de las muestras de agua, dejando un tiempo de 2 minutos para su estabilidad de las lecturas. Entre cada medición lavó para no causar interferencias entre las lecturas.

Figura 10

Oxígeno disuelto del agua



Segundo objetivo: Determinar la concentración de Pb y Cd del agua freática

Para determinar la presencia metálica se analizaron las muestras.

Cálculo de la concentración de plomo:

Método EPA Method 200.9

Materiales empleados:

Espectrofotómetro de absorción atómica, frascos de muestreo de polietileno de 250 mL (previamente lavados con HNO_3 al 10%), jeringas o sistema de filtrado con membranas de 0,45 μm , ácido nítrico concentrado, (HNO_3 , grado analítico), solución patrón de plomo de 1000 mg/L ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ en HNO_3), agua ultra pura (resistividad $> 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$), material volumétrico: pipetas (1 y 5 mL), probetas (5, 25 y 50 mL) y matraces aforados (50 y 100 mL).

Procedimiento utilizado:

- Se utilizaron frascos de plástico limpios y nuevos, las muestras se acidificaron a $\text{pH} < 2$ con unas gotas de ácido nítrico concentrado.
- La respuesta de absorción facilitó para la gráfica de la curva de calibración. Luego, se programó la unidad de análisis (AAS-HG), para ello se utilizó una longitud de onda para Pb: 283,3 nm, a un modo de atomización: horno de grafito programado con rampa de temperatura utilizando gas Argón (Ar).
- Luego, se introdujeron las soluciones estándar en el muestreador automático para generar la curva de calibración, seguidamente, se analizaron las muestras filtradas y conservadas, aspirando un volumen predeterminado en el horno de grafito.
- Luego, se midió la absorbancia correspondiente al plomo y se determinaron por interpolación en la curva de calibración generada.

Cálculo de Cd:

Método EPA Method 200.9 – *ídem anterior método.*

Materiales empleados:

Espectrofotómetro de absorción atómica, Frascos de muestreo de 250 mL preservados con ácido nítrico, membranas de filtración de 0,45 μm , ácido nítrico concentrado (HNO_3 , grado reactivo), agua ultra pura (resistividad $> 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$), solución patrón de cadmio (1000 mg/L en HNO_3), material volumétrico calibrado (pipetas, matraces, probetas).

Procedimiento utilizado:

- Las muestras de agua fueron acidificadas con 1 mL de HNO_3 concentrado por cada 100 mL de muestra para evitar la precipitación o adsorción del cadmio, luego fueron filtradas con membranas de 0,45 μm para eliminar partículas sólidas.
- Luego, las concentraciones utilizadas para la curva de calibración fueron de 1, 5, 10, 20 y 50 $\mu\text{g/L}$. Todas las diluciones se realizaron con agua ultra pura acidificada.

- A continuación, se encendió el horno a gas de argón. Y desde cada muestra de agua se aspiraron al horno para el registro respectivo de cada absorción atómica, de esta manera se obtuvieron las 8 mediciones respectivas de cadmio para el agua subterránea.

Tercer objetivo: Comparar el Pb y Cd del agua freática del CP Salabamba respecto al Estándar de Calidad Ambiental ECA-2017.

Tabla 2

ECA-2017-MINAM

Parámetro	Categoría del Agua		
	A1	A2	A3
pH	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0
Aceites y grasas (ppm)	0.5	1.7	1.7
DBO (ppm)	3	5	10
DQO (ppm)	10	20	30
Dureza (ppm)	500	-	-
Turbidez (NTU)	5	100	*
Sólidos totales disueltos (ppm)	1000	1000	1500
Conductividad eléctrica (mS/m)	1500	1600	no aplica
Oxígeno disuelto (ppm)	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Sulfatos (ppm)	250	500	-
Nitratos (ppm)	50	50	50
Nitritos (ppm)	3	3	-
Aluminio (ppm)	0.9	5	5
Antimonio (ppm)	0.02	0.02	-
Bario (ppm)	0.7	1	-
Cobre (ppm)	2	2	2
Cromo(ppm)	0.05	0.05	0.05
Manganeso (ppm)	0.4	0.4	0.5
Cd (ppm)	0.003	0.005	0.01
Pb (ppm)	0.01	0.05	0.05

Fuente: DS N° 004-2017-MINAM.

III. RESULTADOS

Primer objetivo: Evaluar el pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto del agua freática del CP Salabamba, Las Pirias.

Tabla 3

Valores de acidez hallados en agua subterránea CP Salabamba

N° de muestra	Altura msnm	Coordenadas UTM		pH
		mE	mN	
P1	1840.2	734221	9374749	8.02
P2	1848.2	734209	9374761	7.97
P3	1844.2	734204	9374752	7.95
P4	1841.2	734217	9374747	8.01
P5	1840.2	734218	9374742	7.96
P6	1859.2	734222	9374755	8.03
P7	1844.2	734216	9374752	8.04
P8	1817.0	734225	9374732	7.95
pH promedio				7.99

Fuente: Laboratorio Universidad Nacional de Jaén.

Interpretación:

De acuerdo al ECA- 2017 la acidez es un parámetro de calidad para el agua mediante la medida del potencial de hidrógenos, conocido como acidez y cuyo un pH arrojó entre 6.5 y 8.5; por consiguiente, el agua subterránea tuvo una acidez de calidad muy aceptable.

Figura 11

Tendencia de la acidez del agua subterránea CP Salabamba

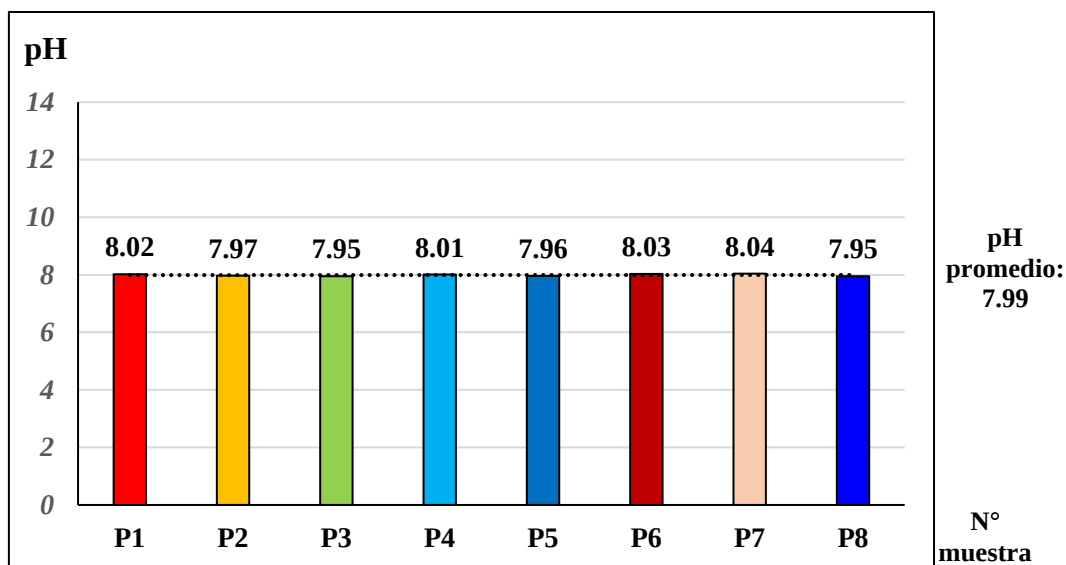


Tabla 4

Valores de conductividad eléctrica en agua subterránea CP Salabamba

N° de muestra	Coordenadas UTM		$\mu\text{S/cm}$ (Micro Siemens por centímetro)
	mE	mN	
P1	734221	9374749	211
P2	734209	9374761	211
P3	734204	9374752	213
P4	734217	9374747	214
P5	734218	9374742	213
P6	734222	9374755	212
P7	734216	9374752	211
P8	734225	9374732	214
Conductividad eléctrica promedio			212.37 $\mu\text{S/cm}$ o umho/cm

Fuente: Laboratorio Universidad Nacional de Jaén.

Interpretación:

Por la conductividad eléctrica: $211\text{-}214 \mu\text{S/cm}$ o $\text{umho/cm} < 1500 \mu\text{S/cm}$ o umho/cm ; por consiguiente, el agua subterránea tuvo una conductividad eléctrica muy aceptable.

Figura 12

Tendencia de la conductividad eléctrica del agua subterránea CP Salabamba

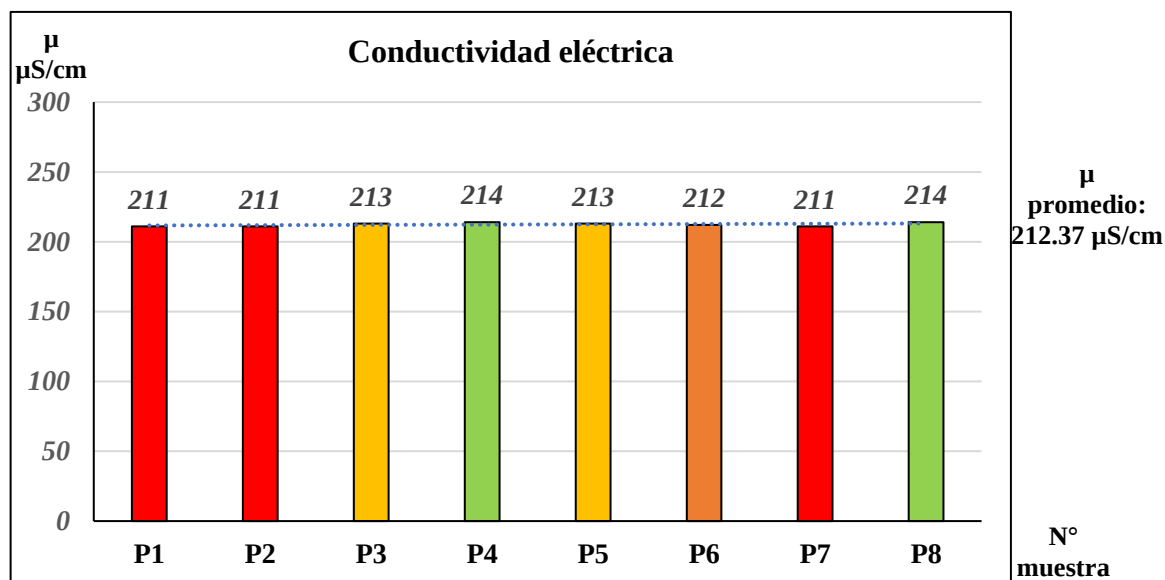


Tabla 5

Valores de oxígeno disuelto hallados en agua subterránea CP Salabamba

N° de muestra	Coordenadas UTM		OD (oxígeno disuelto) mg/L o ppm
	mE	mN	
P1	734221	9374749	7.21
P2	734209	9374761	7.28
P3	734204	9374752	7.38
P4	734217	9374747	7.40
P5	734218	9374742	7.64
P6	734222	9374755	7.82
P7	734216	9374752	7.31
P8	734225	9374732	7.73
OD promedio			7.47 mg/L o ppm

Fuente: Tesistas en Laboratorio Universidad Nacional de Jaén.

Interpretación:

Según el DS-004-2017-MINAM el parámetro exigido fue $OD \geq 6$. Y, el agua subterránea evaluada tuvo un oxígeno disuelto de 7.47 ppm de oxígeno disuelto, lo cual la hace muy aceptable, por cuanto teóricamente el máximo OD en el agua es 7.34 ppm de acuerdo a la ley de Henry (Reyes *et al.*, 2016). el breve recorrido y permanencia

sobre la superficie terrestre, permitió la oxigenación del agua a un nivel muy aceptable.

Tabla 6

Valores hallados de turbidez

N° de muestra	Coordenadas UTM		Turbidez NTU
	mE	mN	
P1	734221	9374749	3.78
P2	734209	9374761	3.75
P3	734204	9374752	4.05
P4	734217	9374747	4.05
P5	734218	9374742	3.48
P6	734222	9374755	3.96
P7	734216	9374752	4.35
P8	734225	9374732	3.95
Turbidez promedio			3.92 NTU

Fuente: Laboratorio Universidad Nacional de Jaén.

NTU: Unidades nefelométricas de turbidez.

Interpretación:

Por los valores mostrados sobre la turbidez del agua del centro poblado Salabamba en el distrito Las Pirias cumplió con la normatividad referida, que estableció un mínimo de 5 NTU.

Es preciso recalcar que la turbidez no es un parámetro de contaminación de aguas, más si tiene un ligero impacto a evaluar en las características y propiedades organolépticas del agua. Y, su valor muchas veces está asociado a la temporalidad del medio ambiente, de forma que en época de invierno es muy posible que la turbidez tenga valores elevados comparados a la temporada de verano, donde hay escasez de agua y mayor transparencia de la luz en el agua.

Segundo objetivo: Determinar la concentración de Pb y Cd del agua freática

Tabla 7

Valores de Plomo hallados en agua subterránea CP Salabamba

N° de muestra	Pb µg/L o ppb	Pb mg/L o ppm
1	2	0.002
2	4	0.004
3	3	0.003
4	3	0.003
5	2	0.002
Promedio	2.8	0.0028

Fuente: Laboratorio Rivelab SAC.

Interpretación:

Del análisis químico de plomo en el agua evaluada, el manto freático CP Salabamba se encuentra muy por debajo del LMP del DS 004-2017-MINAM, lo cual significa una ausencia de riesgo para la ingesta del agua por la población que la consume.

Figura 13

Tendencia de la concentración (µg Pb/L) de Pb en agua subterránea CP Salabamba

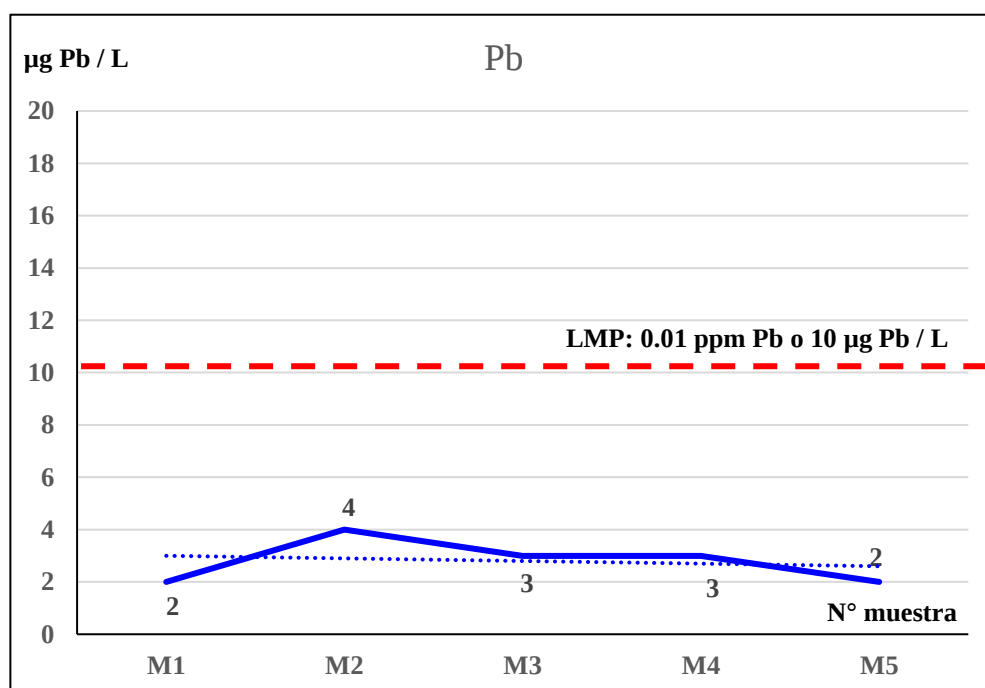


Tabla 8

Valores de Cadmio hallados en agua subterránea CP Salabamba

N° de muestra	Cd g/L o ppm
1	< 0.001
2	< 0.001
3	< 0.001
4	< 0.001
5	< 0.001
Promedio	< 0.001

Fuente: Laboratorio Rivelab SAC.

Interpretación:

Del análisis se colige que la presencia de cadmio se encuentra a un nivel de trazas no cuantificable. Lo cual es un indicador que se puede afirmar que no hay riesgo para la salud humana de quien bebe el agua del manto freático del CP Salabamba, Las Pirias.

Tercer objetivo: Comparar el Pb y Cd del agua freática del CP Salabamba respecto al Estándar de Calidad Ambiental ECA-2017.

Tabla 9

Comparación de los valores hallados versus LMP Agua DS 004-2017-MINAM

Parámetro	Unidades	Muestra de agua C.P. Salabamba	Categoría del Agua		
			A1	A2	A3
pH	No aplica	7.99	6.5 -	5.5 -	5.5 - 9.0
Aceites y grasas (ppm)	ppm	No aplica	05	1.7	1.7
DBO	ppm	No aplica	3	5	10
DQO	ppm	No aplica	10	20	30
Turbidez	NTU	4.16	5	100	no aplica
Conductividad eléctrica	µS/cm o umho/cm	212.37	1500	1600	no aplica
Oxígeno disuelto (ppm)	ppm	7.47	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Cd	ppm	< 0.001	0.003	0.005	0.01
Pb	ppm	0.0028	0.01	0.05	0.05

Fuente: DS N° 004-2017-MINAM y adaptado por las tesis.

Análisis estadístico

Correlación: pH vs. Pb

Tabla 10

Valor P de la correlación

<i>Parámetro</i>		<i>Factores para P</i>		
Intercepto	7.9	0.10351	76.3213	0.0000
Pendiente	-378.571	35.7143	-10.6	0.0018

Fuente: Software estadístico.

Tabla 11

Cálculo del factor de correlación

<i>Fuente</i>		<i>Factores para P</i>			
Modelo	0.401286	1	0.401286	112.36	0.0018
Residuo	0.0107143	3	0.00357143		
Total (Corr.)	0.412	4			

Fuente: Software estadístico

Coef. Correlativo = -0.986912

La ecuación es:

$$\text{pH} = 7.9 - 378.571 \cdot \text{Plomo.}$$

Tabla 12

Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Sumatoria</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrático</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.401286	1	0.401286	112.36	0.0018
Residuo	0.0107143	3	0.00357143		
Carencia de ajuste	0.000714286	1	0.000714286	0.14	
Error puro	0.01	2	0.005		
Total (Corr.)	0.412	4			

Interpretación:

No se ha contemplado una evaluación estadística para el cadmio. Por cuanto, el análisis químico no ha hallado muestras de cadmio cuantitativas. Lo cual sugiere ausencia de cadmio en la muestra analizada.

IV. DISCUSIÓN

La investigación contribuyó a conocer algunos parámetros organolépticos y las concentraciones de metales pesados de plomo y cadmio del agua subterránea del centro poblado CP Salabamba en el distrito Las Pirias. Estos indicadores son influenciados por condiciones geoquímicas y biológicas del acuífero (Belkhiri *et al.* 2018). Los valores de pH registrados oscilaron entre 7.95 y 8.04, con un promedio de 7.99, situándose dentro del rango permitido por la categoría A1 del ECA (6.5–8.5). Este nivel de alcalinidad es típico de aguas subterráneas que han interactuado con minerales carbonatados (CO_3^{-2}) o silicatos básicos (SiO_3^{-2}), los cuales liberan iones hidroxilo (OH^-) que incrementan el pH (Reyes *et al.*, 2016). El pH promedio no representa riesgo directo para el consumo humano, pero tiene implicancias indirectas: afecta la solubilidad y movilidad de metales pesados (Correa *et al.* 2021). Los valores de pH reflejan una buena capacidad amortiguadora del sistema acuífero; esta es una característica común en aguas subterráneas por el contacto con materiales geológicos básicos según lo expresó Khan *et al.* (2023). Esto es muy importante, porque un pH cercano a la neutralidad favorece la solubilidad de ciertos metales, lo cual exige un control constante (Mahdi *et al.* 2022). Respecto a la conductividad eléctrica promedio fue de 212.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual también está muy por debajo del límite máximo permitido (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para A1), evidenciando baja salinidad y un bajo contenido de iones disueltos (Reyes *et al.* (2016). Esto sugiere que no existe una carga salina significativa que afecte la potabilidad del agua, en concordancia con lo observado por Belkhiri *et al.* (2018), quienes indicaron que el aumento en la CE está asociado a influencias antropogénicas o lixiviados de suelos contaminados, situación que no se presenta por cuanto no existen actividades humanas ni industriales cerca a la fuente de agua evaluada y según Mamattursun *et al.* (2023), valores entre 0–250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ corresponden a aguas de mineralización baja, generalmente asociadas a fuentes subterráneas bien protegidas y con escasa contaminación difusa; este parámetro bajo, confirma que el agua de Salabamba no ha sufrido intrusión de aguas superficiales contaminadas, ni de lixiviados agrícolas o urbanos. No obstante, la baja CE también puede implicar escasa capacidad tampón, es decir, menor resistencia a cambios químicos abruptos (Kumar *et al.*, 2019). En cuanto al oxígeno disuelto, el promedio fue de 7.47 mg/L, cumpliendo satisfactoriamente con el mínimo requerido de ≥ 6 mg/L (categoría A1), indicando buena oxigenación natural, posiblemente alimentado por infiltración reciente de agua de lluvia o por flujo constante del subsuelo. Además, como mencionó Mahdi *et al.* (2022) un OD alto es esencial para mantener condiciones redox positivas que limitan la

solubilización de ciertos metales pesados, lo cual refrenda Kana (2022) al señalar que valores elevados de OD implican baja actividad bacteriana anaerobia y ausencia de carga orgánica significativa, lo cual es consistente con el bajo nivel de turbidez y conductividad eléctrica hallados. Es decir, el valor reportado refuerza la idea que el agua del CP Salabamba es fuente hídrica natural con poca intervención antropogénica directa. Sobre el parámetro turbidez el agua alcanzó un valor promedio de 3.92 NTU, lo que podría significar presencia de partículas coloidales, sedimentos finos o materia orgánica en suspensión (Belkhiri *et al.*, 2018). Este valor está dentro del rango permitido (5 NTU para A1). Una explicación satisfactoria para este resultado la brindó Kumar *et al.* (2019) que fundamentó que, el agua subterránea no contiene cantidades elevadas de partículas en suspensión, lo cual es coherente con su origen filtrado naturalmente por el subsuelo. Sin embargo, este valor cercano al LMP podría estar vinculado a alteraciones físicas del acuífero o movimientos de tierra cercanos o actividad ganadera/agropecuaria en las zonas de recarga; por otra parte, Zhang *et al.* (2023) indicó que una turbidez elevada puede favorecer la absorción de metales pesados sobre partículas suspendidas, las cuales, si no se remueven en un proceso de tratamiento, podrían liberar estos metales dentro del organismo al ser ingeridas.

Por el contexto geográfico dentro de la región nor oriental de Cajamarca, que muestra una creciente actividad minera informal. Para el Pb se encontró una presencia metálica de 0.0028 ppm Pb por debajo de la normatividad: 0.01 mg Pb/L; para el cadmio no se encontrado más que trazas < 0.001 ppm Cd, muy por debajo de: 0,003 ppm Cd. Lo que garantiza que cumple con el LMP para la categoría A1; pues, como lo manifestó Correa *et al.* (2021) aún concentraciones pequeñas de plomo y cadmio, deben cumplir con la normatividad referida, su presencia debe ser menor al LMP, por cuanto, según Mahdi *et al.* (2022) niveles por encima de LMP implica un riesgo debido a su capacidad de bio-acumulación. Según Bianchini (2009) la ingestión continuada de Pb puede ocasionar efectos adversos graves como disfunciones neurológicas, renales y reproductivas. Por ello, es necesario implementar un plan de monitoreo periódico, más aún si la utiliza una determinación población para su consumo.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El agua subterránea del CP Salabamba sometido a un análisis físico químico arrojó los siguientes valores para las propiedades organolépticas: El valor del pH 7.99 significó que el agua fue ligeramente alcalina. Que la conductividad eléctrica 212.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o umho/cm fue indicador de una baja salinidad. El oxígeno disuelto 7.47 ppm o mg/L indicó buena oxigenación natural y la turbidez 3.92 NTU fue indicador de un bajo contenido de material particulado.
- El análisis químico de Pb y Cd arrojó valores que dan seguridad de consumo. La concentración de plomo promedio fue 0.0028 ppm o mg/L dentro de un rango: 0.002 - 0.004 ppm; y, de otra parte, para el cadmio en todas las muestras de agua solamente arrojó trazas de la presencia de cadmio: < 0.001 ppm o mg/L.
- Realizada la comparación de los metales pesados entre la concentración resultado del análisis químico de plomo y cadmio y la normatividad vigente para aguas no tratadas como el agua subterránea en estudio. Se encontró que en ambos casos la presencia metálica no pone en riesgo la salud ni la vida humana. Para el caso del Plomo se determinó 0.0028 ppm *versus* 0.01 ppm del ECA 2017. Para el Cadmio, se determinó en trazas < 0.001 ppm *versus* 0.003 ppm que regula el ECA 2017.

Recomendaciones:

A las autoridades gubernamentales implementar un plan de monitoreo sobre la presencia metálica por cuanto geográficamente la zona es de un perfil rocoso y mineral, por consiguiente, se hace necesario evaluar continuamente esta fuente de agua subterránea como la evaluada.

- A las autoridades universitarias implementar prácticas de trabajo en las actividades de responsabilidad social. De igual se recomienda potenciar y habilitar equipos que existen en el Laboratorio pero que no están al servicio de los alumnos y tesisistas por falta de personal competente.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Belkhiri, L., Tiri, A., & Mouni, L. (2018). Assessment of Heavy Metals Contamination in Groundwater: A Case Study of the South of Setif Area, East Algeria. InTech. DOI: 10.5772/intechopen.75734
- Correa, O., Fuentes, F. E., Coral, R, G. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray – Perú. Rev. Soc. Quím. Perú. Vol. 87, N° 1 Lima ene/mar. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Kana, A. A. (2022). Heavy metal assessment of groundwater quality in part of Karu, Central Nigeria. *Water Practice and Technology* 1 September; 17 (9): 1802–1817. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.102>
- Khan, M., Omerb, T., Ellahic, A., Rahmane, Z. U., Niaz, R. & Lone, S.A. (2023). Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water of selected rivers. *Geocarto International*. Vol. 38, N° 1. 2256313. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2256313>
- Kumar, V., Parihar, K. D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Y. G., Agyei, A. K. & Comino, J. R. (2019). Global evaluation of heavy metal content in water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses, *Journal Chemosphere*. Volume 236, ISSN 0045-6535. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>.
- Mahdi, A. J., Ewadh, H. M., Satee, S., Salman, J. M. & Rao, B. (2022). Comprehensive study of heavy metal pollution in surface water of Guntur region of Andra Pradesh. The 8th International Conference on Renewable Energy and Materials Technology. IOP Publishing. Earth and Environmental Science 1088 (2022) 012016. DOI:10.1088/1755-1315/1088/1/012016

MINSA (2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.

http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Reglamento_Calidad_Agua%20D.S%20N%C2%B0031-2010-SA.pdf

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y riego). (2016). Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. ANA (Autoridad nacional de agua). Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

Mamattursun, E, Nazupar, S, Qing, Z, Rixit, A. & Li, X. (2023). Distribution, pollution levels, and health risk assessment of heavy metals in groundwater in the main pepper production area of China. *Open Geosciences*, Vol. 15, N° 1, 2023, pp. 20220491. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2022-0491>

Reascos, B. y Yar, B. (2011). *Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del Cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas*. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/221>

Roman, M. J. (2021). *Estudio de las dosificaciones de cloro residual en los caseríos de Puylucana, Alto Puylucana y Pampa Iracushco de la provincia de Cajamarca, 2021*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

Tavakoli, A., Yazdani, R., Shahmansouri, M. R. & Isfahani, BN. (2002). Chlorine residual efficiency in inactivating bacteria from secondary contamination in Isfahan, 2002. *Eastern Mediterranean Health Journal*, Vol. 11, No. 3.

Zhang, P., Yang, M., Lan J, Huang Y., Zhang, J., Huang, S., Yang, Y. & Ru J. (2023). Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation. *Journal Toxics*. Oct; 11(10): 828. DOI: 10.3390/toxics11100828

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, por guiarme y protegerme a lo largo de este proceso. Porque, aunque muchas veces quise rendirme, confié y me mantuve firme, él siempre me dio fuerzas para continuar mostrando que su tiempo siempre es perfecto.

A mis padres, Manuel Horna y Deysi Castro por su amor incondicional, por su gran apoyo y sacrificio, por ser pilar fundamental en todo lo que soy, por inculcarme grandes valores. Gracias por creer mucho más en mí de lo que yo lo hacía. Espero que se sientan tan afortunados de ser mis padres como yo me siento de ser su hija. Los quiero infinitamente.

A José Luis Arias, mi compañero, quien ha compartido cada momento de esta travesía conmigo. Gracias por apoyarme siempre. Tus palabras de aliento me han dado la fuerza y la determinación para seguir adelante.

A mi asesor Dr. Juan Manuel Garay Román por su gran apoyo y orientación a lo largo de este proceso. Su experiencia, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Gracias por compartir su conocimiento con nosotras.

A la Universidad Nacional de Jaén por su grandiosa enseñanza en la formación académica que me servirá en esta nueva etapa como profesional.

Ana Claudia Horna Castro

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico con todo mi amor y gratitud que mi corazón puede expresar a mis padres, por apoyarme y estar siempre presentes en cada paso importante que doy. Cada paso lleva su huella porque me han acompañado con amor incondicional y con una fe que me sostuvo en todo momento.

Gracias por confiar en mí.

Ana Claudia Horna Castro.

AGRADECIMIENTO

A dios, por la vida, salud y brindarnos sabiduría y fortaleza para poder lograr mi meta de ser profesional, además agradezco también a todas las personas que contribuyeron y aportaron en este proyecto de investigación:

A mi asesor Dr. Juan Manuel Garay Román por su grandioso apoyo y aporte para poder culminar de manera satisfactoria mi proyecto de investigación.

A mi familia por apoyarme y motivarme día a día a seguir adelante en este camino largo que no fue fácil, pero logré mi meta de ser profesional.

A la Universidad Nacional de Jaén por su grandiosa enseñanza en la formación académica que me servirá en esta nueva etapa como profesional.

Evelyn Briyic Sánchez Cubas.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico con mucho amor y agradecimiento a mis padres, Julio Sánchez Gamonal y Lily Cubas Fernández, por su esfuerzo, confianza y constante apoyo a lo largo de mi formación.

A mi familia, por acompañarme en cada etapa de este camino. Y, a todos los que creen en la protección del medio ambiente y los recursos naturales, por ser ejemplo de compromiso y responsabilidad.

Evelyn Briyic Sánchez Cubas.

ANEXOS

Reporte de análisis químico de metales pesados

40

Figura 15

Imágenes del proceso de muestreo y análisis.

