

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

RECURSOS NATURALES



Tesis

Determinación de la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio de metales pesados en

Pachachaca, Abancay – 2024

Asesora:

Mg. Kristhel Jaylane Calderón Aedo

Autor:

Fierro Contreras, Yedith

Para optar al título profesional de: Ingeniero ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 030

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 31 días del mes de octubre del 2025, siendo las 10:40 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0214-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 16 de octubre del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Sierra Puga, Javier
Dictaminante :	Mg. Vargas Amiquero Milagros Carolina
Replicante :	Mg. Guzmán Gamarra, Jesús Aurelio

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: Determinación de la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca, Abancay – Apurímac 2024.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Fierro Contreras, Yedith
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: **Unanimidad**
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Fierro Contreras, Yedith	Aprobado

Siendo las 12:40 p.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **M. Sierra Puga, Javier**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: **Mg. Vargas Amiquero Milagros Carolina**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante: **Mg. Guzmán Gamarra, Jesús Aurelio**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*) : Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

(**) : 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud




15% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Metadatos Complementarios

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Fierro Contreras, Yedith
Tipos de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 62889857
URL ORCID	:
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Kristhel Jaylane Calderón Aedo
Tipos de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 70145769
URL ORCID	: 0000-0002-6377-8667
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2024 - 2025
Fuente de financiamiento	: Propia del investigador
Porcentaje de similitud	: 15%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Dedico mi tesis con amor y gratitud a mis padres, Alberta Contreras Andía y Richard Fierro Pariona, por su apoyo incondicional y sacrificio inquebrantable.

A mis hermanas, Haskell y Jhemely, por ser mi compañía en cada paso.

A mis abuelos, Visitación Pariona y Silvestre Fierro, cuyo amor y enseñanzas han marcado mi vida.

Este logro es tan suyo como mío.

Yedith Fierro Contreras.

Agradecimientos

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, por darme la sabiduría y la perseverancia para alcanzar este logro.

A mis padres, Alberta Contreras Andia y Richard Fierro Pariona, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mis hermanas, Haskell y Jhemely, por su cariño incondicional y por ser mi motivación constante.

A mis abuelos, Visitación Pariona y Silvestre Fierro, y a mi tía Hilda Fierro, por su amor, apoyo y palabras de aliento en los momentos más difíciles.

A Ceriano Contreras, por su cariño y enseñanzas que han dejado huella en mi vida.

A Christian Jesús H.V. por acompañarme y brindarme su apoyo incondicional en este largo camino.

A Mac Anderson V.C. por ser un amigo invaluable en este viaje.

A cada uno de ustedes, gracias de corazón.

Yedith Fierro Contreras.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca - Abancay, 2024. Se aplicó un diseño no experimental con un estudio descriptivo transversal, para muestras superficiales en suelos agrícolas de una profundidad de (0-30 cm) en 9 puntos representativos, empleando técnicas para la determinación de puntos de muestro según la guía para muestreos de suelos del MINAM-2014. Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de Suelos de la carrera de Ingeniería Ambiental. Asimismo, los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en el laboratorio de Microbiología de la misma carrera, la determinación de metales pesados se efectuó en el laboratorio LAB Perú. Los resultados mostraron variabilidad de textura predominando suelo franco arcilloso arenosos y pH de 6.6 ligeramente ácido. En cuanto a la microbiota, se identificó una diversidad bacteriana, con predominancia de bacterias Gram positivas y negativas de morfología bacilar y cocobacilar, y una comunidad fúngica conformada principalmente por hongos saprofitas y ascomicetos filamentosos. Los análisis inorgánicos revelaron niveles elevados de metales pesados, (Pb) superando los límites establecidos por el ECA-2017 (0.12 gr/kg) y (Cu) excediendo ampliamente el límite CEQGs-2014 (8.04 y 11.08 gr/kg), lo que indica un grave riesgo ambiental y potencial toxicidad para el suelo, la biota del río.

Se concluye que la calidad del suelo está comprometida debido a la alta concentración de metales pesados, afectando la funcionalidad del ecosistema y la sostenibilidad del río.

Palabras clave: Calidad del suelo, metales pesados, puntos de acopio.

Abstract

This study aimed to determine the quality of agricultural soil at heavy metal collection points in Pachachaca - Abancay, 2024. A non-experimental, cross-sectional descriptive study was conducted, using surface samples of agricultural soils at a depth of 0-30 cm from nine representative points. Sampling points were determined using techniques outlined in the MINAM-2014 soil sampling guide. Physicochemical analyses were performed in the Soil Laboratory of the Environmental Engineering program. Microbiological analyses were conducted in the Microbiology Laboratory of the same program, and heavy metal determination was carried out at the LAB Perú laboratory. The results showed textural variability, with a predominance of sandy clay loam soil and a slightly acidic pH of 6.6. Regarding the microbiota, bacterial diversity was identified, with a predominance of Gram-positive and Gram-negative bacteria of bacillary and coccobacillary morphology, and a fungal community composed mainly of saprophytic fungi and filamentous ascomycetes. Inorganic analyses revealed elevated levels of heavy metals, (Pb) exceeding the limits established by the ECA-2017 (0.12 g/kg) and (Cu) far exceeding the CEQGs-2014 limit (8.04 and 11.08 g/kg), indicating a serious environmental risk and potential toxicity to the soil and the river's biota.

It is concluded that soil quality is compromised due to the high concentration of heavy metals, affecting ecosystem functionality and the river's sustainability.

Keywords: Soil quality, heavy metals, collection points.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiii
I. Introducción	14
II. Planteamiento del Problema	16
2.1. Descripción y formulación del problema.....	16
2.2. Objetivos	19
2.2.1. Objetivo General.....	19
2.2.2. Objetivos Específicos	19
2.3. Justificación e importancia	19
2.4. Hipótesis	20
2.5. Variables	21
III. Marco Teórico	23
3.1. Antecedentes	23
3.2. Bases teóricas	31

3.3. Definición de términos	45
IV. Metodología.....	50
4.1. Tipo y Nivel de Investigación	50
4.2. Ámbito Temporal y espacial	51
4.3. Población y muestra	52
4.4. Instrumentos	55
4.5. Procedimiento.....	55
4.6. Consideraciones éticas	58
V. Resultados y discusión.....	59
VI. Conclusiones	74
VII. Recomendaciones.....	75
VIII. Referencias.....	77
IX. Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Operacionalización de Variables</i>	22
Tabla 2 <i>Profundidad de muestreo - MINAM</i>	34
Tabla 3 <i>Manejo de muestreo según MINAM</i>	35
Tabla 4 <i>Cantidad de puntos de muestreo según MINAM</i>	36
Tabla 5 <i>Estándares de calidad ambiental canadiense (cobre)</i>	37
Tabla 6 <i>Estándares de calidad del suelo</i>	38
Tabla 7 <i>Características texturales del suelo agrícola</i>	59
Tabla 8 <i>Promedio del nivel de pH del suelo agrícola</i>	61
Tabla 9 <i>Resultado de recuento de colonias bacterianas por cada punto de muestreo</i>	63
Tabla 10 <i>Resultado de recuento de colonias fúngicas por cada punto de muestreo</i>	65

Índice de figuras

Figura 1 <i>Triangulo textural</i>	40
Figura 2 <i>Método de la jarra de manso</i>	41
Figura 3 <i>Técnica para recuento de U.F.C. en placa</i>	43
Figura 4 <i>Ubicación tramo para (Sector Pachachaca) - Abancay</i>	52
Figura 5 <i>Ubicación – Quebrada Pachachaca</i>	53
Figura 6 <i>Ubicación de los puntos de muestreo</i>	54
Figura 7 <i>Flujograma de procedimiento</i>	56
Figura 8 <i>Variación del promedio del pH</i>	62
Figura 9 <i>Niveles de plomo (Pb) en relación con el ECA – 2017</i>	67
Figura 10 <i>Niveles de cobre (Cu) en relación con el límite de CEQGs – 2014</i>	69

Índice de anexos

- Anexo 1** *Matriz de consistencia* **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 2** *Instrumento de recolección de datos* **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 3** *Fichas de validación de instrumentos por juicio de expertos***¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 4** *Evidencias fotográficas de la toma de muestras* **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 5** *Evidencias fotográficas de valoración de textura del suelo***¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 6** *Evidencias fotográficas de valoración de pH del suelo***¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 7** *Evidencias fotográficas de análisis microbiológico del suelo* ..**¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 8** *Resultados: Triángulos de textura*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 9** *Resultados: Análisis microbiológico de bacterias* ... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 10** *Resultados: Morfología de las bacterias* **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 11** *Resultados: Análisis microbiológico de hongos*..... **¡Error! Marcador no definido.**
- Anexo 12** *Resultados morfología de los hongos* **¡Error! Marcador no definido.**

I. Introducción

Los suelos agrícolas son fundamentales para la seguridad alimentaria y el equilibrio de los ecosistemas; sin embargo, su calidad se ve amenazada por la contaminación con metales pesados, producto de actividades antropogénicas como la minería, el transporte y el uso indiscriminado de agroquímicos (Rodríguez et al., 2019). Esta problemática adquiere mayor relevancia en zonas de acopio de residuos, donde la acumulación de estos contaminantes puede alterar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, reduciendo su productividad y generando riesgos para la salud humana.

La contaminación de suelos agrícolas por metales pesados provenientes de la actividad minera ilegal representa un riesgo crítico para la seguridad alimentaria y la salud de los ecosistemas en el Perú (MINAM, 2014) En este contexto, la zona de Pachachaca - Abancay enfrenta una problemática creciente debido a la presencia de puntos de acopio de carga y descarga de minerales, los cuales están alterando la calidad del suelo mediante la acumulación de elementos tóxicos como plomo (Pb) y cobre (Cu).

Esta investigación se centra en determinar la calidad del suelo agrícola en dicha área, integrando análisis físico-químicos (PH y textura), microbiológicos e inorgánicos (concentración de metales pesados), con el objetivo de generar evidencia científica para la gestión ambiental local.

La tesis se estructuro en cuatro capítulos:

Capítulo I: Plantea la realidad problemática de la zona de estudio, sustentada en datos de degradación de suelos en zonas mineras del Perú.

Capítulo II: Revisa antecedentes internacionales y nacionales sobre contaminación por metales pesados, destacando vacíos en estudios locales.

Capítulo III: Detalla la metodología, incluyendo diseño muestral (aleatorizado por conglomerados), técnicas de laboratorio y control de calidad.

Capítulo IV: Presenta resultados en dos ejes: (1) propiedades geomorfológicas del suelo y (2) niveles de contaminación, analizando su relación con umbrales críticos.

Los hallazgos permitirán identificar zonas prioritarias para intervención, reduciendo riesgos para la agricultura y la salud de las comunidades aledañas.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Según la FAO, (2019) “El suelo es un componente esencial que alberga minerales, materia orgánica con una compleja red de seres vivos, lo que lo convierte en un recurso valioso. La contaminación del suelo por metales pesados se ha convertido en una gran amenaza para la seguridad alimentaria, la salud humana y la seguridad ecológica, representando una preocupación a nivel mundial. Según Rahaman et al., (2016) en tiempos recientes el tema de los metales pesados ha generado una preocupación considerable, ya que el suelo representa un elemento fundamental tanto en contextos rurales como urbanos. El impacto de estos contaminantes en su estructura se ha vuelto una inquietud global cada vez más relevante. Su influencia negativa sobre aspectos fisicoquímicos esenciales del suelo ha provocado problemas como la infertilidad del terreno y un deficiente rendimiento de los cultivos debido a su toxicidad. Según Sadia et al., (2016), “conforme avanza la economía global, la progresiva contaminación del suelo con metales pesados se convierte en una realidad preocupante que está deteriorando nuestro entorno, transformándose en un problema extendido a nivel mundial”.

En el Perú Díaz (2023), menciona que la Oroya (Junín) es un caso emblemático, donde estudios del Instituto Nacional de Salud (INS, 2022) reportan concentraciones de plomo en suelos de hasta 3,900 mg/kg (frente a un límite de 400 mg/kg), asociándose a intoxicaciones crónicas en el 90% de los niños de la zona, considerándose entre las diez ciudades más contaminadas del mundo, según el Instituto Blacksmith, cuenta con altos índices de contaminación en el suelo, siendo un caso emblemático la empresa Doe Run Perú complejo metalúrgico. Se estima que el principal contaminante son las emisiones de humo con concentraciones de 15 metales, que rodeaban un diámetro de $1.070 m^3$, las chimeneas con un

93% de emisiones de SO_2 y 66% de (Pb). Los suelos de la Oroya se encuentran contaminados por (Pb) con un 0.39 y (As) con un 0.19. El Plomo, presenta un pH bajo menores a 5. La presencia del (Pb) en las superficies del suelo presenta un riesgo en la salud humana ya que hay una probabilidad muy alta, entre 24% y 96%, de que la población presente niveles de plomo en la sangre por encima de 10 $\mu\text{g/dL}$ en las zonas donde hay más concentración de (Pb) en el suelo.

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014), el 15% de los suelos agrícolas en zonas mineras exceden los límites permisibles de metales tóxicos establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Perú). La minería ilegal y artesanal sin control técnico agrava esta situación. El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental Gonzales, (2024) identificó más de 7,000 pasivos ambientales mineros en el país, muchos ubicados en zonas agrícolas. En regiones como Madre de Dios, la deforestación y el uso de mercurio en la minería aurífera han contaminado más de 100,000 hectáreas de suelos (MINAM, 2014).

Dentro del contexto local nos remitimos a la región Apurímac, es una región minera que se caracteriza por tener grandes yacimientos de explotación minera legal como ilegal, así se observa que en la zona de Pachachaca, ubicado en la provincia de Abancay, es una zona tradicionalmente agrícola, donde 125 familias pertenecientes a los 04 comités de la junta de regantes, dependen de la agricultura, según Castro, (2020). Sin embargo, en los últimos años, el incremento de la minería artesanal e informal ha convertido áreas de cultivo en puntos de acopio de material mineral. Esta contaminación no solo pone en riesgo la productividad agrícola, sino también la salud de las familias que consumen estos cultivos y habitan cerca de las zonas afectadas.

A nivel agroecológico, la contaminación por metales pesados reduce la biodiversidad microbiana del suelo, esencial para ciclos de nutrientes, y acidifica los terrenos ($\text{pH} < 5$), limitando el crecimiento vegetal.

El sector de Pachachaca ubicado en la Provincia de Abancay Departamento de Apurímac, se caracteriza por sus suelos fértiles ideales para la actividad agrícola, siendo parte fundamental para el sustento de los agricultores locales. No obstante, la creciente utilización de estas tierras como puntos de acopio de metales pesados, como el punto de acopio MINEX ubicado en la carretera nacional Abancay Grau- PE 3SG, con un área de 1ha; Parte de actividades de minería artesanal e ilegal, ha generado una problemática ambiental y social alarmante.

2.1.1. Formulación del problema

2.1.1.1. Problema general.

- ¿Cuál es la calidad del suelo agrícola en los puntos de acopio expuestos a metales pesados en Pachachaca- Abancay, 2024?

2.1.1.2. Problemas específicos.

- ¿Cómo determinar la calidad del suelo agrícola mediante los parámetros físicoquímicos en los puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca- Abancay-2024?
- ¿Cómo determinar la calidad del suelo agrícola mediante los parámetros microbiológicos en los puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca- Abancay-2024?

- ¿Cómo determinar la calidad del suelo agrícola mediante los parámetros inorgánicos en los puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca-Abancay-2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. *Objetivo General*

- Determinar la calidad del suelo agrícola en los puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca Abancay – 2024.

2.2.2. *Objetivos Específicos*

- Describir la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio a partir de parámetros físico-químicos en Pachachaca, Abancay-2024.
- Describir la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio a partir de parámetros microbiológicos en Pachachaca, Abancay-2024.
- Describir la calidad del suelo agrícola en puntos de acopio a partir de parámetros inorgánicos en Pachachaca, Abancay-2024.

2.3. Justificación e importancia

Desde el punto de vista científico, este estudio se ubica en el nivel descriptivo, y se enfoca en caracterizar la calidad del suelo a través de parámetros físico, químicos y microbiológicos. Dado que se trata de un estudio sin hipótesis, se emplearán estimaciones puntuales y análisis estadístico univariado para interpretar los valores obtenidos, alineándose con los estándares metodológicos definidos en el desarrollo de la investigación con un enfoque cuantitativo de tipo básico.

Desde el plano social, la presencia de minerales conformados con metales pesados en zonas agrícolas representa un riesgo latente para la salud humana, particularmente en poblaciones rurales donde el autoconsumo y la comercialización local de productos agrícolas son prácticas comunes. La tesis se centra en la condición actual del suelo, permitiendo alertar, prevenir y fundamentar intervenciones posteriores en favor de la seguridad alimentaria y la salud pública.

La importancia de esta investigación tiene relevancia ambiental y técnica, ya que aporta evidencia sobre el estado actual del suelo en los puntos de acopio de la zona de Pachachaca, que actúan como focos de acumulación y dispersión de metales provenientes de minerales, generando un impacto. Esta información es fundamental para instituciones locales, como municipalidades, direcciones agrarias o de salud, que requieren de datos actualizados y específicos para la toma de decisiones; asimismo este estudio radica en la necesidad de establecer un diagnóstico detallado basado en criterios ambientales internacionales, como la guía Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQG), y en la normativa peruana vigente los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA-Suelo, 2017).

2.4. Hipótesis

En el presente estudio, se excluyó la formulación de hipótesis debido a su naturaleza “descriptiva”. Esto se debe a que este trabajo no considera causa y efecto; Hernández-Sampieri, (2018) quien sostiene que una hipótesis debe involucrar dos o más variables y ser medible para mostrar claramente la relación entre dichas variables.

2.5. Variables

2.5.1. Variable: “Calidad del suelo agrícola”

Desde una perspectiva ambiental, la calidad del suelo puede entenderse como su aptitud para sostener un ecosistema equilibrado y fértil, capaz de favorecer el crecimiento vegetal y el sustento de diversas formas de vida. Este atributo incide directamente en la salud del entorno natural, la eficiencia de la producción agrícola y la conservación de la biodiversidad. (MINAM, 2014)

Tabla 1.*Matriz de operacionalización de Variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
“Calidad del suelo”	Según el Ministerio del Ambiente, (2014) La calidad del suelo en el contexto medioambiental se refiere a la capacidad del suelo para mantener funciones ecológicas, biológicas y químicas que son esenciales para los ecosistemas y la vida en la Tierra.	Esta variable se mide con la ficha de recolección de datos.	Físico-químico	Textura pH	Intervalo/ Razón
			Microbiológico	Bacterias Hongos	UFC
			Inorgánicos	Cobre Plomo	g/kg

Nota: Elaboración propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes Internacionales

Albán, (2023) en su tesis “*Determinación de metales pesados en suelos de cultivo y en granos de plantaciones de cacao (Theobroma cacao L.) pertenecientes a la zona litoral central del Ecuador*”, que tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de metales pesados (cadmio, plomo, níquel y arsénico) en suelos de cultivo y granos de cacao en el Cantón Montalvo, provincia de los Ríos, para determinar si superan los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por normativas ambientales e internacionales aplicables al cacao y sus derivados, empleando una metodología que consiste en analizar las muestras de suelo y granos de cacao, seguido de análisis químicos para determinar las concentraciones de cada metal; La población del estudio está conformada por todos los suelos en donde se cultivó el cacao y los granos de cacao del Cantón Montalvo y en cuanto a la muestra consiste en los suelos y granos de cacao seleccionados para el análisis de metales pesados. Se evaluaron químicamente para determinar las concentraciones de Cd, Pb, Ni, As. Como efecto indicaron que las concentraciones de arsénico y cadmio en el suelo de cultivo excedían significativamente los LMP, con valores promedio de 13.80 mg/kg y 0.69 mg/kg respectivamente, concluyendo en la necesidad urgente de implementar técnicas efectivas de remediación del suelo agrícola, además de promover regulaciones y controles más estrictos en la producción y consumo de productos derivados del cacao para salvaguardar la salud pública.

Bustos & Antonio, (2022) en su tesis “*Análisis de Elementos Traza Metálicos en Suelos de la Ciudad de Arica y Estudio Caso Polimetales Correspondiente a Contaminación por Residuos Mineros*”, que tuvo como objetivo determinar concentraciones de metales (Al, As,

Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Fe, Mo, Hg, Pb, Zn) de los suelos de la ciudad de Arica, para así obtener información sobre el estado actual de estos en relación con la problemática de contaminación por polimetales, para ello realizo una toma de muestras inalteradas. La población comprende todos los suelos de Arica afectados por desechos mineros, mientras que la muestra son los puntos de suelo seleccionados y analizados para medir metales como Pb, Zn, As y Cu; que tuvo como resultados r los altos niveles de Pb y As en suelo superficial, porque concluyo que, de acuerdo con los indicadores de calidad del suelo, los metales que generan mayor carga contaminante en casi todas las muestras son plomo (Pb) y zinc (Zn). En cuanto a cadmio (Cd) y cobre (Cu), solo un par de muestras evidencian algún nivel de afectación; en este aspecto, sobresalen principalmente las muestras.

Pérez-Mora, (2021) en su artículo científico titulado “*Evaluación del índice de geoacumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá*” tuvo como objetivo determinar la calidad de suelo debido a metales pesados, para ello realizo una recolección de muestras del suelo, Las muestras se recolectaron conforme a la ISO 18400:2018, a 30 cm de profundidad, en suelos de cultivo de diversos municipios influenciados por la ribera de la cuenca media del río Bogotá o que riegan con aguas provenientes del Distrito de Riego La Ramada y del Distrito de Riego Bojacá La Herrera. La población abarca todos los suelos de cultivo ubicados en varios municipios de Cundinamarca y en la localidad de Bosa en Bogotá, La muestra se compone de los suelos específicos recolectados en esas zonas para medir los niveles de metales pesados **Cr**, Cd, Pb, Ni. Teniendo como resultados n este estudio, el panorama más crítico corresponde al municipio de Sibaté por el contenido de metales pesados. en cuanto al cromo, si bien las concentraciones medidas están por debajo del promedio mundial citado por Machado, el índice de geoacumulación las califica como altas, por lo que el suelo de

la zona de muestreo de Sibaté se clasifica como extremadamente contaminado. En ese mismo municipio también se observaron niveles superiores de plomo y cadmio en comparación con el promedio mundial.

Hernández & Sánchez-Duarte, (2018) en su investigación “Origen y Distribución espacial de metales pesados en suelos de Zimapan, Hidalgo”, tuvo como objetivo principal conocer el origen de distribución de metales pesados y diferenciar las aportaciones geogénicas derivadas de la actividad humana”, para ello realizó muestreos en la localidad de Hidalgo. La población son todas las plantas del matorral mediano espinoso en la zona de pastoreo de cabras en el noreste de México, La muestra está formada por las especies de plantas consumidas por el ganado caprino. Teniendo como resultados que la concentración media para cada metal fue de 1034 mg/kg para Pb, 1008 mg/kg para Zn, 138mg/kg para Cu, por lo cual se concluyó que las concentraciones elevadas de metales pesados, se presentan en depósitos de residuos de mina de Zimapan, que presentan condiciones importantes de riesgo para la salud pública.

Mahecha et al., (2017) en su investigación “*Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia*”, tuvo como objetivo recopilar los trabajos desarrollados sobre metales pesados en sistemas de producción agrícola en Colombia, con el fin de establecer una línea base que permita identificar vacíos de información, reconocer avances y proyectar nuevas investigaciones que contribuyan a la gestión del recurso suelo. Para ello, se llevó a cabo un análisis de la información existente relacionada con la importancia del suelo en actividades agrícolas y con la base de estudios realizados en torno a los metales pesados en el país. La población abarca todos los estudios realizados en Colombia sobre suelos agrícolas y la presencia de metales pesados, en cuanto a la muestra son los artículos recopilados que analizan distintos metales (Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, Cu, Zn, As) en suelos de producción agrícola. Los resultados

evidenciaron que los metales de mayor atención se presentan en el siguiente orden de importancia: Cd > Pb > Hg > Cu > Cr > Ni = Zn > As > Fe > Mn > Mg. Como conclusión, se determinó la necesidad de que en Colombia se establezca una norma técnica que permita evaluar la calidad de los suelos, incorporando valores de referencia propios para parámetros químicos, físicos y biológicos. Si bien se trata de una tarea compleja, resulta esencial, dado que la generación de conocimiento constituye un paso fundamental para fortalecer los procesos de gobernabilidad, particularmente en lo referente al manejo y sostenibilidad del recurso suelo en el país.

Vargas, (2017) en su tesis “*Evaluación de indicadores microbiológicos en suelos de un área impactada por la minería de oro, en el Municipio de Santa Isabel- Tolima*”, tuvo como propósito fundamental evaluar el impacto de los resultados de la minería de oro, sobre la comunidad microbiana del suelo, para ello realizaron el análisis fisicoquímico y de metales en el área (SI-M), donde se obtuvo un pH neutro y altos niveles de Zn y Ca debido a las practicas mineras, así mismo en el área (SI-N) presento un pH ácido y deficiencias en nutrientes como Mg, Ca, teniendo una capacidad limitada para almacenar nutrientes esenciales para las plantas. La población del estudio comprende todas las áreas de suelo de la región del municipio de Santa Isabel - Tolima, Colombia, impactadas por actividades de relave minero. La muestra está formada por dos zonas específicas seleccionadas —una con relaves y sin vegetación (SI-M) y otra adyacente con vegetación nativa sin depósito minero (SI-N). El área de la relaverá presentó altas concentraciones de As, Cd, Pb y otros metales. En el análisis biológico la densidad microbiana del área (SI-M) fue menor al área (SI-N), indicando un efecto perjudicial de los metales pesados en las comunidades microbianas, permitiendo identificar cuatro bacterias del género *Pseudomonas* y cinco hongos, entre ellos *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium*

verticillioides, *Beauveria bassiana*, *Pseurotium ovale* y *Cadophora malorum*; mostrando que los procesos extractivos afectan a los microorganismos presentes en el suelo.

López et al., (2018) en su investigación “*Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas del suroeste de Guanajuato, México*”, el propósito consistió en examinar la concentración presente en 18 muestras de suelos agrícolas ubicados en el suroeste del estado de Guanajuato, a través del análisis de elementos traza tales como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn). La población de este estudio está formada por los suelos agrícolas, en cuanto a la muestra consiste en 18 muestras de suelo de uso agrícola seleccionadas para analizar las concentraciones de elementos traza como As, Cd, Cr, Cu, Pb y Zn. Para obtener el resultado se usó el método de Espectrometría, dándonos concentraciones de As ($< 0.009 - 14.97 \text{ mg kg}^{-1}$), Cd ($0.06 - 0.76 \text{ mg kg}^{-1}$), Cr ($11.31 - 33.85 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($< 0.004 - 99.98 \text{ mg kg}^{-1}$), Pb ($4.87 - 41.79 \text{ mg kg}^{-1}$) y Zn ($21.98 - 109.44 \text{ mg kg}^{-1}$), encontrándose por debajo del límite de concentración que establece la normativa NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

3.1.2. Antecedentes Nacionales

Colquehuanca, (2023) en su tesis “*Grado de contaminación y enriquecimiento antropogénico de metales en los suelos de la cabecera de la cuenca del río Corrientes, 2019*”, tuvo como objetivo fue establecer el nivel de contaminación y el grado de enriquecimiento de origen antropogénico por metales presentes en los suelos ubicados en la cabecera de la cuenca del río Corrientes durante el año 2019., para lo cual se realizaron muestreos en dicha zona. La población son los 12 lugares afectados por contaminación se localizan en la zona norte de la Amazonía peruana y su muestra presentan los resultados de 567 muestras de suelo de los 12 Planes de Rehabilitación aprobados por el MINEM. Los resultados evidenciaron que las

muestras analizadas superan las concentraciones naturales propias de los suelos de la región, identificándose, además, que los parámetros de bario, cadmio y plomo alcanzaron concentraciones elevadas que triplican sus valores límite, situándose muy por encima de lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. En consecuencia, se concluyó que más del 85% de los resultados obtenidos presentan excedencias al ECA para Suelo en todos los metales evaluados, entre los que se incluyen arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio y plomo.

Díaz, (2023) en su tesis *“Influencia de la unidad minera artesanal San Vicente en la calidad del suelo por cianuro libre, centro poblado de Algamarca - Cajabamba”*, tuvo como finalidad evaluar la influencia de la unidad minera artesanal San Vicente en la calidad del suelo respecto a la presencia de cianuro libre, como ejemplo de lo que ocurre en el centro poblado de Algamarca, aplicando la Guía para muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente (2014), aprobada mediante Resolución N.º 085-2014-MINAM. Su ubicación es el centro poblado de Algamarca, distrito de Cachachi y su área de estudio es el área afectada por la unidad minera y otro en el área de referencia sin influencia minera, separadas por 1.6 km. Los resultados del análisis de geoacumulación a 10 cm de profundidad evidenciaron que, de los nueve puntos evaluados, los más cercanos a la relavera se clasificaron como moderadamente contaminados; tres puntos fueron categorizados entre no contaminados y moderadamente contaminados; y los más alejados se calificaron como no contaminados. En conclusión, las concentraciones de cianuro libre afectan de manera negativa la calidad del suelo, ya que la concentración media en la unidad minera fue de 0,272 mg/kg, valor 2,7 veces superior al nivel de fondo (0,10 mg/kg). Asimismo, los parámetros fisicoquímicos mostraron alteraciones relevantes: el pH en la unidad minera (6,90) fue 1,16 veces mayor que el nivel de fondo (5,95); la materia orgánica (1,078%)

presentó una disminución de 2,37 veces respecto al nivel de fondo (2,55%); y la capacidad de intercambio catiónico –CIC– (14,256 cmol(+)/kg) se redujo en 1,69 veces en comparación con el valor de fondo (24,150 cmol(+)/kg).

Andrade et al., (2020) en su investigación “*Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de Solanum tuberosum de la bahía interior de Puno*” tuvo como objetivo evaluar el riesgo ecológico en suelos agrícolas a nivel global, considerando factores fisicoquímicos, biológicos y ambientales que afectan su capacidad amortiguadora y sostenibilidad, para ello utilizaron una metodología que se enfoca en cuantificar y tipificar la presencia de metales pesados que es crucial para comprender su acumulación en suelos, vegetación y potencial transferencia a la cadena alimentaria. La población en estudio es la Bahía interior de Puno, tomando 6 puntos de muestreo para de suelos agrícolas y su muestra fueron tomadas a 30 cm de profundidad, aplicándose el método del (MINAN 2014) ; donde los resultados muestran la persistencia casi irreversible de metales como el plomo (505.2 mg/kg) y cobre (40.19 mg/kg), que afectan la calidad de los cultivos y la salud humana a través de la absorción de raíces, en definitiva destaca la necesidad urgente de medidas preventivas y correctivas para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales, considerando la interrelación entre contaminación de suelos y aguas, y los impactos negativos en la biodiversidad y la salud pública, donde la acumulación de metales pesados afecta múltiples actividades comunitarias y ecosistemas.

Rosario, (2020) en su tesis “*Afectación del suelo por metales pesados: plomo, cadmio y cromo vi por la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero de Carhuashjirca, en el Distrito y Provincia de Huaraz, Departamento de Ancash, 2019*”, tuvo como objetivo evaluar la contaminación del suelo por metales pesados (cadmio, plomo y cromo VI) debido a

la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero de Carhuashjirca durante períodos de sequía y lluvia, empleando una metodología con un enfoque descriptivo, seleccionando 3 puntos de muestreo y un punto control mediante muestreo aleatorio estratificado. La población estuvo conformada por el área total del botadero y la muestra fue el Botadero de Carhuashjirca. Las muestras de suelo (500 gr por punto) se analizaron en laboratorios especializados, que dieron como resultado concentraciones elevadas de Cd, Pb y Cr VI por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para suelos, especialmente en el punto de almacenamiento de lixiviados, concluyendo que la disposición de residuos sólidos está contribuyendo significativamente a la contaminación del suelo con cadmio y plomo, mientras que el cromo VI se incorpora principalmente por la descomposición de residuos.

Simon, (2018) en su investigación *“Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando Brassica campestris L., en la Estación Experimental El Mantaro - Junín”*, tuvo como objetivo proponer la recuperación de los suelos contaminados con metales pesados, para ello se tomó muestras de suelo de tres lotes distintos del área de estudio, denominado A, B y C, los cuales correspondían a terrenos en descanso, productor de maíz y productor de papa respetivamente. Cada lote fue evaluado mediante un análisis fisicoquímico y químico, La población en este estudio incluye los suelos contaminados por metales pesados en los tres lotes (A: descanso, B: cultivo de maíz y C: cultivo de papa) y en cuanto la muestra son todas las muestras de suelo tomadas en cada lote (1 kg por muestra). Los resultados de la caracterización fisicoquímica para el lote A,B Y C, fueron de un pH (7.48, 7.94, 7.90), reflejado en una condición neutra ligeramente alcalina, para la conductividad eléctrica de los lotes A,B y C, indica una salinidad baja de (0.55, 0.59, 0.50), CaCO₃ (3.0, 2.0, 1.30), materia orgánica (2.12, 2.18, 3.48), todos los lotes presentaron una textura franco, CIC (11.20, 14.08, 16.32) y para el

análisis químico de metales pesados mostraron las siguientes concentraciones, para el Arsénico (11.6, 11.10, 22.7), Cadmio (5.90, 4.75, 1.8), Cobre (13.6, 16.0, 28.8), Cromo (5.1, 3.0, 13.7) y Plomo (13.8, 20.7, 34.0).

3.1.3. Antecedentes Locales

Debido a la limitada disponibilidad de estudios o publicaciones científicas en el ámbito regional y local, no se registran antecedentes relevantes para ser incorporados en este apartado.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Calidad del suelo

La calidad del suelo describe cuán bien un suelo puede cumplir sus funciones en un ecosistema o para un uso determinado, incluyendo producir organismos vivos, conservar el entorno y favorecer la salud de seres vivos (Cruz y otros, 2004).

3.2.2. Importancia del suelo agrícola

El suelo es un componente esencial del ecosistema terrestre, ya que participa activamente en la producción de alimentos, la regulación del clima, el ciclo hidrológico y la biodiversidad. Se estima que alrededor de aproximadamente el 95% de la producción alimentaria global tiene su sustento en el suelo, el cual constituye un recurso no renovable en términos del tiempo humano, pues la formación de apenas un centímetro de suelo puede tomar entre 400 y 1000 años (Orjuela, 2016).

3.2.3. Contaminación del suelo por metales pesados

Los metales pesados como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As), se consideran contaminantes peligrosos por su toxicidad, persistencia y capacidad de

bioacumulación. Estos metales no son biodegradables y pueden alterar gravemente las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, afectando a su vez la calidad de los cultivos y la salud humana Calderón-Guevara et al.,(2023).

En contextos, la contaminación suele estar relacionada con actividades antropogénicas como el uso intensivo de fertilizantes fosfatados, pesticidas, riego con aguas residuales y la cercanía a zonas de actividad minera (Castro et al., 2020). Por ejemplo, en la subcuenca Atoyac-Zahuapan se ha documentado la presencia significativa de metales pesados en suelos irrigados con aguas contaminadas, los cuales representan un riesgo directo para la salud pública.

3.2.3. Impactos ecológicos y sanitarios

Los metales pesados afectan la biodiversidad microbiana del suelo y reducen su capacidad para realizar procesos ecosistémicos clave, Además contaminan los cultivos agrícolas, generando productos peligrosos para el consumo humano y provocando enfermedades renales, hepáticas, cardiovasculares e incluso cáncer Calderón-Guevara et al.,(2023).

En el caso específico del cobre y plomo, ambos son absorbidos por los cultivos y pueden alcanzar concentraciones que superan los límites de seguridad establecidos por el Codex Alimentarius (CODEX STAN, 2015),especialmente en cultivos como la papa, espinaca y lechuga, que funcionan como bioindicadores ambientales Quispe & Torres, (2024)

3.2.5. Muestreo de identificación (MI)

El muestreo de identificación tiene por finalidad establecer la existencia de contaminación en el suelo mediante la obtención de muestras representativas, a fin de verificar si se superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los valores de fondo previstos en el D.S. N.º 002-2014-MINAM. Su alcance queda circunscrito por los resultados y conclusiones

derivados de la revisión histórica y de la inspección técnica del sitio, (Ministerio Del Ambiente, 2014).

A) Técnicas de muestreo

El muestreo es la fase operativa mediante la cual se extraen porciones representativas del suelo que posibilitan su caracterización. La muestra se concibe como una fracción representativa que preserva las propiedades y atributos del material evaluado. Las unidades remitidas al laboratorio corresponden a las seleccionadas para su análisis, de acuerdo con los objetivos previamente definidos, (Ministerio Del Ambiente, 2014).

A.1) Muestreo superficial

Para recoger muestras someras —hasta ≈ 1 m de profundidad— pueden utilizarse sondeos manuales (p. ej., trado o barreno). Este procedimiento es expedito, simple y de bajo costo; no obstante, como el volumen de suelo recuperado suele ser exiguo, se recomienda conformar muestras compuestas integrando varios puntos de sondeo. De manera alternativa, la extracción superficial puede realizarse mediante calicatas (hoyos) o zanjas, siendo igualmente válida la composición de muestras. Conviene precisar que la toma superficial no es idónea para la cuantificación de compuestos orgánicos volátiles (COV), (Ministerio Del Ambiente, 2014).

Tabla 2*Profundidad de muestreo*

Uso del suelo	Profundidad de muestreo (Capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm (1)
Suelo Agrícola	30 – 60 cm
Suelo Residencial / Parques	0 – 10 cm (2)
Suelo Residencial / Parques	10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial / Industrial / Extractivo	0 – 10 cm (2)

Nota: Profundidad del muestreo según el uso del suelo, por la guía para el muestreo de suelos, MINAM - 2014.

A.2) Manejo de las muestras

Es primordial observar diversas medidas de precaución durante el manejo de las muestras; no obstante, se torna imperativo cumplir con los lineamientos establecidos por los laboratorios en cuanto a su obtención y conservación, con el fin de garantizar la fiabilidad y validez de los resultados analíticos subsiguientes, (Ministerio Del Ambiente, 2014).

Tabla 3*Manejo de muestreo*

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	14 días
BTEX	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Ligera	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Media	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Pesada	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	14 días
Compuestos Orgánicos Semivolátiles (COSV's) y Plaguicidas	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4°C	7 días
Metales Pesados y Metaloides	Bolsa de polietileno densa	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio (Hg)	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de la muestra hasta su análisis	4°C	14 días
PCB	Viales de vidrio con cierre de teflón	4°C	14 días
PAH	Viales de vidrio con cierre de teflón	4°C	14 días

Nota: Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes, por la Guía para el muestreo de suelos – 2014. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

A.3) Determinación de puntos de muestreo

La configuración espacial se definirá según los rasgos intrínsecos del emplazamiento, el patrón esperado de distribución de contaminantes y las vías de exposición consideradas. En esa línea, resulta aconsejable sectorizar el área de estudio en ámbitos de interés potencial, atendiendo a la verosimilitud de presencia de focos contaminantes, (Ministerio Del Ambiente, 2014).

Tabla 4

Cantidad de puntos de muestreo

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Nota: Número mínimo de puntos de muestreo para el muestreo de identificación, por Guía para muestreo de suelos – 2014. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

3.2.6. Calidad ambiental canadiense

Estas pautas se formulan contemplando tanto a los receptores ecológicos como a las personas, quienes pueden verse expuestas a contaminantes por múltiples vías vinculadas a cuatro modalidades de uso del suelo. Un predio cuyos niveles de contaminantes se mantengan dentro de los valores de referencia asegura el funcionamiento apropiado del ecosistema y la capacidad de sostener tanto los usos vigentes como los potenciales usos futuros del sitio, en beneficio de los receptores ambientales y humanos, (Canadian environmental quality, 2023).

Tabla 5

Estándares de calidad ambiental canadiense (cobre)

Nombre químico	Grupos químicos	CASRN	Concentración (mg/kg peso seco) - Agricultura	Concentración (mg/kg peso seco) - Residencial/parque	Concentración (mg/kg peso seco) - Industrial	Concentración (mg/kg peso seco) - Extractivo	Fecha
Cobre	Metales Inorgánicos	7440-50-8	63	63	91	91	1999

Nota: Parámetros de calidad para suelos establecido por, CEQGs – 2017.

3.2.7. Estándares de calidad ambiental

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos constituyen un referente normativo de cumplimiento obligatorio destinado al diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y resultan pertinentes para los parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, (Ministerio del Ambiente, 2017).

Tabla 6*Estándares de calidad del suelo*

Parámetro (mg/kg PS)	Suelo Agrícola	Suelo Residencial / Parques	Suelo Comercial / Industrial / Extractivo	Método de ensayo
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 / EPA 3051
Bario total	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 & DIN EN 15192
Mercurio	6.6	6	24	EPA 7471 / EPA 6020 o 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 / EPA 3051
Cianuro Libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 / SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Nota: Parámetros de calidad para suelos establecido por, MINAM – 2014.

3.2.8. Parámetros de la calidad del suelo

A) Parámetros fisicoquímicos

Un parámetro fisicoquímico constituye una variable que caracteriza las propiedades físicas y químicas de una sustancia, en este contexto, del agua. Dichos indicadores se emplean para valorar la calidad del recurso hídrico y determinar su idoneidad para distintos fines de utilización. (Samboni Ruiz, 2007)

A.1) Potencial de hidrogenión (pH)

El pH es un indicador de la acidez o la basicidad del agua, definido por la actividad (concentración) de protones, H^+ , presentes en el medio. Su escala logarítmica (base 10) abarca de 0 a 14: un aumento de una unidad implica una disminución diez veces en la concentración de iones hidrógeno. Así, valores más bajos de pH denotan mayor acidez, mientras que valores más altos reflejan mayor basicidad, (Board, 2019).

La determinación del pH se efectúa con un sistema electroquímico de dos electrodos: un electrodo de vidrio con solución interna ácida y un electrodo de referencia. Al sumergirlos en la muestra, se establece una diferencia de potencial entre la solución interna del electrodo y el medio acuoso; dicha señal eléctrica, cuantificable por el medidor, se traduce en el valor de pH, (Board, 2019).

El pH en suelos de uso agrícola es un atributo crítico, pues condiciona directamente la asimilación de nutrientes por las plantas y regula múltiples reacciones químicas del medio edáfico. En términos generales, el intervalo óptimo para estos suelos se ubica entre 6,5 y 7,0, rango que propicia mayores rendimientos y una productividad más eficiente, (Ibarra Castillo, 2009).

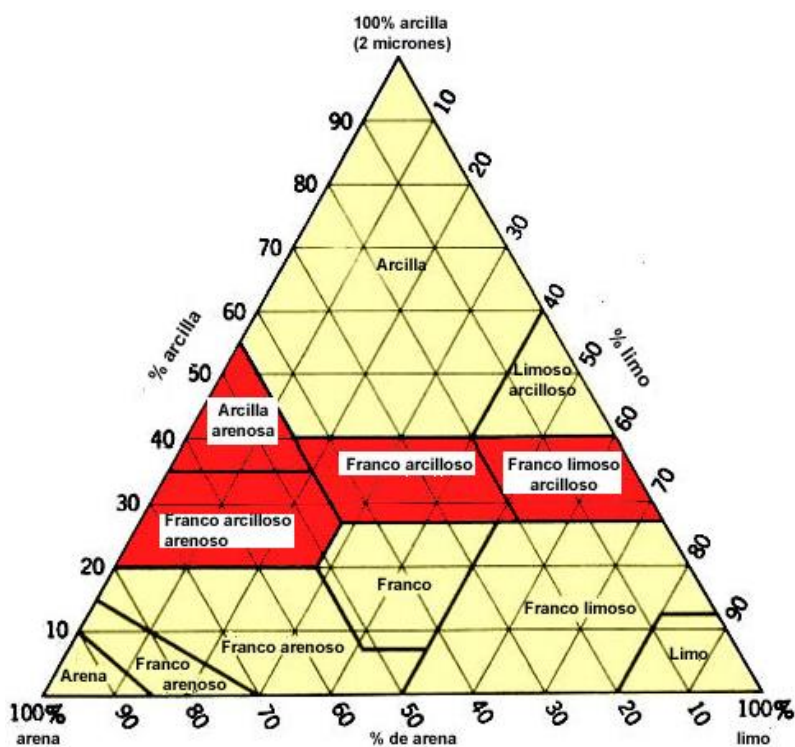
A.2) Textura del suelo

La textura constituye una propiedad física que caracteriza la composición y disposición estructural de un material, en especial su superficie y configuración interna. Este parámetro adquiere particular relevancia tanto en el ámbito de los alimentos como en el estudio del suelo, al influir en su comportamiento y funcionalidad, (FAO, Propiedades Físicas del Suelo, 2024)

La textura del suelo se evalúa mediante el triángulo textural, herramienta derivada de la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que se basa en la proporción de partículas según su tamaño. Este método permite identificar la clase textural del suelo, tal como se aprecia en la figura siguiente:

Figura 1

Triángulo textural



Nota: Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas. Tomado de https://docente.ifsc.edu.br/joao.quoos/textura_solo/textura.html

Según la figura los suelos se clasifican en los siguientes grupos:

Suelo limoso, el limo es la fracción granulométrica intermedia entre la arena y la arcilla. Al tacto resulta suave y harinoso; cuando está húmedo se percibe sedoso, aunque no llega a ser pegajoso. La arcilla constituye la partícula de menor tamaño dentro de las fracciones del suelo, (Ministerio Del Ambiente, 2014)

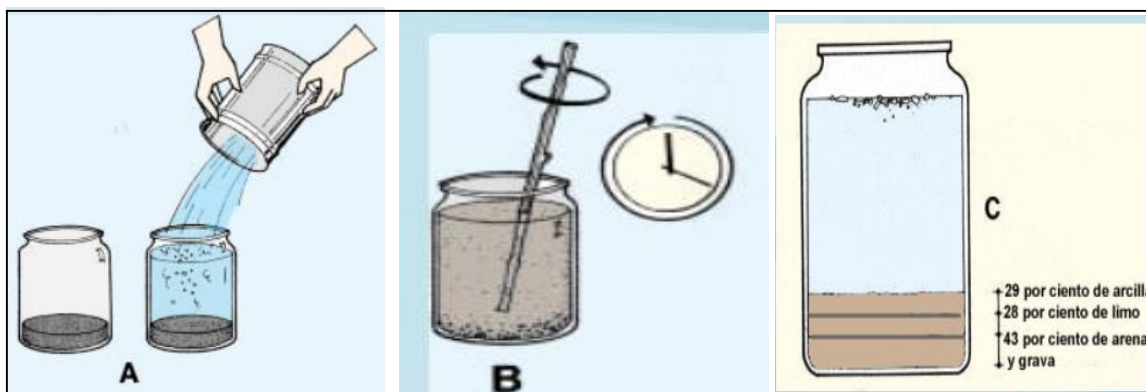
Suelo arcilloso, se denomina así a aquel suelo de textura fina, caracterizado por un alto contenido de partículas de arcilla. En contraste, los suelos arenosos presentan una textura más gruesa, debido a la predominancia de granos de mayor tamaño, (Ministerio Del Ambiente, 2014)

Suelo arenoso, este tipo de suelo está constituido predominantemente por arena, compuesta por partículas de origen silíceo provenientes de la fragmentación de rocas, (Ministerio Del Ambiente, 2014)

Prueba de la jarra de Manso. Es un procedimiento sencillo para estimar la fracción granulométrica (arena, limo y arcilla) de un suelo. Se introducen ~5 cm de muestra en una botella, se añade agua y se agita vigorosamente. Tras dejar en reposo ~1 hora, el agua se aclara y las partículas sedimentan por tamaño formando estratos: la arena se dispone en el fondo, el limo queda en la zona intermedia y la arcilla se acumula en la parte superior. Si el agua no se torna totalmente transparente, suele deberse a partículas finísimas de arcilla en suspensión. En la superficie pueden observarse fragmentos de materia orgánica flotando. Midiendo la altura de cada capa es posible calcular la proporción de cada fracción presente en la muestra, (Bird, 2023)

Figura 2

Método de la jarra de manso



Nota: Determina la cantidad de arena, limo y arcilla del suelo, por Rain – 2023 tomado de <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>

B) Parámetros microbiológico

El análisis microbiológico del suelo tiene como propósito examinar la diversidad y la actividad biológica de los microorganismos que habitan en él, tales como bacterias, hongos, actinomicetos, protozoos y otros organismos del microedafón. Estos desempeñan roles esenciales en los ciclos biogeoquímicos, en la descomposición de la materia orgánica y en la liberación de nutrientes aprovechables por las plantas. Este tipo de análisis ofrece información clave sobre la fertilidad y el estado sanitario del suelo, además de su capacidad para disminuir la incidencia de patógenos y favorecer el desarrollo óptimo de los cultivos, (M. Reynoso, 2015).

B.1) Recuento de bacterias viables

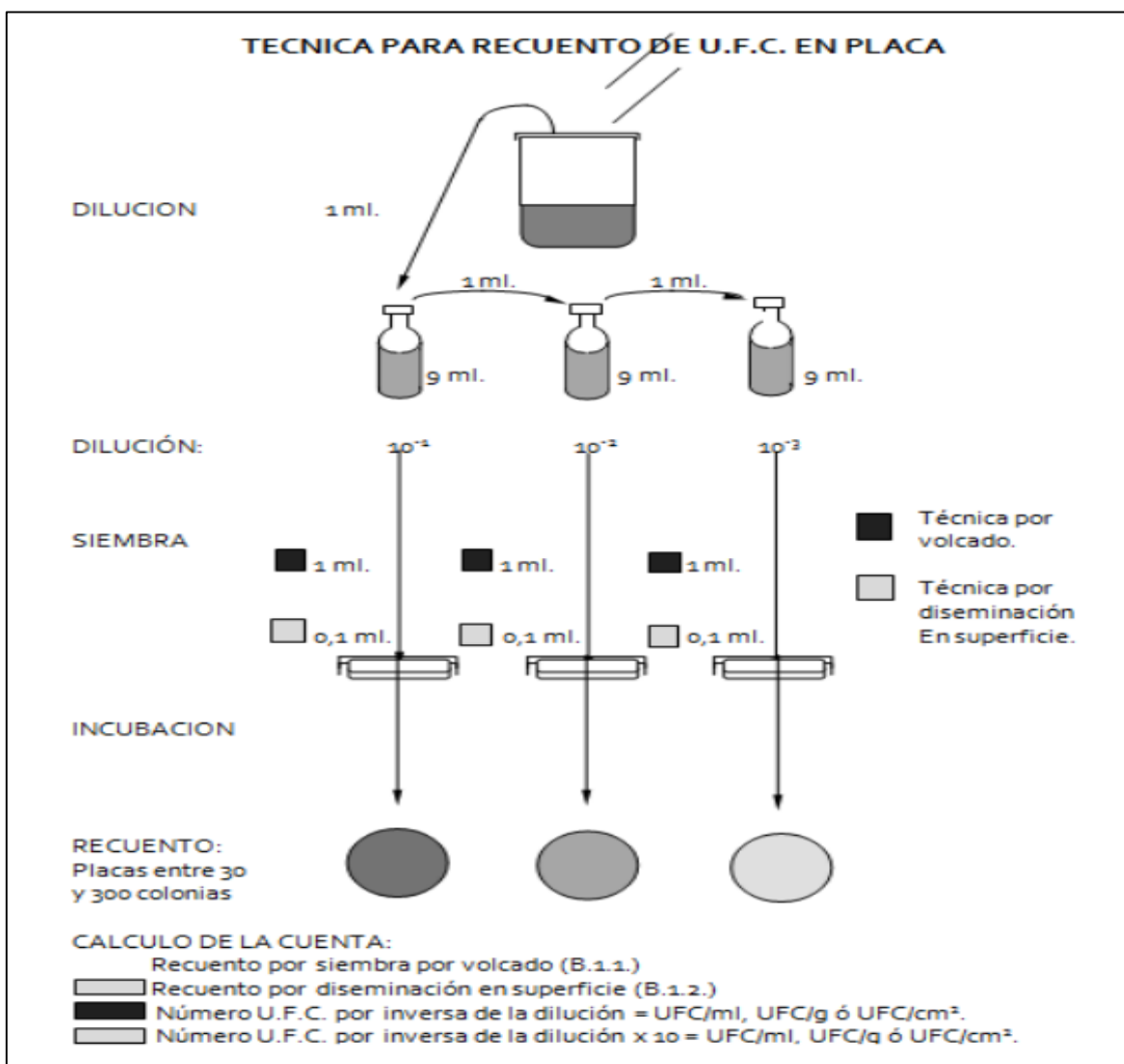
El recuento de bacterias viables es una técnica de enumeración microbiológica que estima la población de microorganismos cultivables en una muestra. Consiste en inocular un volumen conocido de la muestra (líquida o una dilución de un sólido) en una placa de Petri, verter agar atemperado a 45 °C y homogeneizar suavemente para distribuirla. Tras la solidificación del medio y la incubación, los microorganismos retenidos en la matriz originan colonias; el conteo de colonias expresado como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) refleja la cantidad de bacterias viables. Para mejorar la precisión, se emplea un rango contable de 30 a 300 colonias mediante series de dilución. Si las bacterias se encuentran en agregados (cúmulos o cadenas), cada agregado genera una colonia, lo que puede subestimar el número real de células individuales, (Microbiología Ambiental de Suelos, 2020).

Para determinar la UFC se usa la siguiente formula:

$$\frac{UFC}{mL \text{ de muestra}} = \frac{\text{Número de colonias} \times \text{factor de dilución}}{\text{Número de colonias} \times \text{factor de dilución}}$$

Figura 3

Técnica para recuento de U.F.C. en placa



Nota: Procedimiento para el recuento de la unidad formadora de colonias. Tomado de <https://cccalidadmedicamentos.blogspot.com/p/analisis-microbiologico.html>

Las bacterias son microorganismos procariotas de tamaño microscópico, cuyas dimensiones suelen variar entre 0,5 y 5 μm de longitud, y exhiben una amplia diversidad morfológica: pueden ser filamentosas, esféricas (cocos), alargadas (bacilos), curvadas con forma de coma (vibrios) o helicoidales (espirilos). Al ser procariotas, carecen de un núcleo delimitado y, en términos generales, no poseen orgánulos internos con membrana, a diferencia de las células

eucariotas de animales, plantas y hongos. La mayoría presenta una pared celular constituida por peptidoglucano, y muchas cuentan con flagelos u otros sistemas de locomoción que les permiten desplazarse activamente en su entorno, (Fernández, 2013)

Un hongo es un organismo eucariota perteneciente al reino Fungi, que puede presentarse unicelular como las levaduras o multicelular, como ocurre con los mohos. A diferencia de las plantas, carece de clorofila y, por tanto, no realiza fotosíntesis; en su lugar, asimila nutrientes mediante la descomposición de materia orgánica o actuando como parásito. Su cuerpo vegetativo o talo está constituido por hifas filamentosas que, al entrelazarse, conforman el micelio. Los hongos pueden propagarse de forma sexual o asexual mediante esporas, y habitan una amplia variedad de ambientes, incluidos el suelo, el agua y los sustratos orgánicos en descomposición, (Micología, 2017)

C) Parámetro de inorgánicos

Los parámetros inorgánicos comprenden la concentración de metales pesados y de otros elementos capaces de alterar la calidad del suelo y comprometer la inocuidad alimentaria.

Los metales pesados, como el arsénico, el plomo y el cadmio, pueden acumularse en el suelo a consecuencia de prácticas industriales o agrícolas, lo que deteriora la salud de los cultivos y representa un riesgo para los consumidores, (Castillo-Valdez et al., 2021).

Los parámetros inorgánicos se determinan mediante espectroscopía de absorción atómica, técnica basada en la capacidad de los átomos para absorber radiación luminosa a una longitud de onda específica, pasando de su estado fundamental a uno excitado. Durante este proceso, la intensidad de la luz absorbida se correlaciona directamente con la concentración del

elemento analizado, permitiendo cuantificar el número de átomos presentes en la muestra. (Londoño Escobar, 2010).

3.3. Definición de términos

- a. **Ambiente:** Se conceptualiza como el conjunto de factores físicos, químicos y biológicos, tanto de origen natural como antrópico, que envuelven a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia, (MINAM, 2014)
- b. **Cadena de custodia:** Procedimiento oficialmente registrado que define las pautas para la recolección, traslado, preservación y entrega de las muestras al laboratorio, con el fin de efectuar los análisis fisicoquímicos pertinentes, bajo la supervisión del personal responsable, (Ministerio Del Ambiente, 2014).
- c. **Calidad de suelo:** Se concibe como la aptitud inherente del suelo para cumplir múltiples funciones ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreativas. Refleja el estado del recurso edáfico determinado por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que le otorgan la capacidad de sostener un potencial ecosistémico tanto natural como derivado de intervenciones humanas, (Ministerio Del Ambiente, 2014).
- d. **Suelo:** Material no consolidado formado por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, que se distribuye desde la superficie terrestre hasta diferentes profundidades del subsuelo, (Ministerio Del Ambiente, 2014).
- e. **Textura del suelo:** La textura del suelo se describe como la proporción relativa de partículas de diversos tamaños principalmente arena, limo y arcilla que lo componen. Este atributo incide de forma directa en la facilidad de laboreo, en la retención de

agua y aire, así como en la tasa de infiltración y el desplazamiento del agua a lo largo del perfil edáfico, (Ministerio Del Ambiente, 2014)

- f. **Puntos de acopio:** Son áreas destinadas a la recepción, segregación y comercialización de residuos inorgánicos reutilizables como papel, cartón, vidrio, plásticos y metales, con el objetivo de generar beneficios socioeconómicos para la población vinculada a las labores de reciclaje en el ámbito urbano, (Mina, 2020).
- g. **Metales pesados:** Los metales pesados conforman un conjunto de elementos químicos de límites poco definidos, que comparten propiedades típicas de los metales. Este grupo incluye, en su mayoría, a los metales de transición, así como a determinados semimetales y a algunos elementos pertenecientes a las series de los lantánidos y actínidos, (Ministerio Del Ambiente, 2014)
- h. **Cobre (Cu):** El cobre es un metal de transición de matiz rojizo que aparece en la naturaleza tanto en estado nativo como integrado en compuestos, principalmente óxidos y sulfuros. Destaca por su alta conductividad eléctrica y térmica; en conductividad eléctrica solo lo supera la plata, y en conductividad térmica, el oro, (Mina, 2020).
- i. **Plomo (Pb):** El plomo es un metal dúctil y blando de tonalidad azul-grisácea que, en la naturaleza, aparece mayormente combinado con otros elementos formando diversos compuestos. Puede presentarse en especies químicas orgánicas e inorgánicas. El plomo inorgánico se encuentra con frecuencia en pinturas antiguas, en el suelo y en emisiones de combustión asociadas al uso de gasolinas plomadas, constituyendo una fuente relevante de contaminación ambiental, (Lenntech, 2024)

- j. **GPS:** El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), denominado NAVSTAR por sus siglas en inglés (NAVigation System and Ranging – Global Positioning System), es un sistema de navegación y medición de distancias que posibilita determinar con alta precisión la ubicación geográfica en cualquier punto del planeta, (Ministerio Del Ambiente, 2014).
- k. **pH:** El pH es un indicador cuantitativo del nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia. Se expresa en una escala numérica de 0 a 14, donde el valor 7 representa la neutralidad. Los valores menores a 7 señalan un medio ácido, mientras que los mayores a 7 corresponden a un medio básico o alcalino, (Ángel, 2024)
- l. **Solución buffer pH-4:** Es un líquido de alta estabilidad empleado en la calibración de instrumentos de medición de pH, correspondiente a una solución tampón con valor de pH 4.01, (Instruments, 2024)
- m. **Solución buffer pH-7:** Es una solución tampón con pH 7, de gran estabilidad, utilizada para la calibración y verificación de electrodos de pH en equipos de medición, (Instruments, 2024)
- n. **Textura del suelo:** La textura del suelo se describe como la relación proporcional entre las partículas de diferentes tamaños fundamentalmente arena, limo y arcilla que lo constituyen. Este atributo físico incide de manera determinante en la facilidad de laboreo, en la capacidad de retener agua y aire, y en la velocidad de infiltración y circulación del agua a lo largo del perfil edáfico. (Ministerio Del Ambiente, 2014)
- o. **Potenciómetro:** El método potenciométrico es una técnica electroquímica que cuantifica la diferencia de potencial (fem) entre un electrodo de referencia usualmente

Ag/AgCl y un electrodo sensible al pH, para estimar la actividad de iones hidrógeno en una disolución. Sustentado en la ecuación de Nernst, permite determinar con precisión el grado de acidez o basicidad, y sobresale por su sencillez operativa, bajo costo y extenso uso en análisis ambientales, agrícolas y clínicos, (Hong et al., 2019).

- p. **Bacterias:** Las bacterias son microorganismos unicelulares que pueden ser provechosas o patógenas. Algunas originan enfermedad al sortear las defensas del sistema inmunitario, y su repercusión clínica depende del estado de salud del hospedador, (Soni et al., 2024).
- q. **Bacilos:** Las bacterias con morfología bacilar poseen una forma alargada o cilíndrica, lo que les facilita optimizar procesos biológicos como la captación de nutrientes, la movilidad activa y la adaptación a diversos ambientes, (Teeseling et al., 2017).
- r. **Cocobacilos:** Los cocobacilos son bacterias cuya morfología intermedia combina rasgos de los cocos de forma esférica y de los bacilos de contorno alargado. Su estructura ovalada resulta de alteraciones en la síntesis y disposición del peptidoglucano, moduladas por factores ambientales y genéticos, (Teeseling et al., 2017).
- s. **Hongos:** Los hongos son eucariotas cuya clasificación permanece en revisión debido a su enorme heterogeneidad genética y morfofuncional. Los estudios genómicos y filogenómicos han puesto de relieve una historia evolutiva intrincada y la imposibilidad de fijar un rasgo único y definitorio, lo que mantiene al reino Fungi en reconfiguración constante dentro del árbol de la vida, (Richards et al., 2017)

- t. **Macrosifonado:** Los hongos macrosifonados son aquellos visibles sin ayuda de instrumentos ópticos, que abarcan principalmente especies con morfologías de sombrilla, copa o coral, así como formas lignícolas que se desarrollan sobre la corteza de los árboles, (López et al., 2009).
- u. **Saprofitas:** Los hongos saprófitos desempeñan una función fundamental en el reciclaje de nutrientes, al degradar la materia orgánica vegetal por medio de amplias redes de hifas, las cuales favorecen la liberación y distribución de nutrientes dentro del suelo, (Crowther et al., 2012).
- v. **Filo Ascomycota:** El filo Ascomycota comprende hongos de morfología diversa, que van desde levaduras unicelulares hasta formas filamentosas constituidas por hifas septadas o divididas por tabiques, (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019).

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

4.1.1. Tipo de Investigación

Según Lozada (2014), corresponde a una Investigación básica. La investigación básica apunta a producir conocimiento nuevo sin una aplicación inmediata; se orienta a aplicar y extender los fundamentos teóricos para profundizar en la comprensión de fenómenos naturales o sociales, sin perseguir un fin práctico de corto plazo”.

La presente tesis tiene como finalidad evaluar la calidad del suelo agrícola en los puntos de acopio del sector Pachachaca, con el propósito de analizar científicamente su estado actual y generar una base de información que sirva de sustento para futuras investigaciones o propuestas orientadas a su mejora.

4.1.2. Nivel de Investigación

Según Hernández-Sampieri, (2018) corresponde a un nivel de Investigación descriptivo. “el nivel de investigación descriptivo se enfoca en identificar y detallar las propiedades y características esenciales de un fenómeno sujeto a análisis. Su propósito es medir o recopilar información, ya sea de forma individual o conjunta, respecto a las variables involucradas”.

4.1.3. Diseño

Según Hernández-Sampieri, (2018) “La investigación no experimental se define como aquella en la cual el investigador no interviene ni manipula deliberadamente las variables independientes, sino que observa y registra los fenómenos tal como se manifiestan en su entorno natural, de manera objetiva y sistemática”.

4.1.4. Enfoque

Según Hernández-Sampieri, (2018) “El enfoque cuantitativo se basa en la medición y valoración numérica de los fenómenos, utilizando datos cuantificables que posteriormente son analizados mediante métodos estadísticos, con el fin de describir, explicar o predecir los problemas de investigación”.

En esta tesis se caracterizó la calidad del suelo agrícola a partir de los resultados de los análisis físico, químico, microbiológico e inorgánico. Dichas determinaciones describen su estado actual sin manipular variables ni plantear relaciones de causa efecto. El estudio se limita a observar, medir y reportar las propiedades del suelo tal como se presentan, aportando información objetiva y precisa sobre su condición.

4.2. *Ámbito Temporal y espacial*

4.2.1. Ámbito Temporal

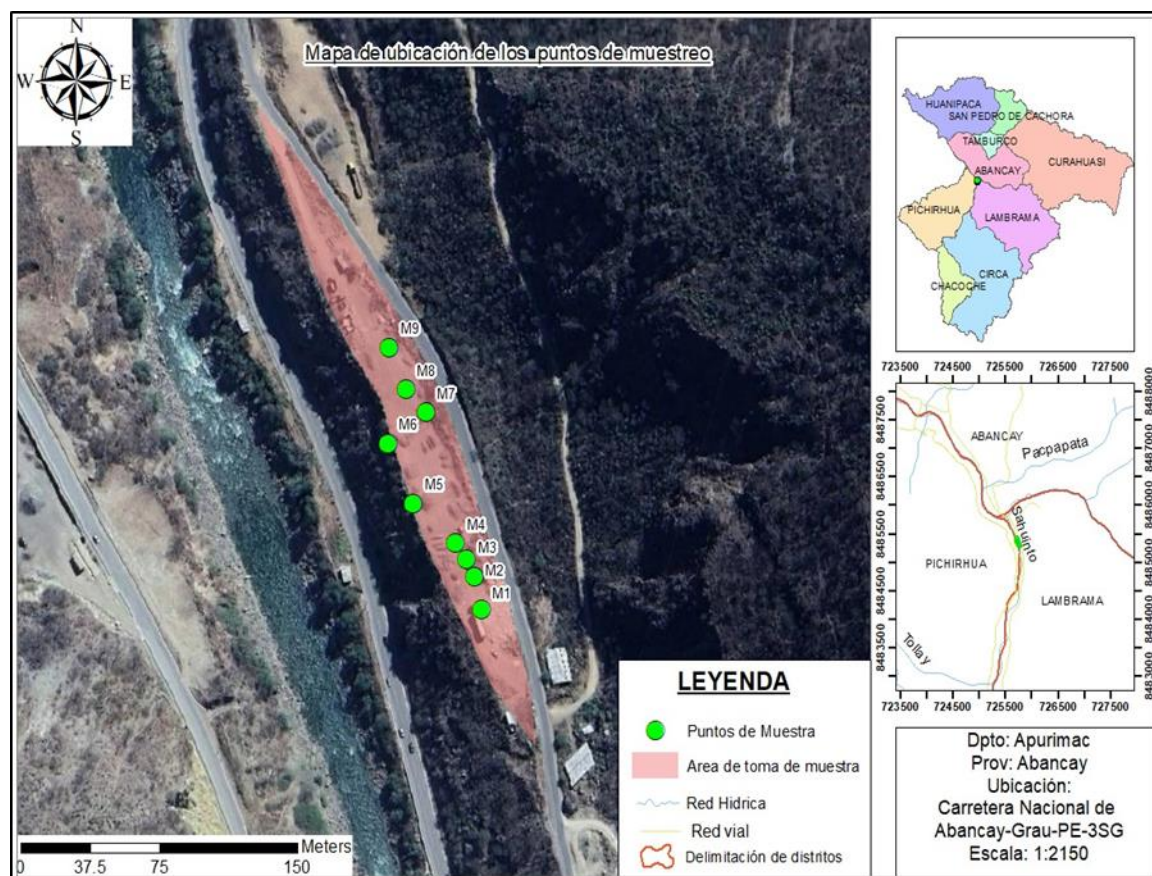
La investigación se desarrolló a lo largo de 15 meses, desde noviembre de 2023 hasta febrero de 2025, abarcando todas las fases del proceso: formulación del proyecto de tesis, redacción del informe y ejecución del estudio. Este cronograma se adoptó para cumplir con eficiencia los objetivos planificados.

4.2.2. Ámbito Espacial

La investigación se sitúa dentro del área de influencia del sector Pachachaca, localizándose el punto de acopio de minerales sobre la vía Interoceánica, a la altura del km 490+250 del tramo San Juan de Marcona–Abancay, a una elevación de 1 798 m s. n. m.. La ubicación corresponde a las coordenadas UTM: 14°07'59" E, 73°16'07" N.

Figura 4

Ubicación tramo para San Juan de Marcona (Sector Pachachaca) - Abancay



Nota: Elaboración propia

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

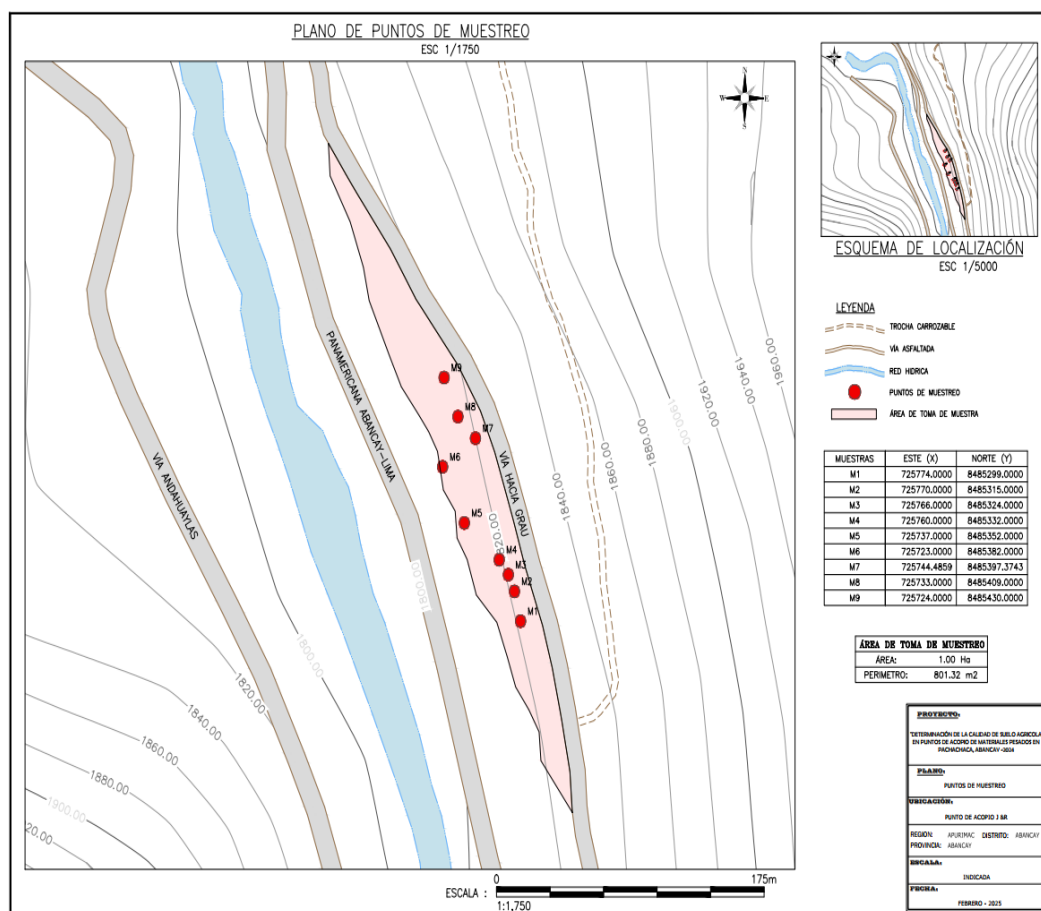
Según (López P. , 1994), La población se define como el conjunto de individuos u objetos sobre los cuales se pretende obtener información, con el propósito de identificarlos y analizar una amplia variedad de factores o características que puedan medirse dentro del grupo en estudio.

los integrantes de la población poseen la misma probabilidad de ser seleccionados, lo que limita la representatividad estadística de los resultados”. Por lo tanto, en esta investigación se utilizó el método no probabilístico por conveniencia para estudiar un punto de acopio MINEX.

Se adoptaron los lineamientos de la “Guía para muestreo de suelos” del MINAM, aplicando el muestreo por identificación (MI) para seleccionar los puntos de estudio, con el objetivo de verificar si el suelo excede o no los Estándares de Calidad Ambiental. Se obtuvieron nueve muestras conforme al área de potencial interés, con profundidad de 0–30 cm para suelo agrícola. De cada punto se extrajeron 10 kg, acumulando 90 kg de muestras para su análisis.

Figura 6

Ubicación de los puntos de muestreo



Nota: Elaboración propia

4.4. Instrumentos

El instrumento utilizado fue la ficha de levantamiento de datos: un formato estructurado que permite consignar información de campo y laboratorio sobre los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e inorgánicos del suelo analizado. Su propósito es uniformizar el registro para asegurar la fiabilidad y la reproducibilidad de los resultados.

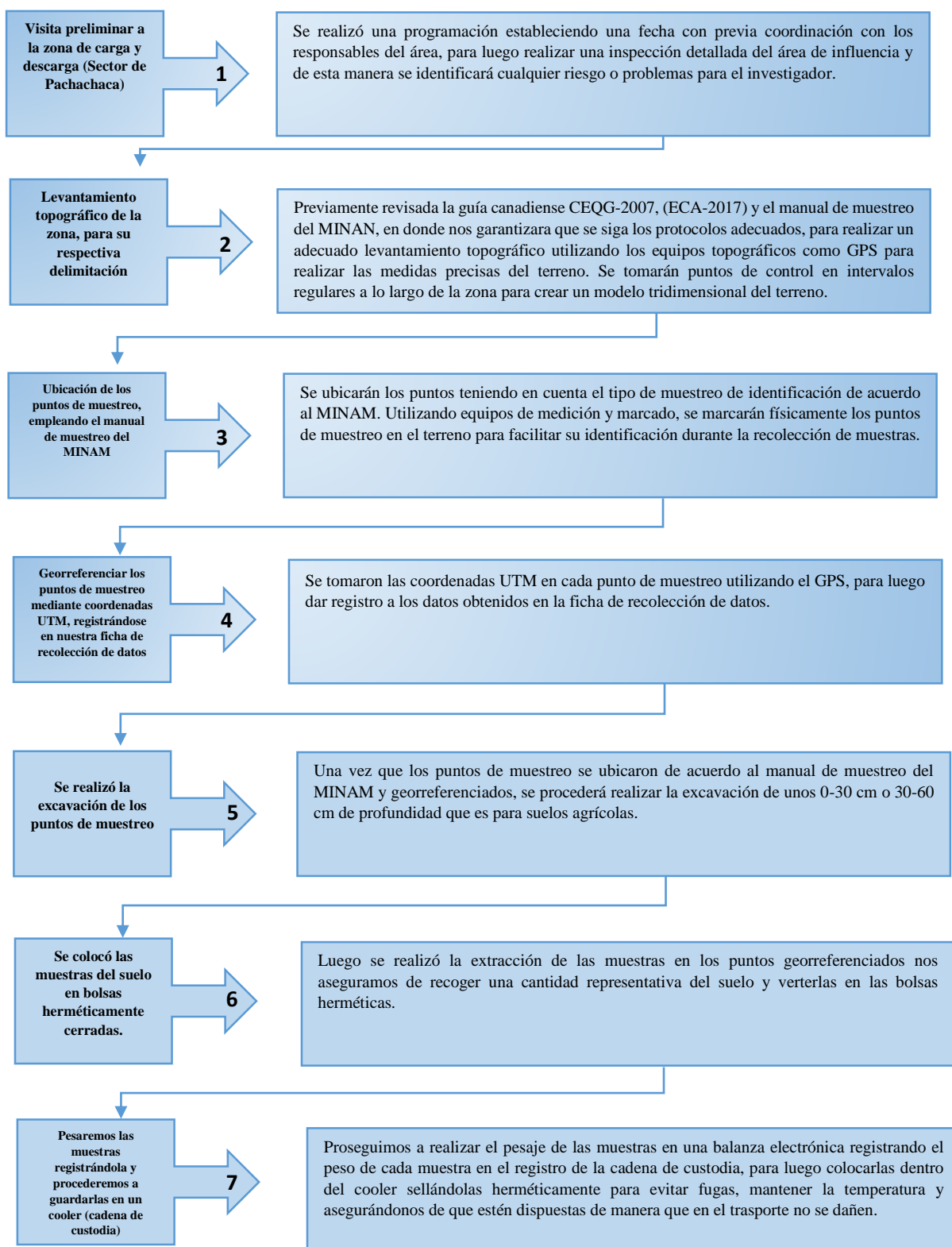
4.5. Procedimiento

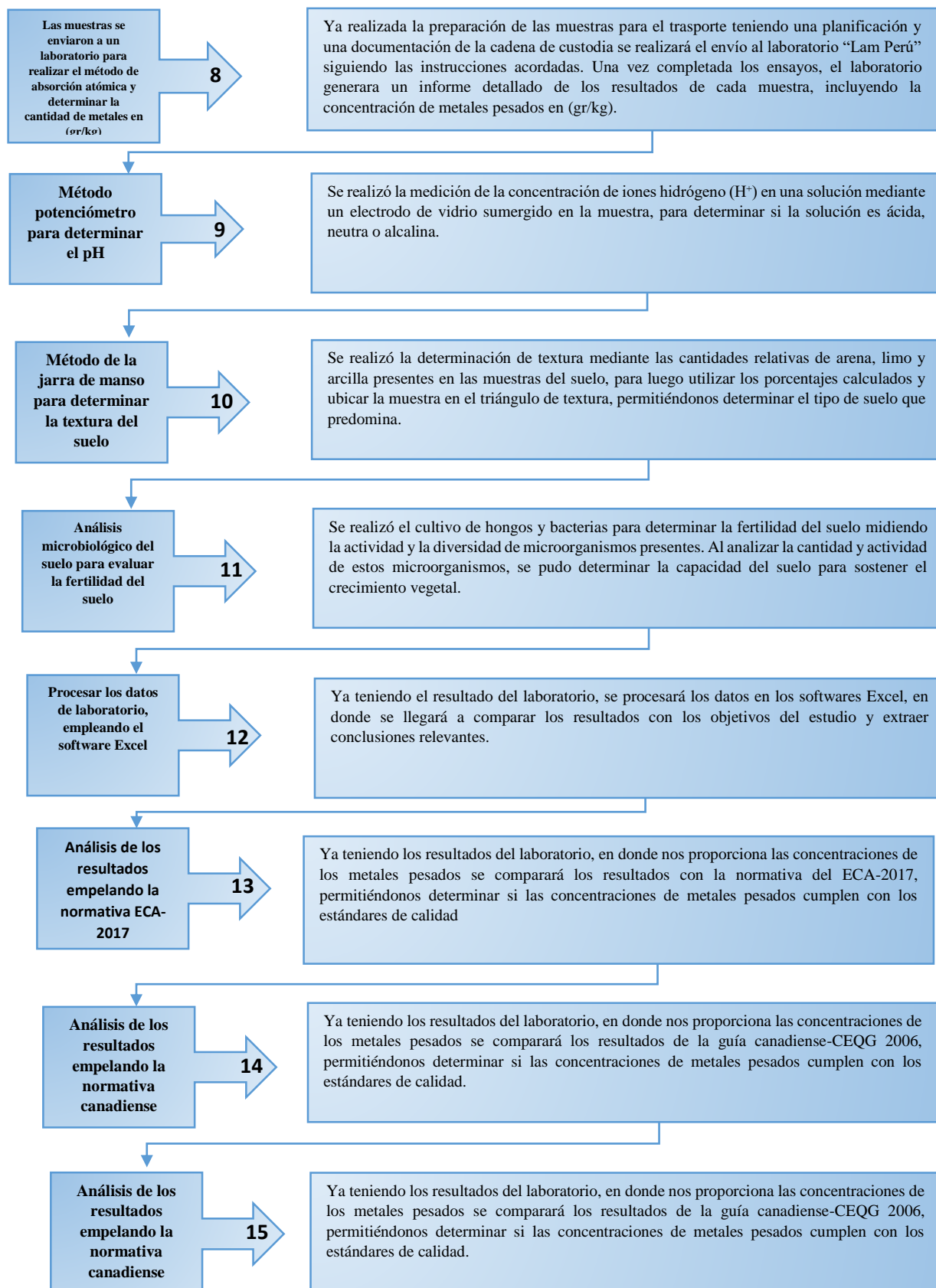
(Tmayo, 2003) El método científico se define como un conjunto sistemático de procedimientos que permite identificar y analizar las condiciones bajo las cuales ocurren determinados fenómenos, caracterizándose por ser verificable, lógico y fundamentado en la observación empírica, lo que garantiza la validez y objetividad del conocimiento obtenido.

En este contexto, esta investigación siguió una secuencia lógica para abordar el problema general.

Figura 7

Flujograma de procedimiento





En este estudio se efectuó una interpretación cuantitativa de los datos y resultados mediante estadística descriptiva, con el propósito de delimitar y caracterizar las variables analizadas. La información se organizó en tablas y gráficos de barras, utilizando Microsoft Excel como herramienta de procesamiento y análisis para garantizar un tratamiento adecuado de los datos.

Los resultados analíticos fueron comparados con el ECA – 2017 para suelos del Perú y el CEQGs – 2014. Para determinar si el suelo está contaminado.

4.6. Consideraciones éticas

Para el desarrollo de la investigación, todas las citas textuales se consignaron conforme a la norma APA. La recolección de muestras se efectuó in situ, con el consentimiento del propietario del área evaluada, dado que el propósito central fue examinar la calidad del suelo. Del mismo modo, los resultados de los distintos ensayos no fueron modificados, pues se observaron rigurosamente las directrices establecidas.

El uso de la herramienta Turnitin garantizara la inexistencia de plagio y la originalidad del autor.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados descriptivos

A continuación, se presenta las tablas y figuras de los resultados descriptivos obtenidos de los análisis realizados a las muestras del suelo.

A) Resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo agrícola

Tabla 7

Características de la textura del suelo

Muestra	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase de textura
M-1	35.71	25.00	39.29	Franco arcilloso
M-2	25.64	35.90	38.46	Franco arcilloso
M-3	48.00	20.00	32.00	Franco arcilloso arenoso
M-4	35.29	26.47	38.24	Franco arcilloso
M-5	43.33	20.00	36.67	Franco arcilloso arenoso
M-6	41.38	20.69	37.93	Franco arcilloso arenoso
M-7	51.85	7.41	40.74	Franco arenoso
M-8	47.06	20.59	32.35	Franco arcilloso arenoso
M-9	48.39	6.45	45.16	Franco arenoso

Nota: Elaboración propia

La tabla anterior muestra el resultado de las muestras analizadas, donde se observa que presentan variaciones en la proporción de arena, limo y arcilla, determinando diferentes clases de textura del suelo. Las muestras M-1, M-2, M-4 presentan porcentajes significativa de arcilla (38–39%), en cuanto a las M-3, M-5, M-6 y M-8 muestran mayor proporción de franco arcilloso arenoso, lo que sugiere una textura más suelta y permeable. Las muestras M-7 y M-9, con porcentajes elevados de arena (más del 48%) y bajo limo, son clasificadas como franco arenoso, indicando suelos más permeables y con menor capacidad de retención hídrica. Estas variaciones en la textura del suelo son relevantes para la calidad agrícola y la capacidad de retener metales pesados, impactando la movilidad y bioacumulación de estos contaminantes en el suelo.

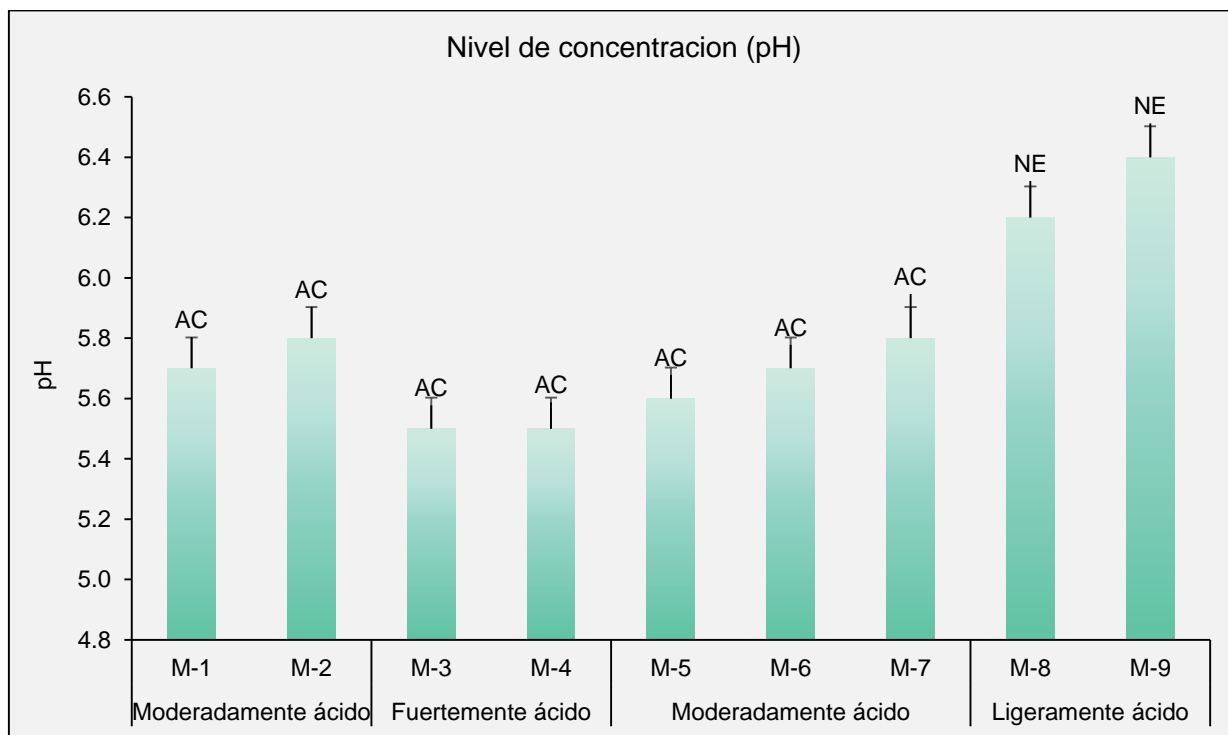
Tabla 8*Promedio del nivel de pH del suelo agrícola*

Muestra	Evaluación	Nº De prueba	Nivel de concentración (pH)	Promedio del pH
M-1	Moderadamente ácido	P1	5.6	5.7
	Moderadamente ácido	P2	5.7	
	Moderadamente ácido	P3	5.9	
M-2	Moderadamente ácido	P1	5.8	5.8
	Moderadamente ácido	P2	5.9	
	Moderadamente ácido	P3	5.6	
M-3	Moderadamente ácido	P1	5.6	5.5
	Fuertemente ácido	P2	5.4	
	Fuertemente ácido	P3	5.5	
M-4	Fuertemente ácido	P1	5.5	5.5
	Fuertemente ácido	P2	5.3	
	Moderadamente ácido	P3	5.6	
M-5	Moderadamente ácido	P1	5.8	5.6
	Moderadamente ácido	P2	5.7	
	Fuertemente ácido	P3	5.4	
M-6	Fuertemente ácido	P1	5.5	5.7
	Moderadamente ácido	P2	5.8	
	Moderadamente ácido	P3	5.9	
M-7	Moderadamente ácido	P1	5.8	5.8
	Moderadamente ácido	P2	5.6	
	Moderadamente ácido	P3	5.9	
M-8	Moderadamente ácido	P1	6	6.2
	Ligeramente ácido	P2	6.4	
	Ligeramente ácido	P3	6.2	
M-9	Ligeramente ácido	P1	6.4	6.4
	Ligeramente ácido	P2	6.3	
	Ligeramente ácido	P3	6.6	

Nota: Elaboración propia

Figura 8

Variación del promedio del pH



Nota: Elaboración propia

La tabla y figura muestra el análisis de los niveles promedio de pH en las muestras de suelo del sector de Pachachaca, donde las muestras M-1, M-2, M-5, M-6 y M-7 se clasifican como moderadamente ácidas, con valores pH entre 5.6 y 5.8. esto indica que la acidez es consistente en las muestras, mientras que en las muestras M-3 y M-4 presentan un pH promedio ligeramente menor de 5.5, ubicándose en la categoría de fuertemente ácidas. Esto sugiere condiciones de mayor acidez en estas zonas, lo que podría intensificar la liberación y movilidad de metales pesados en el suelo, las muestras M-8 y M-9 exhiben los valores más altos de pH, con un promedio de 6.2 y 6.4 respectivamente, clasificándose como ligeramente ácidas y cercanas a la neutralidad.

B) Resultados de los parámetros microbiológicos del suelo agrícola

Tabla 9

Resultado de recuento de colonias bacterianas por cada punto de muestreo

Análisis	N° de muestra	Tinción	Morfología	UFC
Recuento en placa para bacterias	M-1	Gran (-)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	55
	M-2	Gran (+)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	53
	M-3	Gran (+)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	40
	M-4	Gran (-)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	36
	M-5	Gran (+)	Forma: Cocobacilos, es una mezcla de cocos y bacilos	33
	M-6	Gran (+)	Forma: Cocobacilos, es una mezcla de cocos y bacilos	30
	M-7	Gran (-)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	25
	M-8	Gran (+)	Forma: Cocobacilos, es una mezcla de cocos y bacilos	27
	M-9	Gran (-)	Forma: Bacilos, alargadas con forma de bastón.	25

Nota: Elaboración propia

La tabla muestra resultado del análisis microbiológico del suelo en los nueve puntos de muestreo en Pachachaca, en la tinción de bacterias reveló una predominancia de Gram positivas

en las muestras M-2, M-3, M-5, M- 6, M-8 y Gram negativas en las muestras M-1, M-4, M-7, M-9 con morfologías mayoritariamente bacilares alargadas en forma de bastón, salvo algunas muestras que presentan cocobacilos, una morfología intermedia entre cocos y bacilos (muestras M-5, M-6, M-8).

Los valores de unidades formadoras de colonias (UFC) oscilan entre 25 y 55 UFC, indicando variabilidad en la densidad bacteriana del suelo entre puntos muestreados. La mayor concentración bacteriana se observa en la muestra M-1 (55 UFC), con bacterias Gram negativas y morfología bacilar, mientras que la menor se registra en las muestras M-7 y M-9 (25 UFC), también Gram negativas y bacilares.

Esta diversidad bacteriana refleja la complejidad microbiológica del suelo en zonas contaminadas, donde tanto bacterias Gram positivas como negativas pueden tener roles diferenciados en la biotransformación y movilidad de metales pesados. La presencia de cocobacilos sugiere adaptaciones morfológicas posiblemente relacionadas con condiciones ambientales específicas del suelo.

Tabla 10*Resultado de recuento de colonias fúngicas por cada punto de muestreo*

Análisis	N° de muestra	Tinción	Morfología	UFC
Recuento en placa para hongos	M-1		<u>Forma:</u> Macrosifonado, Hifas	60
	M-2		<u>Forma:</u> Saprofitas, Esporas	56
	M-3		<u>Forma:</u> Saprofitas, Esporas	42
	M-4	Azul de Lactofenol	<u>Forma:</u> Filo ascomycota, filamentoso hialino	35
	M-5		<u>Forma:</u> Filo ascomycota, filamentoso hialino	30
	M-6		<u>Forma:</u> Saprofitas, Esporas	29
	M-7		<u>Forma:</u> Saprofitas, Esporas	26
	M-8		<u>Forma:</u> Filo ascomucota, filamentoso hialino	7
	M-9		<u>Forma:</u> Saprofitas, Esporas	7

Nota: Elaboración propia

La Tabla 7, muestra el análisis microbiológico de hongos en suelo agrícola en puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca, donde se evidencia una diversidad morfológica representada principalmente por formas saprofitas con esporas y hongos filamentosos pertenecientes al filo Ascomycota, con hifas hialinas, que son características de hongos capaces de descomponer materia orgánica en el suelo.

Las muestras M-1 y M-2 presentan mayor abundancia con 60 y 56 UFC respectivamente, destacando en M-1 la tinción con azul de lactofenol que permite observar estructuras macrosifonadas e hifas bien definidas. Las muestras M-3 a M-7 mantienen un recuento intermedio (26-42 UFC), con predominancia de hongos saprofitas y ascomicetos filamentosos, indicando una comunidad fúngica activa y diversa que puede contribuir a la descomposición y ciclado de nutrientes en el suelo.

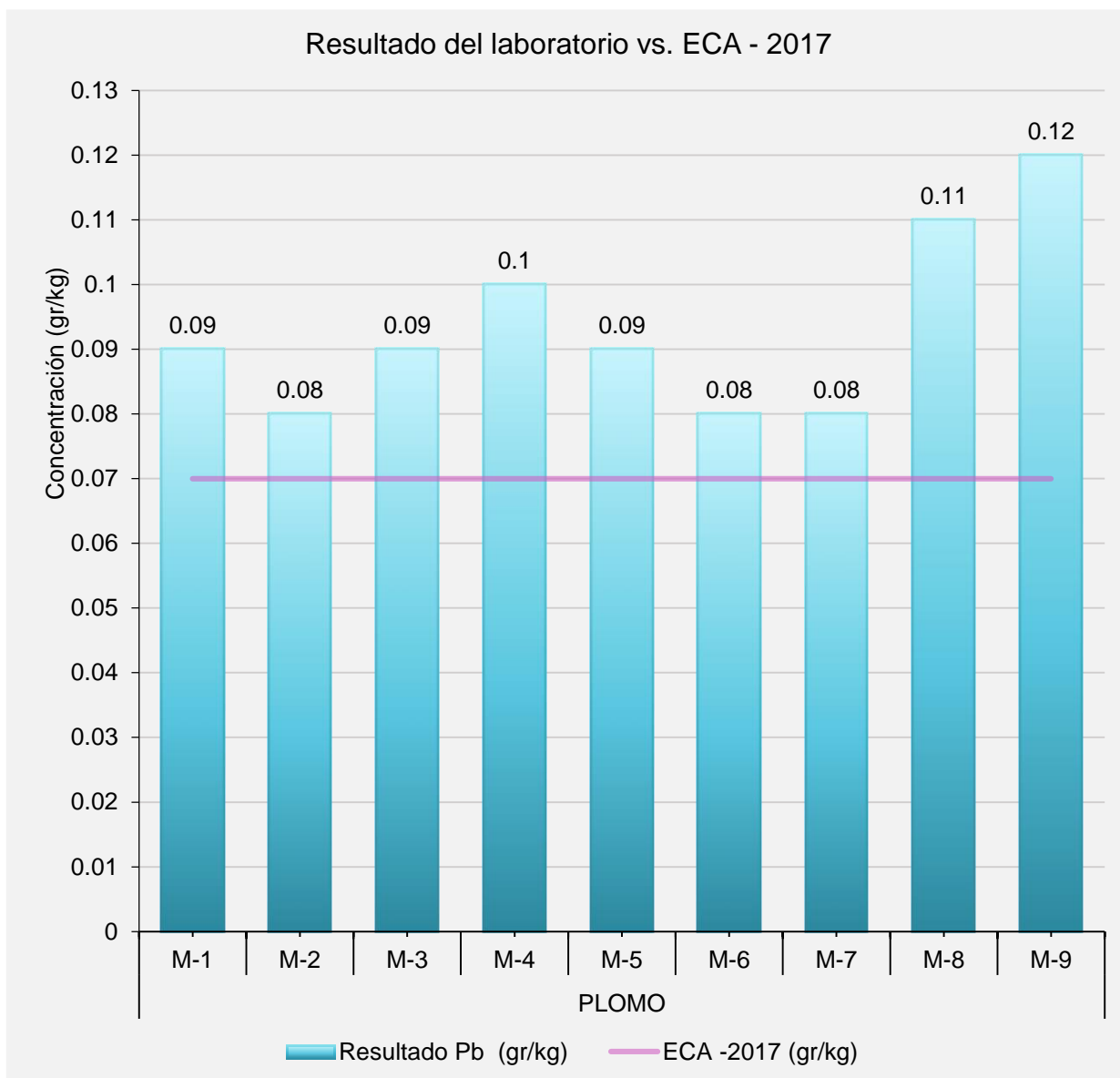
Las muestras M-8 y M-9 presentan los valores más bajos (7 UFC), lo que podría estar asociado a condiciones ambientales menos favorables o a la influencia de metales pesados que afectan la proliferación fúngica.

Este perfil micológico es relevante para la evaluación de la calidad biológica del suelo y para la posible implementación de técnicas de biorremediación basadas en hongos, dada su capacidad para transformar y degradar contaminantes orgánicos y metales pesados mediante mecanismos de bioadsorción y biotransformación.

C) Resultados de los parámetros inorgánicos del suelo

Figura 9

Niveles de plomo (Pb) en relación con el ECA – 2017



Nota: Elaboración propia

En la figura presentada se compara los niveles de concentración de plomo (Pb) en muestras de suelo (M-1 a M-9) con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas del Perú – Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM, cuyo valor referencial es 0.07

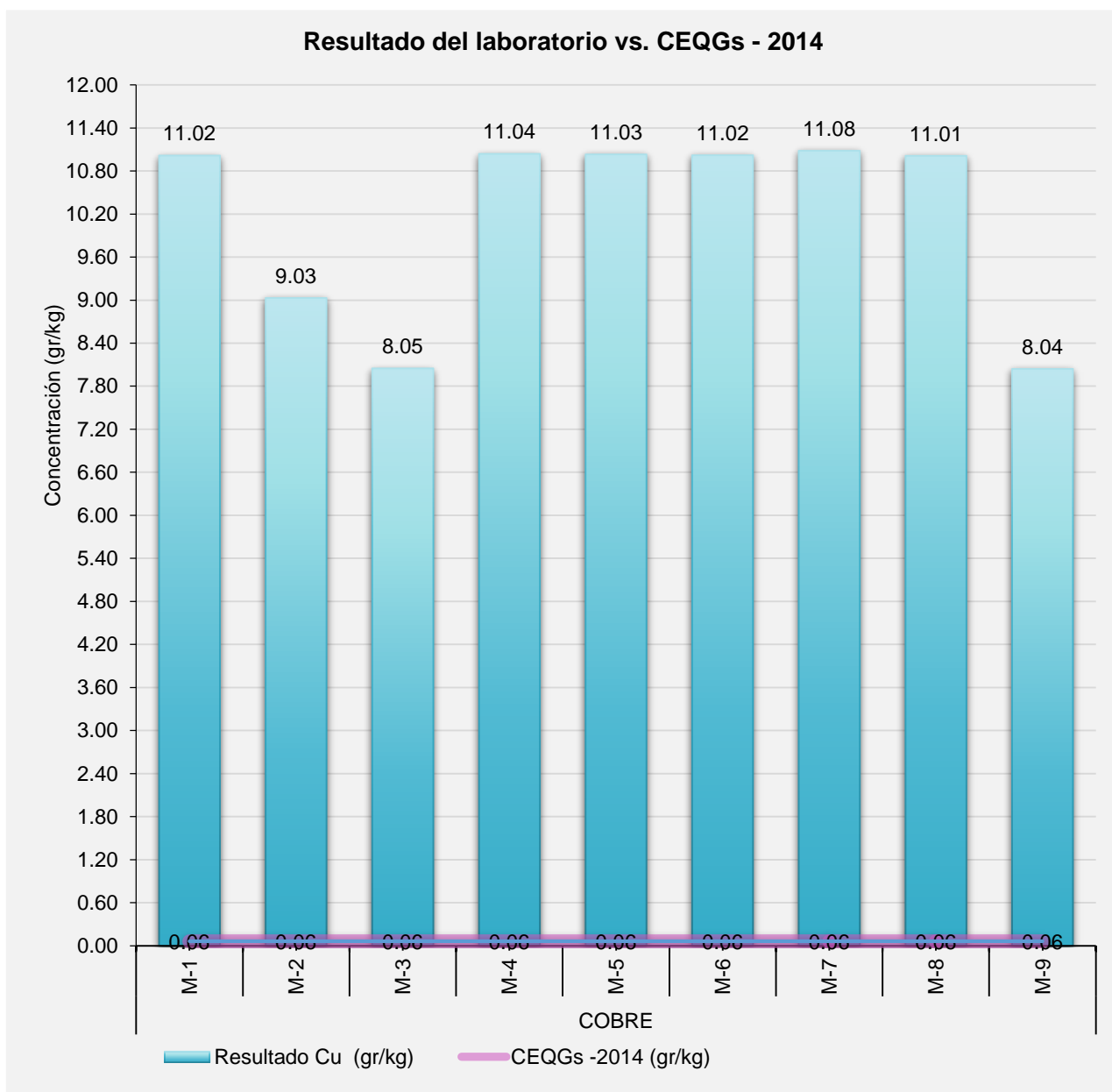
gr/kg, observando que las nueve muestras superan el límite establecido por el ECA-2017 que es de (0.07 gr/kg). Las concentraciones varían entre 0.08 gr/kg (M-2, M-6, M-7) y 0.12 gr/kg (M-9), siendo las muestras con mayor concentración de plomo la M-9 con 0.12 gr/kg, la M-8 con 0.11 gr/kg y la M-4 con 0.10 gr/kg.

La presencia de plomo en todas las muestras por encima del límite legal implica una contaminación generalizada en los puntos de acopio evaluados. Las muestras M-8 y M-9 muestran niveles que superan el ECA en más de 70%, lo que representa un riesgo ambiental significativo, tanto para la salud del suelo, la biota microbiana, como para la seguridad alimentaria si estos suelos son usados con fines agrícolas.

La movilidad del plomo en el suelo está influenciada por factores como el pH ácido, la textura arcillosa, y la actividad microbiológica, condiciones que ya fueron descritas en las muestras anteriores y que podrían estar favoreciendo su retención y bioacumulación, observándose un riesgo ecológico alto, especialmente en suelos con baja capacidad de inmovilización del plomo.

Figura 10

Niveles de cobre (Cu) en relación con el límite de CEQGs – 2014



Nota: Elaboración propia

La figura muestra el análisis de la concentración Cu en suelos agrícolas comparado con los límites máximos permisibles según la Directrices canadienses sobre la calidad del suelo (CEQGs) del 2014, cuyo valor referencial es aproximadamente 0.3 gr/kg, es así que se observa

que las concentraciones de cobre en todas las muestras oscilan entre 8.04 gr/kg (M-9) y 11.08 gr/kg (M-7), valores considerablemente superiores al límite establecido por la CEQGs, todas las muestras superan en más de 25 veces el valor permitido, evidenciando una contaminación severa por cobre en la zona de estudio. Las muestras M-4, M-5, M-6, M-7 y M-8 presentan los valores más elevados, superando los 11 gr/kg, indicando focos de contaminación intensos.

Las concentraciones elevadas de cobre reflejan una acumulación significativa de este metal pesado en el suelo, potencialmente asociada a actividades antropogénicas, como el manejo y almacenamiento de metales, que pueden afectar negativamente la calidad del suelo y la salud ambiental. El cobre en altas concentraciones es tóxico para microorganismos benéficos del suelo, puede inhibir procesos de descomposición y afectar la fertilidad del suelo. Además, representa un riesgo para los cultivos agrícolas y para la salud humana a través de la bioacumulación en la cadena alimentaria.

5.2. Discusión

La discusión de los resultados obtenidos en la tesis sobre la calidad del suelo agrícola con la presencia de metales pesados en los puntos de acopio de Pachachaca, Abancay, se contextualiza a nivel internacional y nacional, en comparación con estudios previos relacionados con la contaminación del suelo, la biodiversidad microbiana y los impactos de los metales pesados en la salud ambiental.

El análisis de la textura del suelo mostró variaciones notables, en la M-4 presentó el mayor contenido de arena (48.50%), mientras que la M-2 mostró el mayor contenido de limo (30.56%), y la M-3 presentó la mayor concentración de arcilla (40.74%). En cuanto al pH, las muestras presentaron valores que oscilan entre 5.5 y 6.4, lo que indica un suelo ligeramente

ácido, en las muestras M-3 y M-4 muestran valores más bajos (5.5), y la M-9 el más alto (6.4). La distribución homogénea en la mayoría de las muestras sugiere una ligera variabilidad en el pH debido a factores ambientales.

El análisis microbiológico reveló una diversidad de hongos con un recuento de colonias que vario de 7 a 60 UFC y bacterias con un recuento de colonias de 25 a 55 UFC, las muestras mostraron una combinación de bacterias Gram positivas y negativas, Esto sugiere que los suelos presentan una variedad de condiciones que pueden influir en su capacidad de recuperación y salud.

En cuanto a los parámetros inorgánicos, los resultados de la determinación de metales pesados (plomo y cobre) en las muestras mostraron niveles que exceden los límites establecidos por las normativas ambientales (ECA-2017 y CEQG-2006). El plomo (Pb) superó el límite de 0.07 gr/kg en todas las muestras, alcanzando hasta 0.12 gr/kg en la muestra M-9. Por otro lado, el cobre (Cu) también superó el límite de 0.06 gr/kg en varias muestras, con valores de hasta 11.20 gr/kg en la M-1. Estos resultados indican una posible contaminación por metales pesados, lo que podría afectar la calidad agrícola del suelo en la zona de estudio.

En conjunto, estos resultados permiten concluir que los puntos de acopio de metales pesados en Pachachaca presentan una serie de factores que afectan la calidad del suelo agrícola, principalmente debido a la presencia de metales pesados.

En la investigación de Simon (2018), titulada “Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando *Brassica campestris* L., en la Estación Experimental El Mantaro - Junín”, determinó que los suelos de los lotes A, B y C presentan valores de pH (7.48, 7.94, 7.90) y una textura franco uniforme. Sin embargo, en la investigación realizada en el punto de

acopio de metales pesados del sector Pachachaca, predomina la textura franco arcilloso arenoso, los resultados obtenidos del pH en las nueve muestras son de naturaleza acida, contrario a los resultados de naturaleza alcalino de Simón (2018). estos resultados son diferentes debido a que las muestras recogidas son de diferentes ubicaciones sin relación alguna en la investigación de Simón (2018), en cambio en el la investigacion del punto de acopio Pachachaca Minex se tomaron nueve muestras que poseen las mismas condiciones de ubicacion que se relacion al estar estas muestras en contacto con material mineral con contenido de metals pesados como el cobre y el plomo...

En la investigación realizada por Díaz (2023), "Influencia de la unidad minera artesanal San Vicente en la calidad del suelo por cianuro libre, centro poblado de Algamarca - Cajabamba", reportó un pH promedio de 6.90 y 5.95 en el suelo minero. En comparación, los resultados obtenidos en el presente estudio para el suelo agrícola en el punto de acopio de Pachachaca muestran un rango de pH de 6.2 a 6.4. Esto indica que el suelo analizado presenta una acidez ligeramente mayor o niveles de neutralidad más bajos en relación con los valores reportados por Días (2023). La diferencia de resultados se centra en que la investigación de Díaz (2023) subraya la precencia de cianuro en las inmediaciones de la unidad minera estudiada, lo cual sustentaria la diferencia de resultados con la investigacion del punto de acopio Pachachaca Minex.

Los resultados microbiológicos del suelo agrícola contaminados con cobre y plomo revelan efectos similares a los encontrados por Vargas, (2017) en su estudio sobre suelos afectados por la minería de oro, donde se observó un pH neutro en el área (SI-N) y un pH ácido, donde también se presenta altas concentraciones de Pb. En tal sentido sus resultados son corroborados con los valores obtenidos, teniendo en cuenta que también el pH de todas las

muestras es ácido y que hay alta concentración de Pb según el ECA. Esto se debe dado que Vargas, (2017) analiza el contacto del suelo con relaves, en cambio la investigación en el punto de acopio Pachachaca son material mineral sin procesamiento.

López M. , (2017) en su investigación "Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas del suroeste de Guanajuato, México", determinó que los niveles de metales pesados como plomo Pb ($4.87 - 41.79 \text{ mg kg}^{-1}$) y Cu ($< 0.004 - 99.98 \text{ mg kg}^{-1}$) se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos, cumpliendo con la normativa NOM-147-SEMARNAT/SSA1-200, sin embargo los resultados encontrados en la determinación de los metales pesados en el punto de acopio de Pachachaca, indican concentraciones de plomo (Pb: $0.08 - 0.12 \text{ g/kg}$) y cobre (Cu: $8.04 - 11.08 \text{ g/kg}$) que superan significativamente los valores establecidos por las normativas ECA-2017 y CEQGs-2014, los valores de plomo obtenidos por López(2017) cumplen con la normativa peruana y canadiense, en cambio sus valores de cobre están por encima de la norma canadiense. Estos resultados difieren debido a la fuente contaminante siendo la de López (2017) la aplicación de fertilizantes, plaguicidas, derivados de petroquímicos como la gasolina y pinturas, deposiciones atmosféricas procedentes de zonas industriales y urbanas, los vertidos de aguas residuales, riego procedente de aguas subterráneas, desechos de las minas y donde el investigador no discrimina la posible fuente, ni tampoco las magnitudes de las fuentes contaminantes. En cambio, en nuestro estudio del sector de Pachachaca la contaminación es únicamente por la masificación de la minería en sus puntos de acopio, lo que influiría en la diferencia de los resultados.

VI. Conclusiones

- ✓ Se concluye que en el suelo se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados, especialmente plomo y cobre, que exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y la Normativa Canadiense (CEQG); además, la diversidad microbiana refleja un ecosistema del suelo afectado que podría influir en su funcionalidad.
- ✓ En cuanto a los parámetros fisicoquímicos en los puntos de acopio presenta condiciones variables de textura y acidez, con predominancia de suelos franco arcillosos y franco arcilloso arenosos, y un pH de 6.6 que varía entre fuertemente ácido y ligeramente ácido, con valores mayoritarios en el rango de moderadamente ácido. Además, se observó una disminución en el pH del suelo.
- ✓ Cuanto a los parámetros microbiológicos indicaron una diversidad bacteriana significativa, con predominancia de bacterias Gram positivas con UFC de 53 en la M-2 y negativas con UFC de 55 en la M-1 de morfología bacilar y cocobacilar, y una comunidad fúngica compuesta principalmente por hongos con una tinción de azul de lactofenol con UFC de 60 en la M-1 con una morfología de saprofitas y ascomicetos filamentosos. Al tener como resultados que los límites máximos permitidos según las normas Estándares de calidad Ambiental (ECA) y la Normativa Canadiense (CEQG) sobre metales pesados y su presencia en el suelo, podría influir en la diversidad de bacterias y hongos de la zona.
- ✓ Apartir de los parámetros inorgánicos, se evidenció un impacto ambiental importante con metales pesados de origen mineral. Los niveles de Pb superan los límites permisibles establecidos en el ECA-2017 en todas las muestras, alcanzando hasta 0.12 gr/kg, mientras que las concentraciones de Cu superan ampliamente el límite de la norma CEQGs-2014, con valores entre 8.04 y 11.08 gr/kg, representando un impacto ambiental.

VII. Recomendaciones

1. Se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo de la calidad del suelo (suelo – agrícola) en los puntos de acopio de minerales, con contenido de metales pesados en el sector Pachachaca, Abancay para evaluar periódicamente los parámetros físico-químicos, microbiológicos e inorgánicos del suelo, con énfasis en el control de los niveles de metales pesados, asegurando el cumplimiento de los estándares ambientales vigentes. Este proceso debe ser complementado con la colaboración de laboratorios especializados, asegurando la precisión de los resultados para orientar decisiones que promuevan la sostenibilidad del recurso suelo.
2. Se sugiere, aplicar técnicas de remediación como composta, biochar que ayuden a inmovilizar los metales pesados, así mismo el uso de plantas para extracción o estabilización y que de esta manera se pueda corregir la acidez del suelo y mejorar su pH, con el fin de optimizar la fertilidad, reducir la movilidad de metales pesados, favorecer la recuperación de la capacidad natural de retención de nutrientes y mitigar los impactos negativos de los puntos de acopio de metales pesados en el sector Pachachaca, Abancay.
3. Se recomienda promover investigaciones complementarias sobre el impacto de la contaminación metálica en la biodiversidad microbiana del suelo, y fomentar el desarrollo de estrategias de biorremediación basadas en microorganismos nativos con capacidad para degradar y acumular metales pesados, en los diferentes puntos de acopio de minerales de la región.
4. Desarrollar e implementar planes de manejo ambiental en los puntos de acopio que incluyan prácticas sostenibles para la prevención de la contaminación del suelo, tales como el

adecuado almacenamiento y manejo de minerales, evitando su dispersión en el medio ambiente.

5. Coordinar con autoridades ambientales y de salud pública para establecer normativas específicas y acciones reguladoras dirigidas a mitigar la contaminación por minerales de contenido metálico en suelos agrícolas y proteger la seguridad alimentaria y el bienestar de la población local.

VIII. Referencias

- Albán, Á., & Ostz, G. (2023). *Determinación de metales pesados en suelos de cultivo y en granos de plantaciones*. Universidad Técnica de Ambato .
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37932/1/CBT%20021.pdf>
- Andrade Linarez, K. (2020). Determinación de metales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la bahía interior de puno. *SciELO*.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312020000100011
- Ángel, A. R. (2024). ¿Qué es y para que nos sirve conocer el pH del suelo? *INECOL*.
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2149-que-es-y-para-que-nos-sirve-conocer-el-ph-del-suelo>
- Bird, R. (2023). *Rain Bird Corporacion*. <https://www.rainbird.com/es/propietarios/entender-su-suelo>
- Board, C. S. (2019). *Folleto Informativo pH*. California, Estados Unidos.
https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf
- Bustos, A., & Antonio, D. (2022). *Análisis de elementos traza metálicos en suelos de la ciudad de Arica y estudio caso polimetales correspondiente a contaminación por residuos mineros*. Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/193102?show=full>
- Canadian environmental quality. (2023). *Canadian Council of Minister of the Environment*.
<https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>

- Castillo-Valdez, X., Etchevers, & Hidalgo-Moreno, C. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Scielo*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792021000100103
- Castro, C. (2020). *Envases vacios de los agroquimicos y su relacion con la salud ambiental del valle de Pachachaca*. Universidad alas peruanas, Abancay, Perú.
https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/14259/Tesis_envases_vac%C3%ADos_agroqu%C3%ADmicos_relaci%C3%B3n_salud_ambiental_valle_Pachachaca_distrito_provincia_Abancay_Apur%C3%ADmac.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com
- CODEX STAN, 1.-1. (2015). General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995). *FAO*.
https://www.fao.org/input/download/standards/17/CXS_193e_2015.pdf
- Calderón-Guevara, M., Carpio-Rivera, N., & Galarza-Mora, W. (2023). *Metales pesados Cd, Pb y Hg: Una problemática de salud pública en el contexto de las relaciones internacionales e importancia de la academia en su mitigación*. Universidad técnica de Machala. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.2545-2578>
- Colquehuanca, J. (2023). *Grado de contaminación y enriquecimiento antropogénico de metales en los suelos de la cabecera de la cuenca del rio Corrientes, 2019*. Newman .
https://repositorio.epnewman.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12892/650/Jannet%20Colquehuanca_tesis_jvcq_rev.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Crowther, T., Boddy, L., & Jones, H. (2012, noviembre). Consecuencias funcionales y ecológicas de las interacciones entre hongos saprotróficos y herbívoros. *OUP Academic*, 1992–2001. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.53>
- Cruz, B., Etchevers, J., Castillo, R., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *ecosistemas*. <https://www.redalyc.org/pdf/540/54013210.pdf>
- Díaz, S. E. (2023). Influencia de la unidad minera artesanal San Vicente en la calidad del suelo por cianuro libre,. *Universidad nacional de cajamarca facultad de ciencias agrarias*.
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5592/Tesis%20-%20Erick%20Reynado%20D%c3%adaz%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FAO. (2016). Textura del suelo. *FAO*.
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2019). La contaminación del suelo una realidad oculta. En N. Rodríguez, M. McLaughlin, y D. Pennock.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>
- FAO. (2024). Propiedades Físicas del Suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=La%20textura%20del%20suelo%20se,materia%20org%C3%A1nica%20y%20otras%20propiedades>.
- Fernández, A. G. (2013). *Biología*.

<http://ies-fernando-de-mena.centros.castillalamancha.es/sites/ies-fernando-de-mena.centros.castillalamancha.es/files/descargas/Tema%2020.%20Microbiolog%C3%A1Da.pdf>

Gonzales, M. (22 de octubre de 2024). *infobae*. (OEFA, Ed.)

https://www.infobae.com/peru/2024/10/22/creciente-preocupacion-en-peru-por-pasivos-mineros-6000-riesgos-ambientales-nocivos-para-el-agua-suelo-y-agua/?utm_source=chatgpt.com

HernándezS, R., & Sánchez-Duarte. (2018). Efecto del híbrido de maíz como ensilaje sobre el comportamiento productivo de vacas lechera. *Universidad Autónoma Chapingo*.
https://congresorebiza.mx/wp-content/uploads/2019/11/REBIZA_2018.pdf

Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.

Hong, P., Yoon, J. H., Kyoung, & Gill, B. (2019, marzo 18). Rendimiento potenciométrico de un sensor de pH flexible basado en matrices de nanofibras de polianilina. *SpringerOpen*.

https://nanoconvergencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40580-019-0179-0?utm_source=chatgpt.com

Ibarra Castillo, D. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *SciELO*.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000300003

- Instruments, H. (2024). Solución Tampón pH 4,01. *Hanna Instruments*.
https://www.hannainst.es/parametros/5096-solucion-tampon-ph-401.html#/451-resolucion-0_01/711-certificado-no/722-tecnica-no/693-volumen-230_ml
- Lenntech. (2024). Propiedades químicas del Plomo - Efectos del Plomo sobre la salud - Efectos ambientales del Plomo. <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm>
- Londoño Escobar, J. I. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Bogotá, Colombia: INGEOMINAS.
<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>
- López, M. (2017). Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas del suroeste de Guanajuato, México. *scielo*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662017000600010&script=sci_arttext
- López, P. (1994). Metodología de la investigación, Manual para el desarrollo del personal de salud, Segunda edición. *Punto Cero*.
<http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>
- López, R., Quezada, M., Cohn, G., Sunum, R., Ponce, G., y Agreda, E. (Noviembre de 2009). Determinación taxonómica de macrohongos pertenecientes a la familia tricholomataceae sensu lato del orden agaricales, depositados en el herbario bigu. Escuela de biología. *Universidad de san carlos de guatemala*.
<https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2010-037.pdf#:~:text=Los%20macrohongos%20son%20aquellos%20hongos%20perceptibles%20a,encuentran%20en%20las%20cortezas%20de%20los%20%20C3%A1rboles.>

- López-Pérez, M., Rincón-Castro, M., Muñoz-Torres, C., Ruiz-Aguilar, G., Solís-Valdez, S., y Zanon, G. (2018). Evaluación de la contaminación por elementos traza en suelos agrícolas del suroeste de Guanajuato, México. *Unioversidad de Guanajuato*.
<https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/1386>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
- M. Reynoso, M. (2015). *Manual de microbiología general*.
<https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/10/978-987-688-124-1.pdf>
- Mahecha-Pulido, J., Trujillo-González, J., & Torres-Mora, M. (2017). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Universidad de los llanos*.
<https://repositorio.unillanos.edu.co/entities/publication/70593790-5985-4902-85ba-ea19beebd36d>
- Micología. (2017). <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/microambiental/wp-content/uploads/2016/08/TP-8-Micolog%C3%ADa.pdf>
- Microbiología Ambiental de Suelos. (2020). *Medidas cuantitativas de la población bacteriana*.
<http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/microambiental/wp-content/uploads/2020/03/TP-7-Medidas-cuantitativas-de-SUELO.pdf>
- Mina, M. G. (2020). *Comportamiento físico – químico del cobre en obras civiles. Una perspectiva desde la química analítica*. Ecuador.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7562492.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (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
- Ministerio Del Ambiente. (2014). Guía Para Muestreo de Suelos. Lima.
https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental*. Lima.
https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf
- Orjuela, H. B. (16 de Mayo de 2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Artículo de reflexión: Agronomía*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Pérez-Mora, W. (2021, Junio). Evaluación del índice de geoacumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá. *SciELO*.
<https://doi.org/10.18273/revion.v34n1-2021004>
- Quispe, E., & Torres, R. (2024). *Remoción de metales pesados utilizando mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú*. Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14752>
- Rahaman, A. (2016). A Comparative Study of Heavy Metal Concentration in Different Layers of Tannery Vicinity Soil and Near Agricultural Soil. *Scientific Research*.
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=72683>
- Rodriguez Eugenio, N. (2019). La contaminación del suelo una realidad oculta.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>

- Rosario, L. (2020). *Afectación del suelo por metales pesados: plomo, cadmio y cromo vi por la disposición de residuos sólidos municipales en el botadero de Carhuashjirca, en el distrito y provincia de Huaraz, departamento de Ancash, 2019*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. https://es.scribd.com/document/644835658/afectacion-del-suelo-por-metales-pesados-1-pdf?utm_source=chatgpt.com
- Sadia Afroze, J. (2016). Estudio comparativo de la concentración de metales pesados en diferentes capas de suelos de las cercanías de curtidurías y de suelos agrícolas cercanos. *Scientific Research*. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=72683>
- Samboni Ruiz, N. E. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *SciELO*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019
- Simon, O. (2018). *Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando Brassica campestris L., en la Estación Experimental El Mantaro - Junín*. Universidad nacional del centro del Perú, Huancayo, Perú.
file:///C:/Users/HP/Downloads/T_28271198_M.pdf
- Tmayo, M. (2003). *El proceso de la investigacion cientifica incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf
- Vargas, L. (2017). *Evaluación de indicadores microbiológicos en suelos de un area impactada por la mineria de oro, en el Municipio de Santa Isabel* . Universidad del tolima , Ibagué.

<https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/e30a3d0b-37d9-444b-a171-049b8a9e2f70/content>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes