

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL**



**"REMOCIÓN DE PLOMO USANDO EDTA COMO AGENTE DE
LAVADO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TIEMPO Y
CONCENTRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LLALLI"**

Bach. Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: M.Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL



**“REMOCIÓN DE PLOMO USANDO EDTA COMO AGENTE DE
LAVADO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TIEMPO Y
CONCENTRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LLALLI”**

Bach. Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
FORESTAL**

Asesor: M.Sc. Hugo Apaza Aquino

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Quispe, M. (2025). *Remoción de plomo usando EDTA como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

Título: Remoción de plomo usando EDTA como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (93 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000069-01/Q78

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: M.Sc. Hugo Apaza Aquino

Palabras clave: EDTA, lavado de suelo, metal pesado, suelos agrícolas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL
“REMOCIÓN DE PLOMO USANDO EDTA COMO AGENTE DE
LAVADO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TIEMPO Y
CONCENTRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LLALLI”
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro

PRESIDENTE DE JURADO



Mg. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

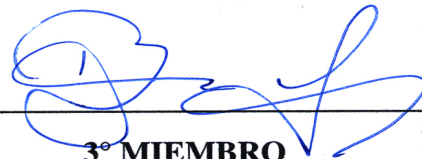
JURADO (Secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Jael Calla Calla

JURADO (Vocal)



3° MIEMBRO




M.Sc. Hugo Apaza Aquino

ASESOR DE TESIS

Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

REMOCIÓN DE PLOMO USANDO EDTA COMO AGENTE DE LAVADO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TIEMPO Y ...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:540066712

Fecha de entrega

12 dic 2025, 3:57 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 dic 2025, 3:59 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

BORRADOR FINAL MADELEYDE QUISPE CORREGIDO V.pdf

Tamaño del archivo

4.0 MB

96 páginas

19.937 palabras

110.745 caracteres






10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
178 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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.



DEDICATORIA

A Dios, por guiarme, acompañarme y protegerme en cada paso de este camino, por brindarme sabiduría, paciencia y perseverancia para lograr mis metas

A mis padres, razón y motivo de todo, por su amor incondicional, por su apoyo y confianza en mí

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminar mi camino, darme salud y fuerzas para superar los desafíos y permitirme culminar esta etapa

Agradezco a mis padres y familia por cada palabra de aliento, por cada sacrificio, por estar siempre a mi lado y darme fuerzas para seguir y nunca rendirme; Sin ustedes, este logro no sería posible

Agradezco a mi asesor Msc. Hugo Apaza, por brindarme su ayuda, conocimientos y motivación; Asimismo, extendo mi gratitud al Ing. Jorge Canihua y Ing. Selima Salcedo, de la EEA Illpa Puno – INIA, por brindarme su apoyo durante el desarrollo de la investigación

Finalmente, agradezco a los miembros del jurado Dr. Wile Mamani, Msc. Cesar Yupanqui y Msc. Jael Calla por las sugerencias y el tiempo dedicado a la evaluación de este trabajo

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	x
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. El problema de la investigación	14
1.2. Preguntas de investigación	15
1.2.1. Pregunta general	15
1.2.2. Preguntas específicas	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos	16
1.4. Justificación.....	16
1.4.1. Justificación ambiental	16
1.4.2. Justificación económica.....	16
1.4.3. Justificación social.....	17
1.5. Formulación de hipótesis	17

1.5.1. Hipótesis general	17
1.5.2. Hipótesis específicas.....	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Internacionales.....	19
2.1.2. Nacionales	22
2.1.3. Locales.....	23
2.2. Marco Teórico	24
2.2.1. Suelo	24
2.2.2. Contaminación de suelos	24
2.2.3. Metales pesados	25
2.2.4. Contaminación de suelos agrícolas por plomo	25
2.2.5. Técnicas para recuperación de suelos contaminados	27
2.2.6. Lavado de suelos	29
2.2.7. Marco normativo	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio	34
3.2. Diseño metodológico.....	35
1.4.4. Tipo de investigación.....	35
1.4.5. Nivel de investigación	35
1.4.6. Enfoque de investigación.....	35
1.4.7. Diseño de investigación.....	35
3.3. Población y muestra	37
3.4. Materiales, equipos, insumos y reactivos.....	38
3.5. Metodología	38

3.5.1. Para determinar la concentración inicial de plomo	38
3.5.2. Para analizar la influencia del tiempo de lavado y la concentración de EDTA	40
3.5.3. Para determinar el porcentaje de remoción después del lavado	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Concentración inicial de plomo en suelos agrícolas de Llalí.....	42
4.2. Influencia del tiempo de lavado y concentración del EDTA	44
4.3. Porcentajes de remoción.....	49

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	51
5.2. Recomendaciones.....	52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
--	-----------

ANEXOS.....	63
--------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Principales técnicas de recuperación de suelo contaminado.....	28
Tabla 2 Propiedades del EDTA como agente de lavado.....	30
Tabla 3 pH del suelo en el lavado	32
Tabla 4 Textura del suelo en el lavado	33
Tabla 5 Distribución de tratamientos de la investigación, según la concentración de EDTA y el tiempo de lavado	36
Tabla 6 Principales propiedades del suelo que afectan el proceso de lavado.....	42
Tabla 7 Concentración final de plomo en el suelo después de los tratamientos aplicados.....	44
Tabla 8 Resumen de la determinación de porcentaje de remoción de plomo.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Formación de quelato del EDTA con el plomo.....	31
Figura 2 pH del suelo.....	31
Figura 3 Triángulo textural del suelo.....	32
Figura 4 Mapa de ubicación del ámbito de estudio	34
Figura 5 Forma correcta de tomar una muestra	39
Figura 6 Comparación de la concentración inicial con el ECA para suelo agrícola	43
Figura 7 Interacción de la concentración de EDTA y el tiempo de lavado	45
Figura 8 Concentración de Pb en tratamientos con 1% de EDTA.....	46
Figura 9 Concentración de Pb en tratamientos con 3% de EDTA.....	47
Figura 10 Concentración de Pb en tratamientos con 5% de EDTA.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo I: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo	64
Anexo II: Análisis de propiedades del suelo.....	65
Anexo III: Método EPA 9045D, para determinar pH.....	66
Anexo IV: Método de Bouyoucos, para determinar textura	66
Anexo V. Método Walkley y Black, para determinar materia orgánica	67
Anexo VI: Solicitud para muestreo de suelos agrícolas.....	68
Anexo VII: Coordenadas de los puntos de muestreo en el ámbito de estudio.....	69
Anexo VIII: Solicitud para ejecución de tesis en la EEA – Illpa, LABSAF	70
Anexo IX: Concentración final de plomo en el suelo de las tres replicas.....	71
Anexo X: Concentración de plomo en la solución filtrada de las tres replicas.....	72
Anexo XI: Cálculos de porcentajes de remoción	73
Anexo XII: Supuestos estadísticos del ANOVA, Prueba de Levene para homogeneidad	74
Anexo XIII: Análisis estadístico, Análisis de varianza (ANOVA)	75
Anexo XIV: Supuestos estadísticos del ANOVA, Shapiro Wilk para normalidad	75
Anexo XV: Análisis estadístico, Prueba de Tukey para concentraciones de EDTA	75
Anexo XVI: Análisis estadístico, Prueba de Tukey para concentraciones de EDTA.....	76
Anexo XVII: Tukey para interacción de factores con 12 horas.....	76
Anexo XVIII: Tukey para interacción de factores con 24 horas	77
Anexo XIX: Tukey para interacción de factores con 36 horas	78
Anexo XX: Tukey para interacción de factores con 48 horas.....	78
Anexo XXI: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; linealidad e independencia ..	79
Anexo XXII: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; Homogeneidad.....	79
Anexo XXIII: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; Normalidad.....	80
Anexo XXIV: Análisis de concentración inicial de plomo en laboratorio	81
Anexo XXV: Análisis de concentración final de plomo en el suelo y los lixiviados	82
Anexo XXVI: Georreferenciación de puntos de muestreo	84
Anexo XXVII: Toma de muestra	84
Anexo XXVIII: Toma de sub muestras	85
Anexo XXIX: Tamizado de muestra.....	85
Anexo XXX: Pesado	86
Anexo XXXI: Preparado de unidades experimentales.....	86

Anexo XXXII: Soluciones de EDTA al 1%, 3% y 5%	87
Anexo XXXIII: Adición de EDTA a matraces Erlenmeyer	87
Anexo XXXIV: Colocado de matraces al agitador	88
Anexo XXXV: Lavado de suelos a distintos tiempos	88
Anexo XXXVI: Centrifugado de unidades experimentales a 3000 rpmm.....	89
Anexo XXXVII: Adición de ácido nítrico	89
Anexo XXXVIII: Filtrado de muestras después del lavado	90
Anexo XXXIX: Digestión para análisis de plomo en suelos	90
Anexo XL: Filtrado después de la digestión	91
Anexo XLI: Muestras listas para análisis	91
Anexo XLII: Lectura de plomo en el espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas	92
Anexo XLIII: Determinación de pH.....	92
Anexo XLIV: Determinación de materia orgánica	93
Anexo XLV: Determinación de textura	93

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

EDTA : Ácido Etilendiaminotetraacético

NTA : Ácido Nitrilotriacético

TPPA : Ácido Trisódico del Ácido Fosfometano Tricarboxílico

GLDA : Ácido Glutámico N,N-Diacetato

NAC : N-Acetilcisteína

EDDS : Ácido Etilendiamina Disuccínico

IDS : Ácido Iminodisuccínico

PASP : Ácido Poli-Aspártico

LA : Ácido Láctico

ECA : Estándares de Calidad Ambiental (para suelo, agua o aire según normativa peruana)

Pb : Plomo

RESUMEN

La acumulación de plomo en el suelo deteriora su calidad y reduce la productividad agrícola; además, al transferirse a los cultivos y entrar en la cadena alimentaria, representa un riesgo para la salud humana. El objetivo de esta investigación fue remover el plomo usando ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli; para metodología se aplicó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3x4 con tres repeticiones, donde el factor A corresponde al tiempo de lavado con niveles de 12, 24, 36 y 48 horas, y el factor B corresponde a la concentración del EDTA con niveles de 1%, 3% y 5%; en el estudio se realizó un muestreo de suelo para determinar la concentración inicial de plomo en una muestra representativa, y la concentración final una vez aplicado los tratamientos, utilizando el método de espectrofotometría de emisión atómica; esto permitió analizar la influencia del tiempo de lavado y concentración del EDTA en la remoción del metal en estudio; posteriormente, se determinó los porcentajes de remoción mediante una ecuación que exige el análisis de concentración de plomo en los lixiviados generados en el proceso de lavado. El contenido inicial de plomo en el suelo fue de 60.67 mg/kg, tras la aplicación de los tratamientos, este valor disminuyó progresivamente, alcanzando concentraciones finales entre 26.45 mg/kg y 4.06 mg/kg, demostrando que la influencia e interacción de los factores evaluados son significativos; finalmente, los porcentajes de remoción que se lograron alcanzar variaron desde 55.5% en el tratamiento 1, con una concentración de EDTA al 1% y 12h de lavado, hasta 91.03% en el tratamiento 12, con EDTA al 5% y un tiempo de lavado de 48h; demostrando que el lavado de suelos con EDTA es una alternativa efectiva y rápida para la remoción de plomo.

Palabras clave: EDTA, lavado de suelo, metal pesado, suelos agrícolas.

ABSTRACT

The accumulation of lead in the soil deteriorates its quality and reduces agricultural productivity; in addition, when it is transferred to crops and enters the food chain, it represents a risk to human health. The accumulation of this metal affects soil quality and agricultural productivity, and by bioaccumulating in crops, it reaches the human body through the food chain. The objective of this research was to remove lead using ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) as a washing agent under controlled conditions of time and concentration in agricultural soils of Llalli. The methodology consisted of a completely randomized 3x4 experimental design with three replications, where factor A corresponds to the washing time with levels of 12, 24, 36, and 48 hours, and factor B corresponds to the EDTA concentration with levels of 1%, 3%, and 5%. In the study, soil sampling was carried out to determine the initial lead concentration in a representative sample and the final concentration once the treatments were applied, using the atomic emission spectrophotometry method. This allowed us to analyze the influence of washing time and EDTA concentration on the removal of the metal under study; Subsequently, the removal percentages were determined using an equation that requires the analysis of lead concentrations in the leachate generated during the washing process. The initial lead content in the soil was 60.67 mg/kg. After the treatments were applied, this value progressively decreased, with final lead concentrations ranging from 26.45 mg/kg to 4.06 mg/kg. This demonstrates the significant influence and interaction of the evaluated factors. Finally, the removal percentages achieved ranged from 55.5% in treatment 1, with a 1% EDTA concentration and 12 hours of washing, to 91.03% in treatment 12, with 5% EDTA and a 48-hour washing time. This demonstrates that soil washing with EDTA is an effective and rapid alternative for lead removal.

Keywords: EDTA, soil leaching, heavy metal, agricultural soils

INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos agrícolas por metales pesados es un problema medio ambiental grave que afecta la calidad del suelo, la seguridad alimentaria y la salud humana (Li et al., 2023). En algunos lugares como Llalli, el uso de productos agroquímicos que contienen plomo y el uso de agua contaminada en riego son las principales causas de contaminación; debido a su extrema toxicidad, persistencia y acumulación en el suelo, este metal es difícil de eliminar de manera natural (Adnan et al., 2024).

Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias efectivas para la remediación de suelos contaminados por este metal y lograr minimizar los impactos negativos en el medioambiente y la producción agrícola (Sánchez, 2021). Una de las estrategias más empleadas, es el lavado de suelos, que consiste en aplicar soluciones líquidas que movilizan los metales pesados desde la fase sólida hacia una fase líquida, permitiendo su posterior tratamiento o eliminación; esta técnica mejora su eficiencia cuando se le adiciona un agente (Chen et al., 2022).

El ácido etilendiaminotetraacético es uno de los agentes más utilizados en el lavado de suelos contaminados por metales pesados debido a su alta capacidad de complejación, estabilidad química y eficacia en la remoción de cationes metálicos como el plomo (Noller et al., 2022). Sin embargo, su efectividad depende de varios factores operativos, entre los cuales destacan la concentración del EDTA y el tiempo de lavado (Wang et al., 2020).

Con el fin de conocer las mejores condiciones para su uso en la recuperación de suelos contaminados y la mitigación de impactos ambientales el objetivo planteado para esta investigación fue remover el plomo usando EDTA como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. El problema de la investigación

La contaminación por metales pesados en el suelo es uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial debido a su toxicidad, persistencia y bioacumulación (Luque et al., 2018; Hossain et al., 2021). En diversos países se han alcanzado niveles alarmantes; en China más del 90% de los suelos agrícolas están contaminados por metales, siendo el plomo uno de los principales (Xia et al. 2024). De igual forma, en suelos agrícolas de Polonia los niveles de Pb llegan hasta un 12.57% (Tomczyk et al. 2023). En México, en una revisión sistemática de 36 informes, efectuada desde los años 2010 hasta 2023 por Briseño et al., (2024), las concentraciones de plomo en el suelo superan los límites permitidos en más de la mitad de los informes; esta situación evidencia que la contaminación por plomo en los suelos agrícolas es un problema global que compromete la calidad de los cultivos, amenaza la salud de las poblaciones rurales y demanda el desarrollo de estrategias de remediación eficaces para mitigar sus impactos (Kumar et al., 2022).

El Perú también enfrenta desafíos significativos por la presencia de metales pesados, lo que repercute directamente en la calidad de los cultivos y en la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales (Paredes et al., 2024), en regiones andinas como Áncash, se han reportado concentraciones de plomo de hasta 106.5 mg/kg, superando el valor establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas. Por otro lado, se ha identificado que incluso las prácticas agrícolas como el uso prolongado de fertilizantes fosfatados, pesticidas y aguas de riego de baja calidad pueden contribuir a intensificar la contaminación por plomo (Avalos, 2023); esta situación refleja que la problemática no se limita únicamente a las zonas mineras, sino que también involucra áreas agrícolas donde la actividad humana acelera la acumulación de este metal. La persistencia de plomo en el suelo representa una amenaza a largo plazo, pues dificulta la recuperación natural de los ecosistemas y aumenta el riesgo de bioacumulación en los cultivos (Mendoza et al., 2021).

La región de Puno presenta suelos agrícolas que, además de ser limitados en fertilidad natural, están expuestos a contaminantes debido al uso de aguas de riego provenientes de ríos que atraviesan zonas mineras y urbanas, los cuales transportan metales pesados como

el plomo. Diversos estudios han demostrado que los niveles de concentración de plomo en suelos agrícolas superan los Estándares de Calidad Ambiental, registrándose concentraciones de hasta 505.2 mg/kg (Andrade et al., 2020; Fernandez et al., 2022), cifra que excede ampliamente el límite permisible establecido y refleja una contaminación de alto riesgo. Esto no solo afecta la calidad del suelo y limita su productividad, sino que también incrementa el riesgo de que los cultivos absorban plomo, comprometiendo la seguridad alimentaria de las comunidades campesinas y poniendo en peligro la sostenibilidad de los sistemas agrícolas tradicionales (Loyde et al., 2022).

El distrito de Llalli enfrenta una grave problemática de contaminación por plomo en sus suelos, poniendo en riesgo la productividad agrícola de la zona, conocida por su producción de cultivos andinos (Gallegos y Castillo, 2017), así como la salud de la población (Llanos et al., 2024), cuya subsistencia depende directamente de estos suelos. Las fuentes de contaminación son diversas; el uso prolongado de pesticidas y fertilizantes que contienen compuestos de plomo (Villoslada y Abanto, 2019; Velázquez et al., 2022), así como el riego con aguas contaminadas provenientes de la cuenca alta, donde se descargan efluentes residuales de una empresa minera (Dalens, 2018); esta situación se ve agravada por la limitada aplicación de medidas de control ambiental y la insuficiente fiscalización de las actividades que generan descargas contaminantes eficaces (Sánchez et al., 2019; Paredes y Siccha, 2020). La acumulación persistente de plomo puede afectar la seguridad alimentaria de las comunidades y deteriorar los ecosistemas locales, con potenciales impactos en la biodiversidad y en la calidad de los recursos hídricos de la zona (Novoa et al., 2022).

1.2.Preguntas de investigación

1.2.1. Pregunta general

¿Será posible remover el plomo usando ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuánto será la concentración inicial de plomo en suelos agrícolas provenientes del distrito de Llalli?
- ¿Cómo influye el tiempo de lavado y concentración del ácido etilendiaminotetraacético sobre la remoción de plomo?
- ¿Cuáles serán los porcentajes remoción de plomo después del lavado?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Remover el plomo usando ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración inicial de plomo en suelos agrícolas provenientes del distrito de Llalli
- Analizar la influencia del tiempo de lavado y concentración del ácido etilendiaminotetraacético sobre la remoción de plomo
- Determinar el porcentaje de remoción de plomo después del lavado

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación ambiental

En el distrito de Llalli, al igual que en otras zonas del Perú, el plomo puede acumularse en suelos agrícolas por actividades antropogénicas (Sarmiento y Febres, 2021; Chesniuk, 2023; González et al., 2023), como el uso de agroquímicos, deposición atmosférica, minería o el riego con agua contaminada. La acumulación no solo afecta la calidad del suelo y la productividad agrícola, este también puede llegar a bioacumularse en cultivos, lo que lleva a la exposición humana a través de la cadena alimentaria (Mendoza et al., 2021). Frente a esto, la técnica de lavado con EDTA se presenta como una alternativa de solución, ya que permite capturar y remover el metal del suelo (Liu et al., 2024), esta alternativa contribuye a restaurar suelos contaminados, previene la contaminación de aguas subterráneas, reduce la dispersión de partículas tóxicas al aire y aporta a la mitigación del cambio climático al conservar servicios ecosistémicos clave asociados al suelo (European Environment Agency, 2019; Reyes y Cano, 2022).

1.4.2. Justificación económica

Desde un enfoque económico, el uso del EDTA, al ser un insumo disponible y ampliamente estudiado, representa una alternativa de bajo costo y fácil implementación para agricultores y gestores ambientales (Zambrano y Ramirez, 2019); la recuperación de tierras agrícolas

contaminadas puede traducirse en una mejora sustancial en la productividad, lo cual fortalece la economía local y reduce la pérdida de áreas cultivables (Sánchez et al., 2019). Asimismo, a diferencia de técnicas como la fitorremediación, que pueden tardar meses o incluso años en mostrar resultados, el lavado de suelos se destaca por su rápida acción, ya que permite movilizar y extraer metales pesados en cuestión de horas, logrando remociones elevadas cuando se trabaja con agentes quelantes como el EDTA (Pedron et al., 2022). Esta diferencia también se refleja en los costos: el mantenimiento anual de un sitio en fitorremediación puede oscilar entre USD 1500 - 3000/ha, en tanto que una intervención de lavado, incluyendo agente quelante, operación y energía, se sitúa alrededor de USD 800 a 1200/ha por aplicación (Álvarez, 2019). De este modo, el lavado de suelos se consolida como una alternativa rápida, efectiva y costo – eficiente.

1.4.3. Justificación social

En el plano social, esta investigación ayuda en la mejora de las condiciones de vida de las comunidades del distrito de Llalli, cuya economía y alimentación dependen directamente de la agricultura (Dalens, 2018). Al reducir la presencia de plomo en los suelos, se disminuye la exposición de las personas a este metal a través de los alimentos, lo cual contribuye a prevenir enfermedades crónicas, especialmente en niños y poblaciones vulnerables (Haghighizadeh et al., 2024), la producción de cultivos más seguros y mejor calidad puede dar lugar a más oportunidades en los mercados y la comercialización de gama alta, lo que podría aumentar los ingresos de la comunidad agrícola (CEPAL et al., 2021). La comunidad en general y las autoridades locales y regionales también se beneficiarían al contar con datos e información para la gestión medioambiental y la toma de decisiones en materia de salud ambiental, protección del suelo y seguridad alimentaria, promoviendo el bienestar colectivo de la población.

1.5. Formulación de hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Es posible remover el plomo usando ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli

1.5.2. Hipótesis específicas

- La concentración inicial de plomo en el suelo proveniente del distrito de Llalli supera los 70 mg/kg, establecido en los Estándares de Calidad para suelo de uso agrícola
- La influencia del tiempo de lavado y concentración de ácido etilendiaminotetraacético sobre la remoción de plomo en el lavado es significativa, reduciendo la concentración final de plomo en el suelo a valores menores de 30 mg/kg
- Los porcentajes de remoción de plomo después del lavado superan el 50% y se incrementan al aumentar tanto el tiempo de lavado como la concentración del ácido etilendiaminotetraacético

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Rui et al., (2025) buscaron mejorar la eficiencia del lavado químico de suelos arcillosos contaminados con plomo y cadmio mediante la magnetización de soluciones de EDTA para incrementar el contacto entre el contaminante y el eluyente; se preparó soluciones de EDTA a diferentes concentraciones (0.01 y 0.20 mol/L), las cuales fueron magnetizadas bajo distintas intensidades de campo (100, 200 y 300 mT) y tiempos (hasta 40 min), y fueron aplicadas a suelos contaminados en un sistema de lavado en tubos centrifugados con una relación solución: suelo de 15:1. Los resultados demostraron que las soluciones de EDTA magnetizadas pueden aumentar la remoción plomo hasta en un 35.49% en comparación con las no magnetizadas.

Chiu y Gani, (2024) evaluaron métodos de lavado de suelos contaminados con metales pesados, particularmente plomo, mediante de procesos físicos y químicos, incluyendo el uso de agentes quelantes como el EDTA; el estudio resalta la importancia de factores como el pH, la concentración del agente y el tiempo de contacto en el rendimiento del proceso. Los resultados reportaron la alta eficacia del EDTA en la extracción de plomo, logrando porcentajes superiores al 90% en condiciones óptimas de aplicación.

Sun et al., (2023) llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de pH en la eficiencia del lavado de suelos contaminados con múltiples metales pesados, incluyendo plomo, empleando una técnica combinada de lavado con EDTA y tratamiento de reducción catódica; aplicaron EDTA como agente quelante bajo condiciones controladas de pH y acoplar el proceso con una corriente eléctrica de reducción catódica para. Los resultados indicaron que un pH óptimo entre 4 y 5 maximizó la eficiencia de extracción de plomo, logrando tasas de remoción superiores al 70%, lo que sugiere que el control del pH combinado con técnicas electroquímicas potencia la eficacia del lavado químico.

Rui et al., (2023) aplicaron una estrategia de remediación basada en ciclos de congelación-deshielo combinados con lavado, utilizando EDTA como agente quelante; realizaron un experimento a gran escala con columnas de suelo de 1345 kg expuestas a cuatro ciclos de congelación y descongelación, usando EDTA al 0.01 mol/L y agua como eluyentes, se controlaron factores de temperatura y doble capa de suplementación de agua. Los resultados mostraron que esta estrategia aumentó la remoción de plomo hasta un 58.73%, disminuyó su biodisponibilidad en un 66.01%, y mejoró significativamente la eficiencia del lavado.

Guo et al., (2022) investigaron la efectividad de los agentes de lavado biodegradables para la remoción de metales pesados, como el plomo, de suelos agrícolas contaminados, analizando su eficiencia de extracción y efectos en las propiedades del suelo, se realizaron pruebas de lavado con distintas concentraciones del agente, evaluando parámetros como el pH, la relación sólido-líquido y el tiempo de contacto. Según los resultados, el GLDA a una concentración de 50 mmol/L, pH 5.5 y un tiempo de contacto de 90 minutos fue capaz de remover el 87.9% del plomo, superando la eficiencia de PASP.

Gonzalo, (2022) estudió la eficacia del uso de EDTA en el lavado de un suelo calizo contaminado con plomo (Pb) y aplicó un diseño experimental con niveles controlados de contaminación por plomo (1250 y 2500 mg/kg) y distintas dosis de EDTA (1, 5 y 10 mmol/kg), fueron aplicadas en columnas de percolación para evaluar la capacidad de remoción de plomo. Los resultados indican que el EDTA fue efectivo en la remoción de plomo, especialmente en dosis medias y altas para la contaminación moderada y dosis altas para la contaminación grave.

Hart et al., (2022) evaluaron la eficiencia de varios agentes quelantes, incluido el EDTA, en la fitoextracción de plomo del suelo utilizando switchgrass (*Panicum virgatum* L.) como planta bioenergética; se cultivaron en macetas y el tratamiento del suelo contaminado se realizó con diversos agentes quelantes: EDTA, ácido fítico, ácido cítrico y NTA, en concentraciones de 1 mM para luego analizar las concentraciones de Pb en el follaje de las plantas y en el suelo. Los resultados mostraron que el EDTA permitió la mayor concentración de Pb en el follaje de switchgrass, en comparación con otros quelantes.

Shukla et al., (2022) propusieron una técnica de lavado para suelos contaminados con Cr^{+6} usando dos agentes quelantes: EDTA y N-acetil-L-cisteína (NAC), los experimentos fueron aplicados a escala de laboratorio; optimizando el pH, tiempo de contacto y dosis de solución de lavado mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM). Los resultados de ANOVA demostraron que el pH es el factor clave en la remoción, donde las condiciones óptimas identificadas fueron; pH 5.5, tiempo de contacto de 216 horas, dosis de EDTA de 4128 mg/kg y NAC de 300 mg/kg, logrando eficiencias de remoción de Cr^{+6} de 14.3% y 65.7% con EDTA y NAC, respectivamente.

Xu et al., (2022) aplicaron un agente de lavado de alta eficiencia para la remoción simultánea de Cd, Pb y As en suelos contaminados de una fundición, abordando la selección y combinación de agentes de lavado que optimizan las condiciones de extracción y reduzcan el riesgo ambiental, se utilizaron agentes como HEDP, ácido láctico y FeCl_3 en diversas combinaciones y proporciones, con condiciones optimizadas de relación suelo-líquido de 1:20 y un tiempo de lavado de 48 horas. Los resultados dicen que la combinación HEDP + LA + FeCl_3 consiguió remover un 69.84% del plomo y fue eficaz en la remoción simultánea de otros metales.

En la investigación de Cho et al., (2020) investigaron la viabilidad del uso de soluciones de lavado, para la remoción simultánea de metales pesados, se trató en diferentes tamaños de partículas del suelo y las soluciones ácidas se aplicaron en los experimentos por lotes, evaluando la eficiencia de remoción de metales como Pb, Cu, Zn y As. Los resultados mostraron que el ácido sulfúrico fue más eficaz para extraer metales pesados; respecto al plomo, se logró una eficiencia de remoción del 76.19% con ácido sulfúrico y del 80.1% al combinarlo con ácido fosfórico. Además, se menciona que el uso de agentes quelantes como el EDTA, en combinación con reductores, también puede mejorar la remoción de metales.

Kaurin et al., (2020) emplearon EDTA y quelantes para eliminar plomo, zinc y cadmio de suelos contaminados, con la técnica de lavado de suelos, los experimentos de lavado se realizaron por lotes utilizando EDTA, GLDA, EDDS e IDS en una proporción de 1:1, con un tiempo de contacto de 6 horas. Los resultados mostraron que la tecnología consiguió eliminar entre un 75% y un 58% de Pb, entre un 32% y un 29% de Zn y entre un 71% y un 76% de Cd.

Gluhar et al., (2020) investigaron la viabilidad de usar EDTA y quelantes biodegradables (GLDA, EDDS e IDS) en un proceso de lavado de suelo a escala piloto, llamado ReSoil, para evaluar su eficiencia en la eliminación de metales (Pb, Zn y Cd) y su impacto ambiental. Los resultados demostraron que EDTA superó a los quelantes biodegradables en la mayoría de los aspectos evaluados, siendo más eficiente en la remoción de Pb y Zn, mientras que GLDA fue ligeramente mejor en la eliminación de Cd. EDTA también fue el quelante más eficaz en la reducción de la bioaccesibilidad de Pb y GLDA en la reducción de la bioaccesibilidad de Cd.

Cheng et al., (2020) utilizaron soluciones de lavado a base de una mezcla equimolar de EDTA (0.05 M) y ácidos orgánicos de bajo peso molecular (cítrico, oxálico y tartárico a 0.2 M), evaluando parámetros de lavado, toxicidad de la lixiviación, movilidad, estabilidad y especiación de los metales. Los resultados indicaron que esta combinación permitió remover más del 80% de los metales pesados, destacándose el plomo por su fuerte complejación con el EDTA, mientras que los ácidos orgánicos favorecieron la desorción al disminuir el pH de la mezcla; asimismo, se observó una reducción en la toxicidad de la lixiviación y un incremento en la estabilidad del Pb residual.

Zambrano y Ramirez, (2019) analizaron la eficacia del EDTA como agente quelante en el lavado de suelos contaminados con plomo (Pb) en una mecánica de vehículos, donde se aplicó un diseño factorial 2x2 con dos concentraciones de EDTA (0.1% y 0.2%) y dos tiempos de lavado (24 y 48 horas). Los resultados mostraron que el tratamiento con EDTA al 0.1% durante 24 horas fue el más eficaz, logrando remover un 53.25% de plomo en el suelo, reduciendo su concentración inicial de 32.86 mg/kg a valores entre 13.01 mg/kg y 17.02 mg/kg.

2.1.2. Nacionales

Caycho et al., (2025) evaluaron distintas concentraciones de EDTA para potenciar la fitoextracción de plomo con *Hordeum vulgare*, en un suelo de uso agrícola, con textura franco arenoso y con un pH 7; los tratamientos aplicados fueron de 0%, 0.5% y 1% de EDTA por kilogramo de suelo, además del uso de estiércol de lombriz como enmienda. Los resultados evidenciaron que el incremento de la dosis de EDTA elevó la movilización y absorción del plomo por la planta, alcanzando un máximo de 90.5% de extracción.

Estrada y Vega, (2024) llevaron a cabo un estudio sobre el ácido cítrico como agente de lavado para suelos con alta contaminación por plomo; donde se aplicó un diseño experimental factorial con nueve tratamientos variables de pH (2, 3 y 4) y tiempos de contacto (2 h, 6 h y 8 h), usando muestras de suelo con concentración inicial de plomo de 3 264 mg/kg muy por encima del límite permitido de 800 mg/kg según el ECA-Suelo peruano para suelos industriales/comerciales. El tratamiento óptimo, con pH 2 y tiempo de contacto de 8 horas, logró reducir la concentración a 767 mg/kg, equivalente a un 76.49 % de remoción de plomo.

Castro, (2020) aplicó EDTA en la remoción de plomo presente en un suelo contaminado, donde se utilizó distintas dosis de EDTA (0-0.25 g/kg), observándose que el quelante incrementó de manera significativa la movilidad y disponibilidad del Pb, permitiendo su mayor extracción del suelo. Las concentraciones de plomo absorbidas por *Urtica urens* aumentaron, especialmente en la parte radicular, donde se alcanzaron valores superiores a 259 mg/kg. Asimismo, se encontró correlación significativa entre las dosis del quelante y el contenido de Pb removido, destacándose que dosis inferiores a 0.15 g/kg maximizaron la captación y acumulación del metal.

El estudio de Gamarra, (2019) se centró en remover el plomo del suelo mediante la técnica de lavado de suelo a escala de laboratorio con tres tipos de extractantes el EDTA, ácido cítrico y ácido acético, a dos concentraciones diferentes de 0.3 y 0.5 molar; estas variables se arreglaron factorialmente, generando 6 tratamientos y un testigo, con 3 repeticiones. Se determinó que el extractante más eficiente en la remoción de Pb del suelo es el EDTA, se determinó que la concentración más óptima es a 0.5 molar; alcanzando una remoción de plomo de 69.5%.

2.1.3. Locales

Bustamante, (2020) evaluó la lixiviación de cobre utilizando EDTA como alternativa a reactivos convencionales, demostrando que el agente quelante mejora significativamente la recuperación metálica bajo condiciones controladas. Los resultados indicaron que, al incrementar la concentración de EDTA de 0.1 a 0.2 M, la temperatura de 20 °C a 30 °C y el tiempo de agitación de 120 a 180 minutos, la recuperación de cobre se elevó desde valores cercanos al 45-52 % hasta aproximadamente 70-78 %, alcanzando sus máximos rendimientos en condiciones básicas alrededor de pH 12.5, disminuyendo posteriormente a pH 13.5

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Suelo

El suelo es un medio poroso que se forma en la superficie del planeta como resultado de los procesos de meteorización; esto ocurre a partir de la desintegración, la transformación de las rocas y sedimentos sometidos a la acción de la lluvia, la radiación solar, el viento, y la actividad biológica durante el tiempo (Loyde et al., 2022). El suelo es un cuerpo natural, formado por capas de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua (FAO, 2024).

Los suelos también se consideran un recurso no renovable que evoluciona lentamente, ya que su creación es un proceso complicado y lento que tarda entre 400 y 1.000 años en generar 1 cm de suelo (Silva y Correa, 2009). Para que exista vida en este planeta, el suelo es esencial porque proporciona alimento para la creación de biomasa, sirve como medio filtrante, amortiguador y medio de transformación, sirve de hábitat a miles de organismos (Paul y Clark, 1988; Buscot, 2005), y es el escenario donde tienen lugar los ciclos biogeoquímicos (Ellis y Mellor, 2002).

Los suelos agrícolas, son la base de la producción de alimentos y desempeñan un papel fundamental en la sostenibilidad medioambiental y la seguridad alimentaria a nivel mundial (Kopittke et al., 2019). Un suelo fértil y saludable proporciona los nutrientes esenciales, el agua y el soporte físico necesario para el crecimiento de las plantas, permitiendo así el desarrollo de cultivos robustos y productivos (Burbano, 2016). La textura, la materia orgánica, el contenido mineral y la actividad biológica son algunos de los elementos que influyen en su composición (Castillo et al., 2021).

2.2.2. Contaminación de suelos

La contaminación del suelo se refiere a la presencia de sustancias químicas o materiales fuera de su ubicación natural, en concentraciones superiores a las normales, que generan efectos negativos no deseados sobre los organismos vivos (McLaughlin et al., 2019). Algunos contaminantes pueden encontrarse de forma natural en los suelos como parte de su composición mineral y pueden ser perjudiciales en concentraciones elevadas, aunque la mayoría de los contaminantes son de origen humano (Briseño et al., 2024). La contaminación del suelo suele ser una amenaza oculta, ya que es difícil de detectar o cuantificar directamente (Helena et al., 2007).

La expansión de la agroquímica y la industria está provocando un aumento constante de la cantidad y variedad de contaminantes. La actividad biológica de las sustancias orgánicas en los suelos las transforma en metabolitos diversos, lo que añade complejidad y gastos a los estudios de suelos destinados a identificar contaminantes. Los efectos de la contaminación del suelo también dependen de las propiedades de éste, ya que regulan la movilidad, biodisponibilidad y duración de residencia de los contaminantes (McLaughlin et al., 2019).

2.2.3. Metales pesados

Tradicionalmente, un metal pesado se define como aquel elemento metálico cuya densidad supera los 5 g/cm³. Sin embargo, en los estudios ambientales esta concepción se ha ampliado para incluir no solo a los metales, sino también a determinados metaloides, sin importar su densidad (Volke et al., 2005).

Algunos elementos, como Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, son necesarios para la vida en pequeñas cantidades, pero se vuelven peligrosos en grandes concentraciones; otros elementos, como Cd, Hg o Pb, no tienen finalidad biológica y son extremadamente tóxicos (Ortiz et al., 2007).

a) Plomo

El plomo es un elemento químico que en la tabla periódica tiene el número atómico 82 y el símbolo Pb, que procede del latín plumbum (Ondarse, 2021). En su estado común el plomo es un metal sólido, pesado, denso y color gris azulado, con diversos isótopos (estables y radiactivos) y tiene altos niveles de toxicidad (Etecé, 2024).

Considerado un metal tóxico ya que causa una gran contaminación ambiental y problemas de salud en muchas partes del mundo (WHO, 2019).

2.2.4. Contaminación de suelos agrícolas por plomo

El plomo se concentra en el suelo porque es un elemento básico que no se descompone. El suelo empieza a perder su capacidad de funcionamiento cuando las concentraciones de plomo son demasiado elevadas (Astete et al., 2009).

Las propiedades del suelo, así como la textura, el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el tipo de arcilla y la porosidad afectan a la forma en que el Pb se distribuye en el suelo (Hettiarachchi y Pierzynski, 2004; Karande et al., 2020).

La contaminación de suelos agrícolas con plomo es un problema que se genera, principalmente, por actividades antropogénicas (Ur Rehman et al., 2017). Es absorbido por el agua y depositado en el suelo, llegando a contaminar los cultivos agrícolas y acumularse en animales terrestres y marinos (ATSDR, 2007). Por tanto, la vía de transmisión a las personas es a través del consumo de alimentos de origen animal y vegetal que tienen alto contenido de este metal pesado (ELIKA Seguridad alimentaria, 2023).

Principales fuentes de contaminación de plomo en suelos agrícolas (Kumar et al., 2022; Avalos, 2023); uso de pesticidas y fertilizantes, emisiones industriales y de vehículos, residuos industriales y riego con agua contaminada

Efectos que provocan la presencia de metales pesados, como el plomo, en suelos agrícolas:

- Reduce la fertilidad del suelo: La presencia de un metal como el Pb en el suelo puede alterar su composición química afectando la disponibilidad de nutrientes como el NPK (nitrógeno, fósforo y potasio). Los metales tienen la capacidad de adherirse a las partículas del suelo y disminuir la capacidad de intercambio catiónico, lo que limitará la capacidad de las plantas para absorber nutrientes (Tomczyk et al., 2023).
- Toxicidad para plantas y/o cultivos: Este metal se acumula en el suelo y puede ser absorbida por las raíces de los cultivos, generando toxicidad y afectando su crecimiento. El plomo, por ejemplo, interfiere con la fotosíntesis y el metabolismo celular, provocando clorosis (amarillamiento de las hojas) y reducción del rendimiento de los cultivos (Loyde et al., 2022).
- Impacto en la biodiversidad: La presencia de un metal pesado, como el plomo pueden afectar a los microorganismos del suelo, que son esenciales para la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes; la disminución de la actividad biológica en el suelo afecta su estructura y su capacidad para sustentar la vida vegetal (Hossain et al., 2021).
- Contaminación de la cadena alimentaria: Un metal puede ingresar a los cultivos y, posteriormente, a la dieta humana y animal, representando riesgos para la salud (Kopittke et al., 2019). La exposición prolongada de un metal como el plomo puede causar problemas neurológicos, renales y cáncer en humanos (Avalos, 2023).

2.2.5. Técnicas para recuperación de suelos contaminados

Actualmente se cuenta con numerosas tecnologías de rehabilitación para suelos contaminados, algunas aún se encuentran en fase experimental y tienen por objeto aislar o eliminar los contaminantes modificando su estructura química mediante procesos fundamentalmente químicos, térmicos o biológicos (Ortiz et al., 2007). Las características del suelo y del contaminante, la eficacia prevista de cada tratamiento, su viabilidad económica y el periodo previsto para su desarrollo influyen en la forma de aplicarlos (Reddy et al., 1999).

La aplicación de tratamientos in situ suele ser más lenta y complicada debido a las dificultades para establecer un contacto estrecho entre los agentes descontaminantes y toda la masa de suelo contaminada, mientras que no requieren tanta gestión (Candia, 2019). Los procedimientos ex situ suelen ser más caros, pero también más rápidos, y suelen dar lugar a una recuperación más completa de la zona dañada (Candia, 2019).

Según Kaifer et al., (2004) para recuperar un suelo contaminado, se pueden distinguir las siguientes técnicas:

- Contención, que consisten en aislar el contaminante del suelo sin actuar sobre él, generalmente mediante la aplicación de barreras físicas en el suelo.
- Confinamiento, que disminuyen la movilidad de los contaminantes en el suelo para impedir su migración actuando directamente sobre las condiciones físicas y químicas de los contaminantes.
- Descontaminación, dirigidas a reducir la concentración de los contaminantes en el suelo.

Tabla 1*Principales técnicas de recuperación de suelo contaminado*

Tipo de tratamiento	Tratamiento	Aplicación	
Descontaminación	Extracción	In situ	
	Lavado	Ex situ	
	Físico	Flashing	In situ
		Electrocinética	In situ
	Químico	Adición de enmiendas	In situ
		Barreras permeables activas	In situ
		Inyección de aire comprimido	In situ
		Oxidación ultravioleta	Ex situ
		Biodegradación asistida	In situ
	Biológico	Biotransformación de metales	In situ
		Fito recuperación	In situ
		Bioventing	In situ
		Biopilas	Ex situ
Compostaje		Ex situ	
Lodos biológicos		Ex situ	
Térmico		Incineración	Ex situ
	Desorción térmica	Ex situ	
Mixto	Extracción multifase	In situ	
	Atenuación natural	In situ	
Contención	Barreras verticales	In situ	
	Barreras horizontales	In situ	
	Barreras de suelo seco	In situ	
	Barreras hidráulicas	In situ	
Confinamiento	Estabilización físico-química	Ex situ	
	Inyección de solidificantes	In situ	
	Vitrificación	Ex situ-In situ	

Fuente: Kaifer et al., (2004); Ortiz et al., (2007)

2.2.6. Lavado de suelos

El proceso de lavado de suelos puede aplicarse de manera in situ, es un tipo de tratamiento que normalmente se utiliza ex situ; donde se trata de limpiar el material contaminado con agua que suele contener un agente extractante con el fin de acelerar el proceso de transferencia de los contaminantes a la solución a través de la solubilización o desorción (Silva, 2018). Las partículas de mayor tamaño, como la arena y la grava, tienden a estar unidas a partículas más pequeñas, como arcillas y limos, que a su vez tienden a estar física o químicamente unidas a los distintos contaminantes del suelo (Ortiz et al., 2007) citado por Gamarra, (2019).

En el lavado de suelos, los ácidos y los agentes quelantes son los agentes de eliminación más utilizados. Los carbonatos y otros componentes del suelo que contienen metales son disueltos por los ácidos e intercambian metales traza de las superficies del suelo donde los iones H^+ son atraídos con más fuerza que los cationes de los metales tóxicos (Jain et al., 2016).

a) Agentes quelantes

El proceso mediante el cual una sustancia química se une a iones metálicos formando complejos solubles se denomina quelación, en este contexto los agentes quelantes son compuestos capaces de establecer múltiples enlaces con un solo ion metálico generando un complejo y suelen ser conocidos como antagonistas o captadores de metales pesados (Gonzalo, 2022). Dado que los agentes quelantes más concretamente, los aglutinantes, adoptan la forma de una garra para atrapar el metal, la palabra "agente quelante" deriva en realidad de la palabra griega para "garra" (Pérez, 1953).

Cuando se unen un metal y un agente quelante forman un compuesto denominado quelato. Este quelato puede extraerse de la fórmula más fácilmente que el metal libre porque es más estable y tiene una mayor solubilidad en agua.

Ejemplos de quelantes más utilizados son: ácido etilen- diamino-Tetra-Acético (EDTA), ácido nitrilo-Tri-Acético (NTA), ácido málico, ácido láctico, ácido cítrico, ácido tartárico, ácido glucónicoel ácido acético y ácido tri-poli-fosfórico (TPPA) (Gamarra, 2019).

b) Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

El ácido etilendiaminotetraacético es un compuesto quelante muy utilizado en muchos sectores diferentes. Su estructura química está formada por dos grupos amino y cuatro carboxilos (Estrella, 2014).

Peso Molecular: 292 g/mol; Fórmula: $C_{10}H_{16}O_8N_2$

Tabla 2

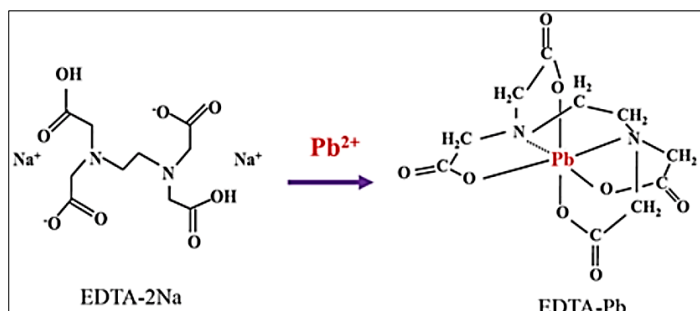
Propiedades del EDTA como agente de lavado

Propiedades	Descripción
Alta capacidad quelante	Forma complejos estables con metales pesados como Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , entre otros, lo que permite su solubilización y movilización.
Solubilidad en agua	Altamente soluble en agua, lo que permite su fácil aplicación en soluciones para lavado de suelos o aguas contaminadas.
Estabilidad química	Resistente a la hidrólisis y oxidación en un amplio rango de pH, lo que le permite actuar eficazmente en distintos tipos de suelos.
Selectividad	Tiene mayor afinidad por ciertos metales (como Pb y Cu), lo cual es útil en ambientes multicomponente.
No volátil y no inflamable	Seguro de manejar y aplicar en campo sin riesgo de evaporación o incendio.
Bajo impacto sobre la estructura del suelo	No altera significativamente la textura ni la estructura física del suelo tratado, comparado con otros ácidos fuertes.
Capacidad para remediación in situ o ex situ	Puede utilizarse directamente sobre el terreno o en sistemas cerrados de lavado fuera del sitio.

El EDTA actúa como un ligando hexadentado, uniéndose al Pb^{2+} mediante seis enlaces de coordinación: cuatro grupos carboxilato ($-COO^-$) y dos átomos de nitrógeno con pares de electrones libres. El resultado es un quelato: un complejo muy estable que inmoviliza al plomo y lo vuelve menos biodisponible o tóxico (López, 2016).

Figura 1

Formación de quelato del EDTA con el plomo



Fuente: López, (2016)

Cuando el ion plomo reacciona con el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), se forma un quelato estable, es decir, un complejo en el que el EDTA "abrazo" al ion metálico a través de varios sitios donadores de electrones (Barton, 2024).

c) Principales propiedades del suelo que influyen en el lavado

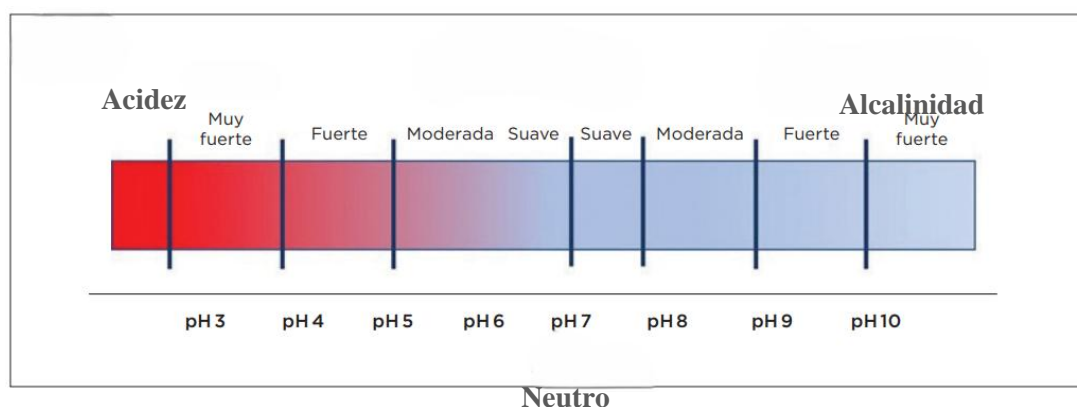
El lavado de suelos está fuertemente influenciado por tres propiedades clave del suelo: pH, textura y materia orgánica, las cuales determinan la retención o movilidad de los contaminantes y nutrientes (Pedron et al., 2022; Xu et al., 2022).

pH del suelo

El pH del suelo afecta la solubilidad de los elementos presentes en el suelo

Figura 2

pH del suelo



Fuente: Mundoagro, (2022)

Tabla 3

pH del suelo en el lavado

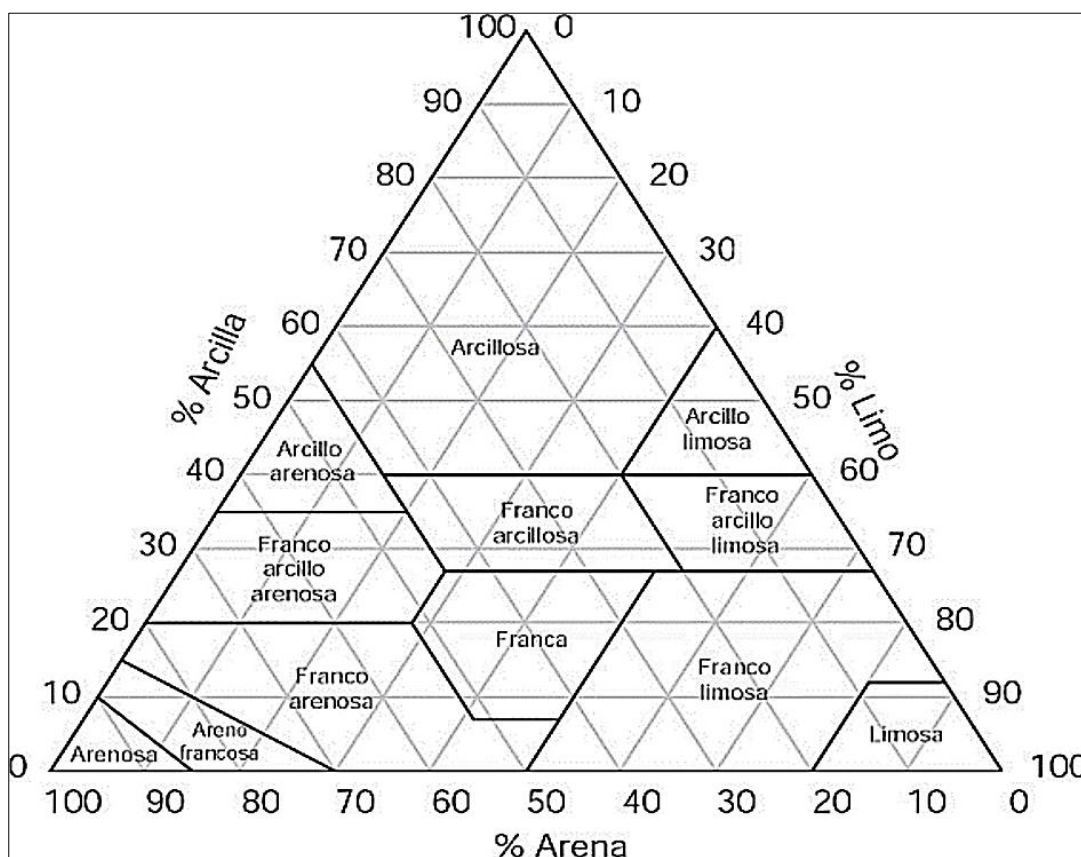
Suelos ácidos	Suelos neutros	Suelos alcalinos
Favorecen la solubilización y movilidad de metales pesados como plomo, cadmio y aluminio, aumentando su lavado.	Presentan un equilibrio en la disponibilidad de nutrientes y menor riesgo de lavado excesivo.	Tienden a inmovilizar algunos nutrientes y metales pesados, reduciendo su disponibilidad y arrastre.

Fuente: Huiza y Quispe, (2017)

La textura del suelo es la proporción de arena, limo y arcilla el cual determina la capacidad del suelo para retener o permitir el paso del agua:

Figura 3

Triángulo textural del suelo



Fuente: FAO, (2009)

Tabla 4

Textura del suelo en el lavado

Suelos arenosos	Suelos arcillosos	Suelos franco-limosos
Tienen partículas gruesas con grandes poros, permitiendo un rápido drenaje y facilitando el lavado de nutrientes y contaminantes	Sus partículas finas y su alta capacidad de retención de agua reducen la lixiviación, atrapando nutrientes y contaminantes	Presentan un balance entre drenaje y retención de sustancias, afectando moderadamente el lavado

Fuente: Silva, (2018)

La materia orgánica juega un papel crucial en la retención de nutrientes y contaminantes:

- Puede inmovilizar metales pesados, evitando su arrastre hacia aguas subterráneas.
- Favorece una estructura del suelo estable, disminuyendo la erosión y el transporte de partículas contaminadas.

2.2.7. Marco normativo

- Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, fueron aprobados a través del Decreto Supremo 011-2017-MINAM y fue publicado el 2 de diciembre del 2017. El ECA para compuestos inorgánicos como el plomo (Pb) para suelos agrícolas es de 70 kg/mg, el cual será utilizado para la presente investigación.

CAPÍTULO III

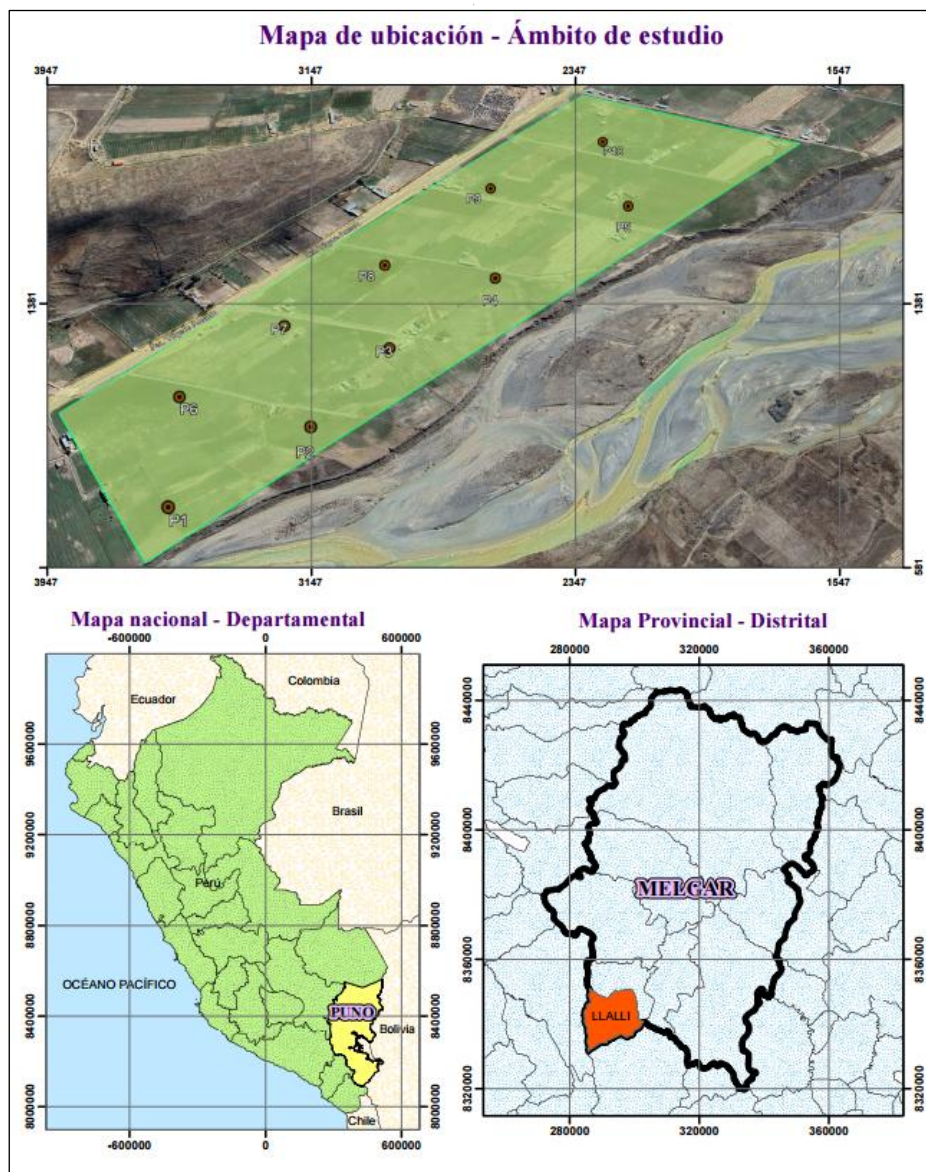
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

El área de investigación en el distrito de Llalli perteneciente a la provincia de Melgar en el departamento de Puno. Geográficamente, se encuentra a una altitud aproximada de 3998 m.s.n.m, con una latitud sur de $14^{\circ} 56' 52''$ y una longitud oeste de $70^{\circ} 52' 49''$. Debido a su ubicación, presenta características típicas de las zonas altoandinas, con un relieve predominantemente montañoso y condiciones climáticas propias de la región puneña.

Figura 4

Mapa de ubicación del ámbito de estudio



3.2.Diseño metodológico

1.4.4. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que busca dar solución a un problema concreto: la presencia de plomo en suelos agrícolas contaminados, mediante el empleo de un agente, EDTA, en procesos de lavado. De acuerdo con García, (2008), la investigación aplicada se orienta a generar conocimientos con un propósito práctico y utilizable, lo cual se refleja en la búsqueda de una tecnología viable de remediación para suelos afectados por metales pesados.

1.4.5. Nivel de investigación

El nivel de investigación es experimental, puesto que se manipulan las variables independientes; concentración del EDTA y el tiempo de contacto para observar sus efectos, sobre la variable dependiente; remoción de plomo. Como lo afirman Hernández y Mendoza, (2008), la investigación experimental permite establecer relaciones de interacción entre variables bajo condiciones controladas, siendo adecuada para ensayos que requieren validación técnica de tratamientos.

1.4.6. Enfoque de investigación

Asimismo, el enfoque metodológico del estudio es cuantitativo, ya que se basa en la medición numérica de las variables, el análisis estadístico de los datos; este enfoque permite obtener resultados replicables, característicos de los estudios experimentales. Según Bisquerra, (2019), el enfoque cuantitativo busca explicar fenómenos mediante la recolección de datos numéricos y su análisis mediante procedimientos estadísticos.

1.4.7. Diseño de investigación

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial de 4x3; obteniendo 12 tratamientos con tres repeticiones, sumando un total de 36 unidades experimentales; Este diseño permite evaluar de forma independiente los efectos de las concentraciones de EDTA y el tiempo de lavado sobre remoción de plomo. Además, facilita la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

- **Variables Independientes**

Factor A: Tiempo de lavado

A1: 12h - A2: 24h - A3: 36h – A4:48h

Factor B: Concentración del EDTA

B1:1% - B2: 3% - B3: 5%

- **Variable Dependiente**

% Remoción del plomo

Tabla 5

Distribución de tratamientos de la investigación, según la concentración de EDTA y el tiempo de lavado

Tiempo de lavado (h)	Concentración del EDTA		
	1%	3%	5%
12	TR1	TR5	TR9
24	TR2	TR6	TR10
36	TR3	TR7	TR11
48	TR4	TR8	TR12
Total de tratamientos (12)	Repeticiones (3)		Total de experimentos (36)

Se aplicó ANOVA con el objetivo de evaluar los efectos individuales de los factores A (tiempo de lavado) y B (concentración de EDTA), así como su interacción A×B, sobre la variable dependiente (remoción de plomo), donde el modelo estadístico del DCA con arreglo factorial para dos factores fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

- Y_{ijk} : Valor observado en la combinación del tiempo de lavado τ_i , la concentración de EDTA γ_j , y la repetición k
- μ : Media general
- τ_i : Efecto del i-ésimo tiempo de lavado (12 h, 24 h, 36 h, 48 h)
- γ_j : Efecto de la j-ésima concentración de EDTA (1%, 3%, 5%)
- $(\tau\gamma)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el tiempo i y la concentración j
- ε_{ijk} : Error aleatorio experimental, $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

Se verificaron los supuestos estadísticos del ANOVA, homogeneidad de varianzas; mediante la prueba de Levene (Anexo 9) y linealidad, independencia, normalidad de los residuos usando la prueba de Shapiro-Wilk (Anexo 14). Según Bisquerra, (2019) es necesario realizar ambas pruebas, con el fin de validar la aplicación del modelo y asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Ya que en el ANOVA se mostraron efectos significativos donde $p < 0.05$ (Anexo 11), se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey (HSD - Honest Significant Difference) (Anexo 13), con el fin de determinar entre qué tratamientos existían diferencias significativas, tal como es sugerido por Hernández y Mendoza, (2008).

Todo el análisis estadístico fue desarrollado utilizando el software RStudio (versión 4.4.0), mediante el uso de paquetes específicos. Los datos experimentales fueron previamente organizados y verificados en hojas de cálculo de Microsoft Excel antes de ser importados a RStudio para su análisis.

3.3. Población y muestra

a) Población

Conformada por los suelos agrícolas del distrito de Llalli, provincia de Melgar, departamento de Puno. Esta zona presenta suelos altoandinos con antecedentes de contaminación por plomo y cadmio, asociados a actividades mineras cercanas (Dalens, 2018).

b) Muestras

El tamaño de muestra, fue una muestra compuesta de 4 kg. Para obtener la muestra compuesta, se tomó diez submuestras que fueron recolectadas aleatoriamente en el área de estudio, para el proceso se siguió las recomendaciones de la guía de muestreo de suelos dispuesta por MINAM, (2014).

3.4. Materiales, equipos, insumos y reactivos

a) Materiales

Pala, pico, tamiz de 2mm, mortero, bandejas para secado, bolsas herméticas, cooler, tubos falcon de 50 mL, pera de succión, lunas de reloj, embudo Buschner, filtros de membrana de 0.45 μm , pipetas pasteur, hidrómetro de Bouyoucos con escala de 0-60 g/l, agitador de mano, goteros.

b) Materiales de vidrio

Vasos de precipitado de 50 mL, pipeta graduada de 5 mL y 10 mL, matraz Erlenmeyer de 250 mL y 500 mL, embudo, matraz Kitasato de 250 mL, probetas de 1000 mL, 100 mL y 25 mL, bureta de 50 mL, tubos de ensayo y termómetro de -10 a 110°C.

c) Equipos e instrumentos

Balanza Analítica (BEL M214AI), bomba de vacío, agitador (LABNET), espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas (AGILENT 4210MP-AES), potenciómetro (INO LAB D-82362), centrifugador (NUVE NF800), agitador Bouyoucos (WARING WDM360TX), equipo microondas (TERRIGENO L2) y campana extractora (C4 CEX 150).

d) Reactivos e insumos:

Ácido nítrico (HNO_3 al 70%), ácido etilendiaminotetracético (EDTA al 1%, 3% y 5%), dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ al 1N), ácido sulfúrico (H_2SO_4 al 98%), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 1M), indicador de difenilamina, nitrato de plata (AgNO_3 al 0.1N), oxalato de sodio, metasilicato de sodio (36 g/l), agua destilada, ácido clorhídrico (HCl al 37%), soluciones de stock estándar y soluciones Buffer para pH (4,6 y 9).

3.5. Metodología

3.5.1. Para determinar la concentración inicial de plomo

a) Obtención de muestra representativa (muestreo)

Para obtener una muestra compuesta, se recolectaron diez submuestras de suelo tomadas de forma aleatoria dentro del área de estudio, asegurando así su representatividad y reduciendo las variaciones propias del terreno, como cambios en textura, humedad y contenido de contaminantes (INIA, 2017). El área de muestreo fue delimitada considerando las características del terreno y la accesibilidad, cuyo muestreo se realizó siguiendo las recomendaciones establecidas en la guía para muestreo de suelos (MINAM, 2014).

En cada punto de muestreo se retiró la cobertura vegetal tal como sugieren Astonitas et al., (2021). Posteriormente, con la ayuda de la pala plana se efectuó cortes de hoyo de forma V hasta una profundidad de 30 cm, acorde a lo establecido para suelos agrícolas MINAM, (2014), de cada hoyo se extrajo aproximadamente un kg de suelo para luego ser llevado a un balde limpio como se observa en la figura 5; las submuestras recolectadas se mezclaron homogéneamente en el balde para obtener la muestra compuesta, procedimiento también reportado por Huiza y Quispe, (2017); finalmente, y se separaron cuatro kg de suelo para el estudio.

Figura 5

Forma correcta de tomar una muestra



Fuente: Astonitas et al., (2021)

Manejo de muestra: Siguiendo las disposiciones de la guía de muestreo, la muestra final obtenida fue depositada en bolsas de polietileno de alta densidad, etiquetada y esterilizada, para evitar la contaminación; respecto a la temperatura preservación y tiempo máximo de conservación, la guía indica que no existe restricciones para el análisis de plomo (MINAM, 2014).

b) Determinación de propiedades del suelo que influyen en el lavado

Se determinó el pH, textura y contenido de materia orgánica del suelo, ya que según Ortiz Bernad et al., (2007) la eficacia de la técnica de lavado depende de estas propiedades.

pH: Para determinar el pH del suelo se empleó el método EPA 9045D, ensayo descrito en el Anexo 3 y análisis de laboratorio en el Anexo 2.

Textura: Para determinar la textura del suelo se usó el método de Bouyoucos, ensayo descrito en el Anexo 4 y análisis de laboratorio en el Anexo 2.

MO: Para determinar la materia orgánica se empleó el método Walkley y Black, ensayo detallado en el Anexo 5 y análisis de laboratorio en el Anexo 2.

c) Concentración inicial de plomo en la muestra de suelo

Para determinar el contenido de plomo se empleó el espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas, cuyo procedimiento dispuesto por LABSAF (INIA, 2017); Para lo cual se pesó 0.5 g y fue transferido al vaso de digestión del equipo microondas, se añadió $10 \pm 0,1$ mL de ácido nítrico concentrado (70%) al recipiente en una campana extractora; se colocó el vaso de digestión en el equipo microondas y siguió la secuencia de programación del equipo. Terminada la digestión, se trasvasó, aforó y procedió a la lectura en el espectrofotómetro; se inició con la configuración operativa adecuada de la computadora de acuerdo con las instrucciones del fabricante; se configuró los parámetros de funcionamiento adecuados y se dejó transcurrir aproximadamente 30 minutos para que el equipo se equilibre antes de analizar las muestras.

3.5.2. Para analizar la influencia del tiempo de lavado y la concentración de EDTA

a) Preparación de muestras

Para el preparado de muestras se empleó el concepto de tierra fina secada al aire (TFSA), y fue pasado por un tamiz de 2 mm de diámetro (Guridi y Cordero, 2009). En consecuencia, los agregados del suelo fueron desintegrados mediante molienda para facilitar su homogenización (INIA, 2017).

Se trabajó con una relación de 1:2 entre la muestra de suelo y el volumen del agente de lavado (EDTA), tal como lo sugiere Silva, (2018). Para lo cual, haciendo el uso de una luna de reloj se pesó 10 g de muestra de suelo para cada tratamiento y dicha muestra se añadió a un matraz Erlenmeyer de 250 mL.

b) Adición de agentes quelantes

El EDTA, que fue adquirido puro (292 M) del laboratorio de suelos, aguas y foliares, Anexo Salcedo, INIA, se diluyó a concentraciones de 1% (0.034 M), 3% (0.103 M) y 5% (0.171 M); seguidamente, usando una probeta de 100 mL se midió 20 mL de solución y fue añadido a los matraces de 250 mL, repitiéndose este proceso para todas las muestras.

Los matraces se dispusieron en el agitador, manteniendo el suelo en contacto con el agente de lavado durante el tiempo establecido para cada tratamiento (12h, 24h, 36h y

48h) que fueron seleccionados según los intervalos de tiempo sugeridos por Guridi y Cordero, (2009); Zambrano y Ramirez, (2019); Xu et al., (2024).

Una vez transcurrido el tiempo de lavado, la muestra se transfirió a tubos falcón de 50 mL y se sometió a centrifugación por un periodo de 30 minutos a 3000 rpm. Antes del filtrado las muestras fueron acidificadas con Ácido Nítrico al 76%.

c) Filtrado

Para el filtrado de la muestra se empleó filtros de acetato de celulosa de 0.45 micrómetros, ya que es considerado apropiado por diferentes autores como Soriano et al., (2018); Xu et al., (2022), para acelerar el proceso se usó el embudo Buschner y la bomba de vacío.

d) Análisis de la concentración final de plomo

Una vez culminado los procesos de experimentación la concentración de plomo final se volvió a medir empleando el espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas, cuyo procedimiento detallado anteriormente (INIA, 2017). Una vez obtenida la concentración inicial y final de plomo en el suelo, fue posible analizar la influencia del tiempo de lavado y concentración del EDTA sobre la remoción del Pb en el suelo.

3.5.3. Para determinar el porcentaje de remoción después del lavado

Para hallar la eficiencia del EDTA en la remoción de plomo se analizó el líquido filtrado, también se empleó el espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas cuyo procedimiento detallado anteriormente (omitiendo la digestión, por ser una muestra líquida) y utilizó la ecuación empleada también por Guo et al. (2022); Xu et al., (2024).

$$RE\% = \frac{C_i \cdot V}{\omega m} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

- C_i (mg/L) representa la concentración de metales en solución de EDTA,
- V (L) denota el volumen del metal pesado en la solución de lavado tras el proceso
- ω (mg/kg) representa la concentración inicial de metal pesado en el suelo
- m (kg) es el peso inicial para la solución de lavado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Concentración inicial de plomo en suelos agrícolas de Llalí

En la tabla 6 se muestran los valores obtenidos de las principales propiedades del suelo que influyen en el proceso de lavado; como el pH, textura y materia orgánica.

Tabla 6

Principales propiedades del suelo que afectan el proceso de lavado

Propiedad del suelo	Resultados
pH	6.04
Textura	Arena: 39.60% Limo: 47.84% Arcilla: 12.56%
Materia orgánica	2%
Pb	60.67 mg/kg

En cuanto al pH, la tabla 6 muestra un valor de 6.04, lo que indica que el suelo analizado es ligeramente ácido, según la clasificación de la FAO, (2009). Teniendo un pH de 6.04 es posible que los iones metálicos como el plomo se encuentre en una forma móvil y soluble, como lo indica Chiu y Gani, (2024). Asimismo, Shukla et al., (2022) afirma que este pH es ideal en tratamientos de lavado de suelos contaminados con metales pesados, como el plomo, ya que en este rango no llega a condiciones extremas de acidez y no compromete la estabilidad estructural ni la actividad microbiana del suelo. De igual forma, Xu et al., (2022) reportan que condiciones de pH ligeramente ácido optimizan la remoción de plomo cuando se emplean agentes quelantes; En ese sentido, el valor de pH obtenido en la muestra representativa (6.04) indicaría desde ya, una alta probabilidad de éxito en los tratamientos.

Respecto a la textura, en la tabla 6 se observa el contenido de arena 39.60%, limo 47.84% y arcilla 12.56% lo que clasifica el suelo como franco limoso según el Sistema Textural del USDA (FAO, 2009). En comparación con el estudio de Zambrano y Ramirez, (2019) donde

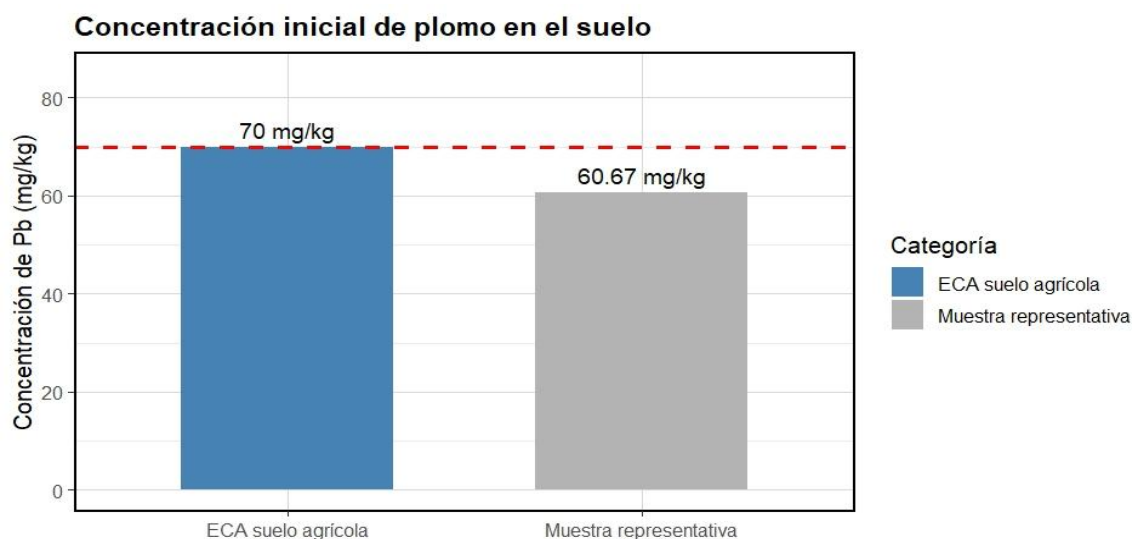
obtuvieron una remoción de 53.25% de plomo utilizando EDTA en suelos con alta capacidad de adsorción, se evidencia que el tipo de suelo es crucial para la eficiencia del proceso. Por su parte, Castro, (2020) destaca que suelos con elevado contenido de limo poseen mayor superficie específica y fuerte adsorción de metales, lo que dificulta su liberación durante el lavado. En este contexto, el suelo franco limoso evaluado, por su textura intermedia, podría requerir la implementación de estrategias combinadas y ajustadas para optimizar la eficiencia de remoción del plomo mediante procesos de lavado.

En la tabla 6 se muestra que el contenido de materia orgánica del suelo fue de 2% valor que, según la FAO, (2009) se clasifica como medio. Para Caycho et al., (2025) un suelo con MO media, cumple un rol dual: acilitan la retención de metales pesados mediante la formación de complejos orgánicos, pero pueden interferir con la acción de agentes quelantes como el EDTA al competir por los mismos sitios de adsorción del Pb. De manera similar, Guo et al., (2022), observaron que la materia orgánica influye en la bioaccesibilidad y lixiviabilidad del Pb luego del lavado, sin reducir la eficiencia del EDTA. De igual modo, Hart et al. (2022) confirmaron que el contenido de MO influía en la movilización del plomo, pero no impedía su acumulación en los tejidos vegetales. En ese sentido el contenido medio de MO (2 %) sugiere que el suelo estudiado mantiene un equilibrio entre la retención y la movilidad del plomo, lo que favorece su remoción mediante agentes quelante

La concentración inicial de plomo se obtuvo a partir del análisis de tres repeticiones, cuyo promedio fue considerado como el valor inicial de referencia (Anexo 17)

Figura 6

Comparación de la concentración inicial con el ECA para suelo agrícola



En la tabla 6, se observa que la concentración inicial de plomo registrada en la muestra representativa fue de 60.67 mg/kg y en la figura 6 se evidencia que el valor se encuentra por debajo de 70 mg/kg que es lo establecido para suelos agrícolas en la normativa peruana, ECA (Anexo 1). Diversos estudios, como el de Kaurin et al., (2020), indican que concentraciones de plomo en suelos incluso por debajo del ECA pueden ser problemáticas a largo plazo debido a la biodisponibilidad del metal, que puede afectar cultivos y hacer que ingrese a la cadena alimentaria. Por otro lado, en estudios experimentales como el de Zambrano y Ramirez, (2019), se trabajó con concentraciones iniciales de plomo de 32.86 mg/kg, y aun así se consideró necesario aplicar lavado con EDTA, esto se debe a la persistencia y toxicidad del plomo en el suelo. En comparación con la muestra actual casi duplica esa concentración, lo cual respalda el estudio de técnicas de remediación.

4.2. Influencia del tiempo de lavado y concentración del EDTA

La tabla 7 muestra un promedio de la concentración final de plomo en el suelo de las tres replicas que se realizaron de cada tratamiento (Anexo 6).

Tabla 7

Concentración final de plomo en el suelo después de los tratamientos aplicados

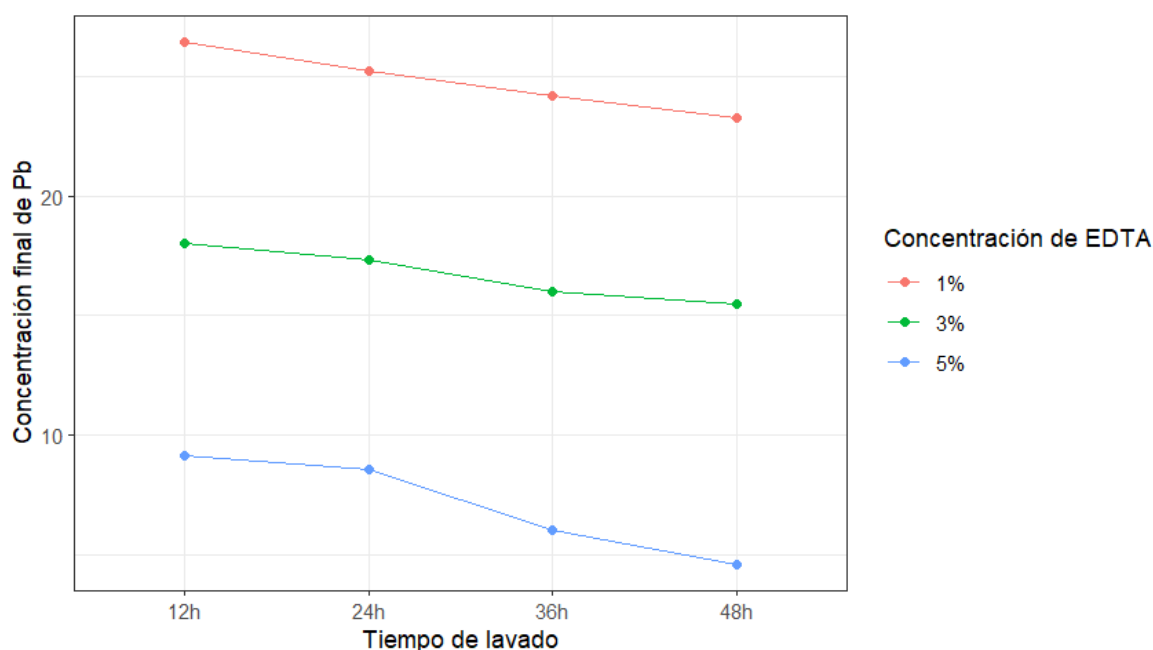
Código de tratamiento	Tiempo de lavado (h)	Concentración de EDTA (%)	Concentración final de plomo en el suelo (mg/kg)
TR1	12	1	26.45
TR2	24	1	25.23
TR3	36	1	24.18
TR4	48	1	23.25
TR5	12	3	18.04
TR6	24	3	17.35
TR7	36	3	16.03
TR8	48	3	15.50
TR9	12	5	9.13
TR10	24	5	8.57
TR11	36	5	6.06
TR12	48	5	4.62

En tabla 7 se evidencia como influye la concentración de EDTA y el tiempo de lavado en la concentración final de plomo, se muestra un gran cambio desde el TR1 que contiene los

valores mínimos tanto en concentración (1% EDTA), como en lavado (12h) donde se obtuvo una concentración final de Pb de 26.45 mg/kg, los cambios repercuten hasta el TR12 que contiene los valores máximos con una concentración de EDTA al 5% y 48h de tiempo de lavado obteniendo como resultado 4.62 mg/kg de plomo en el suelo. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Bustamante, (2020), quien reportó una alta eficiencia del EDTA en la recuperación de plomo, alcanzando más del 50 % de extracción al optimizar simultáneamente las condiciones de concentración de EDTA y pH. De manera similar, Cho et al. (2020) demostraron que el ajuste adecuado de la concentración de agentes como EDTA, junto con el tiempo de exposición, puede reducir significativamente la presencia de plomo sin comprometer las propiedades físico-químicas del suelo. Los resultados evidencian la importancia de optimizar simultáneamente la concentración del agente quelante y el tiempo de lavado, ya que su interacción potencia la eficiencia del proceso de remoción.

Figura 7

Interacción de la concentración de EDTA y el tiempo de lavado



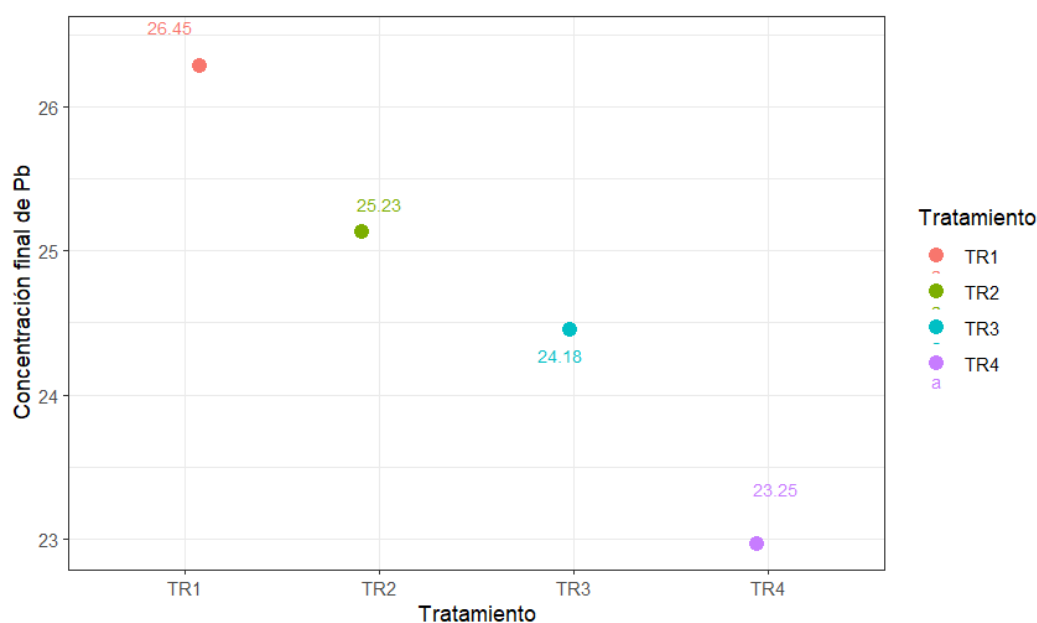
En la figura 7 se observa que al aumentar tanto el tiempo de lavado (12 h, 24 h y 48 h) como la concentración de EDTA (1 %, 3 % y 5 %), se produce una disminución progresiva en las concentraciones finales de plomo en el suelo. Este comportamiento evidencia que ambos factores ejercen una influencia significativa sobre la eficiencia del proceso de lavado, cuyo efecto fue corroborado estadísticamente mediante el análisis de varianza (ANOVA), el cual mostró un valor de $p < 0.05$, confirmando diferencias significativas entre

los tratamientos (Anexo 11). Los resultados coinciden con lo concluido por Rui et al., (2023), quienes señalaron que el tiempo de exposición del eluyente o agente es determinante para la extracción del metal.

Por otro lado Rui et al., (2025) también evidenciaron que empleando soluciones de EDTA aumentan la eficiencia de remoción del plomo y que esto se debe al contacto del agente con el contaminante. De igual modo, Sun et al., (2023) en un estudio donde se combinó lavado con EDTA refuerza la importancia de ajustar las condiciones para mejorar el proceso de lavado. El estudio demuestra experimentalmente que la combinación de mayor concentración de EDTA y tiempo prolongado de lavado mejora significativamente la remoción de plomo, validando estos parámetros como condiciones óptimas para el proceso de descontaminación del suelo.

Figura 8

Concentración de Pb en tratamientos con 1% de EDTA

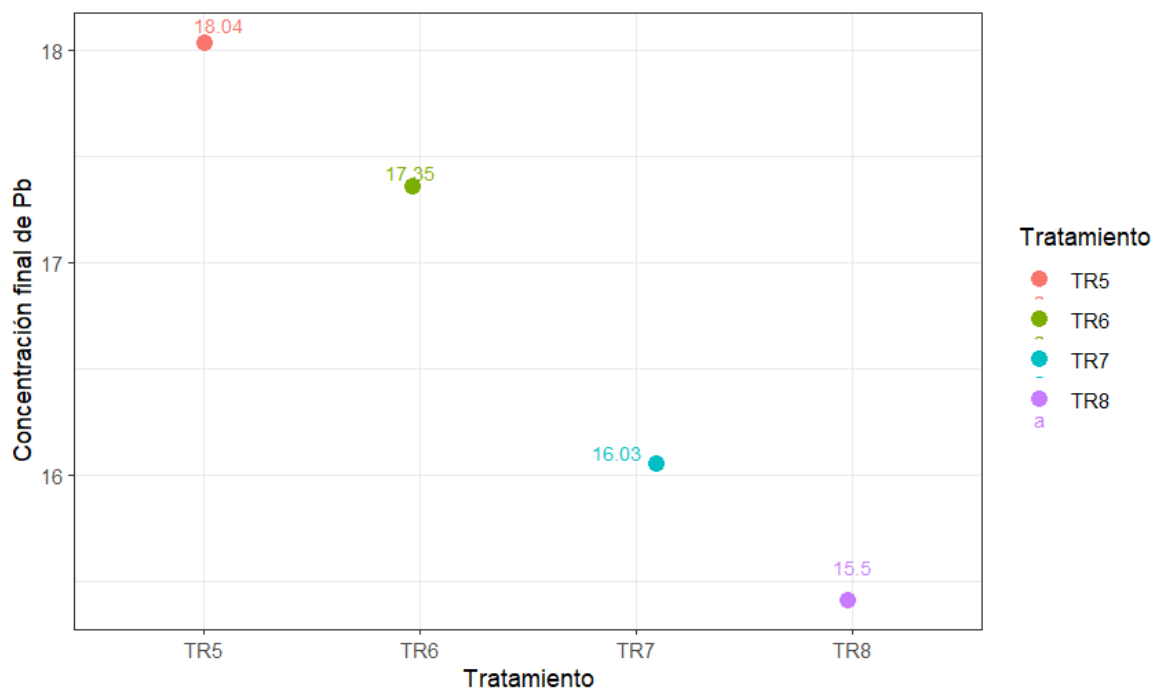


La figura 8 muestra los tratamientos con una concentración de 1% de EDTA, donde se observó que el aumento progresivo del tiempo de lavado tuvo un impacto moderado en la disminución de la concentración final de plomo. A las 12h la concentración de Pb fue de 26.45 mg/kg, mientras que a las 24h se redujo levemente a 25.23 mg/kg en las siguientes mediciones a 36h y 48h, las concentraciones fueron de 24.18 mg/kg y 23.25mg/kg respectivamente, disminuyendo gradualmente. Esta tendencia ha sido reportada por Xu et al., (2022) quienes demostraron que a bajas concentraciones de EDTA, los tiempos prolongados favorecen en la extracción de plomo en especial al intercambiable y al unido

a carbonatos. Del mismo modo, Guo et al., (2018) también señalaron que la existencia de arcilla y limos, que funcionan como barreras de intercambio iónico, lo que significa que al 1% de EDTA, se requieren largos plazos para lograr eliminaciones notables.

Figura 9

Concentración de Pb en tratamientos con 3% de EDTA

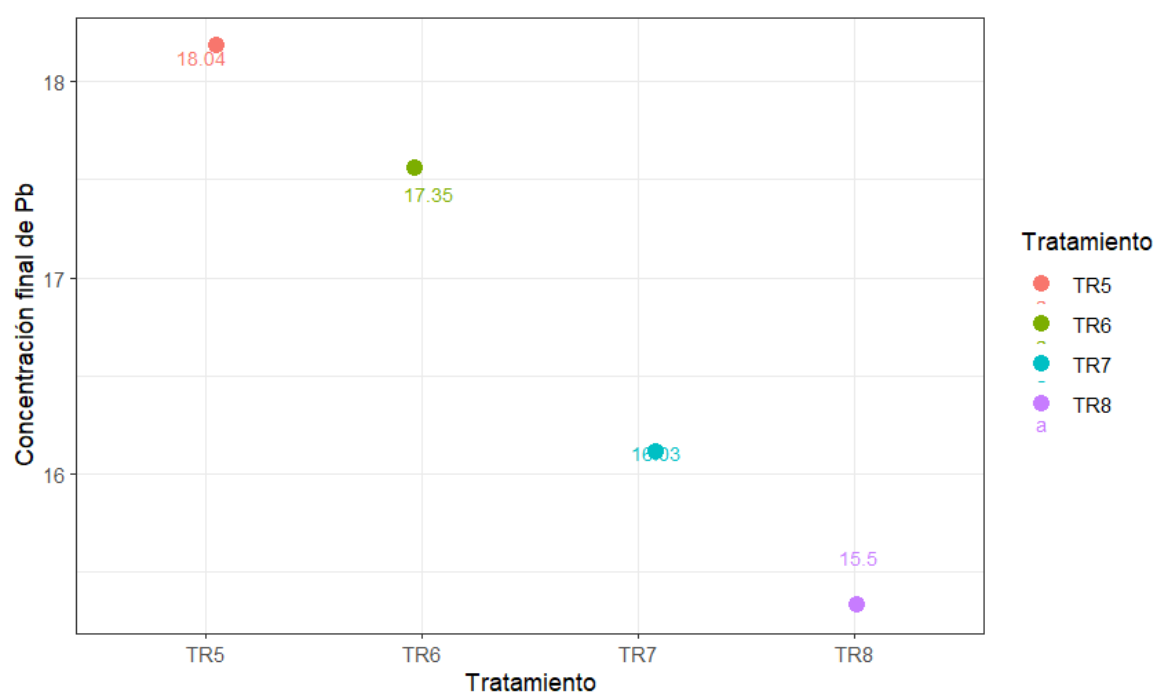


En la figura 9, los tratamientos que tienen 3% de EDTA mostraron una respuesta mucho más eficaz y sensible a los aumentos de los tiempos de lavado. Desde las primeras 12h se observó una disminución considerable, obteniendo una concentración de 18.04 mg/kg de plomo, al incrementar el tiempo a 24h y 36h se intensificó el proceso de extracción obteniendo concentraciones de 17.35 mg/kg y 16.03 mg/kg respectivamente, y a las 48h se logró disminuir más la concentración de plomo (15.50 mg/kg), aunque con ganancias más moderadas que en las etapas anteriores.

De acuerdo a las observaciones de Cheng et al., (2020) una concentración de 3% de EDTA es óptima para una eliminación eficaz sin sobrecargar el sistema ni producir una movilización excesiva de otros elementos; Este nivel de concentración ofrece un balance entre eficiencia y la reducción de impactos secundarios, como la pérdida de nutrientes del suelo. Además, Gamarra, (2019) ha observado que la actividad quelante es mucho mayor en soluciones altamente concentradas debido a su mayor competencia con los sitios de adsorción de plomo en la matriz sólida del suelo.

Figura 10

Concentración de Pb en tratamientos con 5% de EDTA



La figura 10 de los tratamientos 5% de EDTA muestran escenarios de mayor concentración de agente quelante de toda la investigación, donde se evidenciaron las concentraciones finales de plomo más reducidas. Las primeras 12 horas se observó la disminución a 9.13 mg/kg, lo que demuestra la eficiencia inmediata del EDTA en altas cantidades. Alcanzó mejores resultados a las 36h y 48h, con 6.06 mg/kg y 4.62 mg/kg de plomo en el suelo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Quispe, (2025), quien logró la recuperación de plomo del 98.28 % a partir de residuos sólidos utilizando EDTA bajo condiciones óptimas de pH, tiempo y concentración, lo que reafirma la eficacia del quelante en distintas matrices contaminadas. Asimismo, Gluhar et al., (2020) destacan que el EDTA es uno de los agentes más efectivos para la extracción de metales pesados del suelo. Sin embargo, también es importante señalar que el uso de altas concentraciones de EDTA puede acarrear impactos negativos tanto operacionales como ambientales. Según Cheng et al. (2020), dosis elevadas de EDTA no solo movilizan plomo, sino también nutrientes esenciales como calcio, hierro y magnesio, comprometiendo la fertilidad del suelo, lo que es especialmente crítico en zonas agrícolas. En contraste, el estudio de Estrada y Vega (2024), realizado en suelos contaminados de La Oroya, demostró que el uso de ácido cítrico, un agente menos agresivo y biodegradable, permitió una remoción del 76.49 % de plomo en condiciones ácidas (pH 2) y tras 8 horas de contacto.

4.3. Porcentajes de remoción

Los porcentajes de remoción de plomo van ascendiendo gradualmente y proporcionalmente a la concentración de EDTA y el tiempo de lavado. En la tabla 8 se visualiza un promedio de porcentaje de remoción de las tres replicas que se realizaron de cada tratamiento (Anexo 8).

Tabla 8

Resumen de la determinación de porcentaje de remoción de plomo

Código	Concentración de plomo en solución de EDTA (mg/L)	Volumen de la solución después del lavado (L)	Concentración inicial de plomo en el suelo (mg/kg)	Peso inicial de suelo para el lavado (kg)	Porcentaje de remoción de plomo (%)	ECA para suelo agrícola (mg/kg)
TR1	33.65	0.010	60.67	0.01	55.5	70
TR2	34.63	0.010	60.67	0.01	57.1	70
TR3	35.71	0.010	60.67	0.01	58.9	70
TR4	36.96	0.010	60.67	0.01	60.9	70
TR5	42.19	0.010	60.67	0.01	69.5	70
TR6	43.40	0.010	60.67	0.01	71.5	70
TR7	45.05	0.010	60.67	0.01	74.3	70
TR8	46.50	0.010	60.67	0.01	76.7	70
TR9	50.91	0.010	60.67	0.01	83.9	70
TR10	52.02	0.010	60.67	0.01	85.8	70
TR11	54.58	0.010	60.67	0.01	90.0	70
TR12	55.38	0.010	60.67	0.01	91.3	70

En la tabla 8 los resultados experimentales mostraron que el plomo se elimina gradual y significativamente en función del tiempo del lavado y de la concentración de EDTA. En tratamientos con 1% de EDTA el porcentaje de remoción vario de 55.5% en el TR1 a 60.9% en el TR4, lo que indica una eficiencia moderada que aumenta ligeramente con el tiempo; La eliminación aumentó significativamente cuando la concentración se elevó al 3%, alcanzando valores del 69.5% (TR5) al 76.7% (TR8); Por último, los mayores niveles de eliminación se observaron en los tratamientos que contenían EDTA al 5%, superando el 83% en TR9 y alcanzando el 91.3% en TR12. Estos porcentajes de remoción son

altamente consistentes con investigaciones como el de Xu et al., (2022), quienes demostraron que era posible una eliminación de Pb superior al 69% cuando se utilizaban agentes de lavado para duraciones de contacto de hasta 48 horas. De forma similar a las condiciones de eliminación observadas en TR10 a TR12; Gonzalo, (2022), encontró que el EDTA a concentraciones de 5 y 10 mmol/kg fue exitoso en la extracción de plomo de suelos calizos, alcanzando altos niveles de extracción, particularmente de fracciones carbonatadas.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la tabla 8, muestran claramente una correlación entre la cantidad de plomo en el líquido y su concentración. En el TR1 se obtuvo una remoción de 55.5%, donde la concentración en el lixiviado fue de 33.65 mg/L, mientras que en TR12, con una retención del 91,3%, la concentración en el lixiviado fue de 55,38 mg/L. Este aumento progresivo muestra que una mayor proporción del plomo originalmente presente en el suelo fue efectivamente movilizada hacia la fase líquida. Esto concuerda con lo reportado por Hart et al., (2022), quienes observaron que el uso de EDTA aumentaba significativamente la cantidad de plomo disponible en el suelo, lo que se reflejaba en una mayor bioacumulación vegetal y en mayores concentraciones de Pb en las soluciones de extracción. Esta tendencia refleja una movilización más profunda del Pb desde las fracciones menos accesibles del suelo, y muestra una sinergia entre la concentración del agente quelante y la duración del lavado.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La concentración inicial de plomo en suelos agrícolas provenientes del distrito de Llalli fue de 60.67 mg/kg, cuyo valor está por debajo de 70 mg/kg, establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos agrícolas. Por otro lado, las condiciones en el suelo fueron de pH 6.04, textura franco limoso y materia orgánica media, cuyos resultados fueron favorables para la aplicación de técnicas de lavado con quelantes, como el EDTA.

El tiempo de lavado y la concentración de EDTA mostraron una influencia significativa en la remoción de plomo en suelos agrícolas contaminados; los tratamientos con 1 % de EDTA mantuvieron concentraciones elevadas de plomo, entre 26.45 y 23.25 mg/kg. Al aumentar la concentración a 3 %, se observó una reducción más marcada, con valores entre 18.04 y 16.03 mg/kg. Finalmente, con 5 % de EDTA, la disminución fue significativa, alcanzando un mínimo de 4.62 mg/kg en el tratamiento con 48 h de lavado, los resultados reflejan una tendencia progresiva de remoción de plomo conforme se incrementan ambos factores.

Los porcentajes de remoción de plomo con concentraciones al 1% de EDTA y tiempos de lavado de 12 a 48 horas fueron de 55.5% a 60.9%, demostrando una baja eficiencia en esas condiciones, al incrementar la concentración a 3%, la remoción mejoró hasta un 73.4% y con 5% de EDTA se lograron porcentajes aún mayores, entre 76.7% y 91.3%, siendo el valor máximo alcanzado con el tiempo más prolongado; lo que indica que tanto la concentración como el tiempo de lavado influyen en el porcentaje de remoción y evidencian la alta eficiencia de esta técnica de lavado con EDTA.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones complementarias con distintas clases texturales, pH (ácido, neutro y alcalino) y contenido de materia orgánica, ya que estos factores influyen en la movilidad y disponibilidad de metales, como el plomo, lo cual permitiría determinar en qué condiciones del suelo el proceso de lavado es más eficiente.

Además del EDTA, se recomienda evaluar el uso de otros agentes quelantes como ácido etilendiaminodisucínico, ácido cítrico, entre otros, con el objetivo de comparar su eficacia en la remoción de plomo y su biodegradabilidad en el ambiente; esta comparación permitirá evaluar alternativas más sostenibles y menos persistentes que puedan minimizar los riesgos ecológicos asociados al uso de agentes sintéticos no biodegradables.

Se recomienda ampliar futuras investigaciones hacia otros cationes de relevancia ambiental además del plomo, como cadmio, cobre o zinc, debido a que estos metales también presentan alta movilidad, toxicidad y presencia frecuente en suelos agrícolas contaminados. Evaluar su comportamiento frente al EDTA permitiría comprender la competencia iónica, la efectividad del quelante en sistemas multimetálicos y la posible remoción simultánea, generando resultados más completos y aplicables a escenarios reales de contaminación.

Se recomienda implementar estrategias para reducir o eliminar el EDTA residual generado durante el proceso de lavado; las alternativas se sugiere incorporar etapas de enjuague posterior al tratamiento, aplicar métodos de tratamiento del eluato (precipitación, adsorción o técnicas oxidativas), o evaluar opciones complementarias para minimizar riesgos ambientales y asegurar una gestión segura del proceso de remediación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M. L. (2019). Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combunación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar. En *Universidad Politecnica de Madrid*. <https://oa.upm.es/55865/>
- Andrade, K., Castillo, I., & Quispe, R. (2020). Determinación de matales pesados en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la bahía interior de Puno. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 147–153. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-11i>
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. del C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., Pari, J., & Rodríguez, F. (2009). Lead intoxication and other health problems in children population who live near mine tailing. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 15–19.
- Astonitas Carrasco, L. J., Pariente, E., & Milla Pino, M. E. (2021). Metodología de muestreo de suelos con fines de análisis químico para la detección de metales pesados. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 77. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.772>
- ATSDR. (2007). Reseña toxicológica del plomo. *Atsdr*, 15. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf
- Avalos, Y. (2023). Evaluación de plomo en agua, suelo y su correlación con los niveles de plomo en sangre de los habitantes del centro poblado de Huacho – Ancash, Perú – 2021. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 10(2), 5–16. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.001>
- Avalos, Y. J. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 10(2), 59–68. <https://doi.org/10.36955/riulcb.2023v10n2.006>
- Barton, C. C. (2024). EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid). En *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 65–69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00692-8>
- Bisquerra, R. (2019). *Metodología de la investigación educativa*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=5826>
- Briseño, J., Araujo, X., Escot, V. M., Cardoso, J., Flores, J. A., & López, A. (2024). Lead (Pb) pollution in soil: A systematic review and meta-analysis of contamination grade and

- health risk in Mexico. *Environments* - MDPI, 11(3).
<https://doi.org/10.3390/environments11030043>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124.
<https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Buscot, F. (2005). What are soils? En *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions* (pp. 3–17). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/3-540-26609-7_1
- Bustamante, A. (2020). *Lixiviación de cobre con EDTA en minerales oxidados de cobre de la compañía minera Tintaya Antapaccay*.
- Candia, J. (2019). Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 35–36. https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf
- Castillo, X., Etchevers, J. D., Hidalgo, C. M. I., & Aguirre, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Castro, E. E. (2020). Efecto del quelato (EDTA) en la fitorremediación de un suelo contaminado por plomo, con *Urtica urens* en La Oroya, 2018. *Universidad Continental*, 104.
- Caycho, B. N., Lopez, N. T., & Aguero, S. D. (2025). *Capacidad fitoextractiva de *Hordeum vulgare* “cebada” en suelos contaminados con plomo y su efecto al aplicar estiércol de lombriz y EDTA*. <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15688>
- CEPAL, FAO, & IICA. (2021). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas. En *Una mirada hacia América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>
- Cheng, S., Lin, Q., Wang, Y., Luo, H., Huang, Z., Fu, H., Chen, H., & Xiao, R. (2020). The removal of Cu, Ni, and Zn in industrial soil by washing with EDTA-organic acids. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(4), 5160–5170.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.02.015>
- Chesniuk, S. (2023). *Metales pesados y metrología ambiental: Un compendio de preguntas y*

- respuestas*. METROQUIMICA.NET. <https://metroquimica.net/blogs/news/metales-pesados-y-metrologia-ambiental-un-compendio-de-preguntas-y-respuestas>
- Chiu, J. C., & Gani, P. (2024). Soil washing methods for effective removal of heavy metal contaminants. *Industrial and Domestic Waste Management*, 4(1), 56–71. <https://doi.org/10.53623/idwm.v4i1.444>
- Cho, K., Myung, E., Kim, H., Park, C., Choi, N., & Park, C. (2020). Effect of soil washing solutions on simultaneous removal of heavy metals and arsenic from contaminated soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3133. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093133>
- Dalens, J. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la cuenca Llallimayo de la provincia de Melgar, Región de Puno. En *Universidad José Carlos Mariátegui*. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/640>
- Doran, J. W., Paul, E. A., & Clark, F. E. (1998). Soil microbiology and biochemistry. *Journal of Range Management*, 51(2), 254. <https://doi.org/10.2307/4003217>
- ELIKA Seguridad alimentaria. (2023). *Plomo*. Elika.eus. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/plomo/>
- Ellis, S., & Mellor, T. (2002). *Soils and environment*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203415245>
- Estrada, A. I., & Vega, X. I. (2024). *Capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con Ácido Cítrico en la ciudad de la Oroya 2024*. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/9658/TESIS-ESTRADA-VEGA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Estrella, G. (2014). *Reacciones de formación de complejos*. 2, 1–57. <http://www.iberomex.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/8formacioncomplejos.pdf>
- Etecé. (2024). *Plomo*. Enciclopedia de Humanidades. <https://humanidades.com/plomo/>
- European Environment Agency. (2019). *El suelo, la tierra y el cambio climático*. europa.eu. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y>
- FAO. (2024). *Definiciones Clave*. Portal de Suelos de la FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fernandez, B. H., Mullisaca, E., & Huanchi, L. E. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones*

Altoandinas - Journal of High Andean Research, 24(2), 131–138.
<https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>

Gallegos, L., & Castillo, M. (2017). Diagnóstico social, económico y productivo para el desarrollo local de la zona de influencia de la provincia de Melgar, departamento de Puno. En *Universidad Católica San Pablo*. <https://ucsp.edu.pe/wp-content/uploads/2020/02/Diagnostico-Melgar.pdf>

Gamarra, T. S. (2019). *Remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1591>

García, M. G. (2008). Metodología de la investigación. *Revista Panamericana de Pedagogía*, 12. <https://doi.org/10.21555/rpp.v0i12.1812>

Gluhar, S., Kaurin, A., & Lestan, D. (2020). Soil washing with biodegradable chelating agents and EDTA: Technological feasibility, remediation efficiency and environmental sustainability. *Chemosphere*, 257, 127226. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127226>

González, V., Urriola, L., Carrera, B., & Mora Francisco. (2023). Evaluación del estado de contaminación por plomo en suelos de Panamá ubicados a orilla de carreteras. *Revista Semilla del Este*, 3, 170–185. https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/3765

Gonzalo, N. (2022). Estudio de la eficacia del uso de quelantes (EDTA) para el lavado de un suelo calizo contaminado con plomo. En *Universidad de Zaragoza*. <https://zaguan.unizar.es/record/124848>

Guo, J., Yuan, C., Zhao, Z., He, Q., Zhou, H., & Wen, M. (2022). Soil washing by biodegradable GLDA and PASP: Effects on metals removal efficiency, distribution, leachability, bioaccessibility, environmental risk and soil properties. *Process Safety and Environmental Protection*, 158, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.004>

Guo, X., Zhao, G., Zhang, G., He, Q., Wei, Z., Zheng, W., Qian, T., & Wu, Q. (2018). Effect of mixed chelators of EDTA, GLDA, and citric acid on bioavailability of residual heavy metals in soils and soil properties. *Chemosphere*, 209, 776–782. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.144>

Guridi, F., & Cordero, Y. (2009). Use of ethyldiamine acetic acid to evaluate the bioavailability

- of heavy metals in lettuce. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 13(3), 35–46.
<http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2009/sept/4.pdf>
- Haghighizadeh, A., Rajabi, O., Nezarat, A., Hajyani, Z., Haghmohammadi, M., Hedayatikhah, S., Asl, S. D., & Aghababai Beni, A. (2024). Comprehensive analysis of heavy metal soil contamination in mining Environments: Impacts, monitoring Techniques, and remediation strategies. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(6), 105777.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105777>
- Hart, G., Koether, M., McElroy, T., & Greipsson, S. (2022). Evaluation of chelating agents used in phytoextraction by switchgrass of lead contaminated soil. *Plants*, 11(8), 1012.
<https://doi.org/10.3390/plants11081012>
- Helena, C., Esthela, S., Judith, D., Maria, Z., Sofia, C., & Leticia, Q. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, 83, 5–71.
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2008). Metodología de la investigación: las rutas cuantativa, cualitativa y mixta. En *McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES*.
- Hettiarachchi, G. M., & Pierzynski, G. M. (2004). Soil lead bioavailability and in situ remediation of lead-contaminated soils: A review. *Environmental Progress*, 23(1), 78–93.
<https://doi.org/10.1002/ep.10004>
- Hossain, M. A., Chandra, S., Bodrud, M., Rakib, M. A., & Saha, B. B. (2021). Enrichment, sources and ecological risk mapping of heavy metals in agricultural soils of dhaka district employing SOM, PMF and GIS methods. *Chemosphere*, 263, 128339.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128339>
- Huiza, W., & Quispe, J. (2017). Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo de los tipos de pastizal del centro de investigación de camélidos Sudamericanos - LACHOCC. En *Repositorio Institucional - UNH*.
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f8678f21-7a56-4bc5-bdda-cd504df4164f/content>
- INIA. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. En *Ministerio de Agricultura y Riego* (Vol. 1).
- Jain, R. K., Cui, Z. “Cindy”, & Domen, J. K. (2016). Environmental Impacts of Mining. *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing*, 53–157.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804040-9.00004-8>

- Kaifer, M. J., Aguilar, A., Arana, A., Balseiro, C., Torá, I., Celeya, J. M., & Pijls, C. (2004). Guía de Tecnologías de Recuperación de Suelos Contaminados. En *Comunidad de Madrid, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio*.
- Karande, U. B., Kadam, A., Umrikar, B. N., Wagh, V., Sankhua, R. N., & Pawar, N. J. (2020). Environmental modelling of soil quality, heavy-metal enrichment and human health risk in sub-urbanized semiarid watershed of western India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(1), 545–556. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00701-z>
- Kaurin, A., Gluhar, S., Tilikj, N., & Lestan, D. (2020). Soil washing with biodegradable chelating agents and EDTA: Effect on soil properties and plant growth. *Chemosphere*, 260, 127673. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127673>
- Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, 132, 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Kumar, S., Islam, R., Akash, P. B., Khan, M. H. R., Proshad, R., Karmoker, J., & MacFarlane, G. R. (2022). Lead (Pb) contamination in agricultural products and human health risk assessment in Bangladesh. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(7), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05711-9>
- Liu, N., Zhao, J., Du, J., Hou, C., Zhou, X., Chen, J., & Zhang, Y. (2024). Non-phytoremediation and phytoremediation technologies of integrated remediation for water and soil heavy metal pollution: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 948, 174237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174237>
- Llanos, M., Muñiz, A. A., Muñiz, M. H., Vílchez, G. L., & Cotrina, G. G. (2024). Contaminación por metales pesados de microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas. *Revista Alfa*, 8(22), 41–48. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.246>
- López, J. (2016). *Evaluación económica de los aditivos de enjuague mediante la determinación de plomo y cadmio en el proceso de lavado de botellas de vidrio retornables en la ELM S.A* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Loyde, L. A., González, B., Cruz, A. M., & Loredó, R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos*, 16(33). <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.228>
- Luque, J. A., Pardo, E., Grima, J., & Grima, C. (2018). Multiscale analysis of the spatial

- variability of heavy metals and organic matter in soils and groundwater across Spain. *Journal of Hydrology*, 561(April), 348–371. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.013>
- McLaughlin, M., Pennock, D., & Rodriguez Eugenio, N. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. En *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Mendoza, B., Torres, D., Merú, L., Gómez, C., Estanga, M., & García, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *TecnoLógicas*, 24(51), e1738. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>
- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. En *Ministerio del Ambiente*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Mundoagro. (2022). *El pH: indicador clave de la calidad del suelo por su influencia en aspectos químicos y biológicos - Mundoagro*. Mundoagro. <https://mundoagro.cl/el-ph-indicador-clave-de-la-calidad-del-suelo-por-su-influencia-en-aspectos-quimicos-y-biologicos/>
- Navarrete, K., & Ramírez, K. (2019). *Lavado de suelo contaminado con plomo mediante la utilización de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)*. <http://repositorio.espm.edu.ec/handle/42000/999>
- Noller, C., Friesl-Hanl, W., Hood-Nowotny, R., & Watzinger, A. (2022). Remediating garden soils: EDTA-Soil washing and safe vegetable production in raised bed gardens. *Toxics*, 10(11), 652. <https://doi.org/10.3390/toxics10110652>
- Novoa, H. H., Arizaca, A., & Huisa, F. (2022). Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(3), 182–189. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.361>
- Ondarse, D. (2021). *Plomo*. Enciclopedia Concepto. <https://concepto.de/plomo/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ta ed.). <https://www.fao.org/4/a0541s/a0541s.pdf>
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33509>

- Paredes, O. J., Jiménez, L., Dávila, J., & Apaza, J. (2024). Contaminación y pérdida de biodiversidad por actividades mineras y agropecuarias: estado del arte. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 26(1), 56–66. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.594>
- Paredes, Y., & Siccha, D. (2020). *Concentración de plomo en vegetales de consumo humano que se expenden en la ciudad de Huamachuco*. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/19207>
- Pedron, F., Grifoni, M., Barbaferi, M., Franchi, E., Vocciante, M., & Petruzzelli, G. (2022). Comparative evaluation of technologies at a heavy metal contaminated site: The role of feasibility studies. *Environments*, 9(11), 139. <https://doi.org/10.3390/environments9110139>
- Pérez, E. (1953). Todo sobre los quelatos. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 16. http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/6.pdf
- Reddy, K. R., Adams, J. A., & Richardson, C. (1999). Potential Technologies for Remediation of Brownfields. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 3(2), 61–68. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(1999\)3:2\(61\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(1999)3:2(61))
- Reyes, S. E., & Cano, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rui, D., Nie, W., Kim, M., Chen, X., Zhang, J., Wang, S., & Ito, Y. (2023). Remediation of large-scale model experiment for heavy metal contaminated clayey soil: An optimized mass transfer process strategy of freeze-thaw and washing. *Cold Regions Science and Technology*, 216(September), 104006. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2023.104006>
- Rui, D., Wang, Y., Nie, W., Kim, M., Zhang, J., Wang, S., Ito, Y., & Niu, F. (2025). Remediation of a Pb and Cd-contaminated clayey soil via magnetic-enhanced washing. *Pedosphere*, 35(3), 526–533. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.12.013>
- Sánchez, J., Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). Natural resources, environment, and sustainability. En *Cepal* (Vol. 4). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>
- Sánchez, P. (2021). *Revisión sistemática: Quelantes biodegradables para el tratamiento de*

suelos contaminados por minería. <https://hld.handle.net/20.500.12692/87016>

- Sarmiento, G., & Febres, S. (2021). Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 27(3), 199–212. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>
- Shukla, M., Baksi, B., Mohanty, S. P., Mahanty, B., Mansi, A., Rene, E. R., & Behera, S. K. (2022). Remediation of chromium contaminated soil by soil washing using EDTA and N-acetyl-L-cysteine as the chelating agents. *Progress in Organic Coatings*, 165(January), 106704. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106704>
- Silva, C. (2018). Remoción de cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes. En *Repositorio Institucional UNAS*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1461>
- Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>
- Soriano, J., Calupiña, R., Martínez, S., Zornoza, R., Faz, Á., & Acosta, J. (2018). Evaluation of the performance of chemical extractants to mobilise metals for remediation of contaminated samples. *Journal of Geochemical Exploration*, 193, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.07.001>
- Sun, H., Song, Y., Liu, W., Zhang, M., Duan, T., & Cai, Y. (2023). Coupling soil washing with chelator and cathodic reduction treatment for a multi-metal contaminated soil: Effect of pH controlling. *Electrochimica Acta*, 448, 142178. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142178>
- Tomczyk, P., Wdowczyk, A., Wiatkowska, B., & Szymańska-Pulikowska, A. (2023). Assessment of heavy metal contamination of agricultural soils in Poland using contamination indicators. En *Ecological Indicators* (Vol. 156). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111161>
- Ur Rehman, M. Z., Rizwan, M., Ali, S., Sabir, M., & Sohail, M. I. (2017). Contrasting effects of organic and inorganic amendments on reducing lead toxicity in Wheat. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99(5), 642–647. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2177-4>
- Velázquez, L. D. J., Ortiz, I. A., Chávez, J. A., Pámanes, G. A., Carrillo, A., & Pereda, M. E. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola

- nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
- Villoslada, N., & Abanto, G. (2019). *Contaminación de los suelos agrícolas por el uso de pesticidas*. <https://hdl.handle.net/11537/26213>
- Volke, T., Velasco, J., & De la Rosa, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/\\$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf)
- WHO. (2019). Exposure to Lead: A Major Public Health Concern. *World Health Organization*, 6. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/329953/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.7-eng.pdf?ua=1>
- Xia, F., Zhao, Z., Niu, X., & Wang, Z. (2024). Integrated pollution analysis, pollution area identification and source apportionment of heavy metal contamination in agricultural soil. *Journal of Hazardous Materials*, 465(November 2023), 133215. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133215>
- Xu, L., Dai, H., Skuza, L., Xu, J., Shi, J., & Wei, S. (2022). Co-high-efficiency washing agents for simultaneous removal of Cd, Pb and As from smelting soil with risk assessment. *Chemosphere*, 300, 134581. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134581>
- Xu, L., Dai, H., Wei, S., Skuza, L., & Shi, J. (2024). High-efficiency combination washing agents with eco-friendliness simultaneously removing Cd, Cu and Ni from soil of e-waste recycling site: A lab-scale experiment. *Chemosphere*, 357, 142047. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142047>

ANEXOS

Anexo I: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo

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

Anexo II: Análisis de propiedades del suelo



PERÚ Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

Nombre: Madeleyde Cynthia Quispe Vilca
 Proyecto: Remoción de plomo usando EDTA bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli – Tesis
 Procedencia: Llalli – Kahuasiri Alto
 Fecha de Recepción: 3 de febrero del 2025. Fecha de Certificación: 31 de agosto del 2025.

Caracterización de Suelo.

N°	CÓDIGO	ANÁLISIS				pH	Mat. Org.
		Arena	Arcilla	Limo	Textura		
		%	%	%			
1	Co-R1	39,60	47,84	12,56	Franco Limoso	6,04	2,0

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA Ed 1era. 2017. Ítem 4.5. Pag 39. Método de Walkley y Black

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento.
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Los resultados se aplican a las muestras, tal como se recibieron.
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- (*) El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Jorge Canihua Rojas responsable del laboratorio Sede Illpa.



Jorge Canihua Rojas
 Responsable del Laboratorio Análisis Sede Illpa

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
 T: (051) 363 812
 www.inia.gob.pe
 www.minagri.gob.pe

Anexo III: Método EPA 9045D, para determinar pH

Antes de iniciar el proceso, se calibró y verificó el potenciómetro utilizando soluciones buffer de pH 4, 6 y 9; luego, se pesaron 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 50 mL y se añadieron 20 mL de agua, se tapó el recipiente y se agitó durante 5 minutos, dejando posteriormente reposar la suspensión por aproximadamente 1 hora; una vez estabilizada, se ajustó el electrodo en la abrazadera del porta-electrodo de modo que, al descenderlo en el vaso de precipitados, el bulbo de vidrio quedara suficientemente sumergido en el sobrenadante transparente para asegurar un adecuado contacto eléctrico a través de la junta de vidrio esmerilado o del orificio del capilar de fibra; finalmente, se insertó el electrodo en la muestra para proceder con la medición.

Anexo IV: Método de Bouyoucos, para determinar textura

Se pesaron 50 g de suelo y se colocaron en un vaso de precipitados de 250 mL, al que se añadió agua hasta cubrir la superficie con una lámina de 2 cm; posteriormente, se agregaron 5 mL de oxalato de sodio y 5 mL de metasilicato de sodio, dejando reposar la mezcla durante 15 minutos; luego, el contenido se transfirió a las copas del agitador mecánico para su dispersión durante 5 minutos y, una vez concluida la agitación, se bajó la copa y se pasó la suspensión a una probeta de 1000 mL, enjuagando la copa con una piceta para asegurar la transferencia completa; se añadió agua destilada hasta completar un litro con el hidrómetro dentro de la probeta, tras lo cual se retiró el hidrómetro y se suspendió nuevamente el suelo utilizando un agitador de mano por un minuto; las lecturas del hidrómetro se tomaron a los 40 segundos y luego a las 2 horas de haber finalizado la dispersión, colocando el hidrómetro en la probeta 20 segundos antes de cada lectura; finalmente, después de cada medición, se secó el hidrómetro y se registró la temperatura.

Para cálculos y resultados:

$$\%Arena = 100 - (((T-T) * Fc + LH) * 2) \quad (3)$$

$$\%Arcilla = (((T-T) * Fc + LH) * 2) \quad (4)$$

$$\%Limo = 100 - (\%Arena + \%Arcilla) \quad (5)$$

Donde:

T = Temperatura (°C) a 40 Seg.

TH = Temperatura (°C) de calibración del hidrómetro

Fc = Factor de corrección de lectura del Hidrómetro

LH40s = Lectura de Hidrómetro a 40 seg

T2H = Temperatura (°C) a 2 horas

LH2H = Lectura de Hidrómetro a 2 horas

Anexo V. Método Walkley y Black, para determinar materia orgánica

Se tomaron aproximadamente 50 g de una muestra seca y tamizada con malla 10 (2 mm), la cual se colocó sobre un papel de filtro con embudo y se lavó con agua destilada para eliminar cloruros; posteriormente, se pipetearon 10 mL de la solución de lavado en un tubo de ensayo y se añadieron 4 gotas de AgNO_3 0.1 N; luego, la muestra se secó y se tamizó nuevamente con una malla 35 (0.5 mm). Se pesaron 0.5 g del suelo seco y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, corriendo simultáneamente un blanco bajo las mismas condiciones; se adicionaron exactamente 10 mL de dicromato de potasio 1 N, girando el matraz cuidadosamente para asegurar el contacto completo con el suelo, y luego se agregaron 20 mL de H_2SO_4 concentrado, agitando el matraz durante 1 minuto antes de dejarlo reposar 30 minutos; posteriormente, se añadieron 200 mL de agua destilada, 5 mL de H_3PO_4 concentrado y 5 gotas del indicador difenilamina, titulándose finalmente la mezcla con solución de sulfato ferroso gota a gota hasta alcanzar un punto final de color verde claro.

Para cálculos y reporte de resultados se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{CO} = \frac{\text{B}-\text{T}}{\text{g}} * \text{Nc} * \text{mcf} * 0.39 \quad (6)$$

$$\% \text{MO} = \% \text{CO} * 1.724 \quad (7)$$

Donde:

B: Volumen de Sulfato ferroso gastado para valorar del blanco

T: Volumen de Sulfato ferroso gastado para valorar la muestra

Nc: Normalidad corregida del Sulfato ferroso

g: Peso de la muestra empleada

mfc: Factor de corrección de humedad

Anexo VI: Solicitud para muestreo de suelos agrícolas

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

**SOLICITO: Permiso para muestreo de suelos agrícolas
en el sector Kahuasiri Alto**

SR. DIAZ CCORIMANYA EDWING GERMAN

ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLALLI

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLALLI MELGAR			
MESA DE PARTES			
19 DIC. 2024			
REGISTRO	FECHA	HORA	FIRMA
1387	-03-	13:57	

Yo, **Madeleyde Cynthia Qulspe Vilca**, identificado con DNI N° 73747842, egresada de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, con domicilio Jr. Chavin de Huantar 212 en la ciudad de Juliaca. Ante Ud., respetuosamente me presento y expongo:

Que habiendo culminado la carrera profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal en la prestigiosa Universidad Nacional de Juliaca y haber presentado mi Proyecto de Tesis el cual lleva por título "*Remoción de Plomo usando EDTA como agente de lavado bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli*" y fue aprobado para su ejecución, solicito ante Ud., me autorice realizar un muestreo de suelos agrícolas en el sector Kahuasiri Alto

Adjunto:

- Acta de aprobación de proyecto de tesis.
- Zona de estudio de la investigación

POR LO EXPUESTO:

Ruego a usted acceder a mi solicitud por ser justa y legal.

Llalli, 19 de diciembre del 2024



Madeleyde Cynthia Qulspe Vilca
DNI N° 73747842
Celular: 967474038

Anexo VII: Coordenadas de los puntos de muestreo en el ámbito de estudio

Coordenadas		
Puntos de muestreo	Este (X)	Norte (Y)
Punto 1	298756	8347400
Punto 2	298875	8347509
Punto 3	298942	8347627
Punto 4	299051	8347749
Punto 5	299209	8347894
Punto 6	298732	8347543
Punto 7	298822	8347656
Punto 8	298921	8347765
Punto 9	299037	8347921
Punto 10	299180	8348032

Anexo VIII: Solicitud para ejecución de tesis en la EEA – Illpa, LABSAF

“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

SOLICITO: Ejecución de proyecto de tesis

NORA LUZ GALVEZ ILAZACA

DIRECTORA DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA PUNO - INIA

Yo, **Madeleyde Cynthia Quispe Vilca**, identificado con DNI N°73747842, con domicilio Jr. Chavin de Huantar 212 del distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno. Ante usted respetuosamente me presento y expongo:

Que, habiéndose aprobado el proyecto de tesis, titulado “**REMOCIÓN DE PLOMO USANDO EDTA COMO AGENTE DE LAVADO BAJO CONDICIONES CONTROLADAS DE TIEMPO Y CONCENTRACIÓN EN SUELOS AGRÍCOLAS DE LLALLI**”, recorro a su digno despacho con el fin de *solicitar la ejecución de proyecto de tesis* en el Laboratorio de suelos, aguas y foliares - LABSAF de la Estación Experimental Agraria Illpa Puno – INIA. Para mayor conformidad adjunto lo siguiente:

- Constancia de aprobación de proyecto de tesis

Por lo expuesto

Agradezco de antemano la atención prestada y ruego a usted acceder a mi solicitud.

Juliaca, 17 de enero del 2025



Madeleyde Cynthia Quispe Vilca
DNI N°73747842, CEL: 967474038
Correo: madeleydequispevilca@gmail.com



Anexo IX: Concentración final de plomo en el suelo de las tres replicas

Código de tratamiento	Repetición	Concentración de EDTA (%)	Tiempo de lavado (h)	Concentración final de Pb en el suelo (mg/kg)
TR1	R1	1	12	26.66
TR1	R2	1	12	26.27
TR1	R3	1	12	26.43
TR2	R1	1	24	25.33
TR2	R2	1	24	25.23
TR2	R3	1	24	25.12
TR3	R1	1	36	24.09
TR3	R2	1	36	24.17
TR3	R3	1	36	24.28
TR4	R1	1	48	23.24
TR4	R2	1	48	23.23
TR4	R3	1	48	23.28
TR5	R1	3	12	18.03
TR5	R2	3	12	18.04
TR5	R3	3	12	18.06
TR6	R1	3	24	17.33
TR6	R2	3	24	17.33
TR6	R3	3	24	17.39
TR7	R1	3	36	16.09
TR7	R2	3	36	16
TR7	R3	3	36	16.01
TR8	R1	3	48	15.55
TR8	R2	3	48	15.47
TR8	R3	3	48	15.47
TR9	R1	5	12	9.19
TR9	R2	5	12	9
TR9	R3	5	12	9.19
TR10	R1	5	24	8.5
TR10	R2	5	24	8.61
TR10	R3	5	24	8.61
TR11	R1	5	36	6.03
TR11	R2	5	36	6.06
TR11	R3	5	36	6.08
TR12	R1	5	48	4.67
TR12	R2	5	48	4.5
TR12	R3	5	48	4.68

Anexo X: Concentración de plomo en la solución filtrada de las tres replicas

Código de tratamiento	Repetición	Concentración de EDTA (%)	Tiempo de lavado (h)	Concentración final de Pb en la solución después del lavado mg/kg	
TR1	R1	1	12	33.35	
TR1	R2	1	12	33.98	33.65
TR1	R3	1	12	33.61	
TR2	R1	1	24	34.56	
TR2	R2	1	24	34.53	34.63
TR2	R3	1	24	34.8	
TR3	R1	1	36	35.2	
TR3	R2	1	36	35.96	35.71
TR3	R3	1	36	35.98	
TR4	R1	1	48	36.91	
TR4	R2	1	48	36.98	36.96
TR4	R3	1	48	37	
TR5	R1	3	12	42.19	
TR5	R2	3	12	42.23	42.19
TR5	R3	3	12	42.15	
TR6	R1	3	24	43.44	
TR6	R2	3	24	43.4	43.3
TR6	R3	3	24	43.37	
TR7	R1	3	36	45.03	
TR7	R2	3	36	45.06	45.05
TR7	R3	3	36	45.06	
TR8	R1	3	48	46.99	
TR8	R2	3	48	45.91	46.5
TR8	R3	3	48	46.61	
TR9	R1	5	12	50.89	
TR9	R2	5	12	50.93	50.91
TR9	R3	5	12	50.91	
TR10	R1	5	24	52.05	
TR10	R2	5	24	52.02	52.02
TR10	R3	5	24	52	
TR11	R1	5	36	53.98	
TR11	R2	5	36	55.73	54.58
TR11	R3	5	36	54.02	
TR12	R1	5	48	55.12	
TR12	R2	5	48	55.94	55.38
TR12	R3	5	48	55.09	

Anexo XI: Cálculos de porcentajes de remoción

Tratamiento 1

$$RE\% = \frac{(33.65)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 55.5\%$$

Tratamiento 2

$$RE\% = \frac{(34.63)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 57.1\%$$

Tratamiento 3

$$RE\% = \frac{(35.71)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 58.9\%$$

Tratamiento 4

$$RE\% = \frac{(36.96)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 60.9\%$$

Tratamiento 5

$$RE\% = \frac{(42.19)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 69.5\%$$

Tratamiento 6

$$RE\% = \frac{(43.40)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 71.5\%$$

Tratamiento 7

$$RE\% = \frac{(45.05)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 74.3\%$$

Tratamiento 8

$$RE\% = \frac{(46.50)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 76.7 \%$$

Tratamiento 9

$$RE\% = \frac{(50.91)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 83.9\%$$

Tratamiento 10

$$RE\% = \frac{(52.02)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 85.8\%$$

Tratamiento 11

$$RE\% = \frac{(54.58)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 90.0\%$$

Tratamiento 12

$$RE\% = \frac{(55.38)(0.010)}{(60.67)(0.01)} \times 100\% \quad (2)$$

$$RE\% = 91.3\%$$

Anexo XII: Supuestos estadísticos del ANOVA, Prueba de Levene para homogeneidad

	Df	F value	Pr(>F)
group	11	0.8076	0.6326
	24		

Antes de realizar el ANOVA fue necesario aplicar la prueba de Levene para evaluar la homogeneidad de varianzas entre grupos, un supuesto crucial para que los resultados del ANOVA sean válidos.

En la investigación el valor de p obtenido en la prueba de Levene fue de 0.6326 lo indica que no hay evidencia significativa para rechazar la hipótesis de homogeneidad, lo que valida el uso del ANOVA en el análisis posterior.

Anexo XIII: Análisis estadístico, Análisis de varianza (ANOVA)

	Df	Sum Sq	Mean	F value	Pr(>F)
Concentración de EDTA	2	1881.44	940.72	122436.44	< 2.2e-16 ***
Tiempo de lavado	3	64.59	21.53	2802.08	< 2.2e-16 ***
Concentración de EDTA:					
Tiempo de lavado	6	5.46	0.91	118.45	< 2.2e-16 ***
Residuals	24	0.18	0.01		

Según el análisis de ANOVA:

Se obtuvo $p < 2.2e-16$ y $F = 122436.44$, lo que indica que la concentración del EDTA tiene un efecto extremadamente significativo; El valor F muy elevado y el p-valor cercano a cero (< 0.001) reflejan que las diferencias entre las medias de los tratamientos con diferentes concentraciones de EDTA no se deben al azar.

Respecto al tiempo de exposición también tiene una influencia significativa ya que en p se obtuvo $< 2.2e-16$ y el F es 2802.08, menor que el caso de la concentración del EDTA, lo que confirma que la duración del tratamiento influye significativamente en la reducción del plomo. Finalmente, en la interacción entre la concentración del EDTA y el tiempo de lavado se obtuvo $p < 2.2e-16$ y $F = 118$, demostrando que la influencia es altamente significativa, lo que indica que el efecto del tiempo de lavado depende de la concentración de EDTA utilizada, y viceversa.

Anexo XIV: Supuestos estadísticos del ANOVA, Shapiro Wilk para normalidad

Para la validez del ANOVA se aplicó la prueba de Shapiro Wilk a los residuales, donde se obtuvo un resultado de $W = 0.9594$ y $p\text{-value} = 0.206$, demostrando que no difieren significativamente de una distribución normal, lo que indica que se cumple el supuesto de normalidad.

Anexo XV: Análisis estadístico, Prueba de Tukey para concentraciones de EDTA

Interacción	diff	lwr	upr	p adj
3%-1%	-8.046667	-8.136032	-7.957302	< 0.001
5%-1%	-17.684167	-17.773532	-17.594802	< 0.001
5%-3%	-9.637500	-9.726865	-9.548135	< 0.001

Anexo XVI: Análisis estadístico, Prueba de Tukey para concentraciones de EDTA

Interacción	diff	lwr	upr	p adj
24h-12h	-0.8244	-0.9384	-0.7105	< 0.001
36h-12h	-2.4511	-2.5651	-2.3371	< 0.001
48h-12h	-3.42	-3.534	-3.306	< 0.001
36h-24h	-1.6267	-1.7407	-1.5127	< 0.001
48h-24h	-2.5956	-2.7095	-2.4816	< 0.001
48h-36h	-0.9689	-1.0829	-0.8549	< 0.001

Ya que, si mostraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de tukey de donde se puede rescatar: Que **todas las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas**; tanto en concentración de EDTA como en tiempo de lavado y su interacción.

El tratamiento más efectivo fue el de 5% de EDTA con 48 h, y el tratamiento menos efectivo fue 1% de EDTA con 12 h.

Anexo XVII: Tukey para interacción de factores con 12 horas

Interacción (12h)	diff	lwr	upr	p adj
3%:12h-1%	-8.41	-8.6680538	-8.1519462	0.00E+00
5%:12h-1%	-17.326667	-17.584721	-17.068613	0.00E+00
1%:24h-1%	-1.2266667	-1.4847205	-0.9686129	0.00E+00
3%:24h-1%	-9.1033333	-9.3613871	-8.8452795	0.00E+00
5%:24h-1%	-17.88	-18.138054	-17.621946	0.00E+00
1%:36h-1%	-2.2733333	-2.5313871	-2.0152795	0.00E+00
3%:36h-1%	-10.42	-10.678054	-10.161946	0.00E+00
5%:36h-1%	-20.396667	-20.654721	-20.138613	0.00E+00
1%:48h-1%	-3.2033333	-3.4613871	-2.9452795	0.00E+00
3%:48h-1%	-10.956667	-11.214721	-10.698613	0.00E+00
5%:48h-1%	-21.836667	-22.094721	-21.578613	0.00E+00
5%:12h-3%	-8.9166667	-9.1747205	-8.6586129	0.00E+00
1%:24h-3%	7.1833333	6.9252795	7.4413871	0.00E+00
3%:24h-3%	-0.6933333	-0.9513871	-0.4352795	1.00E-07
5%:24h-3%	-9.47	-9.7280538	-9.2119462	0.00E+00
1%:36h-3%	6.1366667	5.8786129	6.3947205	0.00E+00

Interacción (12h)	diff	lwr	upr	p adj
3%:36h-3%	-2.01	-2.2680538	-1.7519462	0.00E+00
5%:36h-3%	-11.986667	-12.244721	-11.728613	0.00E+00
1%:48h-3%	5.2066667	4.9486129	5.4647205	0.00E+00
3%:48h-3%	-2.5466667	-2.8047205	-2.2886129	0.00E+00
5%:48h-3%	-13.426667	-13.684721	-13.168613	0.00E+00
1%:24h-5%	16.1	15.841946	16.358054	0.00E+00
3%:24h-5%	8.2233333	7.9652795	8.4813871	0.00E+00
5%:24h-5%	-0.5533333	-0.8113871	-0.2952795	3.20E-06
1%:36h-5%	15.053333	14.79528	15.311387	0.00E+00
3%:36h-5%	6.9066667	6.6486129	7.1647205	0.00E+00
5%:36h-5%	-3.07	-3.3280538	-2.8119462	0.00E+00
1%:48h-5%	14.123333	13.86528	14.381387	0.00E+00
3%:48h-5%	6.37	6.1119462	6.6280538	0.00E+00
5%:48h-5%	-4.51	-4.7680538	-4.2519462	0.00E+00

Anexo XVIII: Tukey para interacción de factores con 24 horas

Interacción (24h)	diff	lwr	upr	p adj
3%:24h-1%	-7.8766667	-8.1347205	-7.6186129	0.00E+00
5%:24h-1%	-16.653333	-16.911387	-16.39528	0.00E+00
1%:36h-1%	-1.0466667	-1.3047205	-0.7886129	0.00E+00
3%:36h-1%	-9.1933333	-9.4513871	-8.9352795	0.00E+00
5%:36h-1%	-19.17	-19.428054	-18.911946	0.00E+00
1%:48h-1%	-1.9766667	-2.2347205	-1.7186129	0.00E+00
3%:48h-1%	-9.73	-9.9880538	-9.4719462	0.00E+00
5%:48h-1%	-20.61	-20.868054	-20.351946	0.00E+00
5%:24h-3%	-8.7766667	-9.0347205	-8.5186129	0.00E+00
1%:36h-3%	6.83	6.5719462	7.0880538	0.00E+00
3%:36h-3%	-1.3166667	-1.5747205	-1.0586129	0.00E+00
5%:36h-3%	-11.293333	-11.551387	-11.03528	0.00E+00
1%:48h-3%	5.9	5.6419462	6.1580538	0.00E+00
3%:48h-3%	-1.8533333	-2.1113871	-1.5952795	0.00E+00
5%:48h-3%	-12.733333	-12.991387	-12.47528	0.00E+00

Interacción (24h)	diff	lwr	upr	p adj
1%:36h-5%	15.606667	15.348613	15.864721	0.00E+00
3%:36h-5%	7.46	7.2019462	7.7180538	0.00E+00
5%:36h-5%	-2.5166667	-2.7747205	-2.2586129	0.00E+00
1%:48h-5%	14.676667	14.418613	14.934721	0.00E+00
3%:48h-5%	6.9233333	6.6652795	7.1813871	0.00E+00
5%:48h-5%	-3.9566667	-4.2147205	-3.6986129	0.00E+00

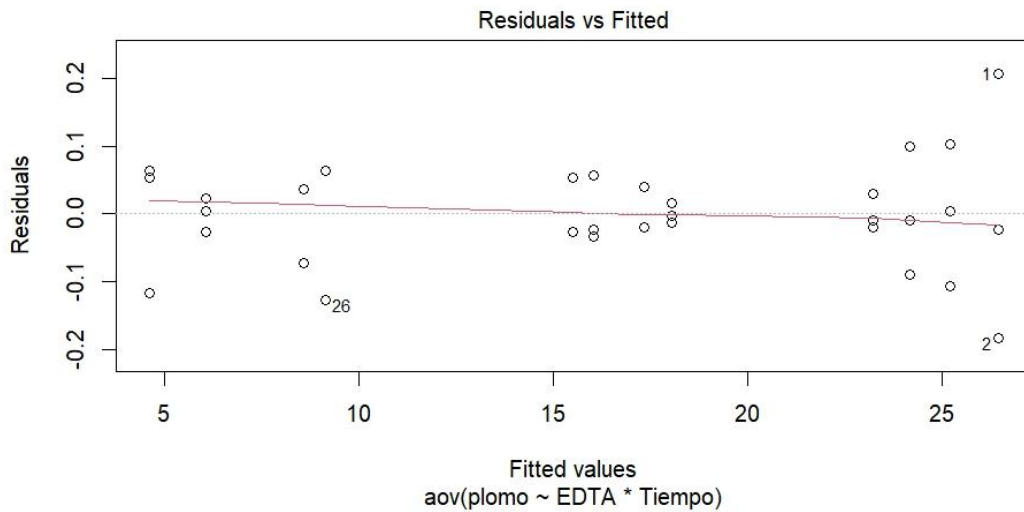
Anexo XIX: Tukey para interacción de factores con 36 horas

Interacción (36h)	diff	lwr	upr	p adj
3%:36h-1%	-8.1466667	-8.4047205	-7.8886129	0.00E+00
5%:36h-1%	-18.123333	-18.381387	-17.86528	0.00E+00
1%:48h-1%	-0.93	-1.1880538	-0.6719462	0.00E+00
3%:48h-1%	-8.6833333	-8.9413871	-8.4252795	0.00E+00
5%:48h-1%	-19.563333	-19.821387	-19.30528	0.00E+00
5%:36h-3%	-9.9766667	-10.234721	-9.7186129	0.00E+00
1%:48h-3%	7.2166667	6.9586129	7.4747205	0.00E+00
3%:48h-3%	-0.5366667	-0.7947205	-0.2786129	5.40E-06
5%:48h-3%	-11.416667	-11.674721	-11.158613	0.00E+00
1%:48h-5%	17.193333	16.93528	17.451387	0.00E+00
3%:48h-5%	9.44	9.1819462	9.6980538	0.00E+00
5%:48h-5%	-1.44	-1.6980538	-1.1819462	0.00E+00

Anexo XX: Tukey para interacción de factores con 48 horas

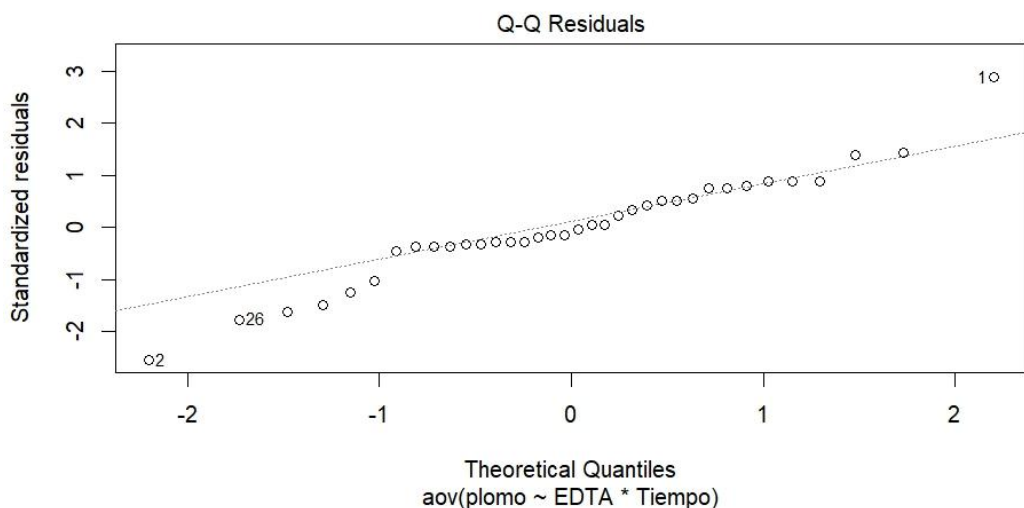
Interacción (48h)	diff	lwr	upr	p adj
3%:48h-1%	-7.7533333	-8.0113871	-7.4952795	0.00E+00
5%:48h-1%	-18.633333	-18.891387	-18.37528	0.00E+00
5%:48h-3%	-10.88	-11.138054	-10.621946	0.00E+00

Anexo XXI: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; linealidad e independencia



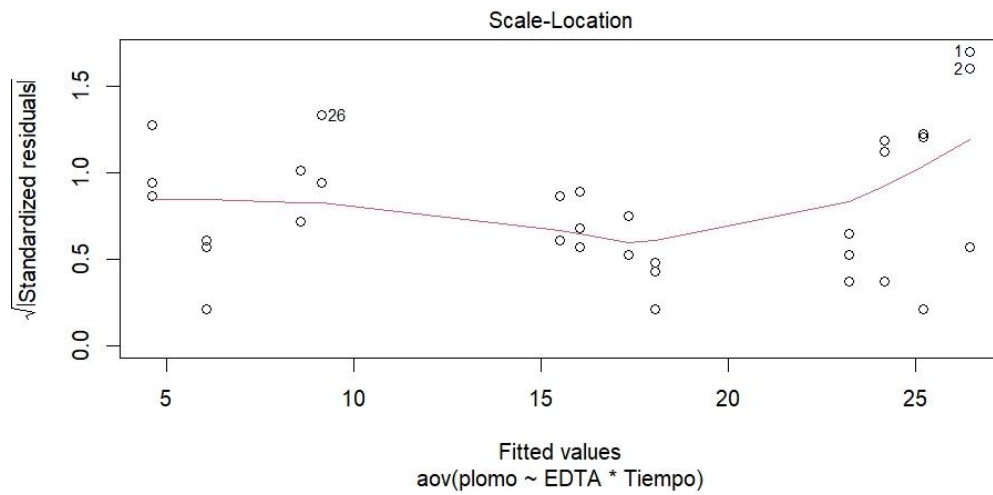
Se observa que los residuos se distribuyen aleatoriamente alrededor de la línea horizontal (cero), sin formar patrones curvos ni sistemáticos, lo cual indica que se cumple el supuesto de linealidad. Además, la ausencia de secuencias o tendencias sugiere que los residuos son independientes entre sí. Aunque existen algunos valores atípicos (como el punto 1 y 2, estos no alteran significativamente la distribución general.

Anexo XXII: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; Homogeneidad



Los puntos deben formar una banda horizontal con dispersión constante. En este caso, se observa cierta estabilidad en la dispersión de los residuos, aunque hacia los valores ajustados más altos hay una ligera apertura en la variabilidad.

Anexo XXIII: Supuestos estadísticos del ANOVA, en residuos; Normalidad



La mayoría de los puntos siguen de cerca la línea diagonal, con ligeras desviaciones en los extremos (valores atípicos como el punto 2 y 26), lo que sugiere que la normalidad se cumple de forma aceptable.

Anexo XXIV: Análisis de concentración inicial de plomo en laboratorio



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



ANÁLISIS DE METALES

Nombre: Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

Proyecto: Remoción de plomo usando EDTA bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli - Tesis

Procedencia: Llalli – Kahuasiri Alto

Fecha de Recepción: 3 de Febrero del 2025.

Fecha de Certificación: 3 de Marzo del 2025.

Análisis de plomo.

Nº	Código de tratamiento		Concentración de Pb (mg/kg)
1	Co	R1	65.62
2	Co	R2	50.94
3	Co	R3	64.43

Métodos utilizados en el Laboratorio: Methods detection limits (MDLs) soil, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 51p

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



Ing. Jorge Carhuá Rojas
Responsable Laboratorio EEA Illpa Puno.

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

Anexo XXV: Análisis de concentración final de plomo en el suelo y los lixiviados



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

ANÁLISIS DE METALES

Nombre: Madeleyde Cynthia Quispe Vilca

Proyecto: Remoción de plomo usando EDTA bajo condiciones controladas de tiempo y concentración en suelos agrícolas de Llalli - Tesis

Procedencia: Llalli - Kahuasiri Alto

Fecha de Recepción: 7 de Marzo del 2025.

Fecha de Certificación: 13 de Abril del 2025.

Análisis de plomo.

Nº	Código de tratamiento	Concentración de Pb (mg/kg)	Nº	Código de tratamiento	Concentración de Pb (mg/L)
1	TR1 R1	26.66	1	TL1 R1	33.35
2	TR1 R2	26.27	2	TL1 R2	33.98
3	TR1 R3	26.43	3	TL1 R3	33.61
4	TR2 R1	25.33	4	TL2 R1	34.56
5	TR2 R2	25.23	5	TL2 R2	34.53
6	TR2 R3	25.12	6	TL2 R3	34.8
7	TR3 R1	24.09	7	TL3 R1	35.2
8	TR3 R2	24.17	8	TL3 R2	35.96
9	TR3 R3	24.28	9	TL3 R3	35.98
10	TR4 R1	23.24	10	TL4 R1	36.91
11	TR4 R2	23.23	11	TL4 R2	36.98
12	TR4 R3	23.28	12	TL4 R3	37
13	TR5 R1	18.03	13	TL5 R1	42.19
14	TR5 R2	18.04	14	TL5 R2	42.23
15	TR5 R3	18.06	15	TL5 R3	42.15
16	TR6 R1	17.33	16	TL6 R1	43.44
17	TR6 R2	17.33	17	TL6 R2	43.4
18	TR6 R3	17.39	18	TL6 R3	43.37
19	TR7 R1	16.09	19	TL7 R1	45.03
20	TR7 R2	16	20	TL7 R2	45.06
21	TR7 R3	16.01	21	TL7 R3	45.06
22	TR8 R1	15.55	22	TL8 R1	46.99



La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe



Nº	Código de tratamiento		Concentración de Pb (mg/kg)	Nº	Código de tratamiento		Concentración de Pb (mg/L)
23	TR8	R2	15.47	23	TL8	R2	45.91
24	TR8	R3	15.47	24	TL8	R3	46.61
25	TR9	R1	9.19	25	TL9	R1	50.89
26	TR9	R2	9	26	TL9	R2	50.93
27	TR9	R3	9.19	27	TL9	R3	50.91
28	TR10	R1	8.5	28	TL10	R1	52.05
29	TR10	R2	8.61	29	TL10	R2	52.02
30	TR10	R3	8.61	30	TL10	R3	52
31	TR11	R1	6.03	31	TL11	R1	53.98
32	TR11	R2	6.06	32	TL11	R2	55.73
33	TR11	R3	6.08	33	TL11	R3	54.02
34	TR12	R1	4.67	34	TL12	R1	55.12
35	TR12	R2	4.5	35	TL12	R2	55.94
36	TR12	R3	4.68	36	TL12	R3	55.09

Métodos utilizados en el Laboratorio: Methods detection limits (MDLs) soil, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, Octubre 1988. 51p.
 Nota: Cualquier corrección y/o emendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



Ing. Jorge Cahajua Rojas
 Responsable Laboratorio EEA Ilipa Puno.

Anexo XXVI: Georreferenciación de puntos de muestreo



Anexo XXVII: Toma de muestra



Anexo XXVIII: Toma de sub muestras



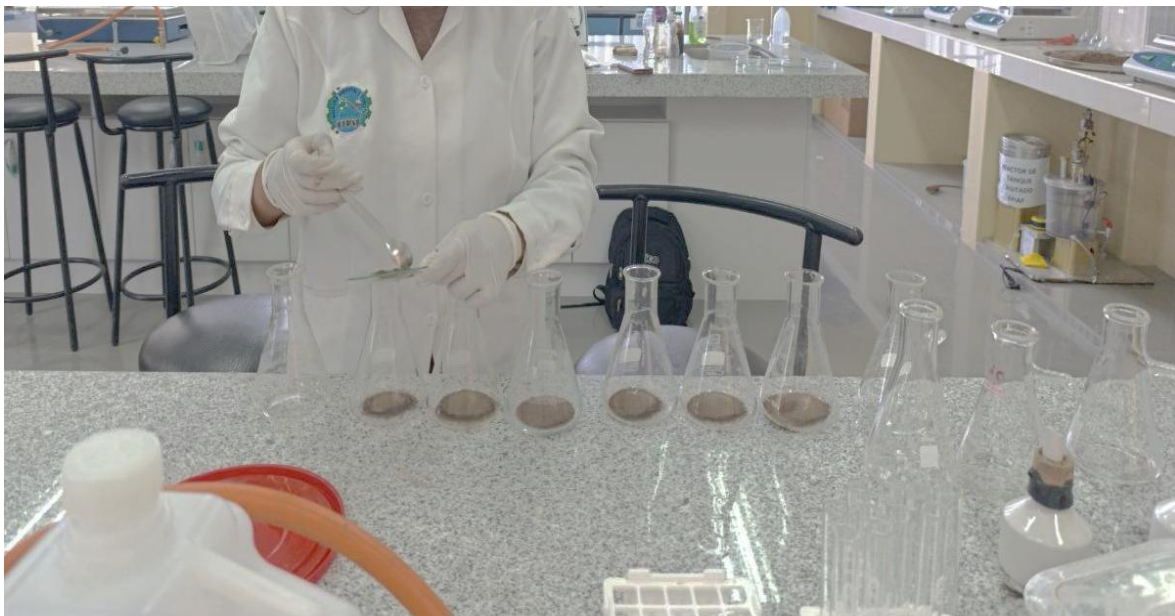
Anexo XXIX: Tamizado de muestra



Anexo XXX: Pesado



Anexo XXXI: Preparado de unidades experimentales



Anexo XXXII: Soluciones de EDTA al 1%, 3% y 5%



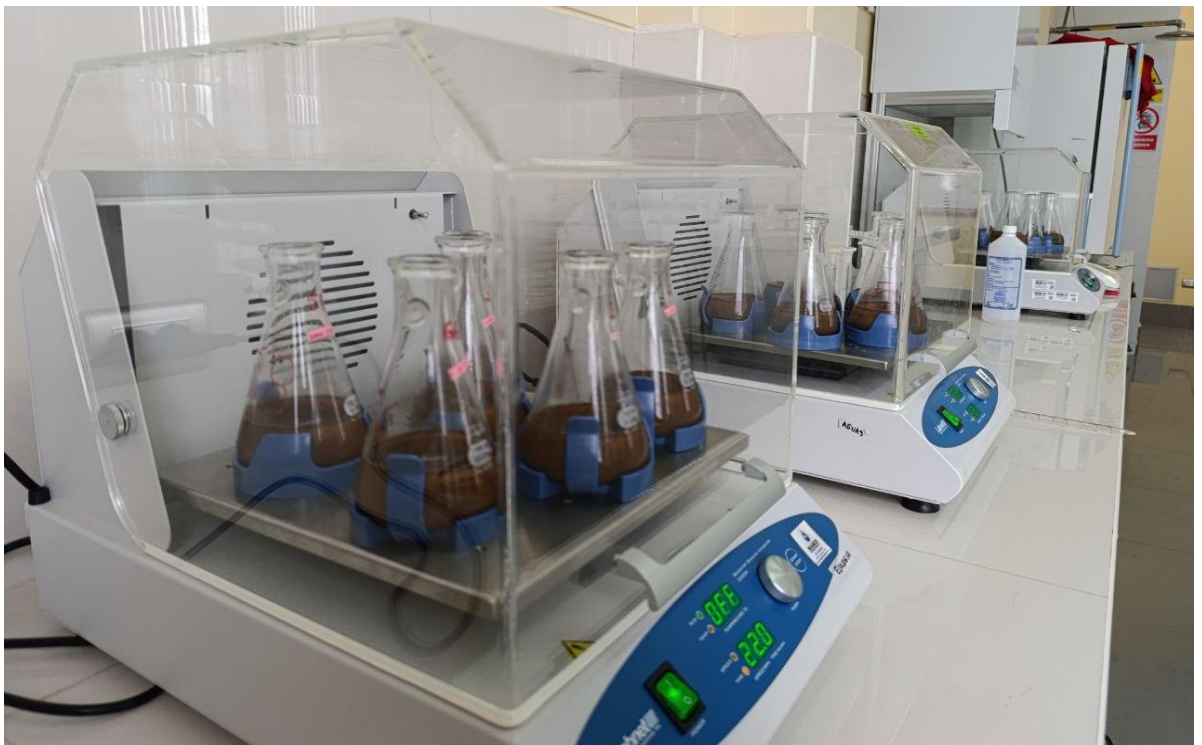
Anexo XXXIII: Adición de EDTA a matraces Erlenmeyer



Anexo XXXIV: Colocado de matraces al agitador



Anexo XXXV: Lavado de suelos a distintos tiempos



Anexo XXXVI: Centrifugado de unidades experimentales a 3000 rpm



Anexo XXXVII: Adición de ácido nítrico



Anexo XXXVIII: Filtrado de muestras después del lavado



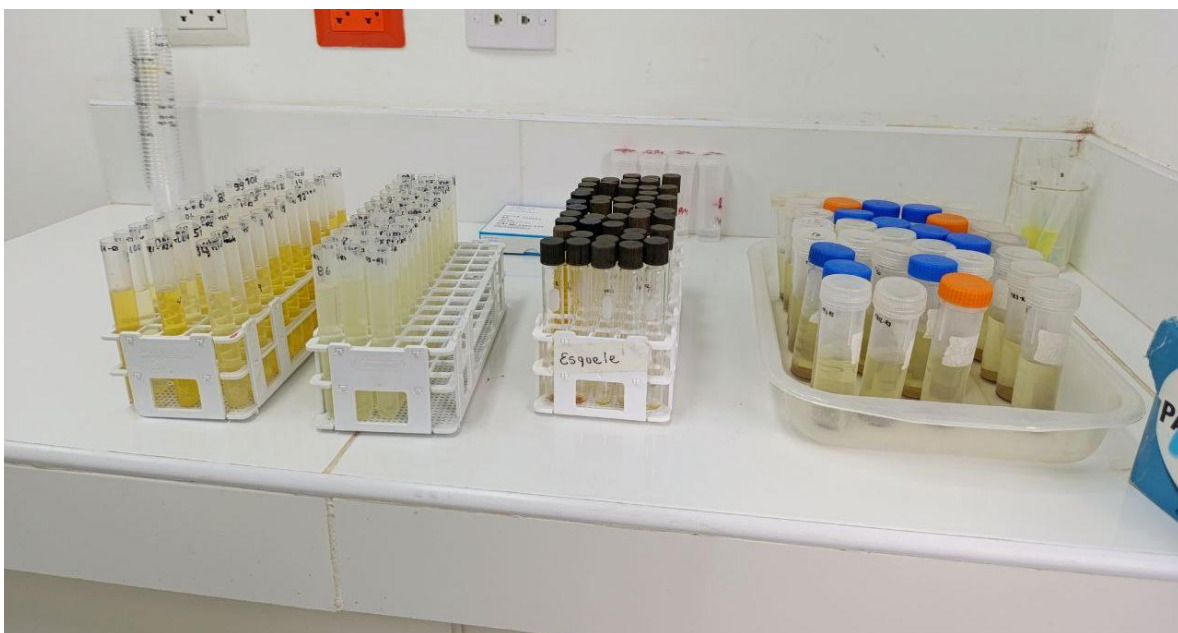
Anexo XXXIX: Digestión para análisis de plomo en suelos



Anexo XL: Filtrado después de la digestión



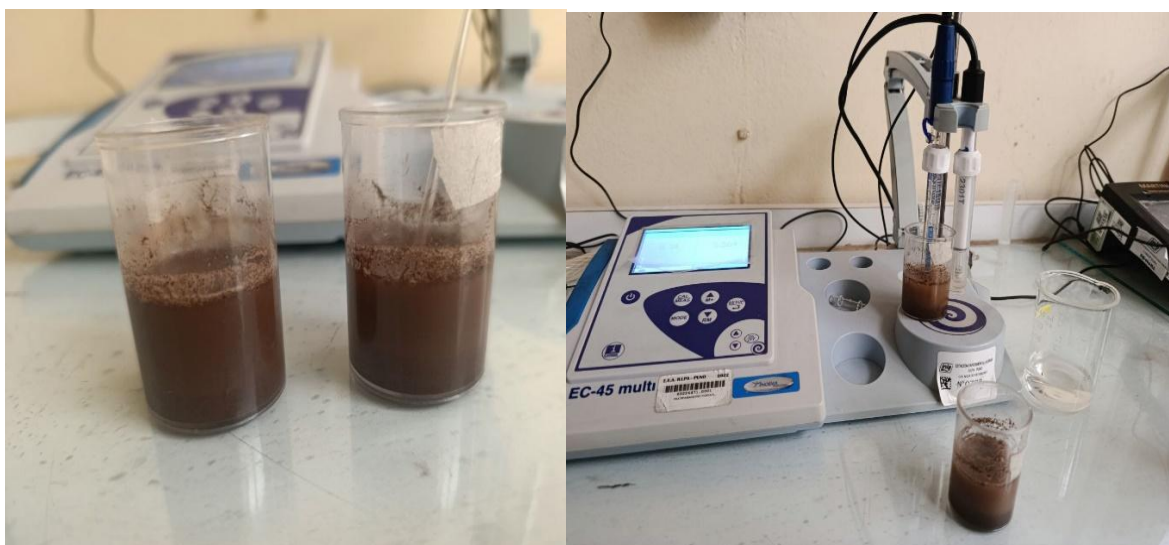
Anexo XLI: Muestras listas para análisis



Anexo XLII: Lectura de plomo en el espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por microondas



Anexo XLIII: Determinación de pH



Anexo XLIV: Determinación de materia orgánica



Anexo XLV: Determinación de textura



UNW