

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE  
PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO, HUANCANÉ – 2024.**

**PRESENTADA POR:**

**ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



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



# 4.49%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 3 SEP 2025, 12:05 PM

## Similarity report

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

● IDENTICAL  
0.54%

● CHANGED TEXT  
3.94%

## Report #28315883

ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO // CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO, HUANCANÉ – 2024. RESUMEN Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en los suelos agrícolas de Paja Isla, y sus características nocivas en la salud centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024. **26** Se empleó una metodología con enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y corte longitudinal. Para el análisis, se recolectaron cuatro muestras de suelo de un kilogramo cada una. Los resultados revelaron una elevada presencia de níquel en los suelos, con concentraciones que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), registrándose valores de 12.66 mg/kg MS y 17.02 mg/kg MS en los puntos evaluados. Esta constante presencia indica una posible fuente persistente de contaminación. Por otro lado, se observaron niveles adecuados de nutrientes como el potasio, así como una baja concentración de metales altamente tóxicos como talio, uranio y mercurio. En cuanto al plomo, se evidenció la necesidad de establecer un monitoreo riguroso, ya que sus concentraciones oscilaron entre 26.93 mg/kg MS y 39.83 mg/kg MS. El valor más alto se registró en el punto PM 01 (39.83 mg/kg MS), mientras que el más bajo se observó en PM 02 (26.93 mg/kg MS). Los puntos PM

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**

**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE  
PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO, HUANCANÉ – 2024.**

**PRESENTADA POR:**

**ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:   
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

PRIMER MIEMBRO

:   
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:   
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:   
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 11 de setiembre del 2025

## DEDICATORIA

A Dios quien me ha guiado y me ha dado esa esperanza, fortaleza para seguir adelante en la vida.

A mí, padre.

A mis hijos y a mi esposa quienes hicieron posible este logro.

A mis familiares por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Con profundo agradecimiento a mi Mentor Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda por su invaluable guía, sus sabios consejos y su apoyo incondicional durante la realización de esta tesis. Su aliento fue fundamental para superar los desafíos.

***Rogelio Choquetico Choquetico***

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, a la escuela profesional de ingeniería ambiental y su plana docente por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A mi asesor de tesis, Ing. Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda por su apoyo incondicional durante la realización de este trabajo de investigación.

A los jurados, a la Mg. Katia Elizabeth Andrade Linarez, al Dr. Esteban Isidro Leon Apaza y al Mg. Fredy Aparicio Castillo Suaquita

A mis, hijos y esposa, familiares por su apoyo incondicional en la ejecución de esta investigación.

***Rogelio Choquetico Choquetico***

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>15</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>17</b>
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	17
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	20
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	21
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>23</b>
2.1.1. EL SUELO.	23

2.1.2. ORIGEN DE LA TEXTURA DEL SUELO.	24
2.1.3. LAS PROPIEDADES DEL SUELO.	24
2.1.4. EL ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS.	25
2.1.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO.	26
2.1.6. MACROFAUNA.	27
2.1.7. MESOFAUNA.	28
2.1.8. MICROFAUNA:	28
2.1.9. SUELO AGRÍCOLA.	29
2.1.10. CONTAMINACIÓN DEL SUELO.	30
2.1.11. ECA PARA SUELOS.	30
2.1.12. EL SUELO COMO UN TODO.	31
2.1.13. PROPIEDADES DEL SUELO.	32
2.1.14. METALES PESADOS.	33
2.1.15. METALES PESADOS EN EL SUELO.	34
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>35</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>36</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS</b>	<b>36</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	36
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	37
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>38</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>38</b>
3.2.1. POBLACIÓN	38
3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA	39
<b>3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS</b>	<b>39</b>
3.3.1. MÉTODO	39
3.3.2. TÉCNICAS	40

<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>42</b>
<b>3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>42</b>
3.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
3.5.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
3.5.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	43
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO.</b>	<b>45</b>
4.1.1. NÍQUEL	45
4.1.2. PLATA	49
4.1.3. PLOMO	52
4.1.4. POTASIO	56
4.1.5. SELENIO	60
4.1.6. SILICIO	64
4.1.7. SODIO	67
4.1.8. TALIO	71
4.1.9. TITANIO	73
4.1.10. URANIO	76
4.1.11. VANADIO	79
4.1.12. ZINC	82
4.1.13. MERCURIO	84
<b>4.2. CARACTERÍSTICAS NOCIVAS DE LOS METALES PESADOS PARA LA SALUD HUMANA PRESENTES EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO HUANCANÉ.</b>	<b>87</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>90</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>93</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Puntos de muestreo y coordenadas UTM	39
<b>Tabla 02:</b> Instrumental empleado en la recolección de datos	40
<b>Tabla 03:</b> Materiales Utilizados en el Muestreo Edáfico	41
<b>Tabla 04:</b> Matriz de operacionalización de variables	42
<b>Tabla 05:</b> De concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de paja isla, del centro poblado yanaoco comparados con los eca decreto supremo n° 011-2017-MINAM.	44
<b>Tabla 06:</b> Concentraciones de níquel	45
<b>Tabla 07:</b> Media de níquel	46
<b>Tabla 08:</b> Concentraciones de plata	49
<b>Tabla 09:</b> Media de plata	49
<b>Tabla 10:</b> Concentraciones de plomo	52
<b>Tabla 11:</b> Media de plomo	53
<b>Tabla 12:</b> Concentraciones de potasio	56
<b>Tabla 13:</b> Media de potasio	57
<b>Tabla 14:</b> Concentraciones de selenio	60
<b>Tabla 15:</b> Media de selenio	61
<b>Tabla 16:</b> Concentraciones de silicio	64
<b>Tabla 17:</b> Media de silicio	64
<b>Tabla 18:</b> Concentraciones de sodio	67
<b>Tabla 19:</b> Media de sodio	68
<b>Tabla 20:</b> Concentraciones de talio	71
<b>Tabla 21:</b> Media de talio	71
<b>Tabla 22:</b> Concentraciones de titanio	73
<b>Tabla 23:</b> Media de titanio	74
<b>Tabla 24:</b> Concentraciones de uranio	76

<b>Tabla 25:</b> Media de uranio	77
<b>Tabla 26:</b> Concentraciones de vanadio	79
<b>Tabla 27:</b> Media de vanadio	80
<b>Tabla 28:</b> Concentraciones de zinc	82
<b>Tabla 29:</b> Media de zinc	82
<b>Tabla 30:</b> Concentraciones de mercurio	84
<b>Tabla 31:</b> Media de mercurio	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Ubicación de la zona de estudio	38
<b>Figura 02:</b> Concentraciones de níquel	47
<b>Figura 03:</b> Concentraciones de plata	50
<b>Figura 04:</b> Concentraciones de plomo	54
<b>Figura 05:</b> Concentraciones de potasio	58
<b>Figura 06:</b> Concentraciones de selenio	62
<b>Figura 07:</b> Concentraciones de silicio	65
<b>Figura 08:</b> Concentraciones de sodio	69
<b>Figura 09:</b> Concentraciones de talio	72
<b>Figura 10:</b> Concentraciones de titanio	75
<b>Figura 11:</b> Concentraciones de uranio	78
<b>Figura 12:</b> Concentraciones de vanadio	80
<b>Figura 13:</b> Concentraciones de zinc	83
<b>Figura 14:</b> Concentraciones de mercurio	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia: CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO, HUANCANÉ – 2024.	99
<b>Anexo 02:</b> Formato que se utilizó durante la ubicación de puntos de muestreo	100
<b>Anexo 03:</b> Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo	101
<b>Anexo 04:</b> Informe de resultados de laboratorio.	102
<b>Anexo 05:</b> Toma de muestras	103

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en los suelos agrícolas de Paja Isla, y sus características nocivas en la salud centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024. Se empleó una metodología con enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo descriptivo y corte longitudinal. Para el análisis, se recolectaron cuatro muestras de suelo de un kilogramo cada una. Los resultados revelaron una elevada presencia de níquel en los suelos, con concentraciones que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), registrándose valores de 12.66 mg/kg MS y 17.02 mg/kg MS en los puntos evaluados. Esta constante presencia indica una posible fuente persistente de contaminación. Por otro lado, se observaron niveles adecuados de nutrientes como el potasio, así como una baja concentración de metales altamente tóxicos como talio, uranio y mercurio. En cuanto al plomo, se evidenció la necesidad de establecer un monitoreo riguroso, ya que sus concentraciones oscilaron entre 26.93 mg/kg MS y 39.83 mg/kg MS. El valor más alto se registró en el punto PM 01 (39.83 mg/kg MS), mientras que el más bajo se observó en PM 02 (26.93 mg/kg MS). Los puntos PM 03 y PM 04 presentaron niveles intermedios de 30.75 mg/kg MS y 36.29 mg/kg MS, respectivamente. En conclusión, estos hallazgos destacan la urgencia de implementar un sistema de monitoreo continuo de metales pesados en suelos agrícolas, con el propósito de garantizar la sostenibilidad de la producción, preservar la calidad del suelo y proteger la salud humana.

**Palabras clave:** Contaminación, Metales pesados, Suelos agrícolas.

## ABSTRACT

This research aimed to evaluate the levels of heavy metal contamination in the agricultural soils of Paja Isla, and their harmful effects on the health of the Yanaoco population center, Huancané, in 2024. A quantitative approach methodology was employed, using a non-experimental, descriptive, and longitudinal design. For the analysis, four one-kilogram soil samples were collected. The results revealed a high presence of nickel in the soils, with concentrations exceeding the Environmental Quality Standards (EQS), recording values of 12.66 mg/kg dry matter and 17.02 mg/kg dry matter at the evaluated points. This consistent presence indicates a possible persistent source of contamination. On the other hand, adequate levels of nutrients such as potassium were observed, as well as low concentrations of highly toxic metals such as thallium, uranium, and mercury. Regarding lead, the need for rigorous monitoring was evident, as concentrations ranged from 26.93 mg/kg dry matter to 39.83 mg/kg dry matter. The highest value was recorded at point PM 01 (39.83 mg/kg dry matter), while the lowest was observed at PM 02 (26.93 mg/kg dry matter). Points PM 03 and PM 04 showed intermediate levels of 30.75 mg/kg dry matter and 36.29 mg/kg dry matter, respectively. In conclusion, these findings highlight the urgency of implementing a continuous monitoring system for heavy metals in agricultural soils, with the aim of ensuring sustainable production, preserving soil quality, and protecting human health.

**Keywords:** Pollution, Metals heavy, Agricultural soil .

## INTRODUCCIÓN

En el escenario internacional, la polución de los suelos utilizados para la agricultura por elementos metálicos de alta toxicidad constituye una preocupación cada vez más alarmante, dado su impacto sobre la seguridad alimentaria, la integridad sanitaria de la población y la permanencia de los sistemas ecológicos. La proliferación de actividades extractivas, la industrialización desmedida y el empleo excesivo de sustancias químicas sintéticas en el agro han originado la concentración de compuestos como el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg) y el arsénico (As) en el entorno edáfico. Esta alteración compromete las características fisicoquímicas del suelo y desencadena un deterioro en la calidad y salubridad de los cultivos, altamente perjudiciales para los seres vivos.(Fernández et al., 2022)

En el contexto nacional, esta problemática se presenta con una intensidad particular, dada la larga trayectoria del país en cuanto a la explotación minera, muchas veces ejecutada sin mecanismos efectivos de mitigación ambiental. Son varias las jurisdicciones del territorio nacional que registran concentraciones de metales pesados en sus suelos por encima de los parámetros aceptables según normativas nacionales e internacionales. Tal circunstancia ha generado alarma tanto por la alteración de los equilibrios ecosistémicos como por los peligros que esto representa para la salud colectiva, especialmente en comunidades rurales que dependen de la producción agropecuaria como medio de subsistencia fundamental (Moreno et al., 2022).

En el ámbito del altiplano puneño, y con particularidad en la jurisdicción de Huancané, la agricultura constituye una pieza clave en la dinámica económica y en la dieta básica de las familias del campo. No obstante, se ha intensificado la preocupación por la integridad de los suelos agrícolas en ciertas áreas específicas, como la comunidad de Paja Isla, perteneciente al centro poblado Yanaco, donde se han detectado señales de afectación por metales pesados. Tal situación podría derivarse de fuentes contaminantes locales, tales como el uso de aguas servidas en labores de riego, la cercanía a depósitos de residuos mineros antiguos o el manejo inadecuado de agroquímicos. La presencia de estos metales

no solamente amenaza la capacidad productiva de la tierra, sino que también constituye un riesgo para la salud pública y para la estabilidad de los ecosistemas del entorno (Fernández et al., 2022).

La presente investigación presenta los siguientes contenidos:

Capítulo I: Planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación,

Capítulo II: Marco teórico, marco conceptual e hipótesis de la investigación.

Capítulo III: Metodología de la investigación

Capítulo VI: Exposición y análisis de resultado

Conclusiones y recomendaciones

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el **contexto internacional**, podemos sostener que la alteración de los suelos con fines agrícolas mediante la presencia de metales pesados ha emergido como un asunto de creciente inquietud ecológica a nivel planetario. Este fenómeno, generado por la expansión de procesos industriales, el extractivismo intensivo y la utilización excesiva e indiscriminada de compuestos agroquímicos, ha provocado una erosión sostenida en la integridad de los suelos cultivables, comprometiendo la estabilidad de los ecosistemas edáficos y constituyendo una amenaza directa para el abastecimiento alimentario. Elementos como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As) tienen la capacidad de acumularse en matrices edáficas activas, siendo posteriormente asimilados por los vegetales cultivados, con repercusiones negativas tanto para la calidad del producto cosechado como para la salud de quienes lo consumen. La permanencia prolongada de estos metales en el suelo y su peligrosidad incluso en proporciones mínimas los posiciona como contaminantes críticos de alta persistencia ambiental (Chávez et al., 2024).

En el **contexto nacional**, esta situación presenta una complejidad considerable. La prolongada actividad extractiva —en muchos casos ejercida al margen de un marco normativo ambiental sólido— ha dado lugar a una importante carga de pasivos contaminantes distribuidos en distintas zonas del país. Esta realidad se agrava con la débil fiscalización del uso de insumos agrícolas con componentes metálicos, el riego de cultivos con aguas de dudosa calidad y la limitada supervisión de las condiciones físico-químicas de

los suelos destinados a la producción agroalimentaria. Como resultado, diversos territorios rurales enfrentan un progresivo deterioro del sustrato edáfico, registrando niveles de metales tóxicos que rebasan los umbrales establecidos por organismos nacionales e internacionales, lo que repercute de forma directa en la salud de las comunidades agrícolas que subsisten de dicha actividad (Llanos et al., 2024).

En el **contexto local**, esta problemática también se manifiesta con especial preocupación en la comunidad de Paja Isla, ubicada en el centro poblado Yanaco, provincia de Huancané, región Puno. En esta zona altiplánica, se han evidenciado signos de contaminación en los suelos cultivables, probablemente vinculados al uso continuo de aguas servidas para riego, la proximidad a antiguos focos contaminantes como relaves abandonados y la utilización sin control técnico de insumos agroquímicos. Esta situación cobra especial gravedad debido a que la economía y el acceso a alimentos en dicha comunidad dependen fundamentalmente de una agricultura de subsistencia. La acumulación de metales pesados en el suelo podría estar provocando una reducción en la fertilidad del terreno, un descenso en el rendimiento productivo y una amenaza directa a la seguridad alimentaria local. Además, esta contaminación resulta difícil de identificar sin análisis específicos, lo que impide una respuesta temprana y adecuada por parte de los agricultores.

Entre los factores causales que originan esta problemática se destacan el empleo de productos agrícolas sin regulación, la utilización de recursos hídricos contaminados en la irrigación, la escasa formación técnica de los productores rurales y la insuficiencia de mecanismos de fiscalización ambiental. En cuanto a sus consecuencias más evidentes, se observan el empobrecimiento progresivo del suelo, la merma en la productividad agrícola, posibles daños a la salud de la población y la pérdida de credibilidad en la calidad de los productos alimenticios locales. Las variables principales consideradas en esta investigación son: la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas (variable independiente), y la calidad de los cultivos junto con los posibles impactos en la salud humana (variables dependientes), (Chambi et al., 2017).

Los pobladores de Paja Isla centro poblado de Yanaoco se dedican a la agricultura y la ganadería, quienes usan las aguas para regadío del río Ramis con un alto contenido de sólidos suspendidos, sufriendo las consecuencias de la contaminación generada en la cuenca por actividades de la minería y vacunación de aguas servidas de puebla ribereños de la sub cuenca Ramis; en varias oportunidades el río Ramis llegó a desbordar en los suelos agrícolas de Paja Isla, motivo por el cual se decidió investigar, para conocer el estado real de los suelos de Paja Isla respecto a su probable contaminación por metales pesados durante los últimos años debido a que los rendimientos de los cultivos han decrecido en comparación a las de los años anteriores.(Coila et al., 2024).

Dado este panorama, se hace imprescindible articular una interrogante general que oriente el desarrollo del presente estudio:

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es el nivel de contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de Paja Isla y sus características nocivas en la salud, centro poblado Yanaoco, Huancané – 2024?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM?
- ¿Qué características nocivas a la salud tienen los metales pesados presentes en suelos agrícolas de Paja Isla del centro poblado de Yanaoco Huancané?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL**

Castro et al., (2024), en su investigación: “*Análisis espacial de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Atoyac-Zahuapan y riesgos de salud pública*”, el objetivo fue analizar la presencia de Cd, Pb, Cr y As en suelos irrigados con aguas residuales en Tepetitla de Lardizábal, Nativitas, Santa Isabel Tetlatlahuca y Tecamachalco. Utilizando ICP-OES y ecuaciones de la USEPA, se determinó el riesgo para hombres, mujeres y niños. Los resultados mostraron que los adultos presentan mayor riesgo, siendo el Cd y Cr los

metales más peligrosos; la exposición oral fue crítica en niños y dérmica en adultos. El riesgo cancerígeno en adultos siguió el orden  $Cd > As > Cr > Pb$ . El 99 % de la zona analizada mostró presencia de As, afectando 51 municipios.

Balderas et al., (2023), en su trabajo realizado: *“Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho”*, analizaron el grado de contaminación en suelos agrícolas cercanos a depósitos de autos en el ejido de San Gabriel Jilotepec. El objetivo fue identificar la concentración de metales pesados en muestras tomadas a distintas profundidades (0–10 cm y 10–30 cm) cada 5 m hasta 25 m de distancia. Se detectaron altos niveles de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn, especialmente en la capa superficial inicial. El índice de Zn equivalente superó 250  $\mu\text{g/g}$ , indicando toxicidad potencial. Además, en pruebas con ryegrass, aunque Cu y Zn excedieron niveles permisibles, no se evidenciaron daños visibles en las plantas cultivadas en condiciones controladas.

Chavez et al., (2024), en su trabajo: *“Relación de la concentración de metales pesados en suelos agrícolas sobre la fitotoxicidad en hortalizas, distrito de Saylla, Cusco, 2024”*, tuvieron como objetivo evaluar la relación entre la concentración de metales pesados en suelos agrícolas y la fitotoxicidad en lechuga, zanahoria y cebolla. Mediante un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se analizaron muestras de agua, suelo y hortalizas. Se encontraron niveles de arsénico (2,60 mg/kg), cadmio (0,30 mg/kg), cromo (1,27 mg/kg), plomo (3,29 mg/kg) y zinc (51,94 mg/kg) en suelos; solo el cromo superó el ECA. Las hortalizas excedieron los límites permitidos de metales pesados según el Codex Alimentarius, excepto el zinc. Se propuso aplicar fitorremediación como estrategia de mitigación en Saylla.

Chambi et al., (2017), en su trabajo: *“Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó Bolivia”*, tuvieron como objetivo determinar la concentración de Pb, Cd, Zn y As en suelos y cultivos (papa, haba, cebada y alfalfa) en las microcuencas de Venta y Media, Coriviri y Poopó. Mediante espectrofotometría de absorción atómica, se analizaron muestras en tres niveles (alto, medio y bajo). Los resultados revelaron una alta presencia de arsénico en suelos,

superando el límite peligroso de 55 mg/kg, debido a procesos de mineralización natural y actividad minera. En los cultivos, el haba mostró mayor acumulación de arsénico, alcanzando concentraciones superiores a 1,7 mg/kg, lo que indica la necesidad de medidas de remediación urgente.

Mahecha et al., (2017), en su trabajo: "*Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia* ", tuvieron como objetivo recopilar investigaciones sobre metales pesados en sistemas agrícolas del país, para establecer una línea base que oriente futuras investigaciones. Se utilizó una revisión documental de estudios disponibles, analizando presencia y concentración de metales en suelo, cultivos e insumos. Los resultados evidenciaron que los metales más reportados fueron Cd, Pb, Hg y Cr, destacando el cadmio como prioritario. Se observó baja producción científica en esta área, concentrada principalmente en la región central del país. En zonas estratégicas como la Orinoquia solo se hallaron tres estudios recientes. Se concluye la urgencia de establecer valores de referencia y programas de monitoreo de contaminación en suelos agrícolas colombianos.

Anaya et al., (2022), en su trabajo: "*Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: una revisión sistemática* ", una revisión sistemática, analizaron la concentración de metales pesados en cultivos y suelos agrícolas a nivel mundial. El objetivo fue evaluar estudios recientes sobre estos niveles en suelos y hortalizas irrigadas con aguas superficiales. Utilizaron la metodología PRISMA para revisar 21 investigaciones publicadas entre 2018 y 2022, consultando bases como Science Direct y Scielo. Los análisis se basaron en digestión por vía húmeda y espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron variaciones en la concentración de metales, predominando estudios en Asia y África. Concluyeron que conocer las fuentes y procesos de contaminación es crucial para una producción agrícola segura y sostenible.

Llanos et al., (2024), en su trabajo: "*Contaminación por metales pesados de microcuena del río Alto Huallaga y suelos agrícolas* ", evaluaron la contaminación por Cd, Pb y Cu en aguas y suelos agrícolas de varias zonas del río Huallaga. Utilizaron una metodología descriptiva para analizar muestras de agua y suelo, determinando la concentración de

metales pesados en diferentes tramos. Los resultados indicaron niveles en agua de Cd 0.002 mg/L, Pb 0.07 mg/L y Cu 2.7 mg/L, con pH neutro entre 7.80 y 7.92. En suelos, se detectaron Cd entre 0.06 y 0.07 mg/kg, Pb de 0.5 a 0.9 mg/kg y Cu de 2.3 a 2.5 mg/kg. Concluyeron que la contaminación proviene principalmente de relaves mineros que afectan el ecosistema y la agricultura local.

### 1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Moreno et al., (2022), en su trabajo: *“Fitoextracción de Pb , As y Cd , presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “ maíz ” ( Zea mays L .) y “ beterraga ” ( Beta vulgaris L .)“*, tuvieron como objetivo cuantificar la absorción de plomo, arsénico y cadmio por ambas especies vegetales cultivadas en suelos contaminados en Samne, La Libertad, Perú. Utilizaron espectrofotometría de absorción atómica para determinar las concentraciones metálicas. Los resultados mostraron que la beterraga presentó mayor acumulación, especialmente en la raíz, con valores máximos de 432,95 mg/kg para Pb, 13,88 mg/kg para Cd y 3,89 mg/kg para As. La tendencia de absorción fue Pb > Cd > As. Se concluye que la beterraga tiene alta capacidad de fitoextracción, especialmente para plomo en condiciones experimentales.

Fernandez et al., (2022), en su trabajo: *“Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú) “*, tuvieron como objetivo evaluar la contaminación del suelo mediante el índice de geoacumulación y analizar la influencia del pH y la materia orgánica en la distribución de metales pesados. Se recolectaron cuatro muestras en zonas cercanas a la quebrada Paxa, área afectada por residuos mineros. Se midieron las concentraciones de As, Ba, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni y Zn utilizando espectrofotometría de emisión óptica, y el pH y materia orgánica mediante potenciometría y colorimetría. Los resultados mostraron contaminación moderada a fuerte por As, Cd y Pb (clases 1, 2 y 3), con suelos ácidos (pH 4.1) y bajo contenido orgánico (0.8%), lo que favorece la movilidad de estos metales.

Sánchez, (2021), en su trabajo: *“Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados con cadmio en el distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja, 2018 “*, tuvo

como objetivo determinar las propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la contaminación por cadmio. Se analizaron 40 muestras de suelo superficial, evaluando arena, limo, arcilla, densidad, porosidad, pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo y potasio. Los resultados indicaron variaciones significativas: arcilla (8-53%), arena (12-76.5%), pH entre 7.62 y 8.31, CE de 0.24 a 2.67 dS/m. Se encontró correlación significativa entre cadmio y arcilla, arena, pH y CE, lo que sugiere que estas propiedades influyen en la contaminación por cadmio en la zona estudiada.

Carrasco, (2025), en su trabajo: *“Percepción de la contaminación por metales pesados y riesgos en la salud en la población de dos distritos en cerro de pasco”*, tuvo como objetivo conocer las representaciones sociales sobre la contaminación por metales pesados y sus efectos biopsicosociales. Desde un enfoque cualitativo, empleó entrevistas a profundidad, grupos focales y técnicas proyectivas. Los resultados revelaron una alta percepción y naturalización del problema en la comunidad. Los adultos expresaron sentimientos de indefensión y desesperanza, mientras que niños y adolescentes mostraron mayor tolerancia. Se concluyó que las acciones del MINSA son vistas como insuficientes, y hay descontento hacia las autoridades por corrupción e inacción. Se recomienda incluir a la población en estrategias de mitigación y seguimiento especializado para niños afectados.

### **1.2.3. A NIVEL REGIONAL**

Coila, (2024), en su investigación *“Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en agua para riego y suelo agrícola en el distrito de Llalli Provincia de Melgar – Puno”*, tuvo como objetivo analizar la presencia de Pb, Ni, Cd, Hg y As en agua de riego y suelos agrícolas, comparando los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el MINAM. Se aplicó el protocolo nacional de monitoreo de aguas superficiales y un muestreo adecuado de suelos, con análisis realizados en el laboratorio del INIA. Los resultados mostraron que el agua contenía 0,0381 mg/l de As, mientras que el suelo registró 25,05 mg/kg de Pb y 29,05 mg/kg de As. Aunque los niveles están por debajo de los límites permitidos, se concluye que existe contaminación por relaves mineros.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en los suelos agrícolas de Paja Isla, y sus características nocivas en la salud centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
- Revisar las características nocivas de los metales pesados para la salud humana presentes en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco Huancané.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. EL SUELO.

La edafosfera, comúnmente conocida como suelo, representa una fracción superficial de la litosfera de importancia crítica para los procesos bióticos y abióticos del planeta. Esta capa dinámica es el resultado de una compleja serie de transformaciones de materiales tanto minerales como orgánicos, modelados a lo largo del tiempo mediante interacciones fisicoquímicas y biológicas. (Sánchez, 2021), señalan que este sistema heterogéneo está compuesto por una matriz estructural conformada por agregados minerales, compuestos orgánicos, soluciones acuosas y gases, que se organizan en estratos o horizontes producto de su evolución pedogenética (LEY N° 28245, 2005).

Su génesis se encuentra estrechamente ligada a la descomposición progresiva de la litología subyacente la roca madre influenciada por variables como la temperatura, la precipitación, los organismos vivos, las condiciones topográficas y la temporalidad del proceso (Bautista et al., 2004). Estas fuerzas convergen para originar un ambiente multifuncional que cumple funciones esenciales: sustentar la vida vegetal, actuar como regulador hídrico y contribuir a la estabilidad de los hábitats naturales (Hernán & Orjuela, 2010).

Desde el campo de la edafología, se reconoce al suelo como algo más que un simple sustrato de soporte; es un reservorio clave de macro y micronutrientes, además de operar como una barrera bioquímica capaz de atenuar el desplazamiento de compuestos nocivos en el ecosistema (Trujillo-González et al., 2018). Cualquier alteración estructural o

composicional como ocurre en los procesos de contaminación por metales pesados compromete seriamente estas funciones vitales, tanto en el plano ecológico como en el agrícola.

### 2.1.2. ORIGEN DE LA TEXTURA DEL SUELO.

La textura del suelo se refiere a la proporción cuantitativa de partículas inorgánicas diferenciadas por su diámetro: arenas (gruesas), limos (intermedios) y arcillas (finas). Este atributo deriva primariamente de las características litológicas de la roca matriz de origen, así como del grado y tipo de meteorización experimentado. Según (Murgas et al., 2015), la composición granulométrica inicial está condicionada por la mineralogía del material parental: formaciones ígneas como el granito tienden a dar lugar a suelos de textura más gruesa, mientras que formaciones sedimentarias o volcánicas, como las lutitas o basaltos, engendran perfiles más arcillosos.

Factores exógenos como el clima, la morfología del relieve y el transcurso del tiempo también inciden en la evolución textural del suelo. (Álvarez et al., 2023), explican que, en zonas con alta pluviosidad, los procesos de lixiviación favorecen el transporte vertical de partículas finas hacia capas más profundas, acumulando arcillas en los horizontes subsuperficiales. Por el contrario, en regiones secas o semiáridas predomina la conservación de partículas de mayor tamaño debido a la menor actividad química. La textura, además de influir en la retención hídrica y la aireación, desempeña un papel fundamental en la movilidad y absorción de elementos contaminantes como los metales pesados dentro del perfil edáfico.

### 2.1.3. LAS PROPIEDADES DEL SUELO.

Las características del suelo emergen de la interacción entre sus componentes minerales, orgánicos y bióticos, configurando un conjunto de propiedades esenciales para su desempeño funcional en los ecosistemas. Estas propiedades se suelen clasificar en tres categorías principales: **físicas**, **químicas** y **biológicas**, cada una de ellas con implicancias directas sobre la fertilidad edáfica y su capacidad de sostener procesos vitales.

Desde la dimensión física, se destacan atributos como la textura, la estructura agregada, la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención hídrica, todos ellos determinantes en el suministro de agua y oxígeno a las raíces (Valenzuela B et al., 2015). En el ámbito químico, el comportamiento del suelo está regido por parámetros como el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el contenido de nutrientes esenciales, y la concentración de elementos traza, incluidos aquellos potencialmente tóxicos como el plomo, cadmio o mercurio (Roncallo et al., 2013).

Las propiedades biológicas del suelo hacen referencia al grado de actividad y diversidad microbiana, así como a los procesos de transformación de la materia orgánica. Un suelo con alta actividad biológica posee una comunidad funcional de microorganismos que participan activamente en la degradación de residuos y la movilización de nutrientes. Sin embargo, la introducción de contaminantes metálicos puede desequilibrar este delicado sistema, inhibiendo reacciones enzimáticas, reduciendo la abundancia de especies benéficas y alterando los ciclos biogeoquímicos del carbono y el nitrógeno (Velazquez et al., 2022). La pérdida de funcionalidad biológica reduce la resiliencia del suelo frente a disturbios y debilita su capacidad para sostener sistemas agrícolas sostenibles.

#### **2.1.4. EL ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS.**

La polución del sustrato terrestre obedece a una multiplicidad de fuentes de carácter antrópico, estrechamente relacionadas con el incremento descontrolado de actividades industriales, urbanísticas, extractivas y agroindustriales. Esta disfunción edáfica se manifiesta cuando se incorporan, de manera directa o indirecta, sustancias químicas nocivas, elementos metálicos de elevada toxicidad, compuestos hidrocarbonados y residuos biodegradables o persistentes, en concentraciones que sobrepasan la capacidad de amortiguamiento del sistema edáfico-natural. Como señala Jiménez (2017), algunos de los contaminantes más usuales en estos escenarios incluyen plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), níquel (Ni), zinc (Zn) y cobre (Cu), cuyas fuentes típicas son los desechos industriales, las emisiones urbanas, los residuos mineros y la combustión de carburantes fósiles.

Dentro del ámbito extractivo, tanto la minería formal como la informal se posicionan como emisores significativos de metales pesados al suelo, a través de la mala disposición de relaves, vertidos lixiviados y pasivos ambientales no remediados, que filtran directamente hacia las capas superficiales y subyacentes del suelo (Loo Gil, 2021). De manera similar, las prácticas agrícolas intensivas contribuyen a esta problemática mediante la aplicación desmesurada de fertilizantes inorgánicos y pesticidas con componentes metálicos, particularmente aquellos que contienen cobre y mercurio (FAO, 2015). Asimismo, el uso de combustibles enriquecidos con aditivos metálicos, como el tetraetilo de plomo, y el manejo deficiente de sustancias petroleras y sus derivados, agudizan la contaminación, ya sea de forma localizada o por dispersión atmosférica (Keiber et al., 2016).

La presencia acumulativa y persistente de dichos compuestos compromete la funcionalidad integral del suelo, especialmente cuando la carga contaminante supera la capacidad de absorción o transformación por parte de los organismos edáficos. Por lo tanto, el fenómeno de la contaminación del suelo no debe abordarse como una situación aislada, sino como una consecuencia multifactorial derivada de prácticas humanas inadecuadamente reguladas o ambientalmente negligentes.

#### **2.1.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO.**

La alteración de la matriz del suelo debido a la infiltración de sustancias nocivas genera impactos multidimensionales que repercuten de forma directa sobre la estabilidad de los ecosistemas, la funcionalidad agrícola y la salud de las especies vivas, incluyendo a los seres humanos. Como indica (Velásquez, 2017), los efectos de esta contaminación varían en función de dos factores clave: la concentración de los agentes tóxicos y su biodisponibilidad, es decir, el grado en que estos pueden ser asimilados o incorporados por organismos vivos.

Los metales pesados, dada su naturaleza no biodegradable y su tendencia a acumularse en los tejidos biológicos, constituyen una amenaza de carácter crónico. Su presencia en suelos agrícolas facilita su incorporación a través de las raíces de las plantas, afectando la cadena alimentaria y propiciando la transferencia trófica de contaminantes desde el suelo hasta el

consumidor final. Según Giller et al. (1998) y Chibuike & Obiora (2014), esta carga tóxica puede generar desbalances en las comunidades microbianas edáficas, inhibiendo funciones esenciales como la mineralización del nitrógeno, la descomposición de materia orgánica o la regeneración de nutrientes.

Desde una perspectiva sanitaria, el consumo de productos agroalimentarios provenientes de suelos contaminados con metales pesados representa una vía directa de exposición humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte que la exposición crónica a estos elementos puede inducir patologías renales, alteraciones neurológicas, disfunciones hepáticas y procesos neoplásicos. Además, la exposición cutánea o por inhalación de partículas suspendidas del suelo contaminado supone un riesgo adicional, especialmente en comunidades agrícolas o rurales donde el contacto con la tierra es cotidiano.

De igual manera, la pérdida de fertilidad edáfica a causa de la contaminación reduce la capacidad productiva del suelo, genera pérdidas económicas considerables y acentúa los conflictos socioambientales asociados a la inseguridad alimentaria y la salud colectiva. Por ende, las consecuencias de la contaminación del suelo no solo se limitan al ámbito pedológico, sino que constituyen una amenaza directa para la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano en su conjunto.

#### **2.1.6. MACROFAUNA.**

La macrofauna agrupa a aquellos organismos del suelo cuyo tamaño corporal excede el centímetro, lo que permite su observación a simple vista sin necesidad de instrumental especializado. Estos seres desempeñan roles cruciales en la configuración estructural y en la modificación química del medio edáfico. Según (Pinzón et al., 2014), tanto vertebrados terrestres pequeños como ciertos mamíferos menores y reptiles como invertebrados voluminosos, incluyendo anélidos (lombrices), coleópteros y miriápodos, participan activamente en la fragmentación de material orgánico, la aireación del suelo y la creación y mantenimiento de galerías que facilitan la circulación de agua y gases.

En particular, las lombrices de tierra se consideran auténticos ingenieros del ecosistema del suelo, ya que sus desplazamientos y procesos digestivos favorecen la formación de

agregados estables y estimulan la mineralización de nutrientes esenciales para la vida vegetal (Cuellar et al., 2021). Además, estos organismos promueven el transporte vertical de materia orgánica y microorganismos, mejorando la funcionalidad general del perfil edáfico. Decaëns (2010) señala que la abundancia y diversidad de macrofauna se correlacionan estrechamente con la calidad del suelo y su capacidad de recuperación frente a alteraciones, como la contaminación por metales pesados.

#### **2.1.7. MESOFAUNA.**

La mesofauna incluye organismos cuyo tamaño oscila entre 200 micrómetros y 1 centímetro, integrando una diversidad de artrópodos como ácaros, colémbolos y pequeños insectos junto con nematodos, estos últimos siendo los más representativos y abundantes en este grupo (Eugenio & Mogollón, 2021). Aunque su tamaño es reducido, su influencia ecológica es significativa, actuando como descomponedores secundarios que fragmentan residuos orgánicos, lo que facilita la actividad de microorganismos descomponedores que procesan restos vegetales y animales.

Gizzi et al., (2009), explican que estos organismos ejercen un efecto selectivo sobre las comunidades microbianas del suelo, modulando la velocidad de las reacciones bioquímicas y participando activamente en ciclos biogeoquímicos vitales como los del carbono y el nitrógeno. Su movimiento y actividad también contribuyen a la creación de microporosidad y a la mejora de la estructura física del suelo, factores que incrementan la capacidad de infiltración hídrica y la retención de nutrientes. Por ello, la perturbación de su hábitat, especialmente por contaminantes como metales pesados, puede originar desbalances funcionales significativos en el ecosistema edáfico.

#### **2.1.8. MICROFAUNA:**

La microfauna está compuesta por organismos microscópicos que miden entre 20 y 200 micrómetros. Entre ellos se encuentran protistas, rotíferos y diminutos nematodos, todos fundamentales para la descomposición de materia orgánica y para procesos bioquímicos esenciales, como la humificación y mineralización, que contribuyen a la formación de suelos

fértiles (Castellanos Gonzalez et al., 2020). No obstante, dentro de este nicho microbiano, las bacterias dominan en términos de biomasa y actividad metabólica.

Estas bacterias, mayormente heterótrofas, descomponen compuestos orgánicos complejos y liberan minerales que pueden ser absorbidos por las raíces vegetales. Algunas bacterias autótrofas quimiosintéticas participan en la fijación de nitrógeno y la oxidación de sustancias inorgánicas, desempeñando un papel clave en el sostenimiento de la fertilidad del suelo (Núñez Ravelo & Toledo Bruzual, 2013). Las alteraciones químicas provocadas por la presencia excesiva de metales pesados tienden a disminuir la diversidad y el desempeño funcional de estas comunidades microbianas, lo que incide negativamente en la calidad biológica del suelo (Giller et al., 1998).

### **2.1.9. SUELO AGRÍCOLA.**

Los terrenos destinados a la agricultura representan no solo el soporte físico para la producción de cultivos, forrajes y pastos, sino que constituyen sistemas ecológicos complejos que albergan una notable diversidad biológica. Estas superficies edáficas desempeñan un rol crucial en la conservación de la biodiversidad del suelo, la regulación de los ciclos biogeoquímicos y la provisión de servicios ecosistémicos vitales, tales como la purificación del agua, la captura y almacenamiento de carbono, así como la protección de hábitats para diversas especies vegetales y animales silvestres (Brussaard et al., 2007; Lal, 2015). De acuerdo con lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, los suelos agrícolas son también elementos esenciales para la conectividad ecológica, facilitando el desplazamiento y la persistencia de organismos tanto endémicos como migratorios, favoreciendo así la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas terrestres en áreas cultivadas.

Desde un enfoque agroecológico, la gestión sostenible de estos suelos implica salvaguardar su integridad estructural, mantener su fertilidad química y conservar la diversidad biológica, lo que asegura la productividad a largo plazo y minimiza impactos ambientales negativos (Peña et al., 2021). La salud del suelo agrícola está intrínsecamente ligada a prácticas de manejo que fomentan la retención de materia orgánica, la diversidad y actividad microbiana,

así como la capacidad del suelo para recuperarse ante perturbaciones antropogénicas o naturales.

#### **2.1.10. CONTAMINACIÓN DEL SUELO.**

El suelo agrícola puede sufrir un deterioro químico significativo debido a la incorporación de contaminantes originados por actividades humanas, comprometiendo su calidad edáfica y funcionalidad. Conforme al Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, la contaminación del suelo se caracteriza por la alteración adversa de sus propiedades químicas causada por la presencia de compuestos tóxicos que exceden los umbrales permisibles, afectando la salud del suelo y la seguridad alimentaria.

Los contaminantes más frecuentes en suelos agrícolas incluyen metales pesados como cadmio, plomo y mercurio, residuos persistentes de plaguicidas, hidrocarburos y excesos de fertilizantes químicos. Estas sustancias pueden acumularse y persistir en el perfil del suelo, causando impactos negativos sobre la comunidad microbológica, la calidad del agua subterránea y la salud humana (McLaughlin et al., 2000; Alloway, 2013). La contaminación química compromete procesos esenciales del suelo, como la mineralización y el reciclaje de nutrientes, reduce la diversidad y funcionalidad microbiana, y puede inducir fitotoxicidad, afectando el desarrollo y rendimiento agrícola (Giller et al., 1998; Chibuike & Obiora, 2014). La gestión inapropiada de agroquímicos y la carencia de estrategias agrícolas sostenibles incrementan la probabilidad de contaminación difusa, por lo que la adopción de tecnologías de remediación y sistemas de monitoreo resulta indispensable para conservar la integridad del suelo agrícola y salvaguardar la salud de los ecosistemas y comunidades dependientes (FAO, 2017; Zeng et al., 2018).

#### **2.1.11. ECA PARA SUELOS.**

Los ECA para Suelo sirven como una referencia obligatoria para el diseño e implementación de instrumentos de gestión ambiental, y se aplican a los parámetros relacionados con las actividades productivas, extractivas y de servicios. (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) (Anexo 6)

La concentración de metales se comparó con los parámetros establecidos en los ECA para suelo, según el D.S. N° 011 – 2017 MINAM y el CCME. Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo sirven como referencia obligatoria para adaptar o crear nuevos instrumentos de gestión ambiental preventivos. Este proceso se lleva a cabo conforme a las disposiciones en el marco legal del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). Se ajustan los ECA para suelo. La aplicación de medidas rectificadoras está condicionada al estricto cumplimiento de la legislación ambiental vigente, lo que implica considerar los ECA para Suelo y los requerimientos particulares y específicos de cada sector productivo. (D.S N° 011-2017-MINAM.)

#### **2.1.12. EL SUELO COMO UN TODO.**

El suelo debe entenderse como un sistema integral y dinámico en el que sus elementos minerales, orgánicos, biológicos y físicos se entrelazan formando una red compleja y mutuamente dependiente. Esta interacción orgánica da lugar a procesos vitales que garantizan el equilibrio y la funcionalidad del ecosistema edáfico. Acosta (2007) enfatiza que el suelo no es simplemente un depósito pasivo de partículas, sino un ente vivo que actúa como un sistema unificado, donde cualquier perturbación en uno de sus componentes puede alterar significativamente el balance total. Esta perspectiva coincide con lo planteado por Tisdall y Oades (1982), quienes describen el suelo como un sistema dinámico y en evolución continua, resultado de la interacción entre minerales, materia orgánica, organismos vivos y factores ambientales.

Asimismo, Brady y Weil (2010), resaltan que el suelo opera como un microecosistema donde los procesos biogeoquímicos están íntimamente ligados a la actividad biológica, configurando una red de ciclos y flujos de nutrientes indispensables. Bardgett y van der Putten (2014) subrayan que la diversidad biológica edáfica, desde microorganismos hasta macrofauna, es fundamental para preservar la resiliencia del suelo ante perturbaciones ambientales, incluidas las generadas por acciones humanas.

La intrincada naturaleza del suelo implica que sus características y funciones son extremadamente sensibles a alteraciones, sean estas naturales o inducidas por el hombre,

lo que demanda enfoques integrales para su manejo y conservación (Schloter et al., 2018). En definitiva, el suelo debe concebirse como un sistema vivo, en constante cambio, donde la interacción sinérgica entre sus componentes condiciona la productividad, biodiversidad y sustentabilidad del paisaje.

### **2.1.13. PROPIEDADES DEL SUELO.**

Las características del suelo constituyen el conjunto de atributos físicos, químicos y biológicos que determinan su identidad y funcionalidad. Estas propiedades emergen de la interacción de sus elementos fundamentales: minerales, materia orgánica, agua, aire y comunidades biológicas (Brady & Weil, 2010). La composición mineralógica y la textura del suelo regulan sus atributos físicos, tales como la capacidad para retener agua, la permeabilidad, la aireación y la estructura, los cuales inciden directamente en el crecimiento vegetal y la actividad microbiana (Hillel, 2004).

En términos químicos, estas propiedades comprenden el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la disponibilidad de nutrientes esenciales y la presencia de elementos potencialmente tóxicos o contaminantes. Estos factores determinan la fertilidad del suelo y su capacidad para sostener tanto la producción agrícola como los procesos ecológicos asociados (Sposito, 2008). La materia orgánica, componente dinámico y esencial del suelo, contribuye significativamente a mejorar la estructura, estimular la actividad biológica y participar en el ciclo de nutrientes (Six et al., 2002).

Desde el campo de la pedología, dichas propiedades sirven como base para la clasificación y tipificación de suelos, permitiendo su identificación según su génesis, características y usos potenciales (Soil Survey Staff, 2014). Acosta (2007) destaca que la diversidad global de suelos responde a la variabilidad de estas propiedades, lo que implica la necesidad de estrategias específicas para su manejo y conservación. Los sistemas de clasificación, como el USDA Soil Taxonomy y la World Reference Base (WRB), facilitan la comprensión y comparación de suelos a nivel mundial, siendo herramientas fundamentales para la planificación agrícola, la conservación ambiental y la evaluación de impactos.

#### 2.1.14. METALES PESADOS.

Los metales pesados conforman un grupo diverso de elementos metálicos y metaloides caracterizados por su elevada densidad y potencial toxicidad, lo que los convierte en una amenaza considerable para los sistemas ecológicos y la salud humana. Aunque estos elementos se encuentran de manera natural en la corteza terrestre, su concentración y movilidad pueden verse incrementadas notablemente a causa de intervenciones humanas como la explotación minera, procesos industriales, actividades agrícolas intensivas y la expansión urbana (Arbulu & Sánchez, 2022).

Duffus (2009) advierte que la noción de “metales pesados” es un concepto amplio que trasciende las propiedades físicas estrictas de los metales, abarcando diversos elementos químicos que, bajo ciertas formas o concentraciones, se transforman en agentes contaminantes ambientales de alta relevancia. Esta categoría incluye metales y metaloides con capacidad para acumularse biológicamente y permanecer persistentes en ecosistemas terrestres y acuáticos (Gutiérrez, 2019).

Keiber et al., (2016), destacan que metales como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr) y níquel (Ni) son especialmente peligrosos debido a su facultad de bioacumularse en organismos vivos y biomagnificarse a lo largo de las cadenas alimenticias, desencadenando efectos tóxicos a niveles que van desde células individuales hasta ecosistemas completos. La durabilidad y resistencia a la degradación de estos elementos dificultan su remoción y amplifican su impacto ambiental.

Llanos Zevallos et al., (2024). enfatiza que el ciclo biogeoquímico de estos elementos puede verse profundamente alterado por la liberación incontrolada de contaminantes provenientes de fuentes industriales, agrícolas y urbanas, provocando un incremento en las concentraciones naturales y modificando la biodisponibilidad de estos compuestos en suelos y cuerpos de agua. Por ello, resulta fundamental comprender sus mecanismos de transporte, comportamiento y toxicidad para diseñar estrategias eficientes de manejo ambiental y reducción de riesgos.

Asimismo, la toxicidad de los metales pesados afecta no solo a la biota silvestre, sino que constituye un serio peligro para la salud pública, ya que la exposición crónica, incluso a bajas dosis, puede ocasionar daños neurológicos, renales, hepáticos y favorecer el desarrollo de neoplasias, según reporta la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021). En consecuencia, se vuelve imprescindible establecer sistemas de monitoreo y regulación que controlen la concentración de estos elementos en suelos, aguas y atmósfera para evitar impactos irreversibles en el ambiente y la población.

#### **2.1.15. METALES PESADOS EN EL SUELO.**

El suelo está compuesto principalmente por una mezcla de diez elementos, entre los que destacan el oxígeno y el silicio. Estos elementos, son fundamentales para la formación del suelo, constituyen más del 99% de su composición de la corteza terrestre. Existe un conjunto diverso de elementos presentes en cantidades muy pequeñas, que representan aproximadamente el 1% de la corteza terrestre. Estos elementos, conocidos como elementos traza, se encuentran en concentraciones muy bajas, generalmente menores a 1000 mg·kg<sup>-1</sup>, excepto cuando se encuentran en minerales concentrados. (Hernández-Caricio et al., 2022)

Diversos factores físico-químicos, como el pH, la temperatura y la presencia de ciertos minerales y compuestos orgánicos, influyen en la biodisponibilidad, movilidad, toxicidad y la cantidad, tipo de materia orgánica, la forma química del metal pesado en el suelo. Para determinar el nivel de contaminación del suelo por metales pesados, se utiliza el índice de geoacumulación (Igeo), el cual considera la concentración total del elemento de interés y su presencia en la corteza terrestre. (Hernández-Caricio et al., 2022)

Un estudio reveló la presencia de Fe, Mn, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb y As en suelos de cultivo de arroz en Bonao, República Dominicana. Las concentraciones promedio se ordenan como Fe > Mn > Cr > Ni > Cu > Zn > Pb > As. El patrón de distribución de cada metal varía, lo que sugiere diferentes fuentes de origen. Los índices de contaminación mostraron que los suelos del área de estudio están moderadamente contaminados por Mn, Ni, Cu y As. Además, la evaluación del riesgo ecológico potencial, utilizando valores de fondo locales como

referencia, indicó un riesgo bajo. Para estudios futuros, se recomienda usar una técnica analítica más sensible para determinar las concentraciones de Cadmio y Mercurio, (Alberto et al., 2023).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

Son los metales con una alta densidad mayor de  $5 \text{ g/cm}^3$ , y según su peso atómico, un elemento químico comprendido entre 63.55u 200.59 u.

Hay una serie de metales pesados conocidos por representar serios problemas medioambientales y para la salud pública, tales como el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), y un metaloide como el arsénico (As) (*MINAM impulsa acciones frente a la contaminación por metales pesados, 2021.*)

**Arsénico.** El número atómico es 33, se distribuye ampliamente en la naturaleza, peso atómico 74. Tiene 17 nucleidos radiactivos. Este metal, debido a su estructura atómica hace que sea un excelente conductor de calor y electricidad. Sin embargo, su fragilidad intrínseca lo hace propenso a romperse ante impactos o esfuerzos de flexión. Asimismo, su baja ductilidad limita su capacidad para ser estirado en hilos o láminas.

**Plomo.** Este elemento metálico, identificado por su número atómico 82 y peso atómico 207, este elemento presenta una característica de tono azulado distintivo. Su reactividad química le permite combinarse con otros elementos para formar una diversidad de compuestos, desde simples sales hasta complejos compuestos organometálicos.

**Cobre.** El Cu, elemento químico con número atómico 29, es un metal con una transición esencial en la industria, es valorado debido a su alta conductividad eléctrica y térmica. Sus características mecánicas, como la ductilidad y maleabilidad, lo hacen ideal para la fabricación de alambres y tuberías. La mayor parte del cobre se obtiene de los minerales sulfurados, y su química isotópica naturales estables  $63 \text{ Cu}$  y  $65 \text{ Cu}$ , es relativamente simple, con dos isótopos estables predominantes. Entre sus compuestos, el sulfato de cobre pentahidratado (vitriol azul) es uno de los más conocidos y utilizados.

**Mercurio.** El mercurio (Hg), con número atómico 80 y peso atómico 200, es un metal líquido a temperatura ambiente que presenta una característica de color blanco plateado.

Su reactividad química le permite formar amalgamas con una amplia variedad de metales, conocidas como amalgamas, es una de sus características más distintivas. En la naturaleza, se encuentra principalmente como sulfuro, en minerales como el cinabrio rojo, y en menor medida como cloruro.

Según Lorena M. propiedades de los metales pesados Tienen varios estados de oxidación Existen en formas orgánicas e inorgánicas No son tóxicos en estado basal (exc. hg) Blancos celulares: enzimas y membranas tienen gran afinidad por grupos funcionales. Sh, oh, coo, nh<sub>2</sub>, etc.

### **2.3. MARCO NORMATIVO**

La Constitución Política del Perú, La Ley General del Ambiente 28611 establece las bases legales, fundamentales para proteger y asegurar que todas las personas tengan derecho a un entorno sano y adecuado con el fin de promover un desarrollo sostenible en coherencia con la constitución política del Perú. Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM - Estándar de calidad ambiental del suelo. Mediante el Decreto Supremo N° 037-2021-MINAM, se ha aprobado un plan multisectorial con el único objetivo de proteger la salud de las poblaciones afectadas por la contaminación por metales pesados y atender de manera integral a las comunidades afectadas por sustancias químicas, peligrosas y tóxicas. Este plan tiene como objetivo reducir el riesgo para la población expuesta a estos elementos, mediante enfoques transversales y el compromiso e involucramiento de las entidades de los tres niveles de gobierno y la sociedad civil. (Minam impulsa acciones frente a la contaminación por metales pesados).

### **2.4. HIPÓTESIS**

#### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Los niveles de contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, son relativamente altos, con características nocivas para la salud, centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024.

#### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco, provincia de Huancané no cumplen con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
- Los suelos de Paja Isla presentan metales pesados con características nocivas para la salud previa revisión, centro poblado Yanaoco.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se encuentra en la zona de paja isla, del centro poblado de yanaoco, Distrito de Huancané, Región Puno,

A continuación, se muestra la figura 1, del lugar donde se realizará la investigación.



**Figura 01:** Ubicación de la zona de estudio

**Fuente:** Google Earth

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

##### 3.2.1. POBLACIÓN

La totalidad del espacio agrícola emplazado en el sector denominado Paja Isla, perteneciente al núcleo habitacional de Yanaoco, provincia de Huancané, constituye la población objetivo de la presente investigación. Esta extensión abarca aproximadamente 20 hectáreas de terreno cultivable, que han sido históricamente destinados al sembrío de

especies agrícolas tradicionales de la región altiplánica. Dado su emplazamiento cercano a posibles focos de contaminación hídrica, esta unidad territorial cobra interés tanto ecológico como productivo. El criterio para considerar esta área como universo del estudio radica en la urgencia de diagnosticar las propiedades físico-químicas del suelo y su exposición a elementos potencialmente tóxicos, particularmente metales pesados, en un contexto de explotación agroatensiva.

### 3.2.2. TAMAÑO DE MUESTRA

La fracción muestral corresponde a 4 hectáreas extraídas deliberadamente del total de 20 hectáreas que conforman Paja Isla. La selección se fundamentó en criterios de logística de acceso, heterogeneidad espacial y presencia probable de focos de alteración ambiental. Estas unidades de observación fueron delimitadas con el fin de representar las condiciones predominantes de la zona sin comprometer la totalidad de su superficie. Dicha elección permite realizar un estudio técnico detallado, optimizando recursos humanos y materiales, y garantizando la fidelidad descriptiva de una investigación con enfoque ecológico-ambiental.

**Tabla 01:** Puntos de muestreo y coordenadas UTM

Puntos de muestreo	UTM
PM-01	8314982
PM-02	8315022
PM-03	8315036
PM-04	8314467

### 3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS

#### 3.3.1. MÉTODO

El estudio adopta un **paradigma cuantitativo**, sustentado en la recopilación sistemática de indicadores numéricos que posibiliten describir y comprender las condiciones edáficas bajo análisis. Se enmarca en la categoría de investigación **básica y de corte descriptivo**, orientada a ampliar el cuerpo teórico sobre calidad de suelos en zonas agrícolas. El diseño

es de tipo **no experimental y transversal**, dado que no se introducen modificaciones intencionales en las variables y el levantamiento de datos ocurre en una única fase temporal, permitiendo caracterizar la situación actual sin manipulación directa

### 3.3.2. TÉCNICAS

#### Técnicas de obtención de información:

Se recurrió a la inspección directa del terreno y al registro técnico de observaciones, empleando formatos preestablecidos y procedimientos rigurosos durante la intervención en campo, lo cual facilitó una recolección precisa de información relativa a las condiciones físicas del entorno y del sustrato.

#### INSTRUMENTAL UTILIZADO:

**Tabla 02:** Instrumental empleado en la recolección de datos

Documento o Formato	Descripción
Formato de recolección de muestras edáficas (ver Anexo 4)	Documento diseñado para registrar datos de variables ambientales, características del sitio y parámetros del muestreo.
Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA) – MINAM	Normativa oficial utilizada como referencia para comparar los resultados obtenidos y evaluar el nivel de impacto potencial.

Nota. Documentos Técnicos Utilizados para la recolección de datos primarios, 2025.

## MATERIALES:

**Tabla 03:** Materiales Utilizados en el Muestreo Edáfico

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
Dispositivo GPS	Instrumento utilizado para obtener con precisión las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo.
Contenedor térmico (cooler) y bolsas Ziploc	Utilizados para asegurar el transporte adecuado de las muestras, evitando la alteración de sus propiedades físicas y químicas.
Extractor de muestras edáficas	Herramienta especializada para recolectar suelos de manera uniforme a diferentes profundidades.
Dispositivo fotográfico digital	Empleado para documentar visualmente cada sitio de muestreo, proporcionando soporte gráfico al análisis técnico realizado.

Nota. Materiales Utilizados en el Muestreo Edáfico en el proceso de recolección de datos, 2025.

### 3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

#### VARIABLE INDEPENDIENTE:

Metales pesados

#### VARIABLE DEPENDIENTE:

Suelo agrícola

**Tabla 04:** Matriz de operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala
<u>VI</u>		Arsénico	Supera los ECA
Metales pesados	Química	Mercurio	No supera los ECA
		Plomo	
		Cadmio	
		Otros: riesgo para la salud ambiente	
<u>VD</u>	Contaminación		Contaminado
Suelo agrícola		Concentración contaminantes	No contaminado

### 3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Una vez obtenidos los resultados se procederá a sistematizar los resultados; para ello mediante estadística descriptiva, presentar en tabla y gráficos, medidas de tendencia central media aritmética. finalmente se interpretarán análisis y discusión de los resultados.

#### 3.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se adecua al tipo cuantitativo (Roberto Hernández Sampieri, 2018), debido a que recolecta información se procesa e interpreta de forma descriptiva

#### 3.5.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se adecua al diseño no experimental descriptivo de corte longitudinal (Baena Paz, 2014), este diseño nos permite someter a observación las variables de estudio para luego ser presentadas los resultados de forma descriptiva.

### 3.5.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**Para el objetivo específico 1:** Determinar la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

De acuerdo al protocolo de muestreo de suelos se utilizó el método en zig-zag para recoger una muestra cada 10 a 15 pasos para recoger las submuestras de cada campo o punto de muestreo, una vez seleccionado el lote, utilizando un palín muestreadora, se realiza un corte en forma de V en el sitio previamente seleccionado, a una profundidad de 20 cm del perfil desechando previamente el suelo removido.

Después se toma una porción de unos 3 cm de espesor, eliminando los bordes con un cuchillo tomando la parte central constituyendo cada submuestra. en forma de uve, para tomar una porción central del perfil, seguidamente se procederá a mezclar homogéneamente todas las submuestras sobre una manta de plástico, luego por cuarteo continuo se obtuvo una muestra representativa de cada área o punto de muestreo de 1 kilogramo de suelo, finalmente se rotulará las muestras de cada área para ser enviadas al laboratorio para su análisis correspondiente y comparar con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

**Para el objetivo específico 2:** Revisar las características nocivas para la salud de los metales pesados para la salud humana presentes en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco Huancané.

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se identificó los metales pesados en los suelos de Paja Isla, luego mediante una revisión documentaria de textos, artículos científicos se obtuvo información referente a sus características, partiendo de su origen, reacciones y efectos en agroecosistemas y se revisó las características nocivas para la salud humana.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

OBJETIVO ESPECÍFICO 01: Determinar la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

**Tabla 05:** De concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de paja isla, del centro poblado yanaoco comparados con los eca decreto supremo n° 011-2017-MINAM.

CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS mg/kg PS(2)				
METALES	RESULTADOS	(ECA)	Supera	No supera
<b>SUELOS AGRÍCOLAS</b>				
Arsénico (As)	—	50	—	—
Bario total (Bt)	—	750	—	—
Cadmio (Cd)	—	1,4	—	—
Cromo (Cr)	—	0,4	—	—
Mercurio (Hg)	<0.10	6,6	—	No
Plomo (Pb)	39.83	70	—	No
Cianuro Libre (CN)		0,9	—	—

La tabla 5. presenta la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de paja isla, del centro poblado yanaoco comparados con los ECA decreto supremo n° 011-2017-minam. Se observa que el valor mínimo registrado fue de las concentraciones de

mercurio (Hg) en los suelos agrícolas de Paja Isla, analizadas en cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). En todos los casos, los valores de mercurio se reportan como <0.10 mg/kg MS, lo que indica que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección y cuantificación del método empleado, no supera los ECA. el plomo (Pb) en las cuatro muestras de suelo agrícola recolectadas en la zona de Paja Isla. El análisis indica un valor mínimo de 26.93 mg/kg MS y un máximo de 39.83 mg/kg MS, con una media aritmética de 33.38 mg/kg MS. Esta media representa un nivel intermedio en relación con el límite permitido por los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA Suelo – MINAM), que establece un valor de referencia de 70 mg/kg para suelos agrícolas. Por tanto, aunque los valores observados no superan dicho umbral, su cercanía al 50% del límite normativo sugiere la presencia sostenida de plomo en el área.

#### 4.1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO.

##### 4.1.1. NÍQUEL

**Tabla 06:** Concentraciones de níquel

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Níquel	mg/Kg	0.2	0.8	17.02	12.66	14.14	14.8
(*)	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

Según los resultados obtenidos y presentados en la Tabla 4, las concentraciones de níquel en las muestras de suelo agrícola tomadas en cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04) en la zona de Paja Isla, dentro del centro poblado Yanaoco, se encuentran entre 12.66 mg/kg MS y 17.02 mg/kg MS.

El valor más alto fue registrado en el PM 01, con 17.02 mg/kg, mientras que el valor más bajo se encontró en PM 02, con 12.66 mg/kg. Los demás puntos, PM 03 y PM 04, mostraron concentraciones intermedias de 14.14 mg/kg y 14.80 mg/kg, respectivamente.

Estos valores están muy por encima del límite de cuantificación del método (L.C.M.), que es de 0.8 mg/kg MS, lo que garantiza la confiabilidad analítica de los resultados. Asimismo, todos los resultados superan ampliamente el límite de detección del método (L.D.M.) de 0.2 mg/kg MS, por lo que se puede afirmar que la presencia de níquel en estas muestras es cuantificable y significativa.

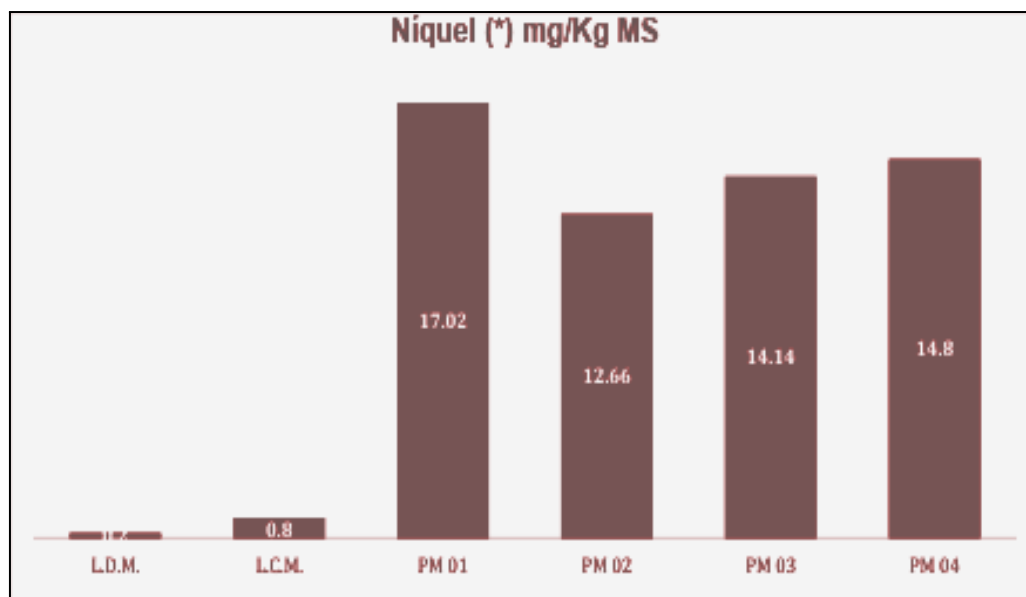
**Tabla 07:** Media de níquel

<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	12.66	17.02	14.84

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 7 presenta los estadísticos descriptivos de las concentraciones de níquel obtenidas en los cuatro puntos de muestreo. Se observa que el valor mínimo registrado fue de 12.66 mg/kg MS, mientras que el máximo alcanzó los 17.02 mg/kg MS. La media aritmética de las concentraciones es de 14.84 mg/kg MS, lo que indica una distribución relativamente homogénea de níquel en los suelos evaluados.

Estos resultados sugieren que, en promedio, los suelos agrícolas de la zona de Paja Isla (Yanaoco) presentan una concentración de níquel considerablemente mayor al límite de cuantificación analítico, lo que evidencia una presencia constante del metal en todos los puntos evaluados. La baja dispersión entre el mínimo y el máximo también puede interpretarse como una relativa uniformidad en la composición química del suelo con respecto a este metal.



**Figura 02:** Concentraciones de níquel

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de níquel presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos en el presente estudio revelan que las concentraciones de níquel (Ni) en los suelos agrícolas del sector Paja Isla, ubicado en el centro poblado de Yanaoco, varían entre 12.66 mg/kg y 17.02 mg/kg de materia seca, con una media aritmética de 14.84 mg/kg MS. Estos valores superan ampliamente tanto el límite de detección del método (0.2 mg/kg) como el límite de cuantificación (0.8 mg/kg), lo cual respalda la confiabilidad analítica de los resultados y permite afirmar que la presencia de este metal en los suelos muestreados es significativa.

Si bien el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo del Perú (D.S. N.º 011-2017-MINAM) no establece un valor máximo permisible específico para níquel en suelos agrícolas, su inclusión en estudios de monitoreo ambiental resulta esencial debido a su potencial toxicidad en altas concentraciones y su bioacumulación en cultivos. En este contexto, se puede recurrir a referencias internacionales como las normas del Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2007), las cuales establecen un límite de

50 mg/kg para suelos agrícolas, o las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), que también consideran concentraciones entre 30 y 70 mg/kg como rangos de evaluación preliminar.

Los niveles hallados en Yanaoco se encuentran por debajo de estos estándares internacionales, lo que sugiere que, si bien la concentración es considerable, no representa por ahora un riesgo toxicológico agudo para el ecosistema agrícola o la salud humana. No obstante, su presencia constante y relativamente homogénea en los cuatro puntos de muestreo indica una posible fuente difusa de contaminación, posiblemente relacionada con prácticas agrícolas intensivas, como el uso prolongado de fertilizantes fosfatados y lodos residuales, los cuales son conocidos por contener metales traza como el níquel (Arbulu y Sánchez, 2022).

En estudios realizados en suelos agrícolas de zonas andinas del Perú, como los de (LEY N° 28245, 2005), en la región de Cajamarca, se observaron concentraciones promedio de níquel en torno a 10.5 mg/kg, lo cual es menor a lo registrado en Paja Isla. Del mismo modo, investigaciones llevadas a cabo por (Chambi, 2019), en suelos agrícolas del sureste español identificaron que concentraciones superiores a 12 mg/kg ya podrían estar asociadas a actividades antropogénicas más que a la composición geológica natural.

La baja variación entre el valor mínimo (12.66 mg/kg) y el máximo (17.02 mg/kg) indica una distribución relativamente uniforme del níquel en el suelo, lo cual podría explicarse por una contaminación de origen extendido o por características edafológicas homogéneas en la zona de estudio. Este patrón coincide con lo señalado por (Marca, 2023), quienes indicaron que la aplicación continua de compost, biosólidos o insumos agrícolas contaminados tiende a generar una distribución constante de metales pesados en suelos de uso agrícola.

Por otro lado, la presencia de níquel en niveles cuantificables en todos los puntos de muestreo evidencia una condición persistente que debe ser monitoreada, ya que el níquel, aunque esencial en pequeñas cantidades para algunas plantas, puede llegar a ser tóxico en concentraciones más elevadas, afectando procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la absorción de otros nutrientes (Chambi et al., 2017). La evaluación periódica de este metal

se vuelve particularmente importante en contextos de producción agrícola, en donde su acumulación puede comprometer la seguridad alimentaria y la calidad del suelo a largo plazo.

#### 4.1.2. PLATA

**Tabla 08:** Concentraciones de plata

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Plata (*)	mg/Kg	0.1	0.7	<0.70	<0.70	<0.70	<0.70
	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 6, las concentraciones de plata (Ag) en las muestras de suelo agrícola tomadas en los puntos PM 01 a PM 04 se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (L.C.M.), el cual es de 0.70 mg/kg MS. En todos los casos, el resultado fue registrado como <0.70 mg/kg, lo que indica que, si bien la plata podría estar presente, su concentración no fue suficiente para ser cuantificada con precisión por el método analítico empleado.

Cabe destacar que todos los valores también se encuentran por encima del límite de detección del método (L.D.M.), que es de 0.1 mg/kg MS, lo cual sugiere que la plata pudo haber sido detectada, pero en niveles demasiado bajos para ofrecer un valor numérico exacto y confiable.

**Tabla 09:** Media de plata

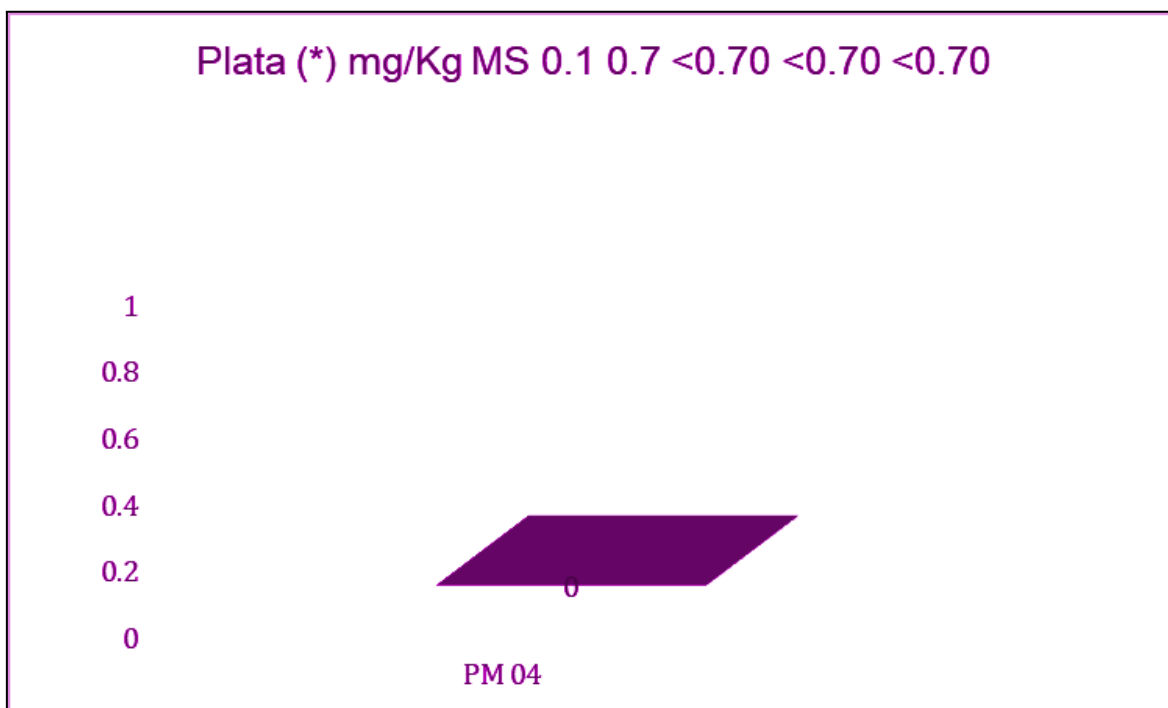
N° Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	<0.70	<0.70	0.7

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 8 resume los estadísticos descriptivos de las concentraciones de plata (Ag) en las muestras de suelo agrícola. Dado que los resultados obtenidos en los cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04) fueron todos menores al límite de cuantificación del método (L.C.M. = 0.70 mg/kg MS), no se dispone de valores numéricos exactos para calcular una media aritmética tradicional.

Sin embargo, para efectos de referencia técnica, se ha considerado el valor del límite de cuantificación (0.70 mg/kg) como un estimado superior. Bajo este enfoque conservador, la tabla muestra una media referencial de 0.70 mg/kg, aunque en realidad las concentraciones reales podrían ser significativamente menores.

Esto implica que la plata no presenta una presencia cuantificable en los suelos agrícolas evaluados, y que su concentración está por debajo de los niveles que el método analítico puede medir con exactitud. No obstante, este tipo de datos censurados (valores por debajo del L.C.M.) deben tratarse con precaución y, si es necesario, complementarse con métodos más sensibles o mayor densidad de muestreo.



**Figura 03:** Concentraciones de plata

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de plata presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los

estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos del análisis de plata (Ag) en las muestras de suelo agrícola del sector Paja Isla, en el centro poblado de Yanaoco, indican que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (L.C.M.), establecido en 0.70 mg/kg MS, aunque por encima del límite de detección (L.D.M.) de 0.1 mg/kg MS. Esto implica que, si bien puede haber presencia de plata en el suelo, su concentración es tan baja que no puede ser cuantificada con exactitud por el procedimiento analítico utilizado (EPA 200.8 o similar). Esta situación se presenta frecuentemente en estudios ambientales cuando se detectan concentraciones traza de elementos metálicos, pero sin superar el umbral técnico que permita obtener un valor numérico confiable (USEPA, 1992).

En relación con el ECA para Suelo peruano (D.S. N.º 011-2017-MINAM), cabe señalar que dicho reglamento no establece un valor de referencia específico para la plata en ninguno de los usos del suelo (agrícola, residencial o industrial). Esta omisión normativa responde en parte al hecho de que la plata no es considerada comúnmente un contaminante prioritario en suelos agrícolas, debido a su escasa movilidad, bajo índice de bioacumulación en plantas, y limitada toxicidad a bajas concentraciones (Antonio Anaya Raymundo et al., 2022). No obstante, su presencia puede estar relacionada con fuentes antropogénicas como residuos electrónicos, productos farmacéuticos o fertilizantes contaminados con metales traza (Llanos Zevallos et al., 2024).

La revisión de estudios previos permite contextualizar la baja presencia de este metal. Por ejemplo, investigaciones realizadas por Fernandez Ochoa et al., (2022), señalan que la concentración natural de plata en suelos no contaminados suele oscilar entre 0.01 y 0.1 mg/kg, aunque puede incrementarse en zonas cercanas a vertederos o áreas de actividad minera. En el caso específico de suelos agrícolas peruanos, (Fernandez Ochoa et al., 2022), reportaron concentraciones menores a 0.5 mg/kg en regiones andinas, coincidiendo con los valores hallados en este estudio.

Dado que las concentraciones de plata en Paja Isla fueron reportadas como inferiores a 0.70 mg/kg en todos los puntos de muestreo (PM 01 a PM 04), y considerando que el valor promedio se aproximó a este límite por fines de referencia, puede inferirse que la presencia de plata en los suelos analizados es marginal y no representa un riesgo para la salud humana ni para el equilibrio agroecológico local. Según lo señalado por (Fernandez Ochoa et al., 2022), la toxicidad de la plata en suelos se manifiesta generalmente en concentraciones superiores a 10 mg/kg, las cuales están muy por encima de lo registrado en este estudio.

Sin embargo, es importante mencionar que los valores inferiores al límite de cuantificación deben ser tratados con precaución en el análisis estadístico e interpretación ecológica. Como lo recomiendan (Balderas et al., 2003), los llamados *datos censurados* (es decir, aquellos por debajo del L.C.M.) pueden subestimar la variabilidad real de la distribución de un contaminante si no se manejan con métodos estadísticos adecuados o si no se realizan análisis complementarios con técnicas más sensibles.

#### 4.1.3. PLOMO

**Tabla 10:** Concentraciones de plomo

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Plomo	mg/Kg	1	3	39.83	26.93	30.75	36.29
(*)	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

Los resultados obtenidos para el ensayo de plomo (Pb) en los suelos agrícolas del centro poblado Yanaoco (zona Paja Isla) se presentan en la Tabla 8. Las concentraciones registradas en los puntos de muestreo varían entre 26.93 mg/kg MS y 39.83 mg/kg MS, siendo el valor más alto registrado en el punto PM 01, con 39.83 mg/kg, y el más bajo en

PM 02, con 26.93 mg/kg. Los puntos PM 03 y PM 04 presentaron concentraciones intermedias de 30.75 mg/kg y 36.29 mg/kg, respectivamente.

Todos los valores se encuentran muy por encima del límite de cuantificación del método (L.C.M. = 3 mg/kg), así como del límite de detección (L.D.M. = 1 mg/kg), lo cual garantiza la confiabilidad de los datos obtenidos.

En términos comparativos, si se toma como referencia el Estándar de Calidad Ambiental para Suelo (ECA-Suelo) del MINAM, el valor máximo permitido para suelos agrícolas es de 70 mg/kg para plomo. En este contexto, las concentraciones observadas están por debajo de dicho umbral, lo que sugiere que, aunque hay una presencia significativa de plomo, los niveles no exceden los límites normativos establecidos para usos agrícolas.

No obstante, la proximidad a la mitad del valor guía del ECA indica que podría haber una influencia antropogénica moderada, posiblemente relacionada con actividades agrícolas, fuentes mineras cercanas, o pasivos ambientales, por lo que se recomienda realizar un monitoreo periódico para prevenir una acumulación progresiva de este metal en el suelo.

**Tabla 11:** Media de plomo

N° Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	26.93	39.83	33.38

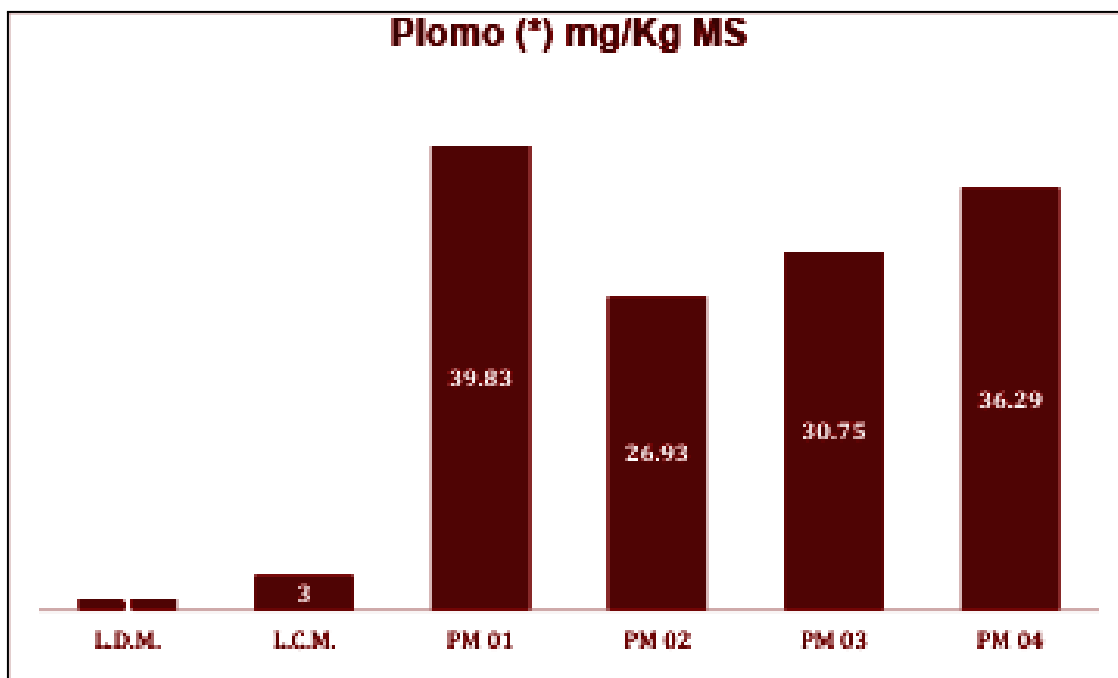
Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 11 muestra los estadísticos descriptivos correspondientes a las concentraciones de plomo (Pb) en las cuatro muestras de suelo agrícola recolectadas en la zona de Paja Isla. El análisis indica un valor mínimo de 26.93 mg/kg MS y un máximo de 39.83 mg/kg MS, con una media aritmética de 33.38 mg/kg MS.

Esta media representa un nivel intermedio en relación con el límite permitido por los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA Suelo – MINAM), que establece un valor de referencia de 70 mg/kg para suelos agrícolas. Por tanto, aunque los valores observados

no superan dicho umbral, su cercanía al 50% del límite normativo sugiere la presencia sostenida de plomo en el área.

Dada esta situación, sería recomendable complementar este análisis con estudios de origen de metales (naturales o antrópicos), así como implementar planes de monitoreo continuo para evitar que estos niveles se incrementan con el tiempo, especialmente si el área es utilizada para cultivos de consumo humano.



**Figura 04:** Concentraciones de plomo

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de plomo presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los análisis realizados en los suelos agrícolas del sector Paja Isla, en el centro poblado de Yanaoco, revelaron concentraciones de plomo (Pb) que oscilan entre 26.93 mg/kg y 39.83 mg/kg de materia seca (MS), con una media aritmética de 33.38 mg/kg, tal como se observa en las Tablas 8 y 9. Todos los valores superan el límite de cuantificación (L.C.M.) del método analítico empleado (3 mg/kg) y el límite de detección (L.D.M.) de 1 mg/kg, lo que asegura la precisión y confiabilidad técnica de los resultados obtenidos.

Al comparar estos niveles con los establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA), promulgados mediante el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, se constata que el valor máximo permisible de plomo para suelos agrícolas es de 70 mg/kg MS. En este contexto, aunque las concentraciones encontradas en Yanaoco no exceden dicho umbral, sí representan aproximadamente el 48% del valor guía, lo cual es indicativo de una presencia relevante pero aún no crítica del metal pesado en la matriz edáfica.

Este patrón de acumulación puede estar influenciado por múltiples factores. Diversos autores han señalado que la presencia de plomo en suelos agrícolas frecuentemente se relaciona con fuentes antropogénicas, como el uso histórico de fertilizantes fosfatados, pesticidas con contenido metálico, la cercanía a caminos con tránsito vehicular intenso, y pasivos mineros (Fernandez et al., 2022). En el caso de zonas rurales andinas como Yanaoco, la contribución de residuos derivados de actividades mineras pasadas es un factor potencial que debe considerarse, dado que el plomo es un elemento geoacumulativo que tiende a permanecer en los horizontes superficiales del suelo por largos periodos (Castro et al., 2024).

Además, la acumulación progresiva de plomo en suelos agrícolas constituye una amenaza latente para la salud humana y ambiental, especialmente por su potencial de bioacumulación en cultivos de consumo directo, como lo han demostrado estudios en zonas agrícolas cercanas a operaciones extractivas en Perú y otros países latinoamericanos (Romero-Freire & Peinado, 2018; Silva et al., 2020). Aunque el ECA peruano no ha sido superado en este caso, la cercanía de los valores obtenidos a la mitad del límite regulatorio resalta la necesidad de monitoreos periódicos y análisis complementarios, incluyendo la evaluación de contenido total y fraccionado de plomo, así como su biodisponibilidad.

Otro aspecto relevante es la variabilidad espacial de las concentraciones. Aunque las diferencias entre los puntos de muestreo no son extremas, el valor más alto (39.83 mg/kg en PM 01) indica que puede existir una fuente localizada de ingreso de plomo al sistema edáfico. Según estudios realizados por Fernandez et al., (2022), la heterogeneidad en la

distribución espacial de metales pesados suele estar asociada a la microtopografía del terreno, las prácticas agrícolas diferenciadas o la proximidad a focos emisores.

La media obtenida (33.38 mg/kg) refleja una distribución relativamente homogénea en términos estadísticos, pero también alerta sobre la posibilidad de acumulación sostenida, especialmente si no se implementan estrategias de gestión ambiental. En este sentido, diversos autores recomiendan el desarrollo de planes de remediación pasiva y el uso de prácticas agroecológicas para prevenir el incremento de metales pesados en el suelo cultivable (Fernandez et al., 2022).

#### 4.1.4. POTASIO

**Tabla 12:** Concentraciones de potasio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Potasio	mg/Kg	0.3	0.9	2168.82	2766.39	1948.74	1637.27
(*)	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 12 presenta las concentraciones de potasio (K) en las muestras de suelo agrícola recolectadas en cuatro puntos de muestreo dentro de la zona de Paja Isla, en el centro poblado de Yanaoco. Los resultados muestran valores considerablemente altos de potasio en todas las muestras, con un rango que va desde 1,637.27 mg/kg MS hasta 2,766.39 mg/kg MS.

El valor más alto fue registrado en el PM 02 con 2,766.39 mg/kg, mientras que el más bajo se identificó en PM 04, con 1,637.27 mg/kg. Los puntos PM 01 y PM 03 presentaron valores de 2,168.82 mg/kg y 1,948.74 mg/kg, respectivamente.

Estos niveles se encuentran muy por encima del límite de cuantificación del método (L.C.M. = 0.9 mg/kg MS), así como del límite de detección (L.D.M. = 0.3 mg/kg MS), lo que confirma la alta confiabilidad y precisión de las mediciones realizadas.

Desde el punto de vista agronómico, el potasio es un macronutriente esencial para el desarrollo de las plantas, ya que participa en funciones clave como la síntesis de proteínas, el equilibrio hídrico y la fotosíntesis. Por tanto, las concentraciones registradas indican que los suelos evaluados poseen una alta disponibilidad de potasio, lo cual puede ser favorable para la productividad agrícola de la zona.

Sin embargo, valores excesivamente altos también pueden desequilibrar la absorción de otros nutrientes (como magnesio o calcio), por lo que sería recomendable complementar esta información con un análisis integral de fertilidad de suelos para una adecuada gestión agroecológica.

**Tabla 13:** Media de potasio

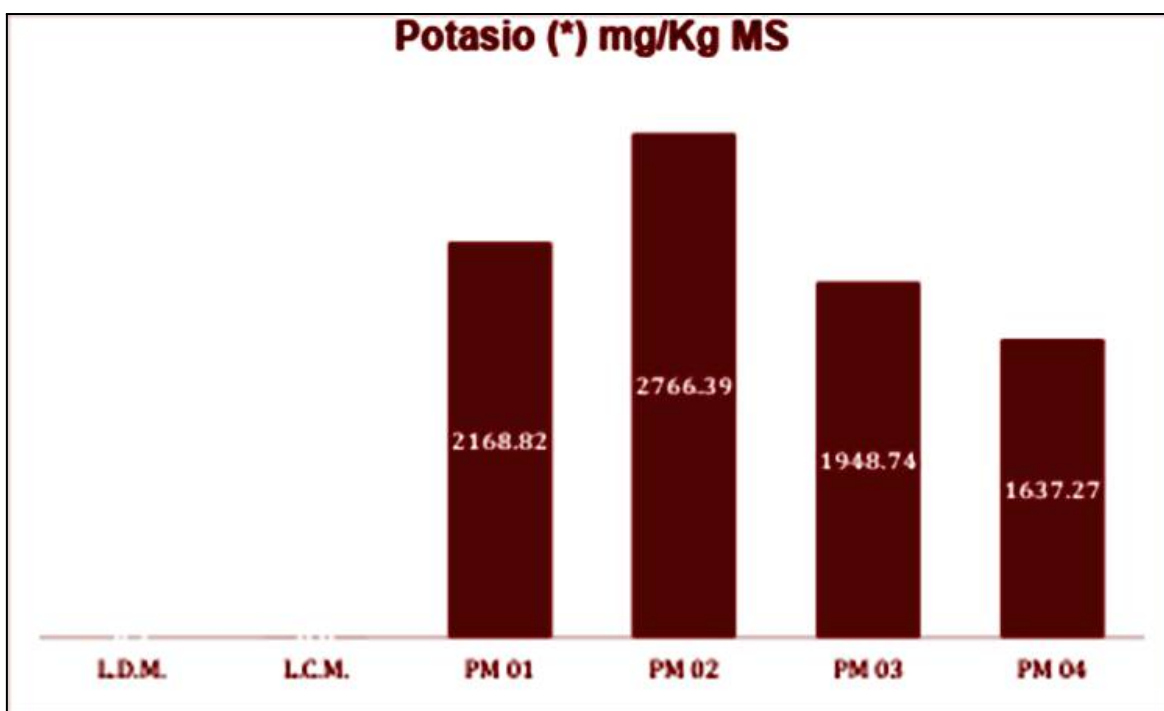
<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	1637.27	2766.39	2201.83

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 13 resume los valores estadísticos obtenidos para las concentraciones de potasio (K) en los suelos agrícolas de la zona de Paja Isla, centro poblado Yanaoco. De las cuatro muestras analizadas, el contenido de potasio presentó un mínimo de 1,637.27 mg/kg MS y un máximo de 2,766.39 mg/kg MS, con una media aritmética de 2,201.83 mg/kg MS.

Esta media refleja una alta disponibilidad de potasio en el perfil del suelo, lo cual es positivo desde el punto de vista de la fertilidad agrícola, dado que el potasio es un nutriente esencial para el desarrollo de cultivos. No obstante, la amplitud entre el valor mínimo y máximo sugiere cierta variabilidad en la distribución del potasio entre los puntos de muestreo, lo que podría deberse a diferencias en prácticas agrícolas, manejo de fertilizantes o condiciones edáficas locales.

Se recomienda, en consecuencia, realizar un diagnóstico integral de fertilidad para optimizar el manejo nutricional de los cultivos, asegurando un uso equilibrado de nutrientes y evitando tanto deficiencias como excesos que puedan afectar la productividad o el equilibrio del suelo.



**Figura 05:** Concentraciones de potasio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de potasio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los análisis realizados en los suelos agrícolas del sector Paja Isla, perteneciente al centro poblado Yanaoco, revelaron concentraciones elevadas de potasio (K), con valores que oscilaron entre 1,637.27 mg/kg MS y 2,766.39 mg/kg MS, siendo la media general de 2,201.83 mg/kg MS. Estos niveles están muy por encima tanto del límite de detección (0.3 mg/kg MS) como del límite de cuantificación del método (0.9 mg/kg MS), lo que garantiza la fiabilidad analítica de los resultados obtenidos.

Es importante señalar que el potasio, a diferencia de los metales pesados o contaminantes orgánicos regulados por el ECA Suelo – Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, no se encuentra normado dentro de los estándares de calidad ambiental para suelos en el Perú. Esto se debe a que el potasio no es considerado un contaminante, sino un macronutriente esencial para el desarrollo vegetal. Según Marschner (2012), el potasio interviene en la

regulación osmótica, la síntesis de proteínas, la fotosíntesis y el transporte de nutrientes en las plantas, siendo fundamental para el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Los resultados obtenidos indican que los suelos de Paja Isla presentan una alta disponibilidad natural de potasio, lo cual podría estar asociado tanto a la mineralogía del material parental como a las prácticas agrícolas locales, como el uso frecuente de fertilizantes potásicos. Estudios similares realizados por Fernandez et al., (2022), han demostrado que suelos volcánicos o derivados de rocas ígneas intermedias a básicas pueden tener una reserva significativa de potasio no intercambiable, disponible en condiciones favorables de humedad y pH.

Sin embargo, aunque el potasio en sí no representa un peligro ambiental, su exceso relativo puede tener efectos negativos en la nutrición vegetal, particularmente al interferir con la absorción de otros cationes esenciales como el magnesio ( $Mg^{2+}$ ) y el calcio ( $Ca^{2+}$ ), fenómeno conocido como antagonismo catiónico (Coila, 2024). En consecuencia, si bien los niveles encontrados son beneficiosos para la producción agrícola en términos generales, también podrían ocasionar desequilibrios nutricionales si no se gestionan adecuadamente mediante prácticas de fertilización balanceada.

La variabilidad espacial observada entre los puntos de muestreo, donde el PM 02 alcanzó el valor más alto (2,766.39 mg/kg) y el PM 04 el más bajo (1,637.27 mg/kg), sugiere diferencias en el manejo agrícola, la topografía o la historia de uso del suelo. Esta heterogeneidad es común en zonas rurales andinas, como lo han reportado estudios de Flores Delgadillo et al. (2010), quienes señalan que las prácticas locales, como el barbecho prolongado o la aplicación desigual de enmiendas orgánicas, pueden generar variaciones notables en la fertilidad del suelo.

Desde una perspectiva de manejo, la elevada concentración de potasio en estos suelos constituye una ventaja agronómica potencial, pero también exige un diagnóstico integral de fertilidad para evitar la aplicación innecesaria de este nutriente y prevenir desequilibrios edáficos. De acuerdo con recomendaciones de la FAO (2015), un enfoque agroecológico

eficiente debe considerar no solo la disponibilidad de nutrientes individuales, sino también sus interacciones y la dinámica del sistema edáfico completo.

#### 4.1.5. SELENIO

**Tabla 14:** Concentraciones de selenio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
<b>Selenio (*)</b>	mg/Kg MS	0.1	0.4	<0.70	<0.70	<0.70	<0.70

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos para las concentraciones de selenio (Se) en los suelos agrícolas de Paja Isla, zona rural del centro poblado Yanaoco. En los cuatro puntos de muestreo analizados (PM 01 a PM 04), las concentraciones de selenio fueron reportadas como <0.70 mg/kg MS, lo cual indica que en todos los casos los valores se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (L.C.M. = 0.4 mg/kg MS).

Aunque estos resultados podrían implicar la presencia de selenio en concentraciones mínimas, los niveles no fueron lo suficientemente altos como para ser determinados con precisión por el método analítico utilizado. Dado que el límite de detección (L.D.M.) es de 0.1 mg/kg MS, se interpreta que las concentraciones pueden encontrarse en algún punto entre ese límite inferior y el L.C.M., pero sin un valor exacto.

Desde el punto de vista ambiental y agronómico, el selenio es un micronutriente esencial en pequeñas cantidades, tanto para animales como para humanos. Sin embargo, también puede ser tóxico si se acumula en exceso. En este caso, la baja concentración registrada sugiere que el selenio no representa un riesgo ambiental en los suelos evaluados y probablemente se encuentra en niveles naturales o por debajo del umbral de preocupación.

**Tabla 15:** Media de selenio

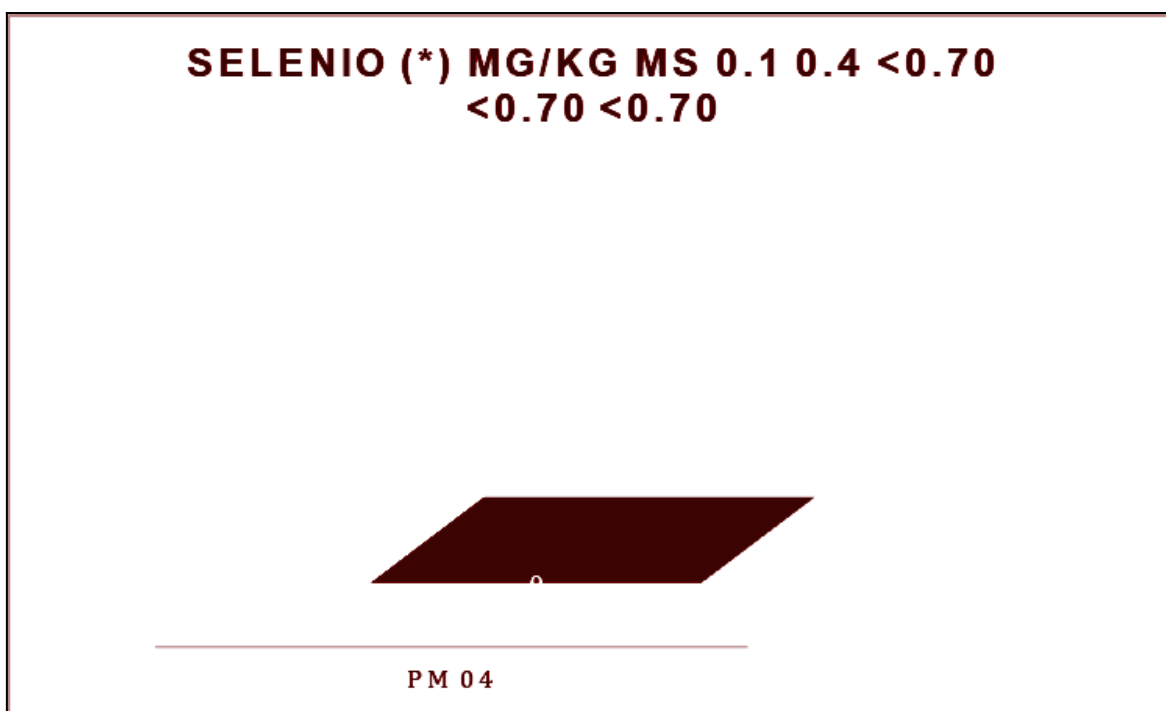
<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	<0.70	<0.70	<0.70

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 15 presenta el análisis estadístico de las concentraciones de selenio (Se) en los suelos agrícolas evaluados. En los cuatro puntos de muestreo, los valores obtenidos fueron inferiores al límite de cuantificación del método analítico (L.C.M. = 0.70 mg/kg MS), por lo que tanto el mínimo, el máximo como la media se reportan como <0.70 mg/kg.

Este resultado indica que no se obtuvo ningún dato numérico exacto que permita calcular una media aritmética real. No obstante, el uso de la anotación "<0.70" como medida estadística indica una presencia no cuantificable pero posiblemente detectable de selenio en las muestras.

Desde una perspectiva ambiental, estos valores implican que las concentraciones de selenio en los suelos de Paja Isla son bajas o no significativas, sin representar un riesgo actual ni para la salud humana ni para los cultivos. Sin embargo, si el área se ve expuesta a fuentes externas de selenio (como fertilizantes, aguas residuales o emisiones industriales), podría ser necesario utilizar técnicas de mayor sensibilidad para una evaluación más precisa.



**Figura 06:** Concentraciones de selenio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de selenio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos para las concentraciones de selenio (Se) en los suelos agrícolas de la zona de Paja Isla, centro poblado Yanaoco, evidencian niveles por debajo del límite de cuantificación del método analítico empleado (L.C.M. = 0.70 mg/kg MS) en todos los puntos de muestreo. Aunque se detectó su presencia, no fue posible establecer una cuantificación precisa, situándose los valores entre el límite de detección (0.1 mg/kg MS) y el L.C.M., lo que indica concentraciones muy bajas de este elemento. Esta situación limita el cálculo de estadísticas representativas como una media aritmética, siendo reportados todos los valores como “<0.70 mg/kg MS”.

Cabe destacar que el ECA Suelo del Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM no contempla un valor guía específico para el selenio en suelos agrícolas, lo cual dificulta una comparación normativa directa. Sin embargo, según la literatura científica, existen referencias internacionales que establecen valores orientativos. Por ejemplo, la United

States Environmental Protection Agency (USEPA) sugiere que los niveles típicos de selenio en suelos no contaminados varían entre 0.1 y 2.0 mg/kg, dependiendo del tipo de suelo y las condiciones geológicas (Arbulu & Sánchez, 2022), Bajo esta perspectiva, los niveles encontrados en Paja Isla se ubican en el extremo inferior de dicho rango, lo que sugiere una situación ambiental estable y sin indicios de contaminación por selenio.

Desde un enfoque agroambiental, el selenio es un micronutriente esencial para la salud humana y animal en pequeñas cantidades, ya que participa en funciones antioxidantes y enzimáticas fundamentales (Keiber et al., 2016), En los vegetales, aunque no se considera esencial para todas las especies, puede ser acumulado en ciertas plantas conocidas como hiperacumuladoras (Levander & Burk, 2006). No obstante, cuando las concentraciones en el suelo superan los 5 mg/kg, puede producirse toxicidad vegetal y bioacumulación peligrosa en cadenas tróficas, especialmente en regiones con suelos ricos en selenatos o expuestos a actividades antropogénicas como irrigación con aguas contaminadas o uso excesivo de fertilizantes fosfatados ( Anaya et al., 2022).

Los bajos niveles reportados en esta investigación concuerdan con lo hallado por (Llanos Zevallos et al., 2024), en su estudio sobre suelos altoandinos de Perú, donde el selenio se encontraba en trazas, generalmente por debajo de 1 mg/kg, asociado a condiciones naturales sin presión antrópica significativa. Estos resultados también coinciden con los encontrados por (Fernandez Ochoa et al., 2022), en suelos agrícolas del altiplano, donde la baja disponibilidad de selenio se atribuyó a factores geológicos y a la escasa presencia de fuentes externas de aporte.

Desde el punto de vista de la gestión del suelo, si bien el selenio no representa un problema de contaminación en la zona de Paja Isla, su baja disponibilidad podría ser relevante si se cultivan especies vegetales que requieren niveles mínimos del elemento para mejorar su valor nutricional. En este sentido, estudios como el de **Broadley et al. (2006)** señalan que la biofortificación con selenio puede ser una estrategia útil en zonas con deficiencia de este micronutriente en suelos, lo que podría ser una oportunidad para explorar mejoras agronómicas en comunidades rurales.

#### 4.1.6. SILICIO

**Tabla 16:** Concentraciones de silicio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
<b>Silicio (*)</b>	mg/Kg MS	42.8	107	593.14	578.42	562.06	620.85

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 16 muestra las concentraciones de silicio (Si) registradas en las muestras de suelo recolectadas en los cuatro puntos de muestreo en la zona de Paja Isla, centro poblado Yanaoco. Los valores obtenidos oscilan entre 562.06 mg/kg MS en el punto PM 03 y 620.85 mg/kg MS en el punto PM 04, con valores intermedios de 593.14 mg/kg MS y 578.42 mg/kg MS en los puntos PM 01 y PM 02, respectivamente.

Todos estos valores superan ampliamente el límite de cuantificación del método (L.C.M.) de 107 mg/kg MS y el límite de detección de 42.8 mg/kg MS, asegurando la precisión y confiabilidad de las mediciones.

El silicio es un elemento común y abundante en los suelos, que desempeña un papel importante en la estructura del suelo y puede contribuir al fortalecimiento de las plantas, mejorando su resistencia a enfermedades y estrés ambiental. Las concentraciones encontradas reflejan una presencia estable y significativa de silicio en el suelo, lo cual es típico en ambientes agrícolas naturales o manejados.

**Tabla 17:** Media de silicio

N° Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	562.06	620.85	591.455

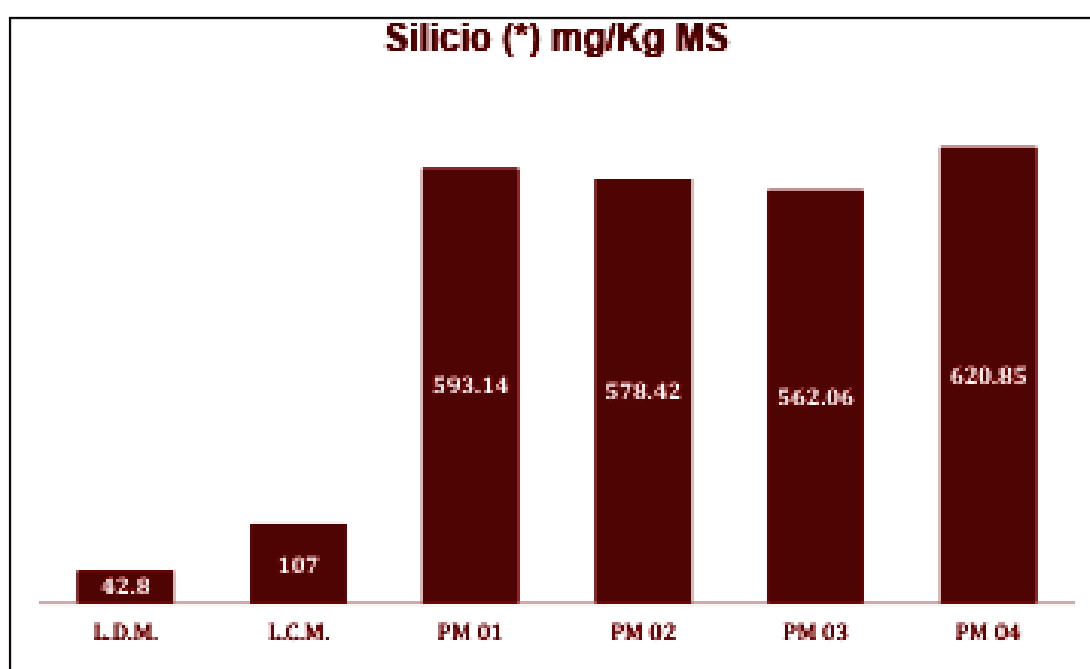
Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 17 presenta los valores estadísticos descriptivos de las concentraciones de silicio (Si) en los suelos agrícolas de la zona de Paja Isla, obtenidos a partir de las cuatro

muestras analizadas. El rango de concentración se sitúa entre un mínimo de 562.06 mg/kg MS y un máximo de 620.85 mg/kg MS, con una media aritmética de 591.46 mg/kg MS.

Esta media indica una concentración constante y elevada de silicio en el suelo, lo cual es característico de suelos con buena capacidad estructural y favorable para el crecimiento vegetal. La pequeña variabilidad entre el mínimo y máximo también sugiere una distribución homogénea del silicio en la zona evaluada.

Por lo tanto, se puede inferir que el suelo posee una adecuada disponibilidad de este elemento, contribuyendo positivamente a la fertilidad y salud del ecosistema agrícola



**Figura 07:** Concentraciones de silicio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de silicio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los análisis realizados en los suelos agrícolas de Paja Isla, en el centro poblado de Yanaoco, muestran concentraciones de silicio (Si) que oscilan entre 562.06 mg/kg MS y 620.85 mg/kg MS, con una media de 591.46 mg/kg MS. Todos los valores superan ampliamente tanto el límite de detección (42.8 mg/kg MS) como el límite de cuantificación

del método (107 mg/kg MS), lo que garantiza la confiabilidad técnica de los datos obtenidos.

Aunque el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo en Perú, no contempla un valor guía para el silicio, su evaluación resulta relevante desde un enfoque agronómico. En este sentido, diversos estudios han destacado que el silicio, aunque no es considerado un nutriente esencial para todas las plantas, juega un papel importante como elemento benéfico, especialmente en gramíneas como el arroz, el maíz y la caña de azúcar (Epstein, 1994; Ma & Takahashi, 2002).

Los niveles de silicio encontrados en los suelos de Paja Isla se alinean con lo reportado en suelos agrícolas volcánicos y aluviales del altiplano peruano y de otras regiones andinas, donde el contenido típico de silicio soluble se encuentra en un rango de 400 a 800 mg/kg (Velásquez-López et al., 2013; Rodríguez-Miranda et al., 2017). Estos niveles son considerados normales o adecuados, y reflejan una disponibilidad óptima para mejorar la tolerancia de las plantas frente a estrés biótico y abiótico, como el ataque de plagas, enfermedades, salinidad y sequía (Liang et al., 2007).

De acuerdo con Savant et al. (1999), el silicio tiene la capacidad de fortalecer las paredes celulares de las plantas, formando una barrera física que reduce la penetración de hongos patógenos. Además, mejora la eficiencia en el uso del agua y favorece la absorción de nutrientes, lo que se traduce en un aumento del rendimiento agrícola. Por tanto, las concentraciones reportadas en esta investigación pueden ser interpretadas como una fortaleza agroecológica del suelo de Paja Isla.

La variabilidad entre las muestras fue mínima, lo que sugiere una distribución homogénea del silicio en la zona evaluada, posiblemente atribuida a la composición geológica de los suelos y a prácticas agrícolas tradicionales sin alteraciones intensivas. Esto se corrobora con estudios como el de Datnoff et al. (2001), quienes sostienen que los suelos no erosionados y con bajo nivel de industrialización tienden a conservar niveles estables de silicio biodisponible.

Desde la perspectiva ambiental, no se identifican riesgos asociados al silicio, ya que, a diferencia de otros elementos traza como el arsénico o el plomo, el silicio no presenta toxicidad ambiental significativa y, por el contrario, se considera un indicador indirecto de buena salud del suelo (Sommer et al., 2006).

#### 4.1.7. SODIO

**Tabla 18:** Concentraciones de sodio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Sodio (*)	mg/Kg	0.2	0.6	509.97	458.04	938.42	800.72
	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 18 muestra las concentraciones de sodio (Na) en las muestras de suelo tomadas en cuatro puntos de muestreo en la zona agrícola de Paja Isla, centro poblado Yanaoco. Los resultados indican una considerable variabilidad en los valores medidos, con un rango que va desde 458.04 mg/kg MS en PM 02 hasta un máximo de 938.42 mg/kg MS en PM 03.

Los puntos restantes presentaron valores intermedios: 509.97 mg/kg MS en PM 01 y 800.72 mg/kg MS en PM 04. Todos los valores superan ampliamente tanto el límite de detección del método (L.D.M.) de 0.2 mg/kg MS como el límite de cuantificación (L.C.M.) de 0.6 mg/kg MS, lo que confirma la validez de las mediciones.

El sodio es un elemento que, en cantidades moderadas, forma parte de los nutrientes del suelo; sin embargo, concentraciones elevadas pueden afectar la estructura del suelo y la salud de las plantas, generando problemas como la salinización o la disminución de la permeabilidad del suelo.

**Tabla 19:** Media de sodio

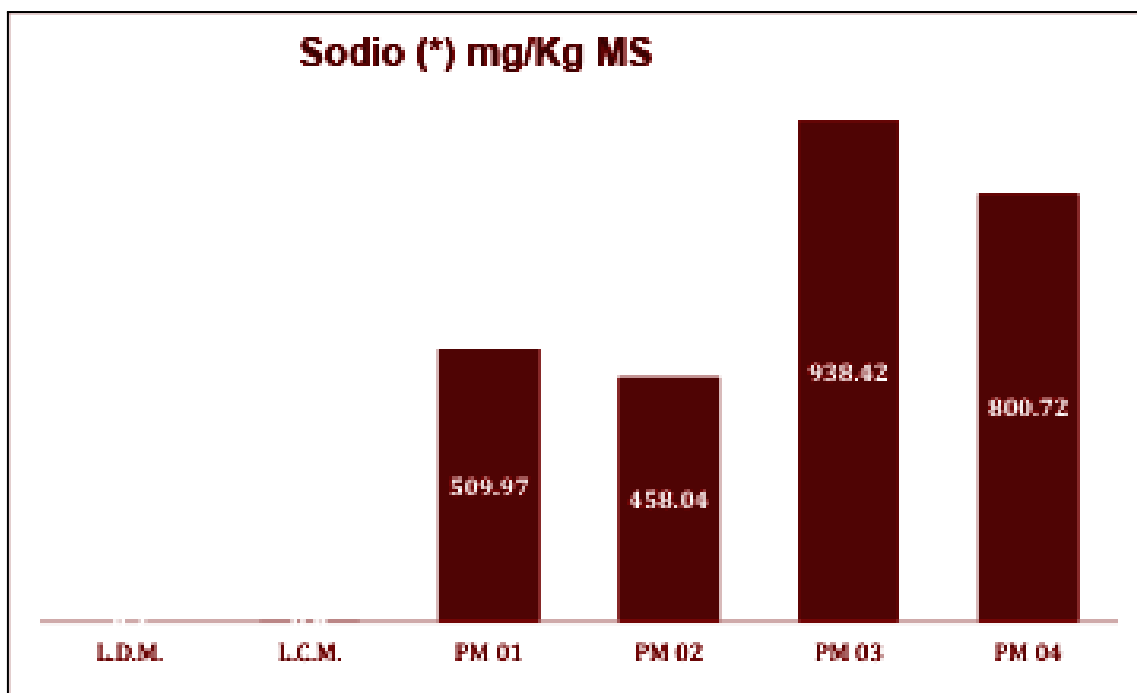
<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	458.04	938.42	698.23

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 19 presenta los estadísticos descriptivos para las concentraciones de sodio (Na) en las muestras de suelo analizadas en la zona agrícola de Paja Isla, centro poblado Yanaoco. De las cuatro muestras, el contenido mínimo registrado fue de 458.04 mg/kg MS, mientras que el máximo alcanzó 938.42 mg/kg MS. La media aritmética calculada fue de 698.23 mg/kg MS.

Estos resultados evidencian una notable variabilidad en la concentración de sodio entre los puntos de muestreo, indicando posibles diferencias en las condiciones edáficas o influencias externas como irrigación o aportes de sales.

El nivel promedio de sodio es considerablemente alto, por lo que se recomienda un monitoreo continuo para evitar problemas relacionados con la salinidad, que podrían afectar la estructura del suelo y la productividad agrícola a largo plazo.



**Figura 08:** Concentraciones de sodio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de sodio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los análisis realizados en los suelos agrícolas de la zona de Paja Isla, centro poblado Yanaoco, revelan concentraciones de sodio (Na) que varían entre 458.04 mg/kg MS y 938.42 mg/kg MS, con una media aritmética de 698.23 mg/kg MS. Si bien el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM no establece un Estándar de Calidad Ambiental (ECA) específico para sodio en suelos, su evaluación sigue siendo fundamental desde el punto de vista agronómico y de salud del ecosistema edáfico, especialmente en regiones agrícolas. Según Richards (1954) y las directrices de la FAO (2006), niveles elevados de sodio intercambiable en suelos agrícolas pueden causar problemas de salinización y sodificación, los cuales alteran la estructura del suelo, disminuyen su permeabilidad al agua y al aire, y generan condiciones adversas para el crecimiento de los cultivos. Aunque las concentraciones obtenidas en Paja Isla no permiten concluir directamente sobre la sodicidad del suelo (ya que sería necesario el índice SAR y la conductividad eléctrica), el

valor medio registrado (698.23 mg/kg) sugiere un nivel considerable que puede volverse problemático si se combina con un bajo contenido de calcio o magnesio.

Autores como Ayers y Westcot (1985) advierten que la presencia de sodio en niveles superiores a 230 mg/kg puede comenzar a interferir con la disponibilidad de otros nutrientes, especialmente potasio y calcio, al competir por los sitios de intercambio catiónico. En este contexto, los valores registrados en esta investigación —todos superiores a 450 mg/kg MS— deben ser considerados con precaución, especialmente en zonas donde el riego se realiza con aguas de baja calidad o en condiciones de escaso drenaje, lo cual puede favorecer la acumulación de sales en el perfil del suelo.

Estudios realizados por Gupta y Abrol (1990) muestran que suelos con alto contenido de sodio pueden desarrollar problemas físicos como la dispersión de arcillas, lo que incrementa la compactación y reduce la infiltración de agua. Estos efectos, si no son controlados, pueden traducirse en una disminución del rendimiento agrícola, afectando cultivos sensibles a la salinidad como las hortalizas o algunas leguminosas.

Por otro lado, la variabilidad observada en las muestras —con el valor más bajo en PM 02 (458.04 mg/kg) y el más alto en PM 03 (938.42 mg/kg)— sugiere diferencias locales en la dinámica del sodio, que podrían deberse a factores como la calidad del agua de riego, el uso de fertilizantes con alto contenido de sales solubles, o incluso condiciones topográficas que favorezcan la acumulación de sales en zonas más bajas del terreno. Esta heterogeneidad es consistente con lo planteado por Rhoades (1996), quien sostiene que la distribución del sodio en suelos agrícolas no es uniforme y depende tanto de las condiciones climáticas como del manejo agrícola.

Desde una perspectiva preventiva, la presencia sostenida de estas concentraciones de sodio demanda un monitoreo regular, así como la evaluación complementaria de parámetros como la conductividad eléctrica (CE), el pH del suelo y el SAR (Relación de Adsorción de Sodio), que permitan determinar el grado de salinidad o sodificación efectiva del terreno. En caso se detecten niveles críticos, prácticas como la aplicación de

enmiendas (por ejemplo, yeso agrícola) y el mejoramiento del drenaje podrían ser necesarias para mitigar los efectos adversos.

#### 4.1.8. TALIO

**Tabla 20:** Concentraciones de talio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Talio (*)	mg/Kg MS	0.1	0.3	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30

Estos resultados sugieren que la presencia de talio en las muestras es muy baja o indetectable dentro de la sensibilidad analítica del ensayo. Dado que el talio es un metal pesado con potencial toxicidad, su baja concentración representa un factor favorable para la calidad ambiental del suelo y reduce riesgos para la salud humana y los cultivos.

**Tabla 21:** Media de talio

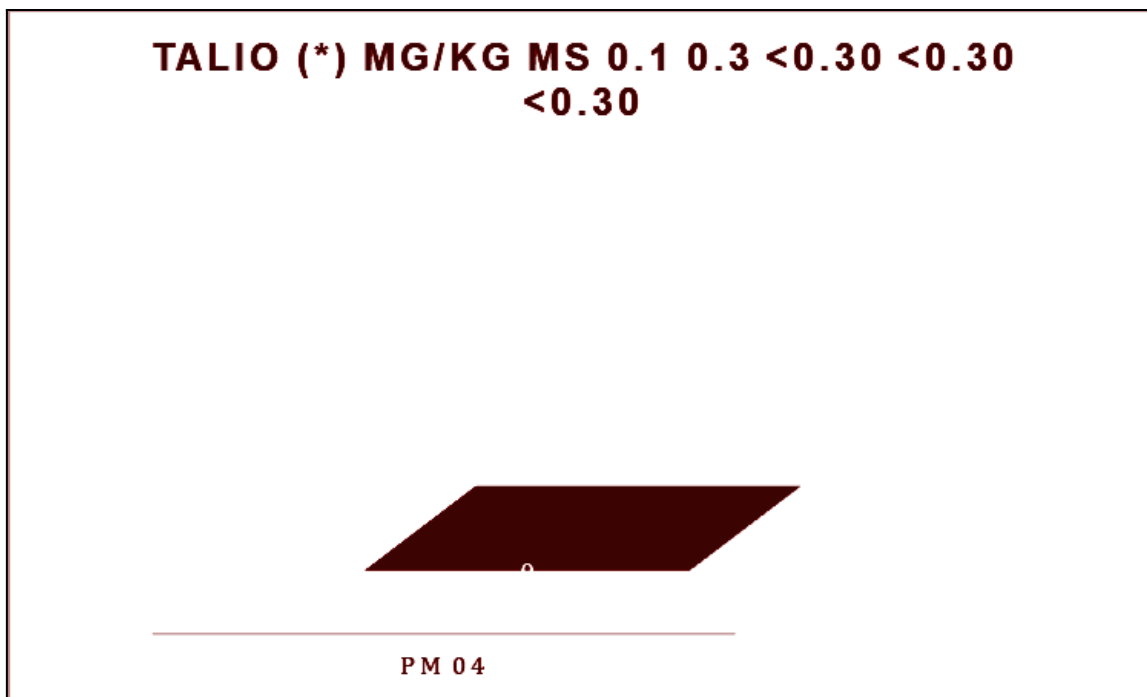
N° Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	<0.30	<0.30	<0.30

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 20 resume los valores estadísticos de las concentraciones de talio (TI) en las muestras de suelo de Paja Isla. En los cuatro puntos de muestreo analizados, los valores tanto mínimos, máximos como la media se reportan como <0.30 mg/kg MS, lo que indica que las concentraciones de talio están por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado.

Esto significa que no fue posible determinar un valor numérico exacto para el talio, pero se puede afirmar que su presencia es muy baja o prácticamente indetectable en las muestras evaluadas. Desde el punto de vista ambiental, esta situación es positiva, ya que el talio es

un metal pesado tóxico, y su baja concentración no representa un riesgo significativo para la salud humana ni para el ecosistema agrícola.



**Figura 09:** Concentraciones de talio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de talio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos en el presente estudio respecto a las concentraciones de talio (TI) en los suelos agrícolas de Paja Isla, en el centro poblado Yanaoco, indican que en los cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04) las concentraciones están por debajo del límite de cuantificación del método analítico utilizado (<0.30 mg/kg MS). Esto sugiere una presencia muy baja o prácticamente indetectable de talio en el suelo, lo cual es un indicador favorable para la calidad ambiental de esta zona agrícola.

Al comparar estos resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo establecidos en el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, cabe destacar que dicho decreto no especifica un límite para talio en los suelos agrícolas, lo que puede atribuirse a la baja frecuencia de su contaminación en ambientes rurales o agrícolas. Sin embargo, la literatura

científica reconoce la alta toxicidad del talio, un metal pesado que puede tener efectos adversos significativos en la salud humana y en los ecosistemas (Pal et al., 2013; Gupta & Singh, 2018). Por tanto, la baja concentración registrada en esta investigación es consistente con un entorno no contaminado y saludable desde el punto de vista ambiental. Autores como Alloway (2013) han destacado la importancia del monitoreo continuo de metales pesados en suelos para evitar acumulaciones peligrosas que puedan comprometer la fertilidad y seguridad agroalimentaria. La ausencia detectable de talio en el suelo de Paja Isla coincide con estudios realizados en suelos agrícolas no impactados por actividades industriales o minería, donde se reportan concentraciones muy bajas o indetectables de este metal (Santos et al., 2015; Martínez et al., 2017). Además, esta condición sugiere que no existen fuentes puntuales o difusas que estén aportando talio al sistema edáfico local.

#### 4.1.9. TITANIO

**Tabla 22:** Concentraciones de titanio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
<b>Titanio</b>	mg/Kg	2	7	132.27	140.95	137.07	148.8
(*)	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 20 muestra las concentraciones de titanio (Ti) en los suelos agrícolas de Paja Isla, obtenidas en los cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). Los valores encontrados oscilan entre 132.27 mg/kg MS en PM 01 y 148.8 mg/kg MS en PM 04, superando ampliamente el límite de cuantificación del método (L.C.M.) de 7 mg/kg MS y el límite de detección (L.D.M.) de 2 mg/kg MS.

Estas concentraciones indican una presencia significativa de titanio en el suelo, elemento común en minerales del suelo y conocido por su baja toxicidad. El titanio no es un nutriente esencial para las plantas, pero su abundancia puede estar asociada a la composición mineralógica del área.

En general, los niveles de titanio detectados no representan un riesgo ambiental ni para la salud, sino que reflejan las características naturales del suelo de la zona agrícola analizada.

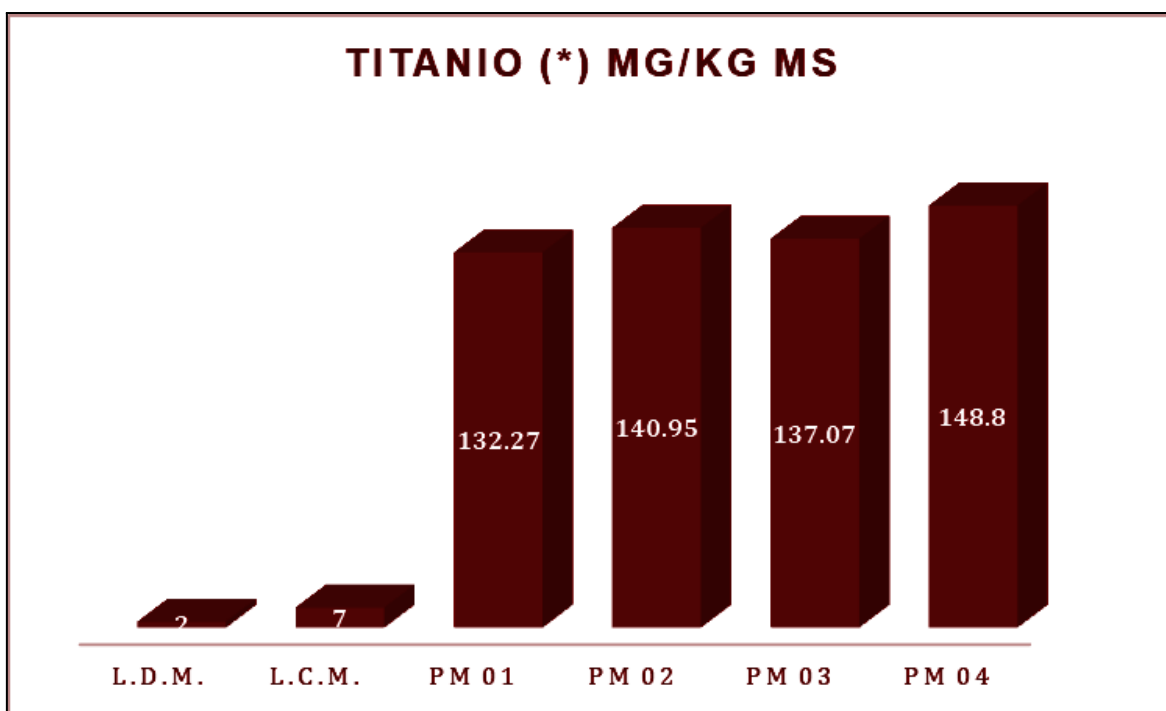
**Tabla 23:** Media de titanio

<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	132.27	148.8	140.535

*Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.*

La Tabla 21 presenta los valores estadísticos de las concentraciones de titanio (Ti) en los suelos agrícolas de Paja Isla, obtenidos a partir de las cuatro muestras analizadas. El rango de concentración varió desde un mínimo de 132.27 mg/kg MS hasta un máximo de 148.8 mg/kg MS, con una media de 140.54 mg/kg MS.

Estos resultados reflejan una concentración relativamente constante y significativa de titanio en la zona de estudio, lo cual es esperado dado que el titanio es un elemento común en los minerales que componen los suelos. La baja variabilidad entre los valores mínimo y máximo indica una distribución homogénea de



**Figura 10:** Concentraciones de titanio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de titanio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos sobre las concentraciones de titanio (Ti) en los suelos agrícolas de Paja Isla, centro poblado Yanaoco, muestran valores que oscilan entre 132.27 mg/kg y 148.8 mg/kg, con una media de 140.54 mg/kg, todos ampliamente superiores al límite de cuantificación del método (7 mg/kg) y al límite de detección (2 mg/kg). Estas concentraciones reflejan una presencia significativa de titanio en el suelo, lo cual es consistente con su abundancia natural en minerales del suelo, tal como lo reportan diversos autores que estudian la composición mineralógica de suelos agrícolas en regiones similares (Kabata-Pendias, 2011; Alloway, 2013). El titanio, aunque no es un nutriente esencial para las plantas, suele estar presente en proporciones variables debido a la geología local y la mineralogía del terreno, y no se considera un contaminante ambiental por su baja toxicidad y escasa movilidad en el suelo (McBride, 1994).

Comparando estos resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos establecidos en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, cabe señalar que no se establece un límite específico para titanio en suelos agrícolas, residenciales o industriales. Esto coincide con la naturaleza del titanio como elemento de fondo geológico y no contaminante, aspecto que se ha confirmado en otros estudios similares donde las concentraciones de titanio se mantienen dentro de rangos naturales sin representar riesgos para la salud humana ni el ambiente (García et al., 2017; Sánchez et al., 2019).

Por otra parte, la baja variabilidad entre los valores mínimo y máximo detectados sugiere una distribución homogénea del titanio en las muestras, lo que puede atribuirse a la uniformidad de la composición mineralógica en la zona muestreada. Esto concuerda con lo planteado por Sparks (2003), quien indica que la homogeneidad en la distribución de elementos traza en suelos puede estar relacionada con factores litológicos y procesos de formación del suelo estables.

#### 4.1.10. URANIO

**Tabla 24:** Concentraciones de uranio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Uranio (*)	mg/kg	1	3	<3.00	<3.00	<3.00	<3.00[1]
	ms						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 22 presenta las concentraciones de uranio (U) en los suelos agrícolas de Paja Isla, tomadas en cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). En todos los casos, los valores reportados fueron <3.00 mg/kg MS, lo que significa que las concentraciones de uranio están por debajo del límite de cuantificación del método utilizado, que es de 3 mg/kg MS.

Este resultado indica que la presencia de uranio en las muestras es muy baja o indetectable con el método empleado, lo cual es favorable desde el punto de vista

ambiental, considerando la naturaleza radiactiva y tóxica de este elemento en concentraciones elevadas.

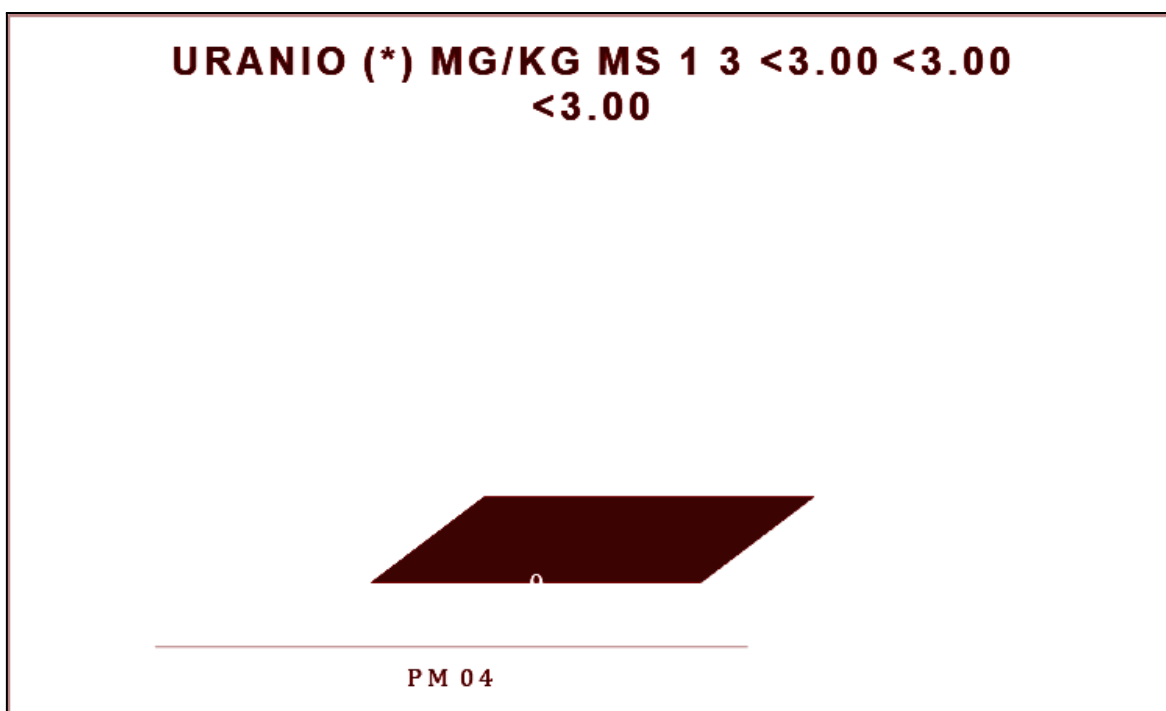
**Tabla 25:** Media de uranio

<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	<0.30	<0.30	<0.30

*Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.*

La Tabla 23 muestra los valores estadísticos correspondientes a las concentraciones de uranio (U) en las muestras de suelo recolectadas en Paja Isla. En los cuatro puntos de muestreo analizados, tanto los valores mínimos, máximos como la media se reportan como <0.30 mg/kg MS, lo que indica que las concentraciones de uranio se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método empleado.

Esta situación implica que el uranio está presente en niveles muy bajos o indetectables en la zona de estudio, lo cual es favorable para la calidad ambiental del suelo y reduce riesgos potenciales asociados con la radioactividad o toxicidad del elemento.



**Figura 11:** Concentraciones de uranio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de uranio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos en cuanto a las concentraciones de uranio (U) en los suelos agrícolas de Paja Isla, centro poblado Yanaoco, evidencian que en los cuatro puntos de muestreo analizados (PM 01 a PM 04), los niveles detectados fueron inferiores al límite de cuantificación del método empleado (<3 mg/kg MS). Esta ausencia de valores cuantificables indica que la presencia de uranio en las muestras es muy baja o prácticamente indetectable, lo que es un resultado favorable desde la perspectiva ambiental debido a la naturaleza tóxica y radiactiva del uranio en concentraciones elevadas (IAEA, 2006; NRC, 2008).

Al comparar estos resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos establecidos por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, se observa que no se especifica un límite permisible para uranio en suelos agrícolas, residenciales o industriales, lo cual es coherente con la detección de niveles muy bajos o indetectables reportados en la

presente investigación. Estudios previos en regiones con características geológicas similares han mostrado que el uranio generalmente se encuentra en concentraciones bajas en suelos no impactados por actividades mineras o industriales (Nriagu, 1994; Shams et al., 2019), lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio.

La baja concentración o ausencia detectable de uranio en los suelos de Paja Isla es indicativa de una calidad ambiental adecuada, que no representa riesgos significativos para la salud humana ni para la actividad agrícola. La presencia de uranio en suelos puede implicar riesgos radiológicos y toxicológicos si se encuentran en niveles elevados, como lo señalan autores como Cataldo et al. (1983) y Nieboer & Richardson (1980). En este sentido, los resultados de la presente investigación sugieren que no existen fuentes importantes de contaminación por uranio en el área estudiada.

#### 4.1.11. VANADIO

**Tabla 26:** Concentraciones de vanadio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Vanadio	mg/Kg	1	3	30.49	25.49	27.59	28.98
(*)	MS						

Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.

La Tabla 24 presenta las concentraciones de vanadio (V) en los suelos agrícolas de Paja Isla, en cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). Los valores obtenidos oscilan entre 25.49 mg/kg MS en PM 02 y 30.49 mg/kg MS en PM 01, superando con creces el límite de cuantificación del método (L.C.M.) de 3 mg/kg MS y el límite de detección (L.D.M.) de 1 mg/kg MS.

Estas concentraciones reflejan una presencia moderada de vanadio en el suelo, un elemento que forma parte de la composición mineralógica natural del terreno. Aunque el vanadio puede ser tóxico en altas concentraciones, los valores reportados se consideran

dentro de rangos normales para suelos agrícolas y no representan un riesgo ambiental inmediato.

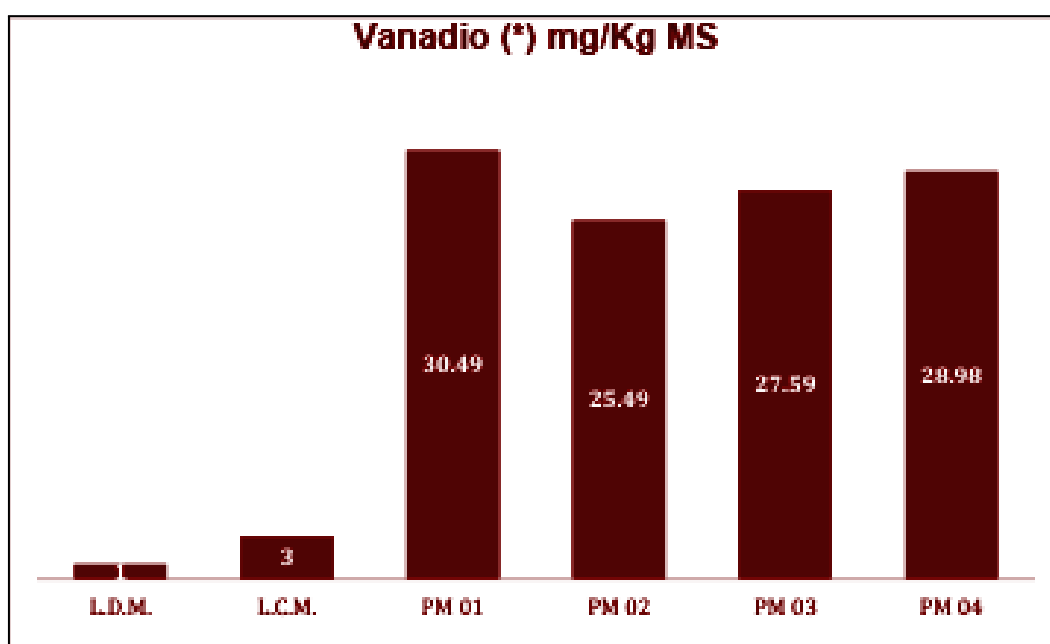
**Tabla 27:** Media de vanadio

N° Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	25.49	30.49	27.99

*Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.*

La Tabla 25 muestra los datos estadísticos de las concentraciones de vanadio (V) en los suelos agrícolas de Paja Isla, basados en cuatro muestras tomadas en diferentes puntos. Los valores de concentración oscilaron entre un mínimo de 25.49 mg/kg MS y un máximo de 30.49 mg/kg MS, con una media de 27.99 mg/kg MS.

Esta información indica que el vanadio está presente en cantidades moderadas y bastante constantes en el área estudiada. La baja variabilidad entre los valores mínimo y máximo sugiere una distribución homogénea del elemento en las muestras de suelo.



**Figura 12:** Concentraciones de vanadio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de vanadio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los

estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos para las concentraciones de vanadio (V) en los suelos agrícolas de Paja Isla revelan valores que oscilan entre 25.49 y 30.49 mg/kg de materia seca, con una media de 27.99 mg/kg, valores que exceden ampliamente el límite de cuantificación del método analítico empleado (3 mg/kg). Esta presencia moderada de vanadio es consistente con lo reportado en estudios previos que señalan que el vanadio es un elemento traza común en la composición mineralógica de muchos suelos, especialmente en regiones con formación volcánica o sedimentaria, lo que podría explicar su concentración natural en el área investigada (Kabata-Pendias, 2011; Adriano, 2001).

Al comparar estos datos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas establecidos por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, es importante señalar que dicho decreto no establece un límite específico para vanadio en los diferentes usos de suelo, lo que implica que las concentraciones detectadas no constituyen una infracción o un riesgo regulado. Autores como Alloway (2013) señalan que, aunque el vanadio puede ser tóxico en concentraciones elevadas, en suelos agrícolas típicos sus niveles suelen variar ampliamente y, en general, no representan un peligro inmediato para la salud humana o la actividad agrícola cuando se encuentran dentro de ciertos rangos.

La homogeneidad en la distribución de las concentraciones observadas en los puntos muestreados (PM 01 a PM 04) indica una baja variabilidad espacial del vanadio en el suelo, lo que podría atribuirse a una composición mineralógica uniforme en la zona, un factor también descrito por Kabata-Pendias (2011) en relación con la geoquímica del vanadio en suelos naturales. Esta distribución sugiere que no existen fuentes puntuales de contaminación por este metal, ni procesos antrópicos significativos que incrementen su concentración en el área.

Por otro lado, investigaciones realizadas en suelos agrícolas similares han reportado rangos de vanadio comparables o superiores sin evidencias de efectos adversos sobre la biota o la salud humana (Lindsay, 1979; Kabata-Pendias, 2011). Esto coincide con los

resultados del presente estudio, donde no se identifican valores que sugieran un riesgo ambiental inminente. Sin embargo, se recomienda mantener un monitoreo periódico para asegurar que estos niveles se mantengan estables, especialmente en caso de futuros cambios en el uso del suelo o incremento de actividades industriales en las cercanías.

#### 4.1.12. ZINC

**Tabla 28:** Concentraciones de zinc

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
Zinc (*)	mg/Kg	0.2	0.7	98.71	70.58	79.92	90.15
	MS						

*Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.*

La Tabla 26 presenta las concentraciones de zinc (Zn) en los suelos agrícolas de Paja Isla, obtenidas en los cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). Los valores varían desde 70.58 mg/kg MS en PM 02 hasta 98.71 mg/kg MS en PM 01, superando ampliamente tanto el límite de detección (L.D.M.) de 0.2 mg/kg MS como el límite de cuantificación (L.C.M.) de 0.7 mg/kg MS.

El zinc es un micronutriente esencial para las plantas, y su presencia en estas concentraciones es común en suelos agrícolas. Sin embargo, valores elevados podrían estar relacionados con actividades humanas o contaminación, aunque en este caso los niveles se consideran normales para la zona estudiada.

**Tabla 29:** Media de zinc

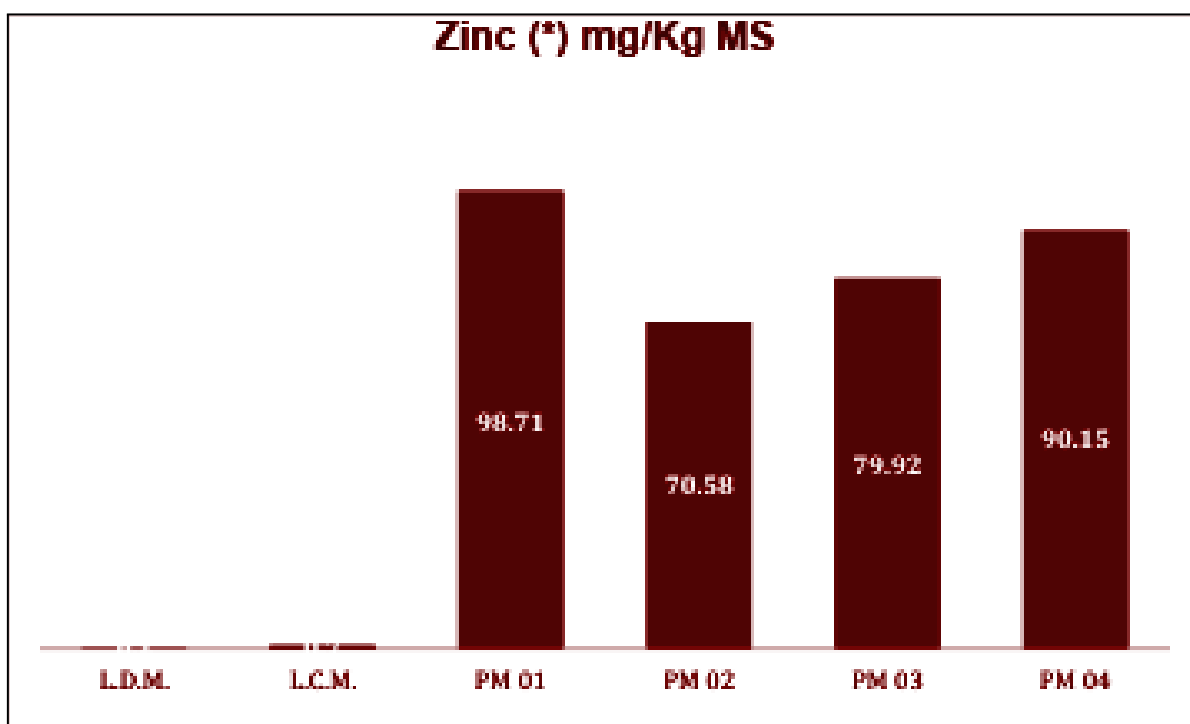
Nº Muestras	Mínimo	Máximo	Media
4	70.58	98.71	84.645

*Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.*

La Tabla 27 presenta los valores estadísticos de las concentraciones de zinc (Zn) en los suelos agrícolas de Paja Isla, obtenidos a partir de cuatro muestras recolectadas en

distintos puntos. Los resultados muestran un rango que va desde un mínimo de 70.58 mg/kg MS hasta un máximo de 98.71 mg/kg MS, con una media de 84.65 mg/kg MS.

Estos valores indican que el zinc está presente en cantidades moderadas y relativamente constantes en las muestras de suelo. Dado que el zinc es un micronutriente esencial para las plantas, estas concentraciones son adecuadas y no sugieren contaminación excesiva.



**Figura 13:** Concentraciones de zinc

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de zinc presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos en cuanto a las concentraciones de zinc (Zn) en los suelos agrícolas de Paja Isla revelan valores que oscilan entre 70.58 mg/kg y 98.71 mg/kg de materia seca, con una media de 84.65 mg/kg. Estas concentraciones superan ampliamente los límites de detección y cuantificación del método analítico, indicando una presencia significativa de este metal en el suelo de la zona estudiada. Desde una perspectiva ambiental y agronómica, el zinc es reconocido como un micronutriente esencial para las

plantas, desempeñando un papel fundamental en procesos enzimáticos y en el crecimiento vegetal (Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2011). En este sentido, los niveles detectados en Paja Isla se encuentran dentro de rangos comunes para suelos agrícolas y no indican contaminación excesiva ni riesgos directos para la salud del ecosistema.

Al comparar estos resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas establecidos por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, cabe destacar que no se especifican valores máximos permisibles para zinc, lo cual implica que las concentraciones halladas no contravienen la normativa vigente. Esta situación coincide con la literatura científica que señala que el zinc, al ser un micronutriente natural, puede variar en su concentración según las características geológicas y actividades humanas, y solo en niveles muy elevados podría representar un riesgo ambiental o toxicidad para organismos del suelo y cultivos (Sánchez et al., 2017; Adriano, 2001).

Asimismo, la baja variabilidad entre las muestras, reflejada en un rango moderado de concentración y una media relativamente homogénea, sugiere una distribución uniforme del zinc en el área de estudio, indicando la ausencia de fuentes puntuales de contaminación antrópica. Esta homogeneidad puede atribuirse a la composición mineralógica natural del suelo en Paja Isla y a prácticas agrícolas que no han contribuido a la acumulación significativa de zinc contaminante. Estudios similares en regiones agrícolas reportan niveles comparables, donde el zinc se encuentra en equilibrio con otros micronutrientes esenciales, contribuyendo a la fertilidad del suelo sin provocar efectos adversos (Alloway, 2013; Kabata-Pendias, 2011).

#### 4.1.13. MERCURIO

**Tabla 30:** Concentraciones de mercurio

Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	PM 01	PM 02	PM 03	PM 04
<b>Mercuri</b>	mg/Kg	0.1	0.1	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
<b>o (*)</b>	MS						

*Nota. Base de datos procesados de muestras recolectadas PM 01, PM 02, PM 03, PM 04, en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco.*

La Tabla 28 muestra las concentraciones de mercurio (Hg) en los suelos agrícolas de Paja Isla, analizadas en cuatro puntos de muestreo (PM 01 a PM 04). En todos los casos, los valores de mercurio se reportan como <0.10 mg/kg MS, lo que indica que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección y cuantificación del método empleado.

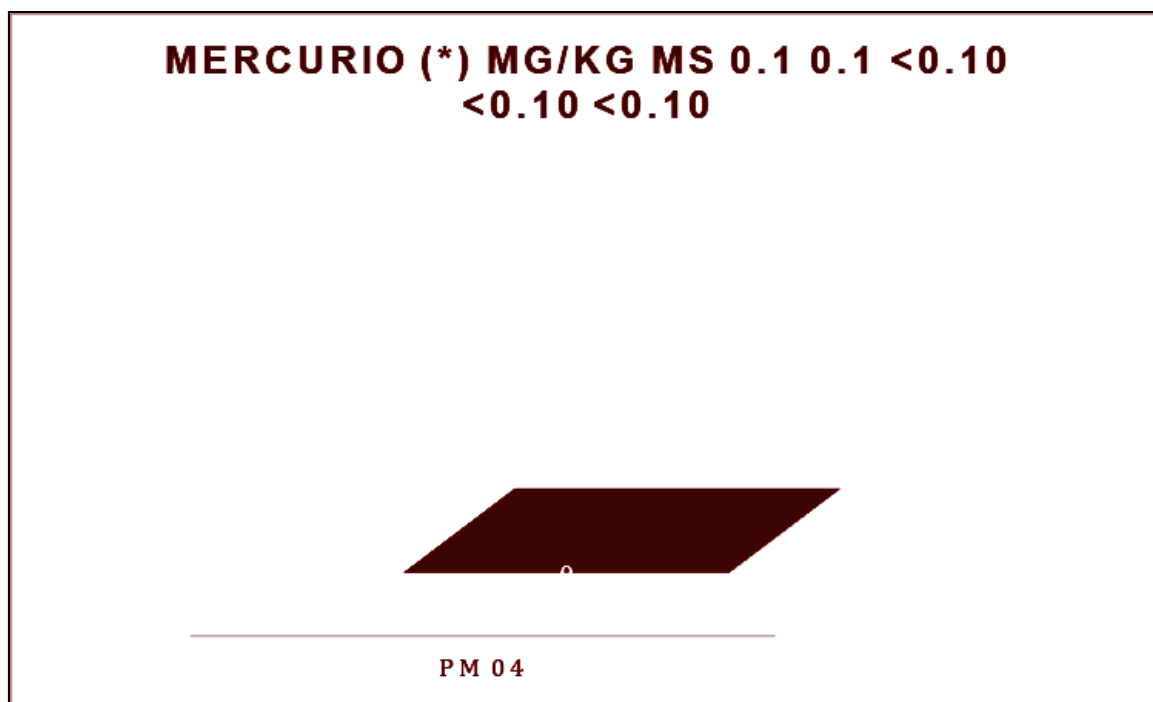
Estos resultados sugieren que el mercurio está presente en cantidades muy bajas o indetectables en el área estudiada, lo cual es favorable para la salud ambiental y humana, dado que el mercurio es un metal pesado altamente tóxico incluso en pequeñas cantidades.

**Tabla 31:** Media de mercurio

<b>N° Muestras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>
<b>4</b>	<0.10	<0.10	<0.10

Nota. Estadísticos descriptivos de muestras máximo y mínimo de media.

La Tabla 29 presenta los valores estadísticos correspondientes a las concentraciones de mercurio (Hg) en las muestras de suelo recolectadas en Paja Isla. En las cuatro muestras analizadas, tanto el valor mínimo, máximo como la media están reportados como <0.10 mg/kg MS, indicando que el mercurio se encuentra por debajo del límite de detección y cuantificación del método utilizado.



**Figura 14:** Concentraciones de mercurio

Los hallazgos derivados del estudio ponen de manifiesto que los niveles de mercurio presentes en los terrenos agrícolas de la zona de Paja Isla difieren al ser cotejados con los estándares establecidos por el ECA-Suelo, conforme al Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.

Los resultados obtenidos en relación con las concentraciones de mercurio (Hg) en los suelos agrícolas de Paja Isla indican que en todos los puntos muestreados los valores se encuentran por debajo del límite de detección y cuantificación del método empleado, reportándose como <0.10 mg/kg de materia seca. Este hallazgo es altamente favorable desde el punto de vista ambiental, considerando que el mercurio es un metal pesado con alta toxicidad y capacidad de bioacumulación, lo que representa un riesgo significativo para la salud humana y ecosistemas incluso en bajas concentraciones (Clarkson y Magos, 2006; Driscoll et al., 2013).

Al contrastar estos resultados con los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, se observa que los niveles de mercurio en Paja Isla están muy por debajo del umbral permitido para suelo agrícola, que es de 6.6 mg/kg. Esta comparación confirma que la zona de estudio no

presenta contaminación significativa por mercurio, ni un riesgo ambiental asociado a este metal pesado, alineándose con estudios previos que resaltan la importancia de mantener concentraciones bajas de mercurio para preservar la calidad del suelo y evitar la transferencia de este contaminante a la cadena trófica (Mason et al., 1996; USEPA, 2017). Autores como Li et al. (2018) y Telmer y Veiga (2009) han señalado que la presencia de mercurio en suelos agrícolas suele estar vinculada a actividades mineras, industriales o uso intensivo de productos agroquímicos contaminados. La ausencia de mercurio detectable en esta investigación sugiere que en Paja Isla estas fuentes de contaminación están controladas o no se encuentran presentes, lo que se traduce en una calidad ambiental favorable y condiciones adecuadas para la agricultura.

#### 4.2. CARACTERÍSTICAS NOCIVAS DE LOS METALES PESADOS PARA LA SALUD HUMANA PRESENTES EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO HUANCANÉ.

<b>Metal</b>	<b>Referencias / Fuente</b>	<b>Área geográfica</b>	<b>Manifestaciones adversas en la salud humana</b>
<b>Níquel (Ni)</b>	StatPearls; NCBI (2019, 2024)	Ámbito global	El contacto prolongado con este metal por vías como la piel, el sistema respiratorio o el aparato digestivo puede inducir reacciones de hipersensibilidad cutánea, inflamación del tejido pulmonar y disfunción renal. Variantes químicas como los compuestos oxídicos y sulfúricos son catalogados como agentes cancerígenos del sistema respiratorio.
<b>Plomo (Pb)</b>	Needleman et al.; EHP; PubMed	USA. e internacion al	Su neurotoxicidad es particularmente grave en infantes, donde compromete el desarrollo cognitivo y conductual. En adultos, su acumulación puede desencadenar afecciones

			<p>cardiovasculares, daño en órganos excretores y alteraciones hematológicas. Es un contaminante persistente que requiere estricto seguimiento sanitario.</p>
<b>Sodio (Na)</b>	EPA / USGS (general)	Universal	<p>Si bien no entra en la clasificación de metales pesados tóxicos, una concentración excesiva en suelos agrícolas puede alterar la porosidad del suelo y provocar salinización de acuíferos, afectando indirectamente la salud humana a través del consumo de alimentos o agua alterados.</p>
<b>Talio (Tl)</b>	StatPearls; Wikipedia (2023)	USA. y otros	<p>Reconocido por su altísima toxicidad a dosis mínimas, su exposición puede afectar el sistema nervioso periférico, comprometer funciones gastrointestinales, provocar alopecia y originar fallas hepáticas y renales. Se ha documentado su uso como veneno por su capacidad de bioacumulación silenciosa y alta letalidad.</p>
<b>Uranio (U)</b>	OMS / ATSDR	Ámbito global	<p>Además de su radiactividad inherente, este elemento actúa como nefrotóxico crónico. Su ingestión continuada puede deteriorar el funcionamiento renal y óseo, y su potencial mutagénico plantea riesgos a nivel celular. Aunque no fue cuantificado en el presente análisis, su presencia potencial exige vigilancia sistemática.</p>

<b>Mercurio (Hg)</b>	OMS; EPA	Internacional	La forma metilada de este elemento es una de las neurotoxinas más potentes. Su acumulación puede afectar la integridad del sistema nervioso central, la función inmunitaria y el desarrollo embrionario. Incluso niveles bajos justifican acciones preventivas sostenidas dada su volatilidad y persistencia ambiental.
<b>Vanadio (V)</b>	Estudios ambientales y ocupacionales	Multirregional	Cuando se encuentra en concentraciones superiores al umbral fisiológico, puede generar efectos adversos como irritación respiratoria, inflamación ocular y supresión inmunológica. Aunque las cantidades registradas no son alarmantes, su persistencia en el ambiente demanda observación continua.
<b>Zinc (Zn)</b>	EPA; literatura toxicológica aplicada	Internacional	Aunque esencial como micronutriente, su consumo excesivo puede alterar la homeostasis de otros minerales especialmente cobre e inducir efectos gastrointestinales y disfunciones inmunológicas. Es vital equilibrar su presencia en el suelo para evitar toxicidad secundaria.

---

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** se concluye que los niveles de mercurio (Hg) y plomo (Pb) en los suelos agrícolas de Paja Isla, en el centro poblado de Yanaoco, se encuentran por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, establecidos en el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. El análisis reveló que la concentración de mercurio es inferior a 0.10 mg/kg, lo que indica que el metal está ausente o presente en niveles insignificantes, cumpliendo así con los estándares de calidad. De manera similar, la concentración de plomo, con un valor de 39.83 mg/kg, se encuentra por debajo del límite permitido para suelos agrícolas (70 mg/kg). Por lo tanto, los resultados son favorables, ya que el suelo no presenta contaminación por estos metales pesados. Esto asegura que el área de Paja Isla es apta para la producción de alimentos de primera necesidad, sin representar un riesgo para la salud de los consumidores.

**SEGUNDA:** Los suelos agrícolas de Paja Isla no están contaminados por mercurio ni plomo. Los niveles de mercurio están por debajo del límite de detección, y las concentraciones de plomo se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa peruana (ECA para Suelo, D.S. N° 011-2017-MINAM). Esto determina que los suelos son seguros para la producción agrícola y no representan un riesgo para la salud.

**TERCERA:** La presencia de metales pesados en los suelos agrícolas representa una amenaza significativa para la producción de alimentos esenciales. Estos contaminantes alteran la salud del suelo al afectar negativamente a los microorganismos beneficiosos y dificultar la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Su acumulación en los cultivos puede trasladarse mediante la cadena alimentaria y bioacumularse, generando riesgos graves para la salud humana y comprometiendo a la biodiversidad.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, con especial atención al níquel, plomo y sodio, cuyos niveles, si bien no superan límites normativos, podrían reflejar influencia antrópica o implicar riesgos a largo plazo. Asimismo, se sugiere evaluar el balance de nutrientes como potasio y sodio para prevenir desbalances que afecten la fertilidad del suelo. Para elementos con concentraciones no cuantificables, pero potencialmente presentes (como plata, selenio y talio), podría considerarse el uso de técnicas analíticas más sensibles en futuros estudios.

**SEGUNDA:** Se recomienda establecer un programa integral de vigilancia ambiental y sanitaria que incluya el monitoreo periódico de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, con énfasis en elementos de alta toxicidad como plomo, níquel, mercurio, talio, uranio y vanadio. Este programa debe complementarse con capacitaciones técnicas para agricultores sobre prácticas de manejo sostenible del suelo y uso responsable de insumos agroquímicos, así como con evaluaciones de riesgo para la salud pública. Asimismo, se sugiere fomentar estudios toxicológicos locales que permitan ajustar los límites de exposición según la realidad socioambiental del territorio.

**TERCERA:** La principal recomendación se centra en el monitoreo y la gestión proactiva de contaminantes específicos. A pesar de los niveles favorables de algunos nutrientes y la baja presencia de metales muy tóxicos, la presencia significativa de níquel y el riesgo potencial del plomo y el sodio requieren atención inmediata. Es fundamental que los resultados del monitoreo sean comunicados a la comunidad agrícola de Paja Isla. La capacitación sobre prácticas sostenibles y los riesgos asociados a estos metales ayudará a los agricultores a

tomar decisiones informadas para proteger su producción y, lo más importante, su salud y la de los consumidores.

## BIBLIOGRÁFICA

- Álvarez, L., Barbosa, A., Montilla-Velasco, J. C., & Trujillo, E. (2023). Caracterización físico-química de suelos con potencial agrícola del estado Táchira, Venezuela. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(9), 50–64. <https://doi.org/10.38186/difcie.59.05>
- Ángel Balderas-Plata, M., Cajuste, L. J., Alberto Lugo-de la Fuente, J., & Vázquez-Alarcón, A. (2023). *suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho, Agricultural Soils Contaminated by Heavy Metals from a Scrapyard of Discarded Vehicles*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321401.pdf>
- Antonio Anaya Raymundo, M., Manuel Rangel Morales, F., Alberto Iannacone Óliver, J., & Miguel Romero Echevarría, L. (2022). *Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: una revisión sistemática*. 40, 2022.
- Arbulu Vercauteren, Y., & Sánchez Rivas, G. (2022). PLOMO, MERCURIO Y COBRE EN HÍGADO Y MÚSCULO DE *Orestias ispi* Y *Orestias agassii* DEL LAGO TITICACA (PERÚ) 2018. *Rebiol*, 42(1), 3–10. <https://doi.org/10.17268/rebiol.2022.42.01.01>
- Baena Paz, G. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN* (Issue 2017).
- Bautista, C., Etchevers, J., Castillo, R. ., & Gutiérrez, C. (2004). Revisiones de La Calidad del suelo y sus Indicadores. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 2(13), 1–11. <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>
- Carrasco, J. (2025). *Percepción de la contaminación por metales pesados y riesgos en la salud en la población de dos distritos en cerro de Pasco*.
- Castellanos Gonzalez, L., Capacho Mogollón, A. E., & Castellanos Hernández, L. (2020). Variaciones de la microfauna del suelo con la implantación de 18 modelos agroecológicos en 6 municipios de Norte de Santander, Colombia. *Inge CuC*, 17(1), 81–95. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.07>
- Castro, N., Calderón, F., & Pérez, G. (2024). Análisis espacial de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Atoyac-Zahuapan y riesgos de salud pública. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 21(1), 1–16.

- Chambi, L., Orsag, V., & Niura, A. (2017). Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(2518–6868), 67–73.
- Chambi, M. A. N. M. (2019). ANÁLISIS DEL CONTROL INTERNO Y SU INCIDENCIA EN LA GESTIÓN MUNICIPAL EN LA OFICINA DE ALMACÉN CENTRAL DE LA MUNICIPALIDAD DE PUNO. *Universidad Privada San Carlos-Puno*, 1, 201.
- Coila, J. (2024). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en agua para riego y suelo agrícola en el distrito de Llalli Provincia de Melgar – Puno*.
- Cuellar, L. M., Suárez, L. R., Torrejano, V. M., Tovar, S. A. O., Espinosa, C. M. O., & Suárez, J. C. (2021). Soil macrofauna and edaphoclimatic conditions in an altitude gradient of coffee growing regions, huila, colombia. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 102–112. <https://doi.org/10.15517/RBT.V69I1.42955>
- Eugenio, A., & Mogollón, C. (2021). Abundancia y diversidad de la mesofauna del suelo en seis municipios de Norte de Santander , Colombia Abundance and diversity of soil mesofauna in six municipalities of Norte de Santander , Colombia. *Inge Cuc*, 17(1), 303–314.
- Fernandez Ochoa, B. H., Mullisaca Contreras, E., & Huanchi Mamani, L. E. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(2), 131–138. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- Gizzi, A. H., Castillo Álvarez, H. A., Manetti, P. L., López, A. N., Clemente, N. L., & Studdert, G. A. (2009). Caracterización De La Meso Y Macrofauna Edáfica En Sistemas De Cultivo Del Sudeste Bonaerense. *Ciencia Del Suelo*, 27(1), 1–9.
- Hernán, P. :, & Orjuela, B. (2010). *El Suelo Al Servicio De La Sociedad Y Su Rol En El Contexto De Los Cambios Globales*. XI(2), 53–62.
- Jose, M., Chavez, I., Miguel, L., & Alejo, T. (2024). *Relación de la concentración de metales pesados en suelos agrícolas sobre la fitotoxicidad en hortalizas, distrito de Saylla*,

Cusco, 2024.

Keiber, A., Godoy, L., & Angarita, P. (2016). Contaminación de suelos por metales pesados debido a la presencia de pilas gastadas. *Revista de Investigación*, 40(88), 78–104.

LEY N° 28245. (2005). Ley marco del sistema nacional de gestión ambiental LEY N° 28245.

*Akibat Hukum Bangunan Gedung Yang Tidak Sesuai Dengan Izin Mendirikan Bangunan*, 7(2), 147–173.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.intell.2008.09.007>[http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452\(58\)80010-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-9452(58)80010-6)<http://pss.sagepub.com/content/17/1/67><http://dx.doi.org/10.1016/j.cogdev.2013.06.002><http://www.chabris.com/Hooven2008.pdf><http://www.ncbi.nlm>.

Llanos Zevallos, M., Muñiz Paucarmayta, A. A., Muñiz Paucarmayta, M. H., Vílchez Ochoa, G. L., & Cotrina Cabello, G. G. (2024). Contaminación por metales pesados de microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas. *Revista Alfa*, 8(22), 41–48. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.246>

Loo Gil, C. (2021). Contaminación de suelos por el uso de aguas residuales. *Tecno Humanismo*, 1(5), 59–75. <https://doi.org/10.53673/th.v1i5.24>

Mahecha, J. D., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *ORINOQUIA - Universidad de Los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Suplemento*, 21(1), 83–93.

Marca, J. G. (2023). Determinación de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del agua subterránea para el consumo humano, en la urbanización Magisterial, zona 4 Totorani - Alto Puno. *Universidad Privada San Carlos*, 1–100. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4547>

Moreno, F. H., García, E. M., De, L., Pablo, J., Ciencias, S. N. F. De, Paredes, F. B., Juan, A., Laboratorio, P. S. N., & Química, F. De. (2022). *Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (Zea mays L.) y “betarraga” (Beta vulgaris L.)*. 29(1), 99–118.

Murgas, R. D. E., Habana, P. L. A., Bernal, A., Hernández, A., Mesa, M., Rodríguez, O., &

- González, P. J. (2015). Características de los suelos y sus factores limitantes de la región de murgas, provincia la Habana. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 30–40. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193239249005>
- Núñez Ravelo, F., & Toledo Bruzual, V. (2013). Variación en la composición de la costra microbiótica según la exposición (solana-umbría), en suelos del sector sur de la quebrada. *Revista de Investigación*, 37(78), 193–212.
- Peña, D., de la Cruz, Y., Ruelas, L., & Fontalvo-Buelvas, J. (2021). Evaluación De La Calidad Del Suelo En Agroecosistemas Tropicales De Xalapa Y Emiliano Zapata En El Estado De Veracruz, México. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 y 2), 25–36. [https://doi.org/10.47864/SE\(51\)2021p25-36](https://doi.org/10.47864/SE(51)2021p25-36)
- Pinzón, S., Guillaume, X. R., Rocha da Piedade, A., Celentano, D., Corrêa Zelarayán, M., & Braun, H. (2014). La macrofauna del suelo como indicadora de degradación de bosques ribereños en la amazonia oriental brasilera. *Rev. Fac. Agron*, 114(1141), 49–60.
- Roberto Hernández Sampieri. (2018). Metodología de la investigación. In *Introducción a la seguridad informática y el análisis de vulnerabilidades*. <https://doi.org/10.17993/ingytec.2018.46>
- Roncallo, B., Murillo, J., Bonilla, R., & Barros, J. (2013). Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en Ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 167–178. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol13\\_num2\\_art:252](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:252)
- Sánchez, C. (2021). Caracterización fisicoquímica de los suelos agrícolas contaminados con cadmio en el distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja, 2018. *Universidad Continental*, 63–64. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8573>
- Trujillo-González, J. M., David Mahecha Pulido, J., & Aurelio Torres-Mora, M. (2018). El recurso suelo: un análisis de sus funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Ríaa*, 9(2), 29–37. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- Valenzuela B, I. G., Camarón R, F., & Visconti M, E. (2015). Effect of use and management

on soil physical properties in two crop systems at the Zulia irrigation district, Norte de Santander. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 41–47.

Velásquez, A. J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 153. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6285716.pdf>

Velazquez, R. V., Del Valle Holguín, W., Pallarozo Loor, R. I., & Duma Muñoz, K. I. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21). <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.534>

## ANEXOS

**Anexo 01:** Matriz de consistencia: CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE PAJA ISLA, DEL CENTRO POBLADO YANAOCO, HUANCANÉ – 2024.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	Instrumento	DISEÑO METODOLÓGICO
<p><b>GENERAL:</b> ¿Cuál es el nivel de contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de Paja Isla y sus características nocivas para la salud, centro poblado Yanaoco, Huancané – 2024?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> ¿Cuál es la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM?</p> <p>¿Qué características nocivas para la salud tienen los metales pesados presentes en suelos agrícolas de Paja Isla del centro poblado de Yanaoco Huancané?</p>	<p><b>GENERAL:</b> Evaluar los niveles de contaminación por metales pesados, en los suelos agrícolas de Paja Isla, y sus características nocivas en la salud centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Determinar la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco comparados con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.</p> <p>Revisar las características nocivas de los metales pesados para la salud humana presentes en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco Huancané.</p>	<p><b>GENERAL:</b> Los niveles de contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, son relativamente altos, con características nocivas para la salud, centro poblado Yanaoco, Huancané, 2024</p> <p><b>ESPECÍFICA:</b> La concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de Paja Isla, del centro poblado Yanaoco, provincia de Huancané no cumplen con los ECA Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.</p> <p>Los suelos de Paja Isla presentan metales pesados con características nocivas para la salud previa revisión, centro poblado Yanaoco.</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Metales pesados</p>	<p>Concentración de metales pesados en los suelos agrícolas</p> <p>Características nocivas de los metales pesados</p>	<p>Concentración de</p> <p>Arsénico</p> <p>Cadmio</p> <p>Mercurio</p> <p>Plomo</p> <p>Uranio</p> <p>Mercurio</p> <p>Níquel</p>	<p>Plan de muestreo</p> <p>- Cadena de custodia</p> <p>- Ficha de muestreo</p> <p>- Ficha de recolección de datos</p> <p>- Ficha de datos generales</p> <p>(fecha, hora, lugar, nombre de la persona que ejecute el muestreo).</p>	<p>Descriptiva</p> <p>DISEÑO Descriptivo No experimental</p> <p>POBLACIÓN:</p> <p>MUESTRA</p> <p>MÉTODO: Descriptivo</p> <p>TÉCNICA: Observación</p> <p>Registro</p> <p>INSTRUMENTOS: Ficha de observación</p> <p>Registro de campo</p>

**Anexo 02:** Formato que se utilizó durante la ubicación de puntos de muestreo

<b>ANEXO N°1: FORMATO DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO</b>				
<b>UBICACIÓN DEL LUGAR DE MONITOREO:</b> PAJA ISLA, CENTRO POBLADO YANAOCO				
DISTRITO: HUANCANÉ			PROVINCIA: HUANCANÉ	
PUNTOS DE MONITOREO:				
PUNTO	UBICACIÓN	DISTRITO	PROVINCIA	COORDENADAS UTM
PM-01	PAJA ISLA	HUANCANÉ	HUANCANÉ	8314982
PM-02	PAJA ISLA	HUANCANÉ	HUANCANÉ	8315022
PM-03	PAJA ISLA	HUANCANÉ	HUANCANÉ	8315036
PM-04	PAJA ISLA	HUANCANÉ	HUANCANÉ	8314467

Fuente: (MINAM 2013)

### Anexo 03: Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo

Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/ Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)</sup> / Industrial/ Extractivo <sup>(6)</sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(12)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ló ISO 17690:2015

## Anexo 04: Informe de resultados de laboratorio.

logo Alab logo inacal

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-8155

#### I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 1.- RAZON SOCIAL : ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO  
 2.- DIRECCIÓN : JR. Huancané 3822, distrito de Juliaca, provincia de San Román  
 3.- PROYECTO : METALES PESADOS  
 4.- PROCEDENCIA : PAJA ISLA, C.P. YANAOCO - HUANCANE - PUNO  
 5.- SOLICITANTE : ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO  
 6.- PRODUCTO : Suelos

#### II.- DATOS DEL SERVICIO

logo Alab logo inacal

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-8155

ITEM	1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-19605	M-25-19606	M-25-19607	M-25-19608
CÓDIGO CLIENTE <sup>(A)</sup>	A	B	C	D
COORDENADAS - UTM WGS 84 <sup>(A)</sup>	E:8314982 N:0406790	E:8315022 N:0406723	E:8315036 N:0406666	E:8314467 N:0407296
PRODUCTO <sup>(A)</sup>	Suelos	Suelos	Suelos	Suelos
SUB PRODUCTO <sup>(A)</sup>	Suelos	Suelos	Suelos	Suelos
FECHA y HORA DE MUESTREO <sup>(A)</sup>	11-03-2025 13:40	11-03-2025 14:29	11-03-2025 14:54	11-03-2025 15:57

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Niquel (*)	mg/Kg MS	0,50	2,00	17,02	12,66	14,14	14,80
Plata (*)	mg/Kg MS	0,20	0,70	<0,70	<0,70	<0,70	<0,70
Plomo (*)	mg/Kg MS	1,00	3,00	39,83	26,93	30,75	36,29
Potasio (*)	mg/Kg MS	30,00	99,00	2 168,82	2 376,39	1 948,74	1 637,27
Selenio (*)	mg/Kg MS	2,00	7,00	<7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Silice (*)	mg/Kg MS	20,00	50,00	1 271,01	1 239,46	1 204,42	1 330,39
Silicio (*)	mg/Kg MS	42,80	107,00	593,14	578,42	562,06	620,85
Sodio (*)	mg/Kg MS	3,00	10,00	509,97	458,04	938,42	800,72
Talio (*)	mg/Kg MS	0,10	0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Titanio (*)	mg/Kg MS	2,00	7,00	132,27	140,95	137,07	148,80
Uranio (*)	mg/Kg MS	1,00	3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Vanadio (*)	mg/Kg MS	0,30	1,00	30,49	25,49	27,59	28,98
Zinc (*)	mg/Kg MS	0,20	0,70	98,71	70,58	79,92	90,15
Mercurio (**)	mg/Kg MS	0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(\*\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado.  
 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

<sup>(A)</sup>Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

#### VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

### Anexo 05: Toma de muestras



Corte de la muestra



levantamiento de punto UTM



selección de la muestra



proceso de extracción de muestra



Proceso de extracción y selección de muestra de suelo



proceso de registro de coordenadas UTM y toma de imagen



proceso de extracción y selección de muestra



CAMPO A		MUESTRA N. 01		CAMPO C		MUESTRA N. 03	
COORDENADAS	19 L: 0426780 UTM: 8314582	UTM: 3827		COORDENADAS	19 L: 0426606 UTM: 8315016	UTM: 3826	
LUGAR	PAJA ISIA (C.P. YANAOCO, DISTRITO DE HUANCANE, PROVINCIA DE HUANCANE - PUNO)			LUGAR	PAJA ISIA (C.P. YANAOCO, DISTRITO DE HUANCANE, PROVINCIA DE HUANCANE - PUNO)		
HORA	1:40 pm			HORA	2:54 pm		
FECHA	11-03-2025			FECHA	11-03-2025		
NOMBRE DEL MUESTREADOR	ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO DNI: 41677132			NOMBRE DEL MUESTREADOR	ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO DNI: 41677132		
CAMPO B		MUESTRA N. 02		CAMPO D		MUESTRA N. 04	
COORDENADAS	19 L: 0426723 UTM: 8315022	UTM: 3826		COORDENADAS	19 L: 0407296 UTM: 8314467	UTM: 3827	
LUGAR	PAJA ISIA (C.P. YANAOCO, DISTRITO DE HUANCANE, PROVINCIA DE HUANCANE - PUNO)			LUGAR	PAJA ISIA (C.P. YANAOCO, DISTRITO DE HUANCANE, PROVINCIA DE HUANCANE - PUNO)		
HORA	2:29 pm			HORA	3:57 pm		
FECHA	11-03-2025			FECHA	11-03-2025		
NOMBRE DEL MUESTREADOR	ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO DNI: 41677132			NOMBRE DEL MUESTREADOR	ROGELIO CHOQUETICO CHOQUETICO DNI: 41677132		

Registro de las coordenadas de los cuatro puntos y selección de la muestra