

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS
DE LA COMUNIDAD MINERA OLLACHEA - PUNO - 2024**

PRESENTADA POR:

YERSON WILFREDO CONTRERAS ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



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



8.32%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 4 APR 2025, 8:52 AM

Similarity report

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

● IDENTICAL
2.62%

● CHANGED TEXT
5.69%

Report #25616057

YERSON WILFREDO CONTRERAS ROJAS // CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE LA COMUNIDAD MINERA OLLACHEA - PUNO - 2024

RESUMEN La contaminación de suelos, se debe a diferentes factores, entre ellos la contaminación por metales pesados, que está relacionada con las actividades mineras y la inadecuada disposición de residuos sólidos. El objetivo fue evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea, Puno. La investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, no experimental y transversal. Para ello, se recolectaron cuatro muestras de suelo, una por cada punto de muestreo, siguiendo el protocolo para muestreo de suelos 002-2013-MINAM. Las muestras fueron tomadas en áreas agrícolas cercanas a la actividad minera y analizadas mediante técnicas de espectrometría de absorción atómica y otros métodos estandarizados, con el fin de determinar las concentraciones de metales pesados. Los resultados fueron: pH 5.97, humedad 77 %, M.O 8.23 %, C.E 0.355 mS/cm, plomo 74 mg/kg, mercurio 7.2 mg/kg, zinc 211 mg/kg y cadmio 1.9 mg/kg. Los resultados concuerdan con estudios previos al confirmar la contaminación por cadmio, plomo, mercurio y zinc en suelos agrícolas cercanos a zonas mineras. Sin embargo, difieren en la magnitud.

11 Se concluye que el suelo de la comunidad minera Ollachea presenta una elevada concentración de metales pesados, excediendo los límites

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

**CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS
DE LA COMUNIDAD MINERA OLLACHEA - PUNO - 2024**

PRESENTADA POR:

YERSON WILFREDO CONTRERAS ROJAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOZQUETA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

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 abril del 2025.

DEDICATORIA

En especial a Dios por estar conmigo en las buenas y en las malas y por darme una maravillosa madre, Judith Rojas Castillo, quien siempre está ahí presente y dándonos esa alegría; a mi padre, Gregorio Contreras, por su apoyo; a mis hermanos Russo y Belinda, y a la familia entera por sus buenos consejos y sus palabras motivadoras del porqué suceden las cosas.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Privada San Carlos, por acogerme en sus aulas.
- Expreso mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería y, en especial, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por su invaluable apoyo y compromiso en nuestra formación académica y profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	15
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	17
1.2.3. A NIVEL LOCAL	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. EL SUELO	21
2.1.2. IMPORTANCIA DEL SUELO	21
2.1.3. PROPIEDADES DEL SUELO	22
2.1.4. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS	22
2.1.5. FERTILIDAD DEL SUELO	23
2.1.6. PLAN DE MUESTREO	24
2.2. MARCO CONCEPTUAL	25
2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO	25
2.2.2. FUNCIONES DEL SUELO	26
2.2.3. METALES PESADOS	26
2.2.4. METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS	28
2.2.5. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS METALES PESADOS	29
2.2.4. MARCO NORMATIVO	29
2.3. HIPÓTESIS	30
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	30
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	30
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	31
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.2.1 POBLACIÓN	32
3.2.2 MUESTRA	32
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	33
3.3.1. Método	33
3.3.2. Técnicas	34

3.3.3. Materiales	35
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	36
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	36
3.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.5.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	37
3.5.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS	39
4.1.1. PLOMO	39
4.1.2. MERCURIO	43
4.1.3. ZINC	45
4.1.4. CADMIO	48
4.1.5. pH	51
4.1.6. TEXTURA	54
4.1.7. HUMEDAD	56
4.1.8. Conductividad eléctrica	58
4.1.9. NITRÓGENO	60
4.1.10. FÓSFORO	62
4.1.11. POTASIO	65
4.1.12. MATERIA ORGÁNICA	67
4.2. EFECTOS DE LOS METALES PESADOS	70
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Identificación de los puntos de muestreo	33
Tabla 02: Materiales	35
Tabla 03: Equipos	36
Tabla 04: Operacionalización de variables	36
Tabla 05: Concentraciones de Plomo	39
Tabla 06: Media de Plomo	40
Tabla 07: Concentraciones de Mercurio	43
Tabla 08: Media de Mercurio	44
Tabla 09: Concentraciones de Zinc	45
Tabla 10: Media de Zinc	46
Tabla 11: Concentraciones de Cadmio	48
Tabla 12: Media de Cadmio	48
Tabla 13: Resultados de pH	51
Tabla 14: Media de pH	52
Tabla 15: Resultados de análisis textural del suelo	54
Tabla 16: Media de textura	55
Tabla 17: Concentración de humedad	56
Tabla 18: Humedad de los suelos	57
Tabla 19: Conductividad eléctrica	58
Tabla 20: Media de C.E	58
Tabla 21: Concentraciones de Nitrógeno	60
Tabla 22: Media de Nitrógeno	61
Tabla 23: Concentraciones de Fósforo	62
Tabla 24: Contenido de Fósforo de los suelos.	63

Tabla 25: Concentraciones de Potasio	65
Tabla 26: Media de Potasio	66
Tabla 27: Concentraciones de Materia Orgánica	67
Tabla 28: Media de Materia Orgánica	68
Tabla 29: Efectos de los metales pesados	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación satelital de la comunidad minera Ollachea.	32
Figura 02: Ubicación de los puntos de muestreo en zigzag.	33
Figura 03: Niveles de Plomo	41
Figura 04: Contenido de Mercurio en suelos.	44
Figura 05: Contenido de Zinc en suelos	47
Figura 06: Contenido de Cadmio en suelos	49
Figura 07: Niveles de pH	53
Figura 08: Textura de los suelos	54
Figura 09: Niveles de humedad	56
Figura 10: Niveles de conductividad eléctrica (C.E.)	59
Figura 11: Niveles de Nitrógeno	61
Figura 12: Niveles de Fósforo en suelos	64
Figura 13: Niveles de Potasio	66
Figura 14: Contenido de Materia Orgánica de los suelos.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia:	82
Anexo 02: Compromiso ético	83
Anexo 03: ECA del suelo	84
Anexo 04: Resultados del laboratorio de análisis de suelos	85
Anexo 05: Toma de muestras	86
Anexo 07: Elaborando la ficha de registro	86
Anexo 08: Rotulando la muestra	87
Anexo 09: Traslado de las muestras	87
Anexo 10: Espectrómetro	88
Anexo 11: Oficina de la comunidad minera Ollachea	88
Anexo 12: Análisis de las muestras	89
Anexo 13: Georreferenciación con Gps Garmin 64	89
Anexo 14: Vista de la municipalidad distrital de Ollachea	90

RESUMEN

La contaminación de suelos, se debe a diferentes factores, entre ellos la contaminación por metales pesados, que está relacionada con las actividades mineras y la inadecuada disposición de residuos sólidos. El objetivo fue evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea, Puno. La investigación fue de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, no experimental y transversal. Para ello, se recolectaron cuatro muestras de suelo, una por cada punto de muestreo, siguiendo el protocolo para muestreo de suelos 002-2013-MINAM. Las muestras fueron tomadas en áreas agrícolas cercanas a la actividad minera y analizadas mediante técnicas de espectrometría de absorción atómica y otros métodos estandarizados, con el fin de determinar las concentraciones de metales pesados. Los resultados fueron: pH 5.97, humedad 77 %, M.O 8.23 %, C.E 0.355 mS/cm, plomo 74 mg/kg, mercurio 7.2 mg/kg, zinc 211 mg/kg y cadmio 1.9 mg/kg. Los resultados concuerdan con estudios previos al confirmar la contaminación por cadmio, plomo, mercurio y zinc en suelos agrícolas cercanos a zonas mineras. Sin embargo, difieren en la magnitud. Se concluye que el suelo de la comunidad minera Ollachea presenta una elevada concentración de metales pesados, excediendo los límites máximos permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos, según el Decreto Supremo 011-2017-MINAM. Esto evidencia un alto nivel de contaminación, con implicaciones negativas para la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de la agricultura local.

Palabras clave: Contaminación, Metales pesados, Minería, Productividad, Suelo agrícola.

ABSTRACT

Soil contamination is due to various factors, among them heavy metal contamination, which is related to mining activities and the inadequate disposal of solid waste. The objective was to evaluate the effects of heavy metal contamination on the agricultural soils of the mining community of Ollachea, Puno. The research had a quantitative approach, descriptive level, non-experimental, and cross-sectional. For this, four soil samples were collected, one from each sampling point, following the soil sampling protocol 002-2013-MINAM. The samples were taken from agricultural areas near mining activities and analyzed using atomic absorption spectrometry techniques and other standardized methods, in order to determine the concentrations of heavy metals. The results were: pH 5.97, moisture 77%, O.M 8.23%, E.C 0.355 mS/cm, lead 74 mg/kg, mercury 7.2 mg/kg, zinc 211 mg/kg, and cadmium 1.9 mg/kg. The results are consistent with previous studies confirming contamination by cadmium, lead, mercury, and zinc in agricultural soils near mining areas. However, they differ in magnitude. It is concluded that the soil of the Ollachea mining community presents a high concentration of heavy metals, exceeding the maximum permissible limits established by the Environmental Quality Standards (ECA) for soils, according to Supreme Decree 011-2017-MINAM. This indicates a high level of contamination, with negative implications for soil fertility and the sustainability of local agriculture.

Keywords: Contamination, Heavy metals, Mining, Productivity, Agricultural soil

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas es un problema de mucha preocupación, particularmente en zonas con actividades mineras. debido a sus impactos en los ecosistemas y la seguridad alimentaria. Al acumularse en los suelos, pueden afectar la fisiología de las plantas, reduciendo su crecimiento y calidad nutricional. Además, su presencia en los alimentos conlleva riesgos para la salud humana, incluyendo enfermedades respiratorias, hepáticas, renales y cáncer. La contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados constituye una problemática ambiental de alta relevancia, ya que afecta la calidad de los recursos naturales, la seguridad alimentaria y la salud pública. Entre las principales fuentes de esta contaminación se encuentran las actividades mineras, aunque sean esenciales para el desarrollo económico, generan liberación de elementos tóxicos como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y zinc (Zn). Estos contaminantes se infiltran en los suelos agrícolas, disminuyen su fertilidad y son absorbidos por las plantas, facilitando su incorporación en la cadena alimentaria (Pabón et al., 2020).

En el Perú, este fenómeno representa un desafío ambiental y social, especialmente en regiones donde confluyen actividades mineras y agrícolas. La acumulación de metales pesados en los suelos compromete su calidad, afecta la productividad agrícola y plantea riesgos significativos para la salud de las comunidades locales, además de impactar negativamente la biodiversidad y el equilibrio ecológico. La persistencia y toxicidad de estos elementos refuerzan la necesidad de una evaluación rigurosa y de medidas efectivas para mitigar sus efectos (MINAM, 2020).

En la comunidad minera de Ollachea, situada en la región de Puno, esta problemática adquiere especial relevancia debido a la coexistencia de actividades mineras predominantes y una economía basada en la agricultura. La producción agrícola no solo asegura la subsistencia de las familias locales, sino que también abastece mercados

regionales. Sin embargo, la posible contaminación de los suelos por metales pesados amenaza tanto la productividad de los cultivos como la salud de los consumidores y la estabilidad del ecosistema.

Este estudio busca generar evidencia que permita comprender la magnitud del problema y orientar la implementación de estrategias para mitigar sus impactos, contribuyendo así a la sostenibilidad de la agricultura y la calidad de vida de las comunidades afectadas.

- En el capítulo I: Se detalla el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación.
- En el capítulo II: Se detalla el marco teórico y conceptual de las dos variables del presente trabajo.
- En el capítulo III: Se detalla la metodología de la investigación.
- En el capítulo IV: Análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados es un problema grave que impacta tanto la calidad de los recursos naturales como la seguridad alimentaria y la salud pública. Las actividades mineras, aunque fundamentales para el desarrollo económico, suelen estar vinculadas a la liberación de elementos tóxicos como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y zinc (Zn). Estos contaminantes se infiltran en los suelos agrícolas, reduciendo su fertilidad y siendo absorbidos por diversas especies vegetales, lo que facilita su incorporación en la cadena alimentaria (Pabón et al., 2020).

En el Perú, la contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados representa un desafío ambiental y social de gran importancia, especialmente en zonas donde convergen actividades mineras y agrícolas. Esta problemática compromete tanto la calidad de los suelos como la seguridad alimentaria y la salud de las comunidades locales; debido a la acumulación de elementos tóxicos como plomo, cadmio, mercurio y arsénico. La persistencia y alta toxicidad de estos metales afectan la fertilidad del suelo, reducen la productividad agrícola y se integran en la cadena alimentaria, causando impactos negativos en la biodiversidad y la salud humana (MINAM, 2020).

Esta situación en la comunidad minera de Ollachea, ubicada en la región de Puno, adquiere particular relevancia debido a las actividades mineras predominantes que,

históricamente, han generado un impacto significativo en los ecosistemas circundantes. El distrito de Ollachea se caracteriza por una dependencia económica de la agricultura, que no solo garantiza la subsistencia de las familias locales, sino que también contribuye al abastecimiento de mercados regionales. Sin embargo, la posible presencia de metales pesados en los cultivos plantea riesgos no solo para la productividad agrícola, sino también para la salud de los consumidores y el equilibrio del ecosistema. En este escenario, es necesario determinar los niveles de contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera de Ollachea y analizar sus implicancias ambientales, económicas y sociales.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Las concentraciones de los metales pesados (cadmio, zinc, plomo y mercurio) en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno excederán los estándares de calidad ambiental ECA?
- ¿Cuáles son los efectos de los contaminantes por metales pesados en los suelos agrícolas por actividades extractivas de la comunidad minera Ollachea - Puno?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Loyde et al., (2022), en su artículo “Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar”, se plantearon como objetivo analizar las concentraciones de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en los suelos agrícolas. Los resultados revelaron la presencia de estos metales pesados, con concentraciones superiores a 1.20 mg/kg de cadmio y 2.30 mg/kg de plomo en áreas afectadas por relaves mineros. El estudio concluye que estas concentraciones elevadas reducen la

calidad de los suelos agrícolas, impactando negativamente en los cultivos. Además, la presencia de metales pesados puede alterar el pH del suelo y modificar otros parámetros esenciales para el desarrollo de las plantas.

Mendoza et al., (2021), en su artículo "Concentración de metales pesados en suelos agrícolas", evaluaron las concentraciones de cadmio (Cd), cobre (Cu), cobalto (Co), zinc (Zn) y selenio (Se) en suelos agrícolas utilizando fluorescencia de rayos X. Fueron 9 muestras en dos profundidades de 10 y 20 cm. Los resultados indicaron que el contenido de cobalto fue de 0.65 mg/kg, el de cobre de 0.61 mg/kg, y el de zinc fue mayor en el sistema de siembra directa, asociado al uso prolongado de fertilizantes fosfatados. También se notó que en la napa baja se acumulaban más metales, lo que podría estar relacionado con la mayor presencia de arcilla y su capacidad superior para retener cationes. Finalmente, se determinó que los niveles de cobalto, cobre y cadmio superaron los límites máximos establecidos por las normativas ambientales.

Amaro et al., (2020), en su investigación titulada "Geoacumulación e índices de riesgo ecológico en el cultivo de papaya por la presencia de metales traza", evaluaron el impacto de los metales pesados en los suelos destinados al cultivo de papaya mediante el índice de geoacumulación (Igeo) y el índice de riesgo ecológico potencial (IR). Para ello, se analizaron muestras de suelo provenientes de 15 localidades del municipio de Cotaxtla, Veracruz, México, determinando las concentraciones de plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn) y cobre (Cu). Los resultados indicaron que los niveles promedio de metales pesados seguían el orden: Cr (0.695 ± 0.018) > Zn (0.615 ± 0.016) > Pb (0.323 ± 0.012) > Cu (0.983 ± 0.011) > Cd (0.196 ± 0.011) mg/kg. Estos metales tienen la capacidad de bioacumularse, lo que puede generar riesgos significativos para la salud humana, incluyendo enfermedades como el cáncer.

Tapia & Marrugo (2020), en su investigación, "determinaron las concentraciones de metales pesados (mercurio, plomo, cadmio y arsénico) en el suelo". Los niveles de

mercurio detectados superaron los valores sugeridos, registrándose valores del 86.5% en Achí, 80% en Nechí, 60% en Ayapel, 54.4% y 41.4% en Guaranda, todos superando el límite de referencia establecido de 5 µg/L. En contraste, las concentraciones de plomo y cadmio se mantuvieron dentro de los rangos considerados seguros para la salud humana, sin riesgo de efectos adversos (plomo: 5 µg/dL, cadmio: 1 µg/L).

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Llanos et al., (2024), en su artículo “Contaminación por metales pesados de la microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas”, investigaron las concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) en los suelos de la ribera del río, utilizando técnicas de espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron concentraciones de 0.07 mg/kg para cadmio, 0.5 mg/kg para plomo y 2.5 mg/kg para cobre. En el tramo correspondiente a Churubamba, se registraron niveles de cadmio de 0.06 mg/kg, plomo de 0.9 mg/kg y cobre de 2.3 mg/kg. Estos hallazgos evidencian una acumulación de metales pesados en los suelos agrícolas, lo que podría comprometer la calidad de los cultivos y representar un riesgo para la salud de las comunidades locales.

Contreras et al., (2023), en su artículo “Concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de Mollebamba, Huancavelica”, con el objetivo de determinar los niveles de contaminación por plomo y arsénico. La toma de muestras se realizó mediante un sistema de sondeo manual a una profundidad de 40 cm. Las mediciones de plomo (Pb) en la zona de estudio oscilaron entre 2.50 y 4.90 mg/kg, valores que se mantienen por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) de 70 mg/kg, establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos (N° 011-2017-MINAM). Esto indica que, en los puntos analizados, la concentración de plomo no representa un riesgo ambiental significativo. Sin embargo, en cuanto al arsénico (As), los puntos de muestreo P5 y P6 presentaron valores de 20.80% y 37.50% respectivamente, superando el LMP, mientras que los puntos P1, P2, P3 y P4 mostraron valores por debajo del LMP. Estos

resultados indican que, aunque los niveles de plomo en los seis puntos de muestreo son menores que el LMP, la presencia de arsénico en algunos puntos supera los límites permitidos, lo que representa un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente.

Huamani et al., (2021), en su estudio “Identificación de cadmio y plomo en los cultivos de cacao ubicados en la zona de Satipo - Junín”, con el objetivo de analizar la presencia de estos metales pesados en los cultivos de la región. Los resultados mostraron que la concentración de cadmio fue de 1.25 mg/kg, un valor que se encuentra dentro de los límites establecidos por el MINAM, cuyo estándar máximo permitido es de 1.4 mg/kg. En cuanto al plomo (Pb), la concentración media fue de 19.44 mg/kg, también por debajo de los límites normativos. Estos factores contribuyen a la contaminación del suelo, lo que resalta la importancia de implementar medidas de monitoreo y control para mitigar su impacto en la producción agrícola.

Soto et al., (2020), en su artículo “Riesgos para la salud por metales pesados en los productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas en la minería aurífera en la Amazonía”. El objetivo del estudio fue evaluar los niveles de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) en los suelos y cultivos agrícolas, específicamente plátano y yuca, cultivados en zonas impactadas por la minería de oro en el sureste de la Amazonía peruana. Los resultados mostraron que las concentraciones de Hg en el suelo (< 0.01 mg/kg) fueron similares tanto en plantaciones contaminadas como no contaminadas. Sin embargo, los niveles de As, Cd y Pb fueron significativamente más altos en las áreas contaminadas. En los cultivos, las concentraciones de As, Pb y Cd también fueron mayores en las plantaciones contaminadas, destacándose una alta acumulación de Pb y As en las raíces y tallos de la yuca (> 2.9 mg/kg). Por otro lado, los frutos de plátano presentaron las concentraciones más bajas de todos los metales analizados (< 0.01 mg/kg). A pesar de ello, las concentraciones de metales pesados en ambos cultivos

superaron los niveles recomendados por la FAO/OMS, lo que resalta la necesidad urgente de evaluar y monitorear los productos agrícolas cultivados en áreas afectadas por la minería para proteger la salud humana y el medio ambiente.

1.2.3. A NIVEL LOCAL

Ochoa et al., (2022), en la investigación titulada "Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca", se registraron los niveles de contaminación del suelo afectado por residuos mineros. Los hallazgos indican que la región de los Andes presenta una contaminación moderada a fuerte por As, Cd y Pb, los cuales son considerados altamente perjudiciales para la vida animal.

Ojeda, (2021), en su investigación sobre "Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N", concluye que el mercurio (Hg) excede los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el DS 011-2017 MINAM, representando un alto riesgo para el medio ambiente y la salud humana. Los suelos utilizados para cultivos permanentes y anuales con riego muestran una fertilidad moderada, según sus propiedades fisicoquímicas. En cambio, aquellos donde se siembran cultivos anuales sin riego, como la avena forrajera, así como las áreas cubiertas de pastos naturales, presentan una fertilidad que varía de baja a moderada.

Moreno et al., (2021), en su investigación sobre limnología y ecotoxicología de la bahía interior de Puno, lago Titicaca. Los resultados en E-1, Cu 3.74; Zn 7.29; Pb 0.0011; Cd 0.017; As 0.0001; Hg 0.0002; excepto As y Hg; los demás metales superaron los valores recomendados por la norma regulatoria. Esto representa un primer nivel de valoración de la concentración de metales pesados, para ser considerado en la posible aparición de efectos toxicológicos para el ecosistema.

Quispe et al., (2019), en su artículo "Concentración de metales pesados: cadmio, cromo, y plomo en sedimentos superficiales en el suelo del río Coata". Con el objetivo de evaluar la contaminación en los suelos. Los valores fueron: 4,10 mg/kg Cr, 0,10 mg/kg Cd, y 3,75

mg/kg Pb, y 28,42 mg/kg Cr, 0,70 mg/kg Cd, y 16,50 mg/kg Pb, respectivamente. Los valores superan los límites permisibles del ECA; no solo afecta al agua, sino también al suelo por metales pesados, lo que conlleva la disminución y pérdida de cultivos.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de metales pesados (cadmio, zinc, plomo y mercurio) de acuerdo a los estándares de calidad ambiental ECA en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.
- Determinar los efectos de la contaminación por metales pesados producidos por actividades extractivas en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. EL SUELO

El suelo es una capa de la superficie terrestre en la que crecen las plantas. A través de sus raíces, las plantas extraen agua y nutrientes del suelo, lo que les permite desarrollarse, además de encontrar el aire necesario para su supervivencia (DGRN, 2019). El suelo es una capa esencial de la tierra caracterizada por ser un organismo vivo, complejo y dinámico, rico en minerales y materia orgánica, así como en aire y agua. Los elementos minerales del suelo están formados por partículas como arena, sedimentos y arcilla, compuestas por diversos componentes químicos. Por otro lado, los componentes orgánicos provienen de organismos vivos (Russell, 2019a). El suelo desempeña un papel crucial para la vida en la Tierra, ya que no solo proporciona soporte físico para las plantas, sino que también es vital para el ciclo de nutrientes, la filtración del agua y el hábitat de innumerables organismos (Loyde et al., 2022).

2.1.2. IMPORTANCIA DEL SUELO

El uso indiscriminado del suelo, tiene como consecuencia la alteración de sus propiedades; como consecuencia, pierde su capacidad y su función, lo que se llama la degradación. El proceso de degradación más severo se caracteriza por la pérdida de las capas más fértiles del suelo. La mayoría de sus condiciones de producción pueden ser inducidas por factores como el agua o el viento. Además de la deforestación, la

salinización, la degradación física y biológica, las pérdidas derivadas de la lixiviación y los asentamientos humanos. Ante esta problemática, es importante mantener un desarrollo sustentable y conservación de los suelos por todos los beneficios que nos brinda (Montoya, 2021).

El uso excesivo del suelo puede modificar sus propiedades, llevándolo a perder su capacidad y función, un proceso conocido como "degradación". Para abordar estos problemas, es fundamental promover un desarrollo sostenible y la conservación del suelo, dada la variedad de beneficios que nos ofrece (Montoya, 2021). La Conservación de Suelos y Agua (CSA) ha ido progresando paulatinamente para enfrentar los graves problemas de degradación de tierras, especialmente en lo que respecta a sus componentes de suelo y agua, que afectan a todos los continentes y latitudes (Rodríguez, 2018).

2.1.3. PROPIEDADES DEL SUELO

Las proporciones de los componentes del suelo generan propiedades que le dan identidad. Al existir diferentes tipos de suelos, existen diferentes tipos con cualidades diferentes para cada tipo de cultivo y uso. Estos suelos son importantes estudiarlos; las propiedades son físicas, químicas y biológicas (Acosta, 2006).

2.1.4. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La contaminación del suelo se define como la presencia de un compuesto químico o sustancia en el suelo que se sitúa fuera de su ubicación natural y/o en una concentración que supera la norma, generando consecuencias adversas para cualquier organismo para el cual no está diseñado (FAO & GTIS, 2015). Aunque la mayoría de los contaminantes provienen de actividades humanas, algunos pueden ser naturales, presentes en los minerales del suelo, y ser tóxicos en concentraciones elevadas de metales tóxicos (Rodríguez et al., 2019). La contaminación del suelo representa un riesgo para el medio ambiente y la salud humana, considerándose uno de los mayores problemas y desafíos

actuales (Pérez, 2020). Esta contaminación es una de las principales amenazas para la salud del suelo, y sus impactos van más allá de la propia tierra, ya que los contaminantes del suelo pueden tener efectos irreparables en la salud humana y el medio ambiente (FAO, 2015). Esta degradación de la calidad del suelo puede ser atribuida a múltiples causas y, de manera similar, sus múltiples repercusiones generan graves problemas de salubridad que impactan severamente en la flora, fauna y la salud humana (Juste, 2021).

2.1.5. FERTILIDAD DEL SUELO

Las propiedades físicas y químicas del suelo, como la luz, el soporte mecánico, los nutrientes esenciales y el agua, son factores clave que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. La fertilidad del suelo está relacionada con su capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios y las condiciones óptimas (humedad y temperatura) que permiten el adecuado desarrollo de las plantas, lo que a su vez favorece la producción de cultivos y praderas (Vistoso & Martínez, 2022a).

Los suelos desempeñan funciones específicas y esenciales, tales como poner a disposición los nutrientes, formar una estructura porosa estable que favorece la oxigenación, filtrar sustancias tóxicas y mantener las proporciones adecuadas en los niveles de fertilidad (Abecasis, 2015). Los suelos saludables tienen la capacidad de mantener la productividad biológica mientras ayudan a equilibrar el medio ambiente, promoviendo la salud de las plantas, los animales y los seres humanos (Ecomandaga, 2018).

2.1.5.1. Fertilidad física

Está relacionada con las propiedades físicas del suelo (densidad, textura, estructura, porosidad, retención de humedad, etc.) que influyen en el uso del recurso suelo, determinando el suministro de oxígeno, movimiento del agua, penetración de raíces y, el comportamiento químico y biológico del suelo, lo que permite la germinación de las

semillas, el desarrollo de la raíz y el anclaje y soporte de las plantas (Vistoso & Martínez, 2022).

Las propiedades físicas del suelo que determinan su fertilidad son su textura, estructura, color, composición mineralógica, densidad aparente y real, en tanto que las propiedades se refieren al comportamiento que exhibe el suelo, derivado de sus características (Noriega, 2011).

2.1.5.2. Fertilidad química

Esto corresponde a la capacidad del suelo para proporcionar nutrientes esenciales para el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos y pastizales. Entre las propiedades químicas del suelo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la acidez (pH) son las que tienen el mayor impacto en la disponibilidad de nutrientes del suelo y la eficiencia en el uso de fertilizantes (Vistoso & Martínez, 2022).

El suelo se crea cuando todos los elementos están en equilibrio. Los minerales son la base de la producción, por lo que la fertilidad química es sólo un factor de producción (Agrón, 2015).

2.1.6. PLAN DE MUESTREO

Es esencial definir claramente los objetivos que permitan realizar un proceso eficiente de recopilación de datos para caracterizar el sitio. Esto implica establecer el área de enfoque para el muestreo, los objetivos específicos del plan, los tipos de muestreo adecuados para dichos objetivos, la determinación de la densidad y ubicación de los puntos de muestreo, los procedimientos de campo, los métodos de conservación de las muestras y las necesidades analíticas a abordar (MINAM, 2014).

- Muestreo de identificación

El muestreo de identificación tiene como propósito evaluar si el suelo presenta contaminación, mediante la recolección de muestras representativas. Esto permite

determinar si los niveles de contaminación superan los estándares de calidad ambiental establecidos en el D.S. N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2014).

- **Objetivo del muestreo**

El objetivo del muestreo es determinar el nivel de concentración de metales pesados en diferentes puntos de los suelos agrícolas que son posiblemente afectados por actividades mineras de dicha zona. Para este objetivo se consideraron algunos parámetros fisicoquímicos, que influyen en la determinación de la concentración de metales pesados en suelos agrícolas. A la vez se pudo realizar la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA); estos son producidos de manera natural por diversas actividades o fueron originados por alguna fuente antropogénica distinta a la considerada (MINAM, 2014). Y luego se determinaron los efectos de la contaminación por metales pesados producidos por actividades extractivas en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno. Para esto se llevó a cabo una búsqueda sistemática de bibliografía.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Se trata de la presencia de una sustancia química en el suelo, ya sea en un lugar donde no debería estar o en una concentración superior a lo habitual, lo que puede generar efectos negativos en organismos para los que no estaba destinada (FAO & GTIS, 2015). A pesar de que la mayoría de los contaminantes son de origen antropogénico, ciertos contaminantes pueden presentarse de manera natural en los suelos como componentes minerales y pueden resultar tóxicos en concentraciones elevadas (Rodríguez et al., 2019). La contaminación del suelo supone un riesgo para el medio ambiente y, por ende, para la salud del ser humano, considerándose uno de los grandes problemas y retos en la actualidad (Rusell, 2019b). La contaminación del suelo es una de las principales amenazas para la salud del suelo, aunque sus impactos van mucho más allá de la

dimensión del suelo, y los contaminantes del suelo pueden tener consecuencias irreparables para la salud humana y el medio ambiente (FAO & PNUMA, 2022). Los cambios en la calidad de la tierra pueden tener varias causas, y sus diferentes consecuencias causan graves problemas de salud que afectan a las plantas, animales y a las personas (Juste, 2021).

2.2.1.1. Contaminación difusa

La contaminación difusa se refiere a la polución que se manifiesta de manera amplia, se acumula en el subsuelo y carece de una fuente única o fácilmente identificable, ocurre cuando los contaminantes son expulsados, transformados y diluidos en otros medios antes de llegar al suelo (FAO & GTIS, 2015). “La contaminación difusa implica el transporte de los contaminantes a través de aire, suelo y agua” (Rodríguez et al., 2019).

2.2.1.2. Contaminación puntual

La contaminación del suelo puede ocurrir debido a un evento puntual o a una serie de incidentes en un área determinada, donde se liberan sustancias contaminantes. Cuando la fuente y el tipo de contaminación pueden identificarse con facilidad (Rodríguez et al., 2019).

2.2.2. FUNCIONES DEL SUELO

Los suelos cumplen ciertas funciones exclusivas, como, por ejemplo, poner disponibles los nutrientes, construir una estructura porosa estable facilitando la oxigenación, filtrar sustancias tóxicas, mantener las proporciones adecuadas en los niveles de fertilidad (Abecasis, 2017). Los suelos saludables son capaces de sustentar la productividad biológica al mismo tiempo que contribuyen al equilibrio del medioambiente, promueven la buena salud de las plantas, los animales y los seres humanos (Ecomandaga, 2018).

2.2.3. METALES PESADOS

Las sustancias como Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Zinc (Zn) se consideran muy tóxicas para la salud de las personas y el medioambiente, ya que sus componentes

son afectados por factores ambientales (humedad y temperatura). El mercurio, el cadmio y otros metales no se pueden destruir al quemarse. Los metales, como el cadmio y el plomo, se pueden concentrar en cenizas de combustión, causando grandes problemas ambientales. En los desechos domésticos encontramos productos con alta concentración de mercurio, que son las pilas domésticas, especialmente las pilas alcalinas y las pilas de botón, aumentando así el riesgo de contaminación del agua (Ocola & Laqui, 2017). A través de las actividades comerciales e industriales, los metales pesados producidos por estos son frecuentemente añadidos al agua residual.

2.2.2.1. Cadmio

El cadmio es un metal pesado que se encuentra relativamente abundante en la naturaleza y puede liberarse al entorno mediante procesos naturales, como la actividad volcánica. La presencia de cadmio en productos agrícolas puede tener un impacto negativo en la salud de las personas que consumen esos productos (Santander et al., 2021).

2.2.2.2. Mercurio

El mercurio (Hg) es un metal pesado tóxico provocando daños en el sistema nervioso central; además, altera el comportamiento humano y provoca impacto en la biota acuática (Panduro et al., 2020). La presencia de mercurio en el agua está relacionada principalmente con actividades antropogénicas (como la minería, etc.), salvo en algunos lugares que por su propia naturaleza se encuentran depósitos de este mineral (ANA, 2018).

2.2.2.3. Plomo

El plomo es un elemento menor en el suelo, pero se encuentra distribuido en sedimentos bajos y suelos no contaminados. Es tóxico para los organismos acuáticos, pero su nivel de toxicidad varía mucho según la calidad del agua y las especies estudiadas. Según el

análisis de ANA de los ríos salvajes, mostró la presencia excesiva de plomo de las regulaciones de ECA-Agua (ANA, 2018).

2.2.2.4. Zinc

El zinc se encuentra en grandes cantidades en rocas y minerales, pero su presencia en aguas naturales es limitada debido a la baja solubilidad de los metales. En aguas alcalinas, se encuentra en concentraciones altas, mientras que en aguas ácidas, su concentración tiende a aumentar. En términos de nutrición humana, el zinc es un elemento importante; sin embargo, para los organismos acuáticos, se considera tóxico debido a sus propiedades, que varían según la calidad del agua y la especie estudiada (ANA, 2018).

2.2.2.5. Cromo

Muchos de los efectos tóxicos en humanos (daño óseo y renal, anemia e hiperglucemia) son muy similares a los del cadmio en otros mamíferos. Por otro lado, el metal cromo hexavalente puede ser tóxico para los organismos acuáticos y cancerígeno para los mamíferos, incluidos los humanos (Panduro et al., 2020).

2.2.4. METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS

Los metales pesados, tales como el cadmio (Cd), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el zinc (Zn), tienen la capacidad de acumularse en los suelos utilizados para la agricultura como consecuencia de las diversas acciones de origen humano que se llevan a cabo en dichas zonas. La presencia de estos elementos en el suelo puede tener un impacto significativo en la capacidad de los cultivos para absorber nutrientes, lo que a su vez puede resultar en una disminución de la productividad agrícola y un aumento de la vulnerabilidad de los ecosistemas a largo plazo. Además, la toxicidad de estos elementos puede persistir en el suelo durante períodos prolongados, lo que representa un riesgo continuo para la salud humana y el equilibrio ambiental (Rodríguez et al., 2019).

2.2.5. IMPACTO AMBIENTAL DE LOS METALES PESADOS

La presencia de metales pesados en el suelo tiene la capacidad de alterar sus propiedades fisicoquímicas, lo que puede impactar negativamente en la biodiversidad y la productividad agrícola (Abarca et al., 2018). Adicionalmente, la bioacumulación de dichos metales en los cultivos agrícolas constituye un camino de exposición directa para las poblaciones humanas. Investigaciones realizadas en comunidades agrícolas han evidenciado que la polución del suelo por metales pesados está vinculada con riesgos considerables para la salud, incluyendo afecciones crónicas y cáncer (Urbina et al., 2023). La actividad minera genera pasivos ambientales que afectan la calidad del suelo agrícola y la productividad pecuaria, reduciendo las oportunidades económicas para las comunidades rurales. Además, resaltan la necesidad de modificar las políticas públicas para garantizar una coexistencia sostenible entre la minería y la agricultura en la región (Rosado et al., 2023).

2.2.5.1. Afectación en la producción agrícola

Los datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) y del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) evidencian que la producción de papa y quinua disminuye conforme aumenta la actividad minera. En el caso de la papa, la producción disminuyó en 0.3527 toneladas por año debido a la extracción de oro, y en 14.33 toneladas por año debido a la minería del estaño (Rosado et al., 2023).

2.2.4. MARCO NORMATIVO

- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

Esta ley establece el marco legal para la protección del ambiente en general, incluyendo el suelo. Define los principios y normas básicas para la gestión ambiental sostenible en el país.

- Ley de Recursos Naturales (Ley N° 26821)

Regula el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, incluyendo el suelo. Esta ley promueve el uso racional y sostenible de los recursos para garantizar su disponibilidad para las futuras generaciones.

- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA)**

Los ECA son normas que establecen los niveles máximos permisibles de contaminantes en el suelo para diferentes usos, como agrícola, residencial, industrial, entre otros. Estos estándares son fundamentales para evaluar y controlar la contaminación del suelo

- **Reglamento de la Ley de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos (Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM)**

Establece las disposiciones para la gestión integral de los residuos sólidos. Este reglamento busca promover la reducción, reutilización y reciclaje de residuos, así como asegurar su manejo adecuado para proteger la salud pública y el medio ambiente.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los metales pesados tienen efectos contaminantes en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La concentración de metales pesados (Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio) en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno excede los estándares de calidad ambiental ECA.
- La contaminación por metales pesados producidos por las actividades extractivas tiene efectos negativos en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio para la investigación de la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas se ubica en el distrito de Ollachea, como se muestra en la Figura 01, en la provincia de Carabaya, departamento de Puno, Perú. Esta región se encuentra a una altitud de entre 3000 y 3100 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas UTM 340829 - 8474524. Ollachea posee un clima cálido tropical y húmedo, lo cual favorece el desarrollo de actividades agrícolas, principalmente el cultivo de productos como maíz, papa y otros cultivos de la zona andina.

El distrito alberga a una comunidad minera de aproximadamente 300 pobladores, quienes realizan principalmente minería artesanal y agricultura de subsistencia. La minería ha sido una actividad económica relevante en la zona, pero también ha generado impactos en el medio ambiente, especialmente en la calidad del suelo. La presencia de actividades mineras en la comunidad ha generado la preocupación sobre la posible contaminación de los suelos agrícolas por metales pesados, como el mercurio, el plomo y el arsénico, que pueden comprometer la salud de los ecosistemas y de la población local.

El estudio se centra en evaluar la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea, considerando tanto la proximidad a las zonas de extracción minera como las áreas dedicadas a la agricultura. De esta manera, se pretende obtener información relevante sobre los riesgos asociados con la contaminación

de los suelos agrícolas y su impacto potencial en la seguridad alimentaria y la salud de los habitantes de la comunidad.

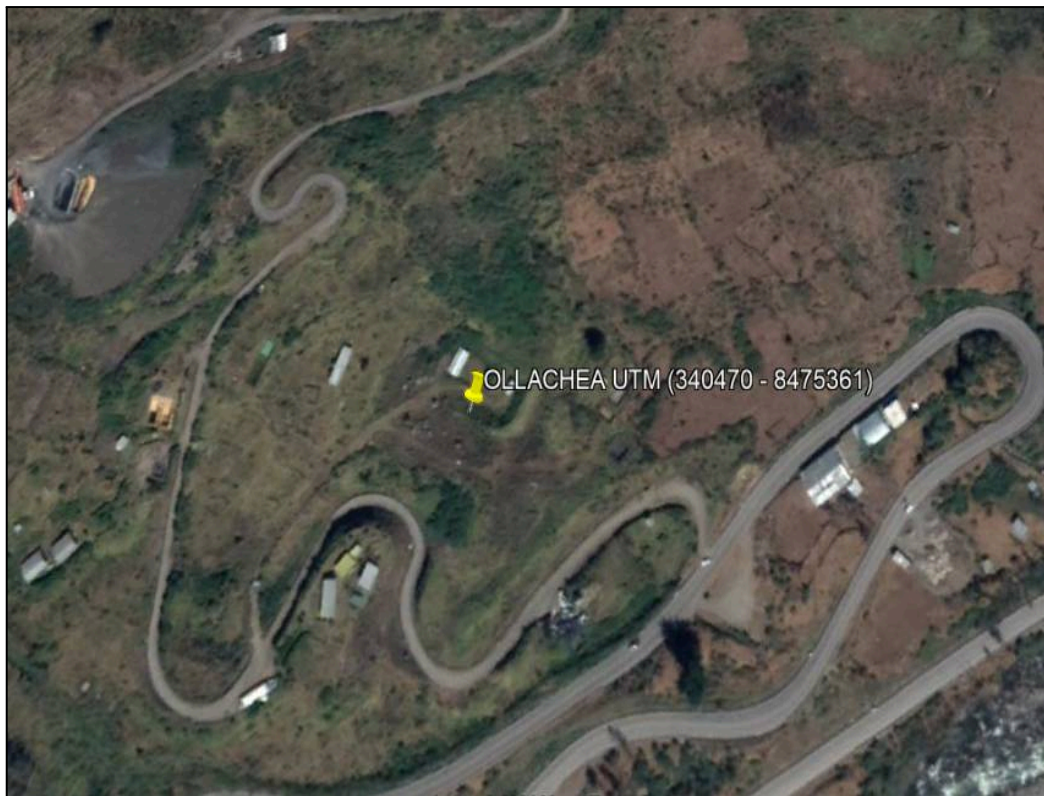


Figura 01: Ubicación satelital de la comunidad minera Ollachea.

Fuente: Google Maps

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

El criterio para determinar la población fue: la zona de influencia conformada por suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea con un área de aprox. 800 m².

3.2.2 MUESTRA

El tipo de muestra fue integrada. Se obtuvo de cuatro puntos de muestreo, como se observa en la Figura 02 y Tabla 01. Se recolectaron muestras no probabilísticas de 500 gramos de suelo, siguiendo el plan de muestreo de suelos. Fue esencial definir claramente los objetivos para asegurar un proceso óptimo de recopilación de información necesaria para la descripción del sitio y el análisis del suelo en estudio. En total, se

realizaron cuatro puntos de muestreo en los suelos estudiados, siguiendo la metodología de la guía de muestreo para suelos, en el marco del D.S. 002-2013-MINAM.



Figura 02: Ubicación de los puntos de muestreo en zigzag.

Fuente: Google Earth

Tabla 01: Identificación de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM
PM-01	340423 - 8475033
PM-02	340269 - 8475141
PM-03	340589 - 8475247
PM-04	340428 - 8475375

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. Método

Se tomaron muestras no probabilísticas de 500 gramos de suelo de acuerdo al plan del muestreo de suelos (ver Anexo 05), siguiendo la metodología de la guía de muestreo

para suelos, en el marco del D.S. 002-2013-MINAM; finalmente, el análisis de los resultados determinó evaluar el grado de fertilidad del suelo en estudio, a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo es apto para un suelo agrícola de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

3.3.2. Técnicas

Para la obtención de datos, se procedió con las siguientes técnicas (anexos 5-8):

Se realizó el plan de muestreo de acuerdo a la guía de muestreos de suelos.

Se tomaron 04 muestras representativas de 500 gramos cada una en un transecto de 30 metros, con una profundidad de 20 cm, tomando en consideración el uso de material de plástico, para evitar la alteración de la muestra en estudio de los parámetros físicos, tomando en consideración las condiciones de seguridad de la muestra y el etiquetado respectivo, para luego trasladarlo a MEGA LABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C. Se tomaron en consideración los siguientes instrumentos:

- Cadena de custodia
- Ficha de muestreo
- Ficha de recolección de datos
- Ficha de datos generales (fecha, hora, lugar, nombre del ejecutor de muestreo).
- Ficha de datos climáticos (temperatura, presión atmosférica, precipitación antes y durante el muestreo).

3.3.3. Materiales

Tabla 02: Materiales

Materiales	Cantidad
Envase para la muestra	01
Cuaderno de campo	02
Frascos de vidrio transparente de 500 ml	03
1 litro de agua destilada	01
Toallas de papel	01
Cinta adhesiva masking tape	01
Chaleco	01
Botas o zapatos de seguridad	01
Gorro o casco de protección	01
Gafas de seguridad	01
Guantes de látex	10
Mascarilla	03
Alcohol	01
Flexómetro	01
Protector facial	01

Tabla 03: Equipos

Equipos	Cantidad
Laptop portátil	01
Cámara digital	01
GPS GARMIN 64SX	01
Ultrameter II 6 PFC	01
Grabadora	01
USB	01

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 04: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VI	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Cadmio • Zinc • Plomo • Mercurio 	• Alta
			• Baja
VD	Concentración	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Mercurio 	• Superan los ECA.
			• No superan los ECA.

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de investigación es cuantitativo y de tipo descriptivo, se usó la recolección, análisis e interpretación de datos recabados.

3.5.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación fue de tipo no experimental porque no se ha manipulado o estimulado alguna variable, y ha sido transversal porque se analizaron las muestras en un solo periodo de tiempo.

3.5.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar la concentración de metales pesados (Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio) de acuerdo a los estándares de calidad ambiental ECA en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

Para lograr este objetivo, primero se describieron las características del área de estudio y se identificaron las coordenadas UTM de los puntos de muestreo utilizando un GPS Garmin 64. Luego, se establecieron los transectos de 30 metros para la distribución de los puntos de muestreo y, una vez determinados (ver Tabla 01 y Figura 02), se procedió a la recolección de muestras siguiendo la técnica de zigzag, con una profundidad de 20 cm, conforme a la guía de muestreo de suelos. Cada muestra fue rotulada con un código único que incluyó información sobre el punto de muestreo, coordenadas, fecha de recolección y profundidad, asegurando así su correcta identificación y trazabilidad. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en envases de plástico para evitar alteraciones y transportadas bajo condiciones adecuadas de conservación. Además, se consideraron parámetros clave como el pH, materia orgánica, textura, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y conductividad eléctrica (C.E.), los cuales permitieron interpretar la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la zona. Finalmente, las muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar la concentración de metales pesados.

OE2: Determinar los efectos de la contaminación por metales pesados producidos por actividades extractivas en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.

Para este objetivo se realizó una búsqueda sistematizada de información en fuentes bibliográficas confiables. Se revisaron artículos científicos, tesis, informes técnicos y normativas ambientales con el propósito de conocer el efecto de estos metales pesados en suelos agrícolas. A través de bases de datos académicas y repositorios universitarios, se identificaron estudios relevantes, priorizando aquellos recientes. La información recopilada fue analizada de manera crítica, lo que permitió conocer el nivel de riesgo que representa la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS

4.1.1. PLOMO

Tabla 05: Concentraciones de Plomo

Puntos de muestreo	Plomo mg/kg
PM 01	82
PM 02	77
PM 03	72
PM 04	66

La Tabla 05 muestra los resultados de la concentración de plomo en distintos puntos de muestreo. Estos valores están relacionados con la actividad minera en la zona, ya que el plomo es un metal pesado que suele liberarse durante la extracción y el procesamiento de minerales. La variabilidad en las concentraciones sugiere que el contaminante podría estar dispersándose, lo que indicaría que los puntos más cercanos a las fuentes mineras o a zonas de acumulación de residuos presentan niveles más elevados de plomo.

Según los resultados obtenidos, los niveles de plomo superan los límites permisibles establecidos en el ECA del suelo, lo que podría representar un riesgo para la salud

humana y el ecosistema. La exposición prolongada a suelos contaminados con plomo puede afectar la calidad del suelo, la productividad agrícola y la salud de las comunidades cercanas. Además, se observa una tendencia decreciente en los valores, comenzando con 82 mg/kg en el PM 01 y disminuyendo progresivamente hasta 66 mg/kg en el PM 04. Esta variación puede indicar una distribución diferencial del plomo en la zona de estudio. La actividad minera es una de las principales fuentes de contaminación por plomo en el suelo. La extracción y procesamiento de minerales pueden liberar metales pesados al ambiente, los cuales se depositan en el suelo y pueden ser transportados por el viento o el agua.

En este caso, la distribución del plomo en los puntos de muestreo sugiere una posible influencia de la actividad minera en la zona. La mayor concentración en PM 01 podría indicar una proximidad a una fuente de emisión, como escombreras, residuos mineros o áreas de procesamiento. La disminución progresiva hacia el PM 04 puede deberse a procesos de dispersión y sedimentación del metal en el suelo.

Tabla 06: Media de Plomo

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	66	82	74

La Tabla 06 muestra los valores estadísticos del contenido de plomo en el suelo en cuatro puntos de muestreo. Se observa que el valor mínimo registrado es de 66 ppm, mientras que el máximo es de 82 mg/kg, con una media de 74 mg/kg.

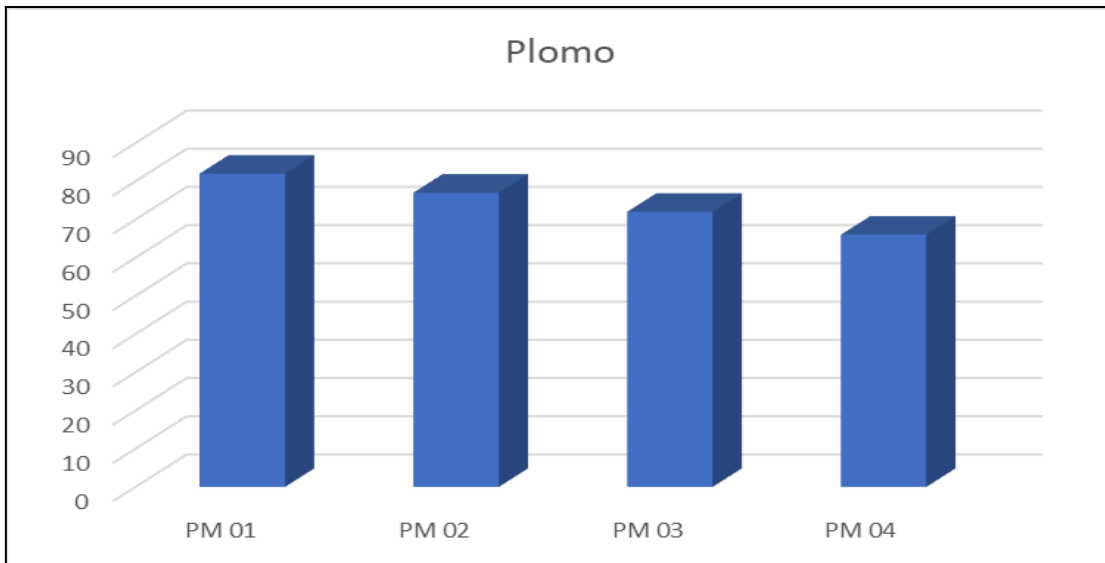


Figura 03: Niveles de Plomo

La Figura 11 muestra la concentración de Plomo (ppm) en los diferentes puntos de muestreo. Se observa una disminución progresiva desde el PM 01 hasta el PM 04, indicando una posible variación en la contaminación o en la distribución del plomo en el suelo.

Los resultados obtenidos en la investigación evidencian que la concentración de plomo (Pb) en los suelos agrícolas de la comunidad minera de Ollachea supera el ECA-Suelo (D.S. N° 011-2017-MINAM).

Los resultados de esta investigación concuerdan con los reportados por Loyde et al., (2022), quienes encontraron concentraciones de plomo superiores a 2.30 mg/kg en suelos agrícolas cercanos a relaves mineros, afectando la calidad del suelo y el desarrollo de cultivos. Esto es coherente con los hallazgos en nuestra investigación, donde el pH del suelo es ligeramente ácido, lo que podría favorecer la movilidad y absorción del plomo por las plantas. Mientras que diferimos con los resultados de Amaro et al., (2020) determinaron que el plomo en suelos agrícolas presentaba un nivel promedio de 0.323 mg/kg, inferior al reportado en Ollachea. Sin embargo, señalaron que los metales pesados tienden a bioacumularse en los cultivos, aumentando el riesgo de exposición

humana a través del consumo de alimentos contaminados. En la comunidad de Ollachea, la acumulación de plomo en el suelo podría representar un riesgo similar, especialmente en cultivos de consumo directo. También Tapia & Marrugo (2020) reportaron concentraciones de plomo inferiores a los niveles de riesgo para la salud humana, pero señalaron la necesidad de monitoreo constante en zonas expuestas a actividad minera. Mendoza et al. (2021) identificaron que la acumulación de metales pesados en el suelo se ve influenciada por la textura del suelo y la capacidad de intercambio catiónico. En nuestra investigación, la textura del suelo predominante es franco-arcillosa, lo que puede facilitar la retención de plomo y su disponibilidad para las plantas. La presencia de plomo en concentraciones elevadas puede afectar la fertilidad del suelo y la seguridad alimentaria de la población, al facilitar la absorción del metal por los cultivos. Por lo contrario, diferimos de los resultados reportados por Cruz et al. (2023) y Contreras et al. (2023), quienes reportaron concentraciones de plomo en Huancavelica entre 2.50 y 4.90 mg/kg, muy por debajo de los valores registrados en nuestra investigación de la comunidad minera Ollachea. La contaminación detectada en la comunidad minera Ollachea coincide con estudios previos que asocian el impacto de la actividad minera con la presencia de metales pesados en suelos agrícolas.

4.1.2. MERCURIO

Tabla 07: Concentraciones de Mercurio

Puntos de muestreo	Mercurio mg/kg
PM 01	7.6
PM 02	7.2
PM 03	6.9
PM 04	6.8

En la Tabla 07, muestran la concentración de mercurio (Hg) en distintos puntos de muestreo. Estos valores permiten evaluar el impacto de la actividad minera en la calidad del suelo y su potencial riesgo ambiental. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la FAO establecen un rango recomendado de 0.3 a 0.5 mg/kg para suelos agrícolas. La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) considera como límite máximo aceptable 2 mg/kg en suelos agrícolas y residenciales. La normativa peruana (ECA-Suelos, D.S. N° 011-2017-MINAM) establece un umbral de 1 mg/kg para suelos agrícolas.

Los valores obtenidos superan ampliamente los límites recomendados por las normativas mencionadas, evidenciando una contaminación significativa por mercurio en los suelos agrícolas de la comunidad. Este nivel de contaminación sugiere que las actividades mineras en la zona podrían estar contribuyendo a la dispersión de metales pesados en el ambiente, afectando la calidad del suelo y representando un potencial riesgo para la salud humana y la seguridad alimentaria.

Tabla 08: Media de Mercurio

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	6.8	7.6	7.2

El resumen estadístico de mercurio en la Tabla 08 indica una contaminación significativa por mercurio, ya que la media (7.2 mg/kg) supera ampliamente los límites permitidos por normativas nacionales e internacionales y más aún la normativa peruana, el D.S. N° 011-2017-MINAN. Estos resultados sugieren una fuerte influencia de la actividad minera en la contaminación del suelo.

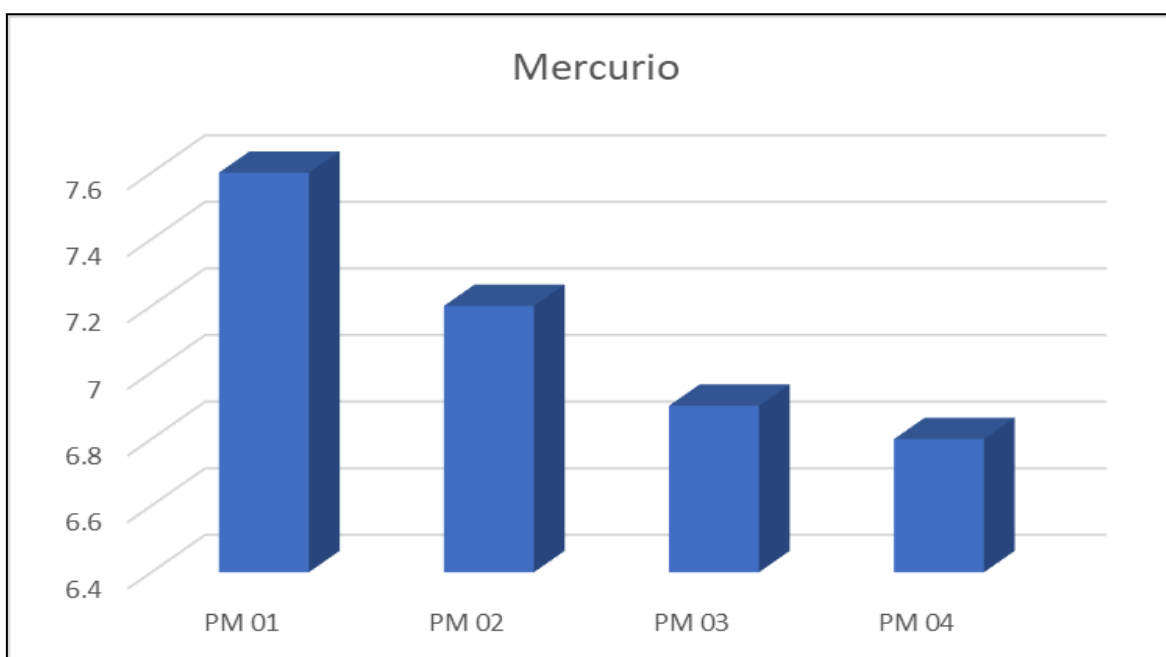


Figura 04: Contenido de Mercurio en suelos.

En la Figura 04 se muestran las concentraciones de mercurio (Hg) en los diferentes puntos de muestreo (PM 01, PM 02, PM 03 y PM 04). A partir de los valores presentados, se observa que existe una disminución progresiva en la concentración de mercurio desde el PM 01 hasta el PM 04; los altos niveles de mercurio en suelos agrícolas representan un riesgo para los cultivos y la biodiversidad del área.

El mercurio (Hg) es otro de los metales pesados que presentó niveles preocupantes en los suelos agrícolas de Ollachea, con una concentración de 7.2 mg/kg, superando ampliamente los valores de referencia establecidos por normativas ambientales. Estos resultados coinciden con los estudios de Tapia & Marrugo (2020) y Ojeda (2021), quienes encontraron altas concentraciones de mercurio en suelos expuestos a la actividad minera en diversas regiones. El mercurio es un elemento altamente tóxico, especialmente en su forma metilada, ya que tiene la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse en los ecosistemas. Su volatilidad y facilidad de transporte lo convierten en un contaminante persistente que puede afectar no solo los suelos, sino también cuerpos de agua y especies acuáticas. La exposición prolongada al mercurio se asocia con efectos neurotóxicos, alteraciones en el sistema inmunológico y problemas renales en seres humanos. En el contexto agrícola, su presencia en suelos puede afectar la germinación y el crecimiento de los cultivos, así como la actividad microbiana del suelo, reduciendo su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes. En este sentido, la elevada concentración de mercurio en Ollachea refuerza la necesidad de implementar estrategias de mitigación y descontaminación, como el uso de técnicas de fitorremediación o enmiendas orgánicas que reduzcan su movilidad y toxicidad en el ambiente.

4.1.3. ZINC

Tabla 09: Concentraciones de Zinc

Puntos de muestreo	Zinc mg/kg
PM 01	220
PM 02	214
PM 03	212
PM 04	202

En la Tabla 09, los valores registrados en todos los puntos de muestreo están ligeramente por encima del límite establecido por la normativa peruana, lo que sugiere una posible acumulación de zinc en los suelos agrícolas, probablemente debido a la influencia de la actividad minera en la zona. Aunque el zinc es menos tóxico que otros metales pesados, su exceso en el suelo puede afectar la absorción de otros nutrientes esenciales por parte de las plantas, lo que podría impactar en la producción agrícola.

Comparando los valores obtenidos con la normativa peruana (ECA-Suelos, D.S. N° 011-2017-MINAM), el límite para suelos agrícolas es de 200 mg/kg. En este estudio, todas las muestras superan este umbral, indicando una posible contaminación por zinc derivada de la actividad minera en la zona.

Tabla 10: Media de Zinc

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	202	220	211

En la Tabla 26, los resultados muestran que la concentración de zinc en los suelos agrícolas analizados tiene una distribución homogénea y una variabilidad baja. Sin embargo, los resultados exceden el ECA del suelo, lo que significa que la actividad minera en la zona podría estar contribuyendo a un incremento en los niveles de zinc en el suelo.

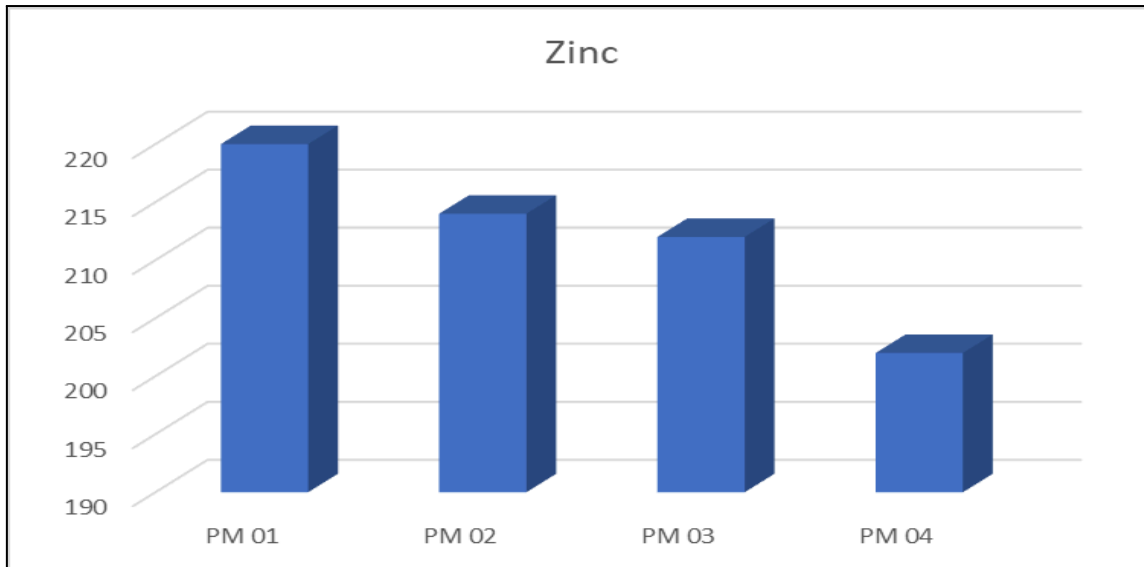


Figura 05: Contenido de Zinc en suelos

En la Figura 05, se muestran las concentraciones de zinc (Zn) en suelos; en el PM 01 presenta la mayor concentración de zinc, con un valor cercano a 220. En los PM 02 y PM03 tienen valores similares, entre 210 y 215. El PM 04 muestra la concentración más baja, alrededor de 200 mg/kg. Se observa una disminución progresiva del contenido de zinc desde el PM 01 hasta el PM 04; la reducción más significativa ocurre en el PM 04, donde el nivel de zinc es notablemente inferior al de los otros puntos de muestreo. El PM 01 se encuentra más cerca de las actividades mineras.

Nuestros resultados son superiores a los reportados por Mendoza et al. (2021), quienes concluyeron que el zinc se acumula en suelos con alta actividad minera; por el contrario, Amaro et al. (2020) reportaron niveles de 0.615 mg/kg de Zn, significativamente menores que en nuestra investigación. Aunque estos valores indican una presencia significativa del metal, se ubican en una posición intermedia respecto a otros metales pesados, lo que sugiere que, si bien el zinc es esencial para el crecimiento vegetal, su exceso podría interferir con la absorción de otros nutrientes y afectar la calidad de los cultivos. Mientras que Llanos et al. (2024) concluyeron que la contaminación por zinc compromete la calidad del suelo agrícola en la microcuenca del río Alto Huallaga.

4.1.4. CADMIO

Tabla 11: Concentraciones de Cadmio

Puntos de muestreo	Cadmio mg/kg
PM 01	2.3
PM 02	1.8
PM 03	1.6
PM 04	1.5

En la tabla 11 se muestran las concentraciones de cadmio. Según la normativa peruana ECA-Suelos (D.S. N° 011-2017-MINAM), el límite máximo permitido de cadmio en suelos agrícolas es de 1.4 mg/kg. Comparando con los valores obtenidos en el estudio: todos los puntos de muestreo superan el límite normativo. El punto PM 01 (2.3 mg/kg) muestra la concentración más alta, superando el límite en aproximadamente un 64%. PM 02, PM 03 y PM 04 también exceden el límite permitido, aunque con valores más cercanos al límite. Los resultados indican que los suelos agrícolas de la comunidad de Ollachea presentan niveles elevados de cadmio, lo que representa un riesgo ambiental y para la salud pública. La presencia de este metal pesado en concentraciones superiores a los límites normativos confirma la actividad minera que influye en la zona de estudio.

Tabla 12: Media de Cadmio

	Estadísticos			
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	1.5	2.3	1.9

En la Tabla 12, se observa que el valor mínimo (1.5 mg/kg) ya excede el estándar, lo que sugiere una contaminación generalizada en la zona de estudio. El valor más alto (2.3 mg/kg) es un 64% mayor que el límite permitido, lo que implica un gran riesgo para el medio ambiente. Además, la cantidad promedio de cadmio en la zona (1.9 mg/kg) es un 36% más alta que el estándar ambiental, lo que muestra que la contaminación sigue siendo un problema.

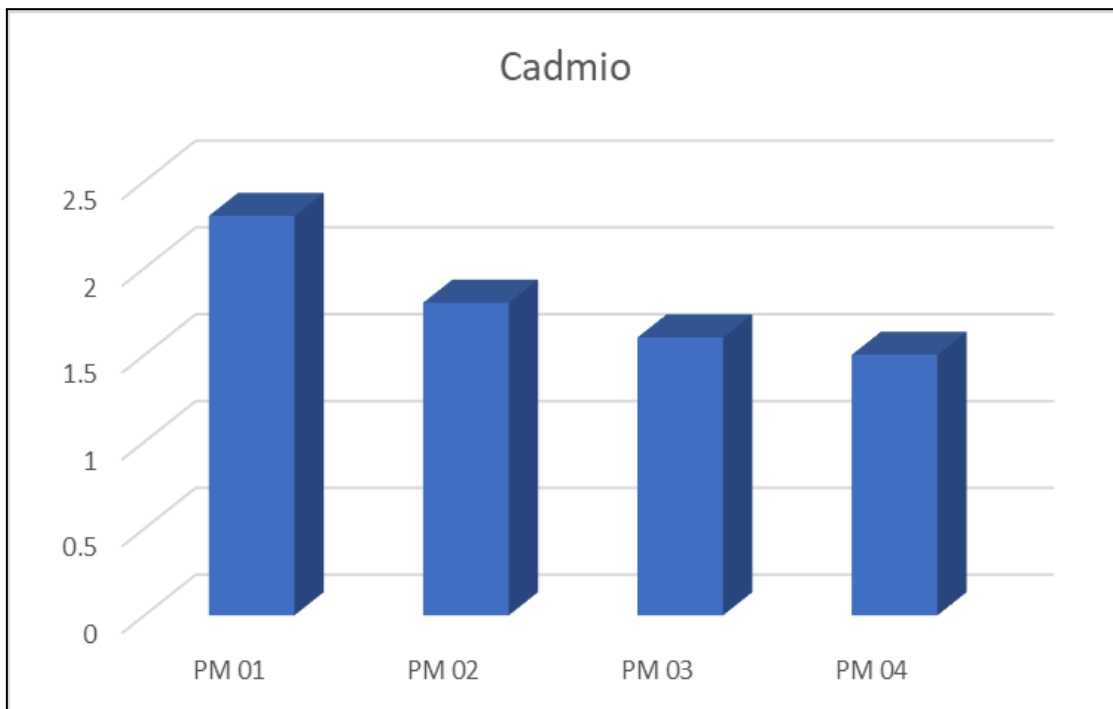


Figura 06: Contenido de Cadmio en suelos

Se muestran en la Figura 06 los valores en referencia al PM 01, el más alto y el más bajo en el PM 04; esto se debe a la cercanía del PM 01 a las actividades mineras.

Nuestros resultados coinciden con los hallazgos de Loyde et al. (2022), quienes reportaron, que en zonas dañadas por relaves mineros, las concentraciones de cadmio superaron 1.20 mg/kg, mostrando un efecto negativo en la calidad de los suelos agrícolas y en el crecimiento de los cultivos. De manera similar, Mendoza et al. (2021) encontraron que los niveles de cadmio excedían los límites máximos establecidos por las normativas ambientales en su estudio. Por otro lado, Amaro et al. (2020), en su estudio sobre

geoacumulación, reportaron concentraciones relativamente bajas de cadmio (alrededor de 0.196 mg/kg), pero destacaron la capacidad de este metal para bioacumularse y generar riesgos para la salud humana. Llanos et al. (2024) documentaron concentraciones de cadmio en la ribera del río Alto Huallaga que fueron significativamente menores (0.07 mg/kg en promedio y 0.06 mg/kg en el tramo de Churubamba) en comparación con los valores reportados internacionalmente, lo cual sugiere diferencias en las fuentes de contaminación y en los procesos de dispersión del metal. Además, estudios realizados por Cruz et al. (2023) y Contreras et al. (2023) en Huancavelica evidenciaron niveles de cadmio muy bajos de los límites máximos permisibles, lo que resalta la importancia del contexto geográfico y de las prácticas agrícolas en la determinación de la contaminación. Huamani et al. (2021) encontraron en cultivos de cacao niveles de cadmio de aproximadamente 1.25 mg/kg, situándose por debajo del límite permisible (1.4 mg/kg) establecido por el MINAM, lo cual podría indicar una contaminación moderada atribuida a actividades antropogénicas como la minería, el uso de fertilizantes y la combustión de combustibles fósiles. En contraste, Soto et al. (2020), en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana, reportaron que, aunque los niveles de cadmio en el suelo pueden ser relativamente bajos, en cultivos se evidenció una mayor acumulación en raíces y tallos, aumentando el riesgo de transferencia a la cadena alimentaria. Asimismo, Quispe et al. (2019) reportaron valores de cadmio que varían considerablemente en función del punto de muestreo, lo que sugiere que la heterogeneidad del suelo y las diferencias en las fuentes locales de contaminación son factores determinantes. Ello confirma una fuerte influencia de actividades mineras y/o agrícolas intensivas en la acumulación de cadmio. Por el contrario, si se detectan concentraciones más bajas, similares a las reportadas por Llanos et al. (2024) o Huamani et al. (2021), podría interpretarse que las fuentes locales de

contaminación tienen un impacto moderado y que existen mecanismos de mitigación o procesos naturales que limitan la acumulación excesiva.

4.1.5. pH

Tabla 13: Resultados de pH

Puntos de muestreo	pH
PM 01	5.80
PM 02	5.92
PM 03	6.04
PM 04	6.12

En la Tabla 13 se muestran los valores de pH del suelo en los cuatro puntos de muestreo, con un rango entre 5.80 y 6.12, lo que indica suelos ligeramente ácidos. Un pH entre 5.5 y 6.5 se considera ligeramente ácido, lo que puede influir en la movilidad de los metales pesados en el suelo. En suelos ácidos se encontraron elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) que pueden volverse más solubles y biodisponibles, aumentando su riesgo de toxicidad para las plantas y el agua subterránea. Existen concentraciones elevadas de metales en la zona, el pH ácido podría favorecer su lixiviación y adsorción por cultivos, incrementando la contaminación en la cadena alimentaria y sobre todo en los cultivos de la zona de estudio. Un pH cercano a 6 también podría afectar la retención del zinc (Zn) en el suelo, aumentando su movilidad.

Los resultados de esta investigación coinciden con los resultados de Loyde et al. (2022) y Mendoza et al. (2021), quienes destacan que la acumulación de metales como el cadmio, el plomo y el metaloide de arsénico puede cambiar la acidez del suelo, lo que afecta la disponibilidad de nutrientes y la absorción de contaminantes. En este contexto, nuestros

valores de pH obtenidos muestran variaciones que podrían estar relacionadas con la contaminación por metales pesados, similar a lo reportado por Llanos et al. (2024) y Soto et al. (2020), quienes encontraron que la actividad minera y el uso prolongado de fertilizantes pueden alterar el equilibrio químico del suelo. Además, estudios locales como los de Ojeda (2021) y Quispe et al. (2019) evidencian que la contaminación en ríos y zonas agrícolas también puede modificar el pH.

Tabla 14: Media de pH

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	5.80	6.12	5.97

En la Tabla 14 se muestra que el pH mínimo registrado es 5.80 y el máximo es 6.12, con una media de 5.97. Estos valores indican que el suelo presenta una condición ligeramente ácida.

La alta movilidad de los metales pesados puede generar contaminación en los cultivos agrícolas, afectando su calidad y representando un riesgo para la salud humana. El pH ácido también puede afectar la fertilidad del suelo, limitando la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

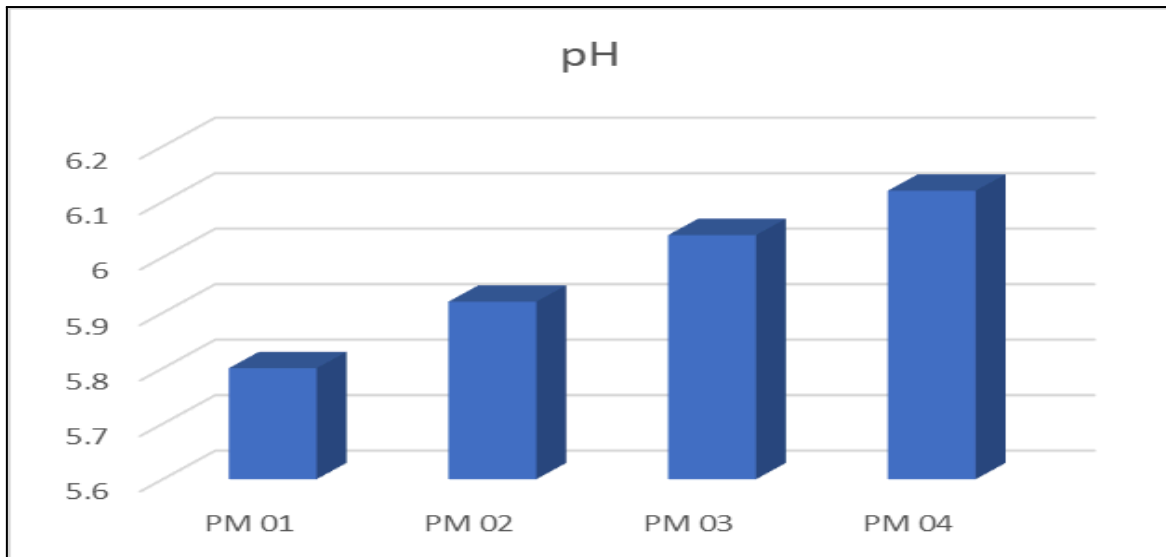


Figura 07: Niveles de pH

La figura 07 presenta los valores de pH obtenidos en laboratorio para cuatro puntos de muestreo (PM 01 - PM 04), mostrando un aumento gradual desde aproximadamente 5.8 hasta 6.2, lo que indica una ligera acidez en el suelo. Este nivel de pH puede afectar la disponibilidad de nutrientes y la movilidad de metales pesados, ya que en suelos ácidos estos elementos tienden a disolverse más fácilmente y ser absorbidos por las plantas. La menor acidez registrada en PM 03 y PM 04 podría estar relacionada con variaciones en la composición del suelo o el uso de enmiendas agrícolas. Estos resultados son clave para analizar la fertilidad del suelo y el posible impacto de la contaminación en la producción agrícola y el equilibrio ambiental.

4.1.6. TEXTURA

Tabla 15: Resultados de análisis textural del suelo

Puntos de muestreo	% Arena	% Limo	% Arcilla	Interpretación
PM 01	55	28	17	Franco arcilloso
PM 02	56	27	17	Franco arcilloso
PM 03	55	26	19	Franco arcilloso
PM 04	56	28	16	Franco arcilloso

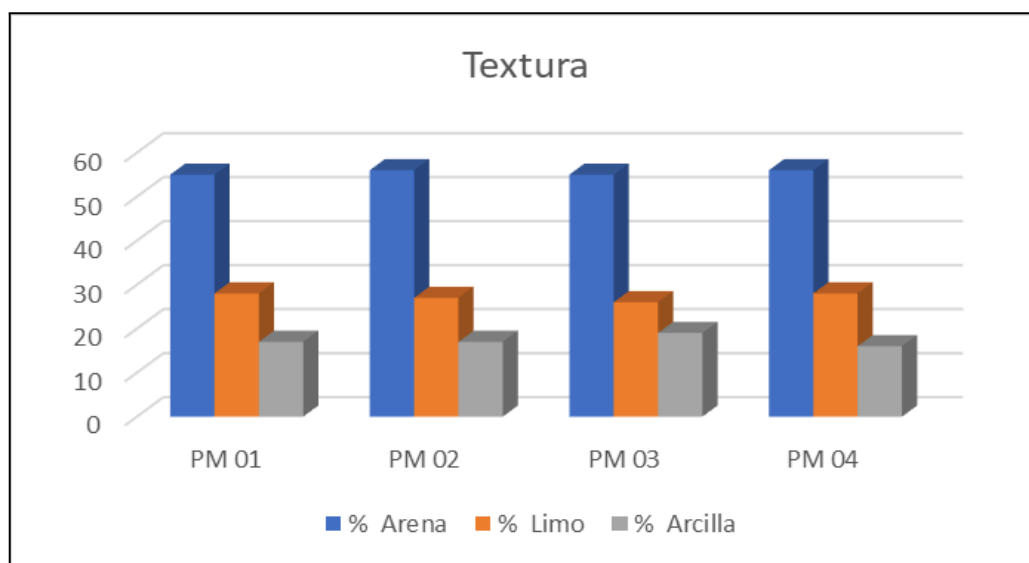


Figura 08: Textura de los suelos

En la Tabla 15 y Figura 08 se visualiza el análisis granulométrico del suelo en los cuatro puntos de muestreo, que indica que la textura predominante es "Franco Arcilloso", con una composición promedio de:

- **Arena:** 55-56%
- **Limo:** 26-28%

- **Arcilla:** 16-19%

Un suelo franco-arcilloso tiene buena capacidad de retención de humedad, lo que es beneficioso para la agricultura. Sin embargo, puede presentar problemas de drenaje lento, lo que favorece la acumulación de contaminantes en el suelo. La arcilla y el limo tienen alta capacidad de retención de metales pesados, lo que puede generar acumulación de contaminantes en el suelo. En suelos ácidos (como los reportados en el análisis de pH), los metales pesados pueden volverse más móviles y biodisponibles, aumentando el riesgo de contaminación de cultivos y aguas subterráneas. Un suelo franco arcilloso favorece el desarrollo de cultivos debido a su equilibrio entre drenaje y retención de agua. Sin embargo, su tendencia a compactarse puede dificultar el crecimiento de raíces si no se maneja adecuadamente.

En la Tabla 08 estos valores confirman que la textura predominante en la zona de estudio es "Franco Arcilloso".

Tabla 16: Media de textura

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
% Arena	4	55.0	56.0	55.5
% Limo	4	26.0	28.0	27.5
% Arcilla	4	16.0	19.0	17

4.1.7. HUMEDAD

Tabla 17: Concentración de humedad

Puntos de muestreo	Humedad %
PM 01	80
PM 02	74
PM 03	78
PM 04	79

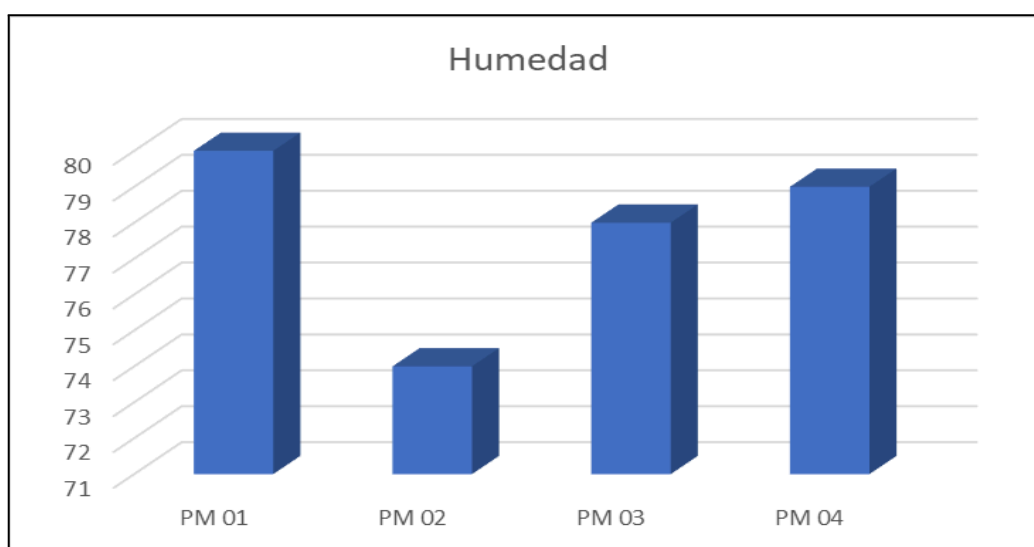


Figura 09: Niveles de humedad

Los valores observados en la Tabla 09 y figura 05 indican que el suelo presenta un alto contenido de humedad. Esta característica es típica de suelos de ecosistemas con presencia de precipitaciones pluviales y de suelos de textura franco-arcillosa, ya que la arcilla y el limo retienen más agua en comparación con los suelos arenosos.

Los resultados de esta investigación concuerdan con los de Mendoza et al., (2021) y Amaro et al., (2020), quienes destacan que los suelos con mayor contenido de arcilla acumulan más metales, mientras las investigaciones de Llanos et al., (2024) y Ochoa et

al., (2022), refuerzan esta relación al señalar que los suelos compactos dificultan el drenaje y favorecen la contaminación. En este contexto, los resultados obtenidos indican que la textura del suelo puede estar influyendo en la distribución de metales pesados, resaltando la necesidad de estrategias de remediación. La alta humedad puede favorecer la solubilidad de ciertos metales pesados, aumentando su disponibilidad en el suelo y potencialmente incrementando los riesgos de contaminación. También puede afectar la disponibilidad de oxígeno en el suelo, lo que influye en los procesos microbiológicos y en la descomposición de materia orgánica. Un suelo con alta humedad puede ser favorable para algunos cultivos, pero también puede aumentar el riesgo de encharcamiento y compactación, afectando el desarrollo radicular de las plantas. Si la humedad permanece elevada por largos periodos, puede generar condiciones anaeróbicas, afectando la actividad biológica del suelo y la absorción de nutrientes por parte de los cultivos.

Tabla 18: Humedad de los suelos

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestras	4	74	80	77

En la Tabla 18, se muestra que la humedad del suelo presenta valores elevados, con una media del 77%, lo que indica que el suelo retiene una cantidad significativa de agua. Esta característica es consistente con la textura franco-arcillosa identificada en análisis previos, ya que los suelos con mayor proporción de arcilla tienden a retener más humedad.

4.1.8. Conductividad eléctrica

Tabla 19: Conductividad eléctrica

Puntos de muestreo	C.E (mS/cm)
PM 01	0.33
PM 02	0.34
PM 03	0.35
PM 04	0.38

Los valores registrados en la Tabla 19 de conductividad eléctrica son bajos, lo que indica que el suelo no presenta problemas de salinidad y es apto para la mayoría de los cultivos agrícolas. En suelos agrícolas, los valores de C.E. menores a 2 mS/m (o su equivalente en meq/100 g) indican condiciones óptimas para el crecimiento de plantas, lo cual es favorable para la actividad agrícola en la comunidad. Las implicaciones para la fertilidad del suelo, es decir, una baja C.E., sugieren que el suelo contiene pocas sales solubles, lo que puede estar asociado con una baja fertilidad natural. Esto implica que el suelo no está acumulando sales excesivas, pero también podría indicar una poca disponibilidad de nutrientes esenciales como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+).

Tabla 20: Media de C.E

	Estadísticos			
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	0.33	0.38	0.355

La Tabla 20 presenta los estadísticos descriptivos de la conductividad eléctrica (C.E.). La diferencia entre el valor mínimo (0.33) y el máximo (0.38) es muy baja, lo que indica que

la salinidad del suelo es uniforme en todos los puntos de muestreo. La media de 0.355 meq/100 g confirma que no hay acumulación significativa de sales solubles en el suelo.

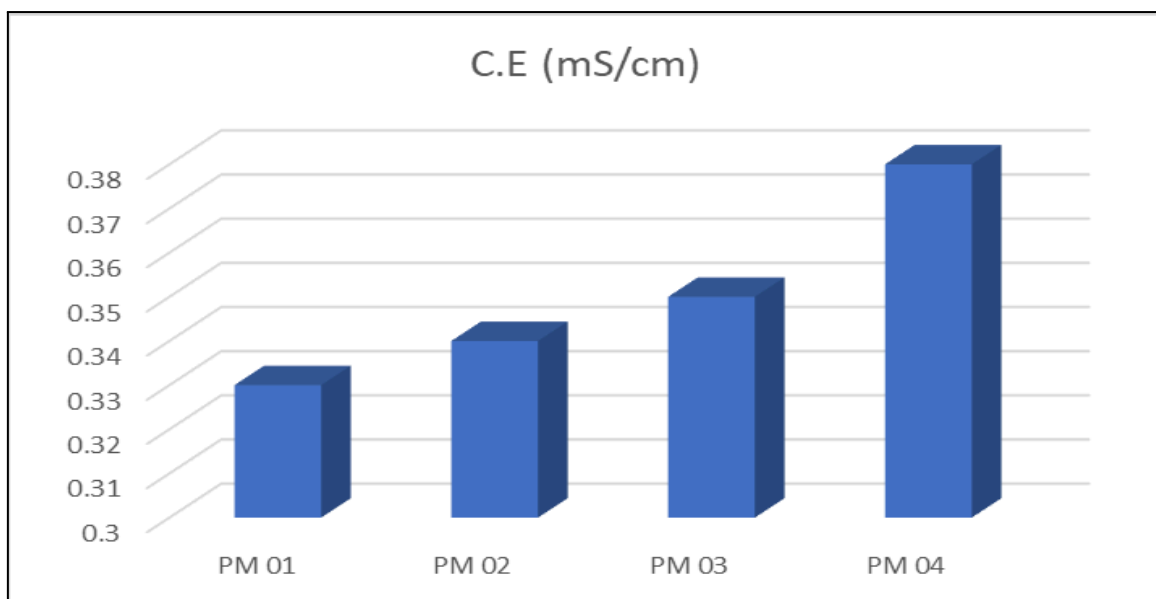


Figura 10: Niveles de conductividad eléctrica (C.E.)

En la Figura 10, se puede ver la variación entre los puntos de muestreo PM 01 y PM 04. En los suelos con baja conductividad eléctrica, los metales pesados pueden no disolverse mucho, lo que disminuye el riesgo de contaminación en los cultivos. Sin embargo, si el suelo proviene de áreas mineras, se debe monitorear el pH y la presencia de metales pesados para evaluar su biodisponibilidad y riesgo ambiental.

Los resultados de esta investigación guardan relación con los estudios realizados por Soto et al. (2020) y Ojeda (2021), que evidencian que los suelos contaminados por actividades mineras presentan niveles elevados de conductividad, lo que impacta la disponibilidad de nutrientes y aumenta la salinidad. Según las afirmaciones de Llanos et al. (2024) y Quispe et al. (2019), confirman que la presencia excesiva de metales pesados puede modificar las características químicas del suelo. En este contexto, nuestros resultados superan los niveles permitidos; sin embargo, los hallazgos indican que la conductividad eléctrica puede verse afectada por estos contaminantes, lo que pone en riesgo la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de la producción agrícola.

4.1.9. NITRÓGENO

Tabla 21: Concentraciones de Nitrógeno

Puntos de muestreo	Nitrógeno ppm
PM 01	0.41
PM 02	0.40
PM 03	0.44
PM 04	0.39

La Tabla 21 presenta los valores de nitrógeno (ppm) en los distintos puntos de muestreo del suelo agrícola de la Comunidad Minera Ollachea. Los valores de nitrógeno oscilan entre 0.39 y 0.44 ppm, mostrando poca variación entre los puntos de muestreo. Esto indica que el suelo tiene una distribución homogénea de nitrógeno, sin grandes diferencias en fertilidad entre las áreas analizadas.

En suelos agrícolas, los niveles de nitrógeno se clasifican de la siguiente manera: Bajo: < 0.10 ppm. Moderado: 0.10 - 0.30 ppm y óptimo: > 0.30 ppm. Como los valores obtenidos son mayores a 0.30 ppm, se considera que el suelo tiene un buen nivel de nitrógeno disponible para las plantas. El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal, ya que interviene en la formación de proteínas, clorofila y otros compuestos esenciales.

Los valores adecuados, como los registrados, indican que el suelo es apto para el desarrollo de cultivos sin necesidad de fertilización intensiva en nitrógeno. Sin embargo, si la actividad minera ha afectado el suelo, es importante evaluar otros factores como pH, materia orgánica y metales pesados, que pueden influir en la disponibilidad de nitrógeno.

Tabla 22: Media de Nitrógeno

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	0.39	0.44	0.415

La Tabla 22 muestra los valores estadísticos del contenido de nitrógeno en el suelo, obtenidos a partir de cuatro muestras. El contenido de nitrógeno en las muestras oscila entre 0.39 y 0.44 ppm, lo que indica poca variabilidad en los valores. La media de 0.415 ppm refleja una distribución homogénea del nitrógeno en el suelo.

Según los valores obtenidos, el suelo presenta un nivel adecuado de nitrógeno, lo que puede favorecer el crecimiento de cultivos. Suelos con valores por debajo de 0.30 ppm podrían presentar deficiencias de nitrógeno, afectando la productividad agrícola.

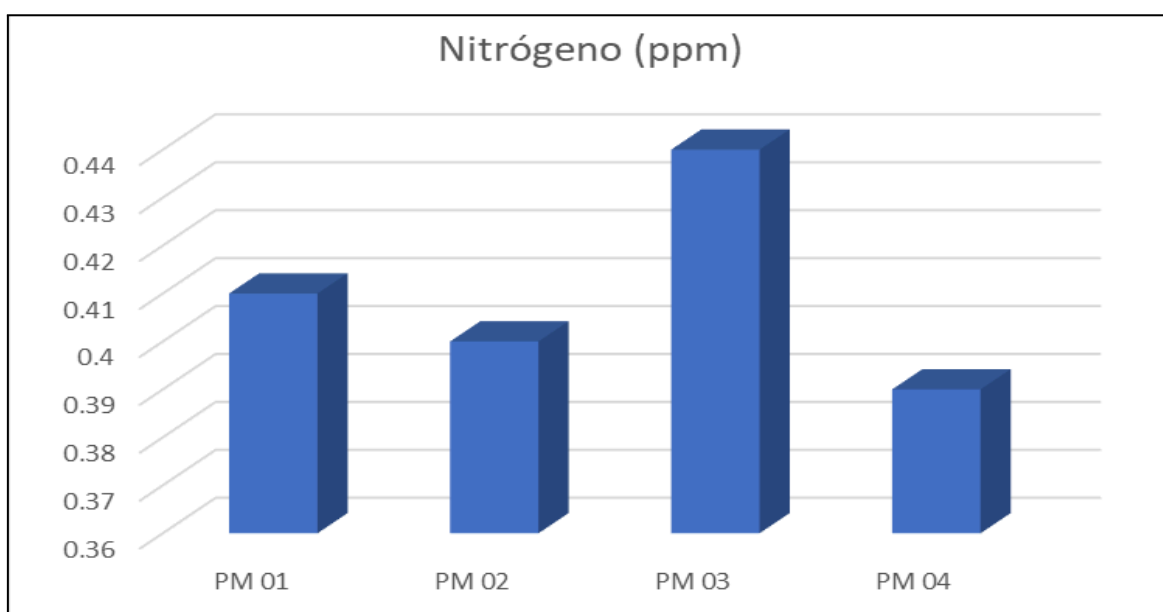


Figura 11: Niveles de Nitrógeno

En la Figura 11 se muestra que el PM 03 presenta la mayor concentración de nitrógeno, con un valor cercano a 0.44 ppm. Los PM 01 y 02 tienen valores similares, ligeramente por encima de 0.40 ppm, pero inferiores a PM 03. El PM 04 muestra la menor concentración, con un valor cercano a 0.38 ppm. Estos resultados sugieren que hay una

variabilidad en la cantidad de nitrógeno presente en los diferentes puntos de muestreo. Factores como el tipo de suelo, el uso de fertilizantes y la actividad biológica pueden influir en estas diferencias.

Estos valores son significativamente menores a los reportados por Durand et al., (2023), quienes encontraron un pH neutro y 84.4 ppm de nitrógeno. Dado que el pH influye en la disponibilidad de nutrientes, su relación con la concentración de nitrógeno puede explicar las diferencias observadas en los resultados.

Los resultados de esta investigación concuerdan con los de Mendoza et al., (2021) y Soto et al., (2020) quienes destacan que la presencia de cadmio, plomo y arsénico interfiere con la actividad microbiana encargada de la fijación del nitrógeno, limitando su aprovechamiento por las plantas. Mientras que los resultados de Llanos et al., (2024) y Huamani et al., (2021) indican que la contaminación del suelo no solo compromete la retención de nutrientes, sino que también restringe el desarrollo de los cultivos. En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que la concentración de nitrógeno en el suelo puede estar influenciada por estos elementos contaminantes, lo que resalta la importancia de aplicar medidas de recuperación para mejorar la calidad de los suelos agrícolas.

4.1.10. FÓSFORO

Tabla 23: Concentraciones de Fósforo

Puntos de muestreo	Fósforo ppm
PM 01	19.20
PM 02	19.50
PM 03	19.70
PM 04	20.12

La Tabla 23 presenta los valores de fósforo (ppm) en diferentes puntos de muestreo del suelo. Los valores obtenidos están en un rango estrecho (19.20 - 20.12 ppm), indicando una distribución homogénea de fósforo en el área muestreada. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que favorece el desarrollo de raíces y la floración. Valores de fósforo entre 15-30 ppm generalmente se consideran moderados a adecuados para la producción agrícola. Con base en los resultados, el contenido de fósforo en el suelo es satisfactorio y puede contribuir a un buen desarrollo vegetal. Un bajo contenido de fósforo (< 10 ppm) puede limitar el crecimiento de las plantas y afectar el rendimiento de los cultivos. Un exceso de fósforo (> 50 ppm) puede generar desequilibrios nutricionales y afectar la absorción de otros nutrientes como el zinc.

Tabla 24: Contenido de Fósforo de los suelos.

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	19.20	20.12	19.66

La Tabla 24 presenta un resumen estadístico del contenido de fósforo en el suelo a partir de cuatro muestras analizadas, la diferencia entre el mínimo y el máximo es de 0.92 ppm, lo que indica una baja variabilidad en la disponibilidad de fósforo dentro de la zona muestreada.

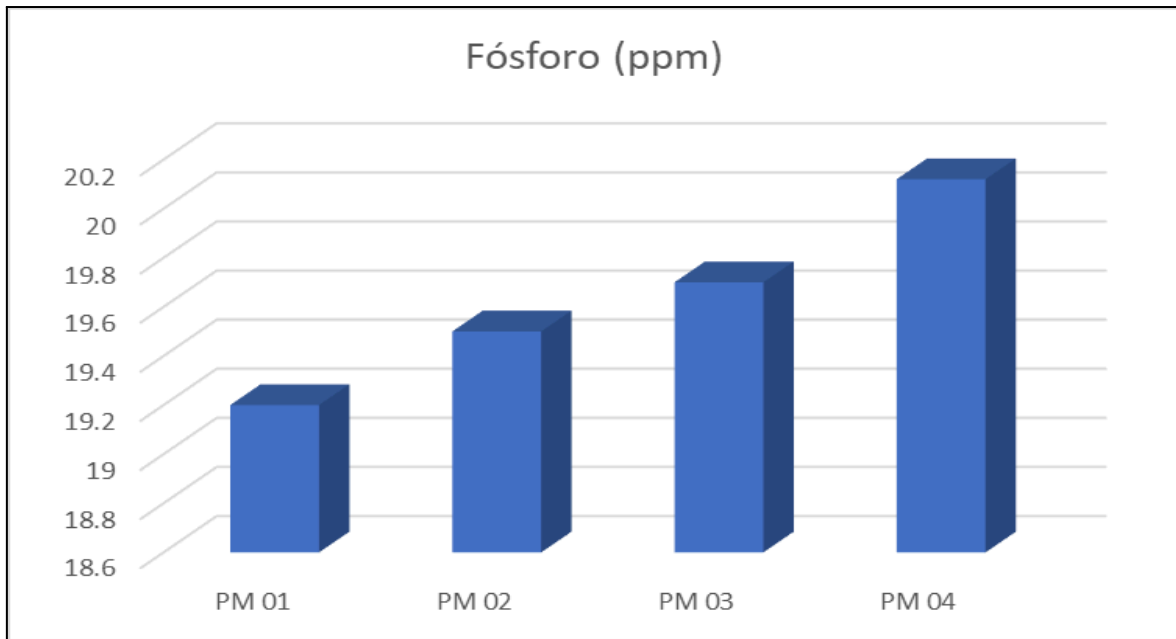


Figura 12: Niveles de Fósforo en suelos

En la Figura 12, se observa una variabilidad entre los puntos de muestreo, siendo el mayor de 20.12 ppm en el PM 04 y el menor de 19.20 en el PM 01. El fósforo desempeña un papel fundamental en la calidad del suelo, ya que contribuye a transformar la energía del sol y los nutrientes de los abonos en alimento para las plantas o cultivos. Según nuestros resultados presentados en la Tabla 24, la media de fósforo obtenida fue de 19.66, un valor que se encuentra dentro de los niveles permitidos por la FAO.

Al comparar estos resultados con los de otros estudios, encontramos diferencias significativas. Por ejemplo, Soto et al. (2023) reportaron un valor mucho mayor de fósforo, con una media de 71.6. En contraste, Chaparro y Najera (2022) señalaron que las condiciones del fósforo en su estudio eran favorables, lo que permitió un crecimiento y desarrollo adecuado de los cultivos.

4.1.11. POTASIO

Tabla 25: Concentraciones de Potasio

Puntos de muestreo	Potasio ppm
PM 01	260
PM 02	268
PM 05	272
PM 04	276

La Tabla 25 presenta las concentraciones en ppm de potasio (K) en el suelo en los cuatro puntos de muestreo. Se nota una pequeña variabilidad en los niveles de potasio, que están bastante uniformes. El punto PM4 tiene la mayor concentración, mientras que el punto PM1 tiene la más baja.

En la mayoría de los suelos agrícolas, valores de potasio entre 150 y 300 ppm se consideran adecuados para la producción de cultivos. Los valores obtenidos (260-276 ppm) son óptimos, lo que indica una buena disponibilidad de potasio para el crecimiento vegetal. El potasio es fundamental para la regulación del agua en las plantas, la fotosíntesis y la resistencia a enfermedades.

La baja variabilidad en los resultados sugiere que el potasio está bien distribuido en el suelo; no se evidencian deficiencias ni excesos que puedan afectar negativamente el desarrollo de los cultivos. Un nivel adecuado de potasio puede mejorar la calidad de los frutos y la resistencia de las plantas al estrés hídrico.

Tabla 26: Media de Potasio

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	260	276	268

En la Tabla 26, la media es de 268 ppm y representa el nivel promedio de potasio en el suelo en los puntos muestreados.

Este valor se encuentra dentro del rango considerado adecuado para suelos agrícolas (150-300 ppm), lo que indica una buena disponibilidad de potasio para los cultivos.

La diferencia entre el mínimo (260 ppm) y el máximo (276 ppm) es de 16 ppm, lo que indica baja variabilidad y una distribución homogénea del potasio en el área de estudio.

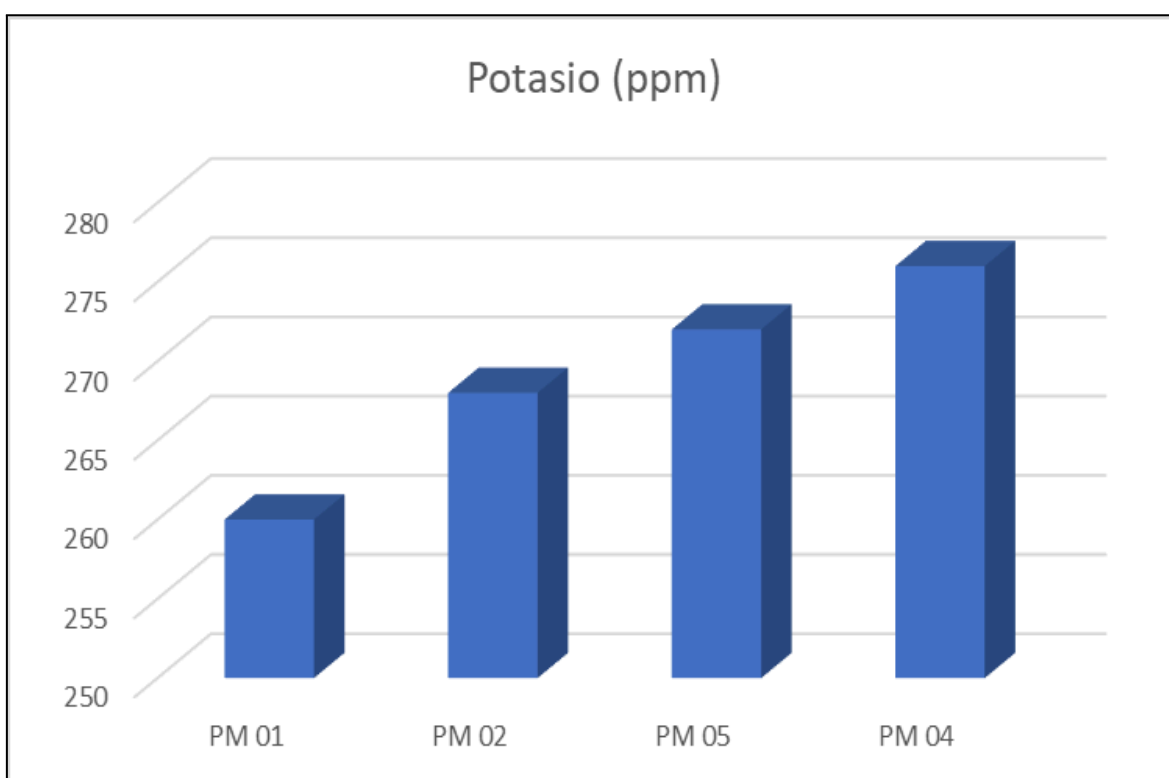


Figura 13: Niveles de Potasio

Según los resultados y en la Figura 13, el PM 04 se observa el valor más alto de 276 ppm y el valor más bajo es de 260 ppm. Los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo reflejan diferencias significativas.

En comparación con el estudio de Gómez (2019), donde se registraron niveles bajos de potasio, nuestro trabajo muestra una mayor variabilidad en los valores obtenidos. Es importante considerar que el potasio desempeña un papel fundamental en la activación de reacciones enzimáticas en las plantas, además de ser clave en la nutrición del fruto. Asimismo, este elemento contribuye a la resistencia contra plagas y heladas. Según nuestros hallazgos (Tabla 25), la concentración de potasio varía entre los distintos puntos de muestreo.

4.1.12. MATERIA ORGÁNICA

Tabla 27: Concentraciones de Materia Orgánica

Puntos de muestreo	Materia Orgánica
	%
PM 01	8.24
PM 02	8.22
PM 03	8.26
PM 04	8.20

La Tabla 27 presenta los valores de materia orgánica en diferentes puntos de muestreo del suelo. Los valores son muy homogéneos, con una diferencia mínima entre el valor más alto (8.26 %) y el más bajo (8.20 %), lo que indica una distribución uniforme de la materia orgánica en el área de estudio.

El contenido de materia orgánica es alto, ya que valores superiores al 5 % se consideran indicativos de suelos fértiles y con buen potencial agrícola. La materia orgánica es fundamental para la retención de humedad, la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana en el suelo.

La mayor concentración de materia orgánica mejora la estructura del suelo, favoreciendo la aireación y la capacidad de retención de agua, favorece la actividad microbiana, promoviendo la mineralización de nutrientes esenciales para las plantas, también reduce la erosión y mejora la estabilidad del suelo.

Tabla 28: Media de Materia Orgánica

Estadísticos				
	N	Mínimo	Máximo	Media
Muestra	4	8.20	8.26	8.23

La Tabla 20 presenta los estadísticos descriptivos del contenido de materia orgánica de los suelos muestreados. Los valores de materia orgánica son muy homogéneos, con una variación mínima entre el contenido más bajo (8.20 %) y el más alto (8.26 %). El promedio de materia orgánica es de 8.23 %, lo que indica un suelo con alto contenido de materia orgánica. Los suelos con valores superiores al 5 % son considerados fértiles, lo que sugiere que estos suelos tienen una buena capacidad para retener nutrientes y agua, favoreciendo el crecimiento de cultivos.

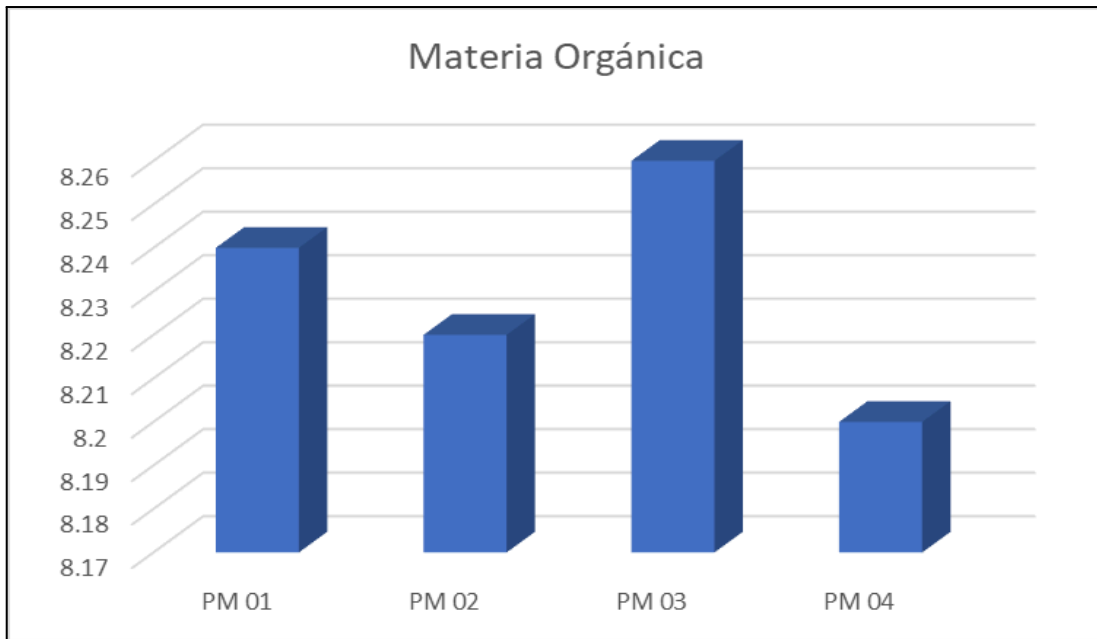


Figura 14: Contenido de Materia Orgánica de los suelos.

La Figura 14 muestra los niveles de materia orgánica en cuatro puntos de muestreo (PM 01, PM 02, PM 03 y PM 04) expresados en valores cercanos a 8.17 y 8.26. El PM 03 presenta el valor más alto, seguido de los PM 01, PM 02 y, finalmente, PM 04, que tiene el nivel más bajo. Esto indica una variabilidad en la concentración de materia orgánica entre los puntos evaluados, con una diferencia notable entre el punto más alto (PM 03) y el más bajo (PM 04).

4.2. EFECTOS DE LOS METALES PESADOS

Tabla 29: Efectos de los metales pesados

Autores y referencias	País	Efectos
Angon et al., (2024)	Perú	Los metales pesados en suelos agrícolas afectan y es un grave riesgo para la vida vegetal, la salud humana y el suministro mundial de alimentos.
Quispe et al., (2023)	Perú	Los metales pesados afectan la calidad del suelo y su capacidad para asimilar nutrientes. Al ser bioacumulables y no degradables, pueden alterar la biodiversidad del suelo y comprometer la calidad de los cultivos. Esto no solo impacta el crecimiento de las plantas.
Urbina et al., (2023)	Perú	Los metales pesados, afectan la calidad del suelo, el agua y los cultivos, generando riesgos para la salud humana debido a la acumulación de estos metales en los alimentos.
Loyde et al., (2022)	México	La presencia de metales provoca toxicidad en el suelo, afectando la microbiota y reduciendo la fertilidad. Puede ser absorbido por los cultivos, generando riesgos para la salud humana.
Anaya et al., (2022)	Chile	La contaminación del suelo por Cd y Pb reduce la actividad microbiana del suelo,

		afectando las bacterias más que los hongos y actinobacterias.
Espinoza et al., (2022)	Perú	La contaminación por metales pesados reduce la biodiversidad del suelo y afecta negativamente la flora y fauna acuática.
Mendoza et al., (2021)	Venezuela	Afecta la fertilidad del suelo, alterar la microbiota y reducir el rendimiento de los cultivos. Además, algunos metales como el cadmio (Cd) y el cobre (Cu) pueden ser tóxicos para las plantas y transferirse a la cadena alimentaria, representando riesgos para la salud humana.
Soto et al., (2020)	Perú	Afecta la fertilidad del suelo y es absorbido por los cultivos, donde se acumula especialmente en raíces y tallos. Esto representa un riesgo para la salud humana.
Tapia & Marrugo, (2020)	Colombia	Se evidenció que la contaminación por metales pesados, afecta la calidad del suelo en áreas con actividad minera.

En la Tabla 29, diversos estudios han evidenciado los efectos negativos de los metales pesados en los suelos agrícolas de distintos países. Investigaciones en Perú (Angon et al., 2024; Quispe et al., 2023; Urbina et al., 2023; Espinoza et al., 2022; Soto et al., 2020) destacan su impacto en la calidad del suelo, el agua y los cultivos, además de los riesgos para la salud humana por su acumulación en la cadena alimentaria. Loyde et al. (2022) señalan la toxicidad de estos metales, afectando la microbiota y reduciendo la fertilidad

del suelo. Anaya et al. (2022) indican que la contaminación por cadmio (Cd) y plomo (Pb) disminuye la actividad microbiana. Mendoza et al. (2021) advierte sobre la alteración de la fertilidad del suelo y la transferencia de metales tóxicos a los cultivos, lo que representa un riesgo para la salud humana.

CONCLUSIONES

PRIMERA. Existe una elevada concentración de metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea. La acumulación de los metales pesados en suelos agrícolas trae como consecuencia el deterioro de su capacidad de producción y reduce la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos.

SEGUNDA. La investigación confirmó una alta contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera de Ollachea, con concentraciones de Plomo 74 mg/kg, mercurio 7.2 mg/kg, zinc 211 mg/kg y cadmio 1.9 mg/kg, las cuales exceden los límites permitidos del ECA del suelo (D.S. N° 011-2017-MINAM). La mayor concentración se registró en los puntos más cercanos a la actividad minera, evidenciando su influencia como principal fuente de contaminación.

TERCERA. Los efectos de la contaminación por metales pesados en suelos agrícolas reducen la fertilidad del suelo, alterando la microbiota y la disminución de la capacidad de asimilación de nutrientes. Además, los metales pesados pueden ser absorbidos por los cultivos y bioacumularse en la cadena alimentaria, representando un riesgo para la salud humana y la biodiversidad. La presencia de estos contaminantes compromete la sostenibilidad agrícola.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Al gobierno regional de Puno. Implementar un programa continuo de análisis de suelos para evaluar la concentración de metales pesados y su impacto en la calidad agrícola, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental.

SEGUNDA. A los directivos de la comunidad minera Ollachea. Aplicar técnicas de fitorremediación con plantas hiperacumuladoras, enmiendas orgánicas y biotecnología para reducir la toxicidad de los metales pesados y restaurar la fertilidad del suelo.

TERCERA. A la población del distrito de Ollachea. Fomentar la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes orgánicos y el manejo adecuado del riego para minimizar la absorción de metales por las plantas.

Exigir un manejo responsable de los residuos mineros, promoviendo el uso de tecnologías menos contaminantes y el tratamiento adecuado de los desechos para evitar la dispersión de metales pesados, educar a los agricultores y comunidades locales sobre los efectos de la contaminación del suelo y las estrategias para reducir su impacto en la producción agrícola y la salud humana.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, D., Gutierrez, S., Escobar, F., & Huata, P. (2018). Manejo de residuos sanitarios: Un programa educativo del conocimiento a la práctica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 315-324. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.395>
- Abecasis, C. (2015). *Un nuevo paradigma: El suelo visto como organismo vivo*. Engormix. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/nuevo-paradigma-suelo-visto-t32635.htm>
- Abecasis, C. (2017). *Un nuevo paradigma: El suelo visto como organismo vivo*. Biodiversidad en América Latina. https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Un_nuevo_paradigma_El_suelo_visto_como_organismo_vivo
- Acosta, C. (2006). *El suelo agrícola, un ser vivo*.
- Agrón, C. (2015). *Fertilidad Química*. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UIDD%20D8.1%20Fertilidad%20Qu%C3%ADmica%20.pdf
- Amaro, I. A., Castañeda, M. D. R., Murguía, J., Lango, F., Bañuelos, K. P., & Galindo, M. E. (2020). Geoaccumulation and Ecological Risk Indexes in Papaya Cultivation Due to the Presence of Trace Metals. *Agronomy*, 10(2), 301. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020301>
- ANA. (2018). Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE. *Ediciones ANA*, 1-44. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_ica-pe.pdf
- Anaya, M. A., Rangel, F. M., Iannaccone, J. A., & Romero, L. M. (2022). Metales pesados en hortalizas y suelos agrícolas irrigados con aguas superficiales: Una revisión sistemática. *Idesia (Arica)*, 40(3), 33-41.

<https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000300033>

Angon, P. B., Islam, Md. S., Kc, S., Das, A., Anjum, N., Poudel, A., & Suchi, S. A. (2024).

Sources, effects and present perspectives of heavy metals contamination: Soil, plants and human food chain. *Heliyon*, 10(7), e28357.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28357>

Contreras, E. E., Saez, W., Sumarriva, L. A., Chávez, N. L., & Yaulilahua, R. (2023).

Concentración de metales pesados plomo y arsénico en el botadero de Mollebamba, Huancavelica. *Revista Alfa*, 7(19), 64-71.

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.198>

DGRN. (2019). *Nuestro Suelo*.

<https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/noticias/Libro%20nuestro%20suelo%206-11-2019%20con%20corte.pdf>

Ecomandaga. (2018). *El suelo, mucho más de lo que pisamos*.

<https://ecomandaga.org/2018/07/12/el-suelo-mucho-mas-de-lo-que-pisamos/>

Espinoza, G. R., Cárdenas, J. A., & Echegaray, N. G. (2022). Presencia de metales

pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Llallimayo, departamento de Puno. *C&T Riqchary Revista de investigación en ciencias y tecnología*, 4(1), 12-19.

<https://doi.org/10.57166/riqchary/v4.n1.2022.83>

FAO. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible—Organización de las Naciones Unidas*

Para La Agricultura Y La Alimentación.

<https://www.fao.org/sustainable-development-goals/news/detail-news/es/c/277124/>

FAO & GTIS. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo*.

FAO & PNUMA. (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo*. FAO; UNEP;

<https://doi.org/10.4060/cb4827es>

Huamani, J. A. R., Rojas, L. C., Perez, J. R. C., Ore, J. B., & Chapana, C. C. (2021).

- Identificación de Cadmio y Plomo en los cultivos de Cacao ubicados en la zona de Satipo—Junín. *TECNIA*, 31(2). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i2.1062>
- Juste, I. (2021). Contaminación del suelo: Causas, consecuencias y soluciones. En *Ecologiaverde.com*.
<https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-suelo-causas-consecuencias-y-soluciones-285.html>
- Llanos, M., Muñiz, A. A., Muñizyta, M. H., Vílchez, 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>
- Loyde, L. A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A. M., & Loredo Portales, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *EPISTEMUS*, 16(33). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.228>
- Mendoza, B., Torres, D., Merú, L., Gómez, C., Estanga, M., & García, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), e1738.
<https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- Mendoza, B., Torres, D., Merú Marcó, L., Gómez, C., Estanga-Barrios, M., & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), e1738.
<https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- MINAM. (2014). *Guía-Para-El-Muestreo-De-Suelos*.
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Montoya, S. (2021). *Importancia de la conservación del suelo—Tecnicrop Ibérica S.L.*
<https://tecnicrop.com/blog/importancia-de-la-conservacion-del-suelo>

- Moreno, E., Goyzueta, G., Gamarra, C., Martha, A., Atencio, S., Alfaro, R., Argota, G., & Vallenias, M. (2021). *Limnología y Ecotoxicología de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, Perú.: Vol. I* (U. N. del Altiplano, Ed.; Primera). https://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=113696
- Noriega, V. (2011). *Manejo y Fertilidad de los Suelos*. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/cendoc/manuales-boletines/papa/manejo_fertil_suelos_feb11.pdf
- Ochoa, B. H., Contreras, E. M., & Mamani, L. E. H. (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). <https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- Ocola, J., & Laqui, W. (2017). *Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca* (Vol. 2). <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/636>
- Ojeda, J. W. C. (2021). Metales pesados y fertilidad de los suelos de la irrigación Canal N, Puno, Perú. *Manglar*, 18(4), 419-426. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.054>
- Pabón, E., Benítez, R., Sarria, A., Gallo, A., Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, K., Iannacone, J., Alvaríño, L., Crnobrna, B., Panduro, G., Rengifo, G. C., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, Á. K., Iannacone, J., Alvaríño, L., & Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3), e18177. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18177>
- Pérez, A. (2020). *Estado Actual De La Contaminación Del Suelo En Europa: La*

Fitorrecuperación Como Tecnología Plausible Para Abordar El Problema.

- Quispe, R. F., Belizario, Germán, Chui, H. N., Huaquisto, S., Calatayud, A. P., & Yábar, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: Cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(2), 83-90.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Quispe, U. R., Quispe, J., Casas, R., Huamani, I. L., & Hinojosa, R. A. (2023). Concentración de metales pesados en cultivares de *Persea americana*, Luricocha, Huanta. *Revista Alfa*, 7(20), 376-386.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.222>
- Rodríguez, E., McLaughlin, M., Pennock, D., Pierzynski, G. M., Montanarella, L., Steffensen, J. C., Bazza, Z., Vargas, R., Ünlü, K., Kohlschmid, E., Perminova, O., Tagliati, E., Ugarte, O. M., Khan, A., Pennock, L., Sala, M., Verbeke, I., & Stanco, G. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta.*
- Rodriguez, O. (2018). *Conservación de Suelos y Agua.*
- Rosado, C. A., Quispe, M., Quispe, W., Aguilar, S. L., Poma, Y. M., & Mamani, V. Y. F. (2023). Relación de la producción minera con la actividad agrícola y pecuaria en la región Puno, Perú. *Revista Alfa*, 7(19), 193-208.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.209>
- Rusell, D. (2019a). *El suelo: El tesoro que vive bajo nuestros pies—Agencia Europea de Medio Ambiente.*
<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/entrevista-2014-el-suelo-el>
- Rusell, D. (2019b). *El suelo: El tesoro que vive bajo nuestros pies—Agencia Europea de Medio Ambiente.*

<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/entrevista-2014-el-suelo-el>

- Santander, W., Garay, R., Verde, C., & Mendieta, O. (2021). Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la región San Martín. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 39-49. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.321>
- Soto, M., Rodriguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020a). Health risks due to the presence of heavy metals in agricultural products cultivated in areas abandoned by gold mining in the Peruvian Amazon. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Soto, M., Rodriguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020b). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Tapia, E., & Marrugo, J. (2020). *Concentraciones de metales pesados (mercurio, plomo, cadmio y arsénico) en sangre de habitantes de la región de la Mojana, Colombia*.
- Urbina, A., Camac, Y., Solis, D., & Camargo, S. (2023). Contaminación de suelos por metales pesados en comunidades agrícolas. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN*, 47(110). <https://doi.org/10.56219/revistadeinvestigacin.v47i110.2043>
- Vistoso, E., & Martínez, J. (2022a). *Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria*.
- Vistoso, E., & Martínez, J. (2022b). *Importancia de la fertilidad del suelo en la producción agropecuaria*.


ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia:

CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE LA COMUNIDAD MINERA OLLACHEA - PUNO - 2024

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p>¿Cuáles son los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea?</p> <p>¿La concentración de los metales pesados (Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio) en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea excederán los estándares de calidad ambiental ECA?</p>	<p>Evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.</p> <p>Determinar la concentración de metales pesados (Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio) de acuerdo a los estándares de calidad ambiental ECA en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.</p>	<p>Los metales pesados tienen efectos contaminantes en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.</p> <p>La concentración de metales pesados (Cadmio, Zinc, Plomo y Mercurio) en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno excede los estándares de calidad ambiental ECA.</p>	<p>VI Metales pesados</p> <p>VD Contaminación del suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Textura - Humedad - pH - C.E - Nitrógeno - Fósforo - Potasio - Materia orgánica - Plomo - Mercurio - Cadmio - Zinc 	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de muestreo - Cadena de custodia - Ficha de muestreo - Ficha de recolección de datos - Ficha de datos generales - (fecha, hora, lugar, nombre de la persona que ejecute el muestreo). - Ficha de datos climáticos (temperatura, presión atmosférica, precipitación antes y durante el muestreo). 	<p>Enfoque de investigación: Cuantitativo</p> <p>Nivel de investigación: Descriptivo</p> <p>Diseño de investigación: No experimental</p> <p>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS: Software SPSS V23,</p>
<p>¿Cuáles son los efectos de los contaminantes por metales pesados en los suelos agrícolas por actividades extractivas de la comunidad minera Ollachea - Puno?</p>	<p>Evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.</p>	<p>Los metales pesados tienen efectos contaminantes en los suelos agrícolas de la comunidad minera Ollachea - Puno.</p>				

Anexo 02: Compromiso ético

	<p>MANUAL DE PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INFORME FINAL</p>	<p>COD. DE DOC. MAN COD. OF.: UI</p>	<p>VERSIÓN: 3.1</p>	<p>PÁGINA: 66</p>
---	---	--	---------------------	-------------------

ANEXO N° 03

COMPROMISO ÉTICO PARA TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN

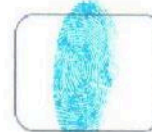
El presente proyecto de investigación titulado **CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE LA COMUNIDAD MINERA OLLACHEA - PUNO – 2024**, ha sido elaborado y desarrollado por **YERSON WILFREDO CONTRERAS ROJAS** planificado por el Centro de Investigación Científica para que sea realizado en estricto apego a la metodología de la investigación y a las normas éticas para investigación.

En vista de lo anterior, yo bachiller de la carrera profesional de **INGENIERIA AMBIENTAL** y con código número 1720080, me comprometo a realizar las siguientes acciones:

- He desarrollado esta investigación siguiendo las instrucciones brindadas por el CI, desde la elaboración del marco referencial y recolección de la información, hasta el análisis de datos y elaboración del informe final. En tal sentido la información contenida en el presente documento es producto de mi trabajo personal, apegándose a la legislación sobre propiedad intelectual, sin haber incurrido en falsificación de la información o cualquier tipo de fraude, por lo cual me someto a las normas disciplinarias establecidas por el CI- UPSC.
- Al respecto en circunstancias especiales y formas de vidas particulares con consideración a la perspectiva.
- A realizar el proceso de investigación con Integridad científica.
- A obtener la información consentida de los participantes en la investigación.
- A garantizar el bienestar de animales, en cualquier tipo de investigación (No marque, si su proyecto no lo amerita).



FIRMA DEL AUTOR



Huella dactilar

<p>REVISADO POR: CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERÍAS V°B°</p>	<p>APROBADO POR: CONSEJO UNIVERSITARIO Resolución de Consejo Universitario N° 067-2024-UPSC/CU/PUNO V°B°</p>	<p>FECHA DE APROBACIÓN: PUNO, 31 DE DICIEMBRE 2024</p>
<p>Prohibida su reproducción sin autorización.</p>		

Anexo 03: ECA del suelo

Uso del suelo				
Parámetros mg/kg	Suelo Agrícola	Suelo residencial parques	Suelo comercial industrial /extractivo	Métodos de ensayos (7) y (8)
Orgánicos				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0.03	EPA8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0.37	EPA 820 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0.082	EPA 820 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 820 EPA 8021
Hidrocarburos policromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 820 EPA 8021 EPA 8270
Bezo (a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos organoclorados				
Bifenilos policlorados -PCB ⁽¹⁴⁾	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
INORGANICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	++	400	1000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 o DIN EN 1519 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 o 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Anexo 04: Resultados del laboratorio de análisis de suelos



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

INFORME DE ENSAYO 0012/MQA

ANÁLISIS DE SUELO

PROCEDENCIA : COMUNIDAD MINERA OLLACHEA.
SOLICITANTE : YERSON WILFREDO CONTRERAS ROJAS DNI: 70184742
MOTIVO : ANALISIS DE SUELO PARA USO AGRICOLA.
MUESTREO : 03/02/2025 (por el interesado)
ANÁLISIS : 04/02/2025.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL	CO ₃ ²⁻ %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01	PM-01	55	28	17	Franco Arcillo Arenoso	0.00	8.24	0.41
02	PM-02	56	27	17	Franco Arcillo Arenoso	0.00	8.22	0.40
03	PM-03	55	26	19	Franco Arcillo Arenoso	0.00	8.26	0.44
04	PM-04	56	28	16	Franco Arcillo Arenoso	0.00	8.20	0.39

# ORD	CLAVE DE CAMPO	pH	C.E. mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES	
				P ppm	K ppm
01	PM-01	5.80	0.33	19.20	260
02	PM-02	5.92	0.34	19.50	268
03	PM-03	6.04	0.35	19.70	272
04	PM-04	6.12	0.38	20.12	276

# ORD	CLAVE DE CAMPO	METALES PESADOS			
		Pb	Hg	Zn	Cd
mg/kg					
01	PM-01	82	7.5	220	2.3
02	PM-02	77	7.2	214	1.8
03	PM-03	72	6.9	212	1.6
04	PM-04	66	6.8	202	1.5

FArA = Franco arcillo arenoso

Ar = Arcilloso

FA = Franco arenoso

CIC = Capacidad Intercambio Cationico

N = Nitrógeno total

K⁺ = Potasio cambiabile

A = Arena

Ca²⁺ = Calcio cambiabile

Na⁺ = Sodio cambiabile

CO₃²⁻ = Carbonatos

me = miliequivalente.

Pb = plomo

Zn = Zinc

FAr = Franco arcilloso

M.O. = Materia orgánica

P = Fósforo disponible

K = Potasio disponible

C.E. = Conductividad eléctrica

SB = Saturación de bases

Mg²⁺ = Magnesio cambiabile

mS/cm = milisie mens por centimetro

C.E.(e) = Conductividad eléctrica del extracto

Al³⁺ = Aluminio cambiabile

NC = no corresponde

Hg = Mercurio

Cd = Cadmio

- La muestra fue recepcionada en el laboratorio.



Benito Hernandez Calloapaza
RUC: 20612800741
GERENTE

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

Anexo 05: Toma de muestras



Anexo 07: Elaborando la ficha de registro



Anexo 08: Rotulando la muestra



Anexo 09: Traslado de las muestras



Anexo 10: Espectrómetro



Anexo 11: Oficina de la comunidad minera Ollachea



Anexo 12: Análisis de las muestras



Anexo 13: Georreferenciación con Gps Garmin 64



Anexo 14: Vista de la municipalidad distrital de Ollachea

