

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



“CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL
LAVADO DE SUELOS CON ÁCIDO CÍTRICO EN LA
CIUDAD DE LA OROYA 2024”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

ESTRADA GALDOS, AROON ISRAEL

VEGA VASQUEZ, XIMENA INES

ASESOR: VIGO ROLDAN ABNER JOSUÉ

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL
AMBIENTE

Callao, 2024

PERÚ



1A; ESTRADA GALDOS-Aroon Israel; VEGA VASQUEZ-Ximena Ines; TESIS CON CT.

11%
Textos sospechosos



10% Similitudes <
1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
< **1%** Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: 1A; ESTRADA GALDOS-Aroon Israel; VEGA VASQUEZ-Ximena Ines; TESIS CON CT..pdf
ID del documento: 27223a449bb30cc35f37bfb8120a9e14297c6f19
Tamaño del documento original: 7,03 MB

Depositante: FIARN PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION
Fecha de depósito: 11/6/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 11/6/2024

Número de palabras: 17.191
Número de caracteres: 108.722

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	fch.cl https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contami... 5 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (515 palabras)
2	repositorio.unas.edu.pe http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/UNAS/1591/3/TSGA_2019.pdf.txt 3 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (453 palabras)
3	repositorio.unas.edu.pe https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1591/TSGA_2019.pdf?sequence=1 2 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (310 palabras)
4	repositorio.uncp.edu.pe https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7928/T010_70295564_T.pdf?sequen... 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (147 palabras)
5	ru.dgb.unam.mx https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000622692/3/0622692.pdf 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (96 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	alicia.concytec.gob.pe Metadatos: Remoción de cadmio en suelos mediante lava... https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAS_ab358c0edb3fd9ac2456dfe070fb399e/Details	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	TESIS FINAL - HUAMANI MALLQUI-MONTES HUACHACA-VASQUEZ EDQU... #8b55b8 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	blogs.usil.edu.pe PROBLEMÁTICA RESPECTO A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA... https://blogs.usil.edu.pe/sostenibilidad/problematca-respecto-a-la-contaminacion-atmosferica-y	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	1library.co Tratamientos fisicoquímicos - TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS https://1library.co/article/tratamientos-fisicoquimicos-tecnicas-de-remediación-de-suelos.q76rxroy	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
5	repositorio.cepal.org https://repositorio.cepal.org/bitstream/11362/6333/4/50800086_es.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



VIII CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 001-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 156 ACTA N°001-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 15 días del mes de junio del año 2024, siendo las 14:00 horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Ms.C.	María Teresa Valderrama Rojas	: Presidente
Mg.	Luís Enrique Lozano Vиейtes	: Secretario
Mtra.	Janet Mamani Ramos	: Vocal
Mtro.	Abner Josué Vigo Roldán	: Asesor

Con el quórum reglamentario de ley, de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, y habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, se dio inicio al acto de sustentación de la tesis, de los bachilleres Aroon Israel Estrada Galdos y Ximena Ines Vega Vasquez, titulada: **"CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL LAVADO DE SUELOS CON ÁCIDO CITRICO EN LA CIUDAD DE LA OROYA 2024"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial en el auditorio de la Facultad;

Luego de la exposición, la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, el jurado acordó: Dar por **APROBADO** la presente tesis, con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISEIS (16)**, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 15:00 horas del día sábado 15 de junio del año en curso.

Presidente
Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas

Secretario
Mg. Luís Enrique Lozano Vиейtes

Vocal
Mtra. Janet Mamani Ramos

Asesor
Mtro. Abner Josué Vigo Roldán

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

TIPO/ ENFOQUE/DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA/CUANTITATIVO/DISEÑO EXPERIMENTAL

TÍTULO: “CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL LAVADO DE SUELOS CON ÁCIDO CITRICO EN LA CIUDAD DE LA OROYA 2024”

AUTORES / CODIGO ORCID / DNI:

ESTRADA GALDOS, AROON ISRAEL/ 0009-0005-2675-8578 / 73097363

VEGA VASQUEZ, XIMENA/ 0000000152876889 / 74249744

ASESOR / CODIGO ORCID / DNI:

Mtro. ABNER JOSUÉ VIGO ROLDÁN / 0000-0002-5611-8011/ 08085074

LUGAR DE EJECUCIÓN: LABORATORIO DEL GRUPO JHACC SAC

UNIDAD DE ANÁLISIS: SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

TIPO DE INVESTIGACIÓN / ENFOQUE / DISEÑO:

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE:

1.05.08. CIENCIAS NATURALES – CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR:

- Ms. C Maria Teresa Valderrama Rojas PRESIDENTE
- Mg. Luis Enrique Lozano Vieytes SECRETARIA
- Mtra. Janet Mamani Ramos VOCAL

ASESOR : **Mtro. Abner Josue Vigo Roldan**

Nº de Libro: 01

Nº de Folio: 156

Nº de Acta: 001-2024

Fecha de Aprobación del Informe de Tesis:

15 de Junio del 2024

Resolución de Sustentación:

Nº 150-2023-CU

DEDICATORIA

A mi familia, por todo su esfuerzo, apoyo constante, confianza y amor incondicional durante cada reto que enfrento, cada logro es para ustedes. A mis maestros, quienes no desistieron al enseñarme y que continuaron depositando su esperanza en mí. A mis amistades, por las risas, estudios, apoyo desde el inicio de la carrera y momentos que compartimos juntos. Y a mí, porque a pesar de todos los obstáculos no me di por vencido.

Aroon Estrada

A mi valiente mamá ,esta tesis es el resultado de tu amor, apoyo y sacrificio en mi viaje educativo te amo con todo mi corazón y esta tesis es mi modesta forma de agradecerte por todo lo que has hecho por mí ,tus palabras de aliento, tu perseverancia y tu ejemplo constante han sido mi inspiración. A mi abuelita y tíos por inculcarme siempre la importancia del trabajo duro y la educación; y mi hermanito Jaime gracias por siempre confiar en mí. Los amo profundamente.

Ximena Vega

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias y amigos por el apoyo a lo largo de nuestra vida, por el orgullo y ganas de superación que en todo momento nos transmite.

A la universidad que nos ha exigido tanto, a los maestros por todas las enseñanzas.

De manera especial a nuestro asesor el Mtro. Abner Vigo Roldán, por orientarnos en este trabajo de investigación; gracias por sus valiosos consejos.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema General	19
1.2.2. Problemas Específicos	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
1.4. Justificación.....	20
1.4.1. Justificación Ambiental	20
1.4.2. Justificación teórica	20
1.4.3. Justificación metodológica.....	21
1.4.4. Justificación practica	21
1.4.5. Justificación económica.....	21
1.4.6. Justificación social.....	21
1.5. Delimitaciones de la investigación.....	22
1.5.1. Teórica	22
1.5.2. Temporal	22
1.5.3. Espacial.....	22
II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Internacionales	23

2.1.2.	Nacionales.....	30
2.2.	Bases Teóricas.....	32
2.2.1.	Remoción de metales pesados de los suelos	32
2.2.2.	Método de lavado de suelos contaminados	37
2.2.3.	Factores que influyen en la implementación de la técnica de lavado de suelos.....	40
2.2.4.	Agentes de Lavado de suelos	41
2.2.5.	Marco Legal.....	42
2.3.	Marco Conceptual	45
2.3.1.	Lavado de suelos	45
2.3.2.	Remoción de plomo.....	45
2.4.	Definición de términos básicos.....	46
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	48
3.1.	Hipótesis.....	48
3.1.1.	Hipótesis General.....	48
3.1.2.	Hipótesis Específicas	48
3.2.	Operacionalización de variables.....	49
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	50
4.1.	Diseño Metodológico	50
4.1.1.	Tipo de investigación	50
4.1.2.	Nivel de investigación.....	50
4.1.3.	Enfoque de la investigación.....	50
4.1.4.	Diseño de la investigación	50
4.2.	Método de investigación.....	51
4.2.1.	Etapas de pre-campo	52
4.2.2.	Etapas de campo	52

4.2.3.	Etapa experimental.....	53
4.2.4.	Etapa de laboratorio	54
4.3.	Población y Muestra	55
4.3.1.	Población.....	55
4.3.2.	Muestra	55
4.4.	Lugar de estudio y periodo de desarrollado	57
4.4.1.	Lugar de estudio.....	57
4.4.2.	Periodo desarrollado	58
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	58
4.5.1.	Técnicas de recolección de datos	58
4.5.2.	Instrumentos de recolección de datos	58
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	59
4.6.1.	Análisis descriptivo	59
4.6.2.	Análisis inferencial.....	59
4.7.	Aspectos éticos en Investigación	59
V.	RESULTADOS	60
5.1.	Resultados descriptivos.....	60
5.1.1.	Resultados de la caracterización fisicoquímica pre y post lavado de suelos.....	60
5.1.2.	Porcentaje de remoción de plomo más significativo	64
5.1.3.	Condiciones de operación	66
5.1.4.	Interacción de variables.....	68
5.2.	Resultados inferenciales	70
5.2.1.	Factor inter sujeto.....	70
5.2.2.	Prueba Post Hoc	71
5.2.3.	Prueba de normalidad	72

5.2.4.	Análisis estadístico ANOVA	73
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos	75
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	76
6.1.1.	Hipótesis General.....	76
6.1.2.	Hipótesis Específicas	76
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	77
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	80
VII.	CONCLUSIONES.....	81
VIII.	RECOMENDACIONES	82
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
X.	ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos biológicos	33
Tabla 2. Tratamiento fisicoquímico	34
Tabla 3. Tratamientos térmicos	36
Tabla 4. Diseño de investigación experimental con arreglo factorial 3^2	51
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos prelavados de suelos	60
Tabla 6. Cantidad de plomo post lavado de suelos	61
Tabla 7. Medida de la concentración de plomo post tratamiento	62
Tabla 8. Remoción de plomo promedio	63
Tabla 9. Comparación de datos obtenidos con el ECA	64
Tabla 10. Porcentaje de remoción de plomo	65
Tabla 11. Porcentaje de remoción promedio	66
Tabla 12. Estadístico descriptivo de la media del Pb respecto al tiempo y pH	70
Tabla 13. Prueba de Tukey para plomo a diferentes pH	71
Tabla 14. Prueba de Tukey para plomo a diferentes tiempos	71
Tabla 15. Información del factor	73
Tabla 16. Análisis de Varianza -ANOVA	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Métodos de remoción de metales pesados	32
Figura 2. Proceso de lavado de suelos	37
Figura 3. Estándares de Calidad Ambiental para Suelo	43
Figura 4. Toma de muestra a 20 cm de profundidad.....	52
Figura 5. Tamizado de muestra de suelo	53
Figura 6. Almacenamiento de muestra en bolsa hermética	53
Figura 7. Distribución Normal.....	56
Figura 8. Lugar de monitoreo	57
Figura 9. Concentración de plomo post-tratamiento.....	62
Figura 10. Concentración promedio de plomo.....	63
Figura 11. Efecto del pH en concentración final de plomo en los suelos	67
Figura 12. Efecto del tiempo de contacto en la concentración final de plomo en los suelos	67
Figura 13. Interacción entre el tiempo de contacto y pH de ácido cítrico para la remoción de plomo.....	68
Figura 14. Efectos principales de las variables en la remoción de plomo	69
Figura 15. Gráfica de contorno de la remoción de plomo.....	69
Figura 16. Prueba de normalidad	72
Figura 17. Diagrama de Pareto	73

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- BHMT: Bis (hexametileno triamina penta (ácido metileno fosfónico))
- CA: Ácido cítrico
- ECA: Estándares de calidad ambiental
- EDTA: Ácido etilendiaminotetraacético disódico
- EDTMP: Etilendiamina tetra (ácido fosfónico de metileno)
- EQ: Extracción química
- GCA: Ácido glucomonocarbónico
- GLDA: Ácido glutamato-N, N-diacético
- HMWOA: Alta masa molecular relativa
- ISA: Ácido iminodisuccínico
- LMWOA: Baja masa molecular relativa
- PAA: Ácido poliacrílico
- PASP: Ácido poliaspártico
- PPMP: Poliamino poliéter metileno fosfonato
- QB: Quelantes biodegradables
- QSDD: Optimización D de saturación cuadrática
- RAC: Código de evaluación de riesgo
- SEM-EDS: Microscopía electrónica de barrido – espectroscopía de energía dispersa.
- SF: Separación física
- TDAH: Trastorno por déficit de atención/hiperactividad
- WSCS: Quitosano soluble en agua

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal el determinar la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya, debido a que con el aumento de la actividad minera se genera problemas ambientales, pues la generación de desechos por dicha actividad es vertida directamente en suelos y agua afectando su composición. Para ello se usó el tipo de investigación aplicada, con un nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño experimental con arreglo factorial. Se establecieron 9 tratamientos usando el ácido cítrico como agente y variando el pH en 2,3, y 4, además del tiempo de contacto en 2h, 6h y 8 h. Se obtuvieron muestras de suelo de la ciudad de La Oroya antigua en una cantidad de 13,5 Kg, las concentraciones de Pb se midieron en cada tratamiento, al inicio y culminado el tiempo planteado.

Los resultados obtenidos mostraron que la concentración inicial de plomo fue de 3264 mg/Kg, valor el cual sobrepasa lo establecido en el ECA-Suelo ya que dicha normativa establece que el valor mínimo debe de ser 800 mg/Kg en suelos industriales/comerciales. Después de haber realizado el tratamiento de lavado con ácido cítrico se obtuvo que los mejores resultados fueron dados a condiciones de pH 2 y tiempo de contacto de 8h ya que logró disminuir la concentración del plomo hasta 767 mg/Kg, valor que representa un porcentaje de remoción del 76,49%. Así mismo con dichos resultados se logró estar bajo los valores máximos mencionados en el ECA-Suelo según Decreto Supremo N°011-2017-MINAM. Concluyendo de esta manera que la técnica de lavado de suelos con ácido cítrico presenta una capacidad de remoción alta y que la variación de pH y tiempo de contacto tienen un efecto significativo.

Palabras clave: plomo, lavado, suelo, ácido, tiempo y ácido cítrico.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the lead removal capacity by washing soil with citric acid from contaminated soils in the city of La Oroya, because with the increase in mining activity environmental problems were generated, since the generation of waste from this activity is dumped directly into soil and water, affecting its composition. For this, the type of applied research was used, with an explanatory level, quantitative approach, and experimental design with factorial arrangement. 9 treatments were established using citric acid as an agent and varying the pH in 2,3 and 4, in addition to the contact time in 2h, 6h and 8h. In addition, soil samples were obtained from the ancient city of La Oroya in an amount of 13,5 kg and Pb concentrations were measured at the beginning of the treatment and at the end of the proposed time.

The results obtained showed that the initial concentration of lead was 3264 mg/Kg, a value which exceeds that established in the ECA-Soil since said regulations establish that the minimum value must be 800 mg/Kg in industrial/commercial soils. After having carried out the washing treatment with citric acid, it was obtained that the best results were given at conditions of pH 2 and contact time of 8 h since it managed to reduce the lead concentration to 767 mg/Kg, a value which represents a removal percentage of 76.49%. Likewise, with these results, it was possible to be below the maximum values mentioned in the ECA-Suelo according to Supreme Decree N°011-2017-MINAM. Concluding in this way that the soil washing technique with citric acid has a high removal capacity and that the variation in pH and contact time have a significant effect.

Keywords: lead, washing, soil, acid, time, and citric acid.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del trabajo se llevó a cabo debido a que, en la actualidad, por el creciente desarrollo de la minería, la contaminación del suelo por metales pesados como el plomo (Pb), que se tiene durante muchos años, se ha convertido en un grave problema ambiental en todo el mundo (Sun et al., 2001); pues estos metales tóxicos suelen ser de naturaleza no degradable y sólo pueden inmovilizarse o extraerse del suelo mediante una serie de procesos físicos, químicos o biológicos (Lee et al., 2002). En el Perú la contaminación de suelos por metales pesados es un problema que se da cerca a lugares donde se desarrollan las actividades industriales. Uno de ellos es la ciudad de La Oroya, la cual a causa de la minería a registrado niveles altos de contaminación de suelos por metales pesados como plomo, cadmio, cobre y zinc, viéndose afectada la salud y calidad de vida de la población.

Ante la problemática presentada, es necesario implementar un método que nos permita tratar adecuadamente los contaminantes presentes en el suelo, por lo que se brinda como alternativa de solución el lavado del suelo el cual ha recibido una atención generalizada debido a su bajo costo, alta eficiencia y operación simple, en comparación con otros métodos (Christofolletti et al., 2017).

Teniendo en consideración lo descrito, y en base a los antecedentes de investigación revisados, uno de los agentes de lavado más usados es el ácido cítrico, que es un compuesto clave en la remediación de suelos contaminados por metales pesados (Zhihua et al., 2021); esto debido a su gran capacidad de remoción, pues en el trabajo realizado en la ciudad de Tingo María se obtuvo hasta el 65,2% de remoción de plomo con este agente (Gamarra, 2019). Este ácido tiene la capacidad de capturar metales pesados en forma estabilizada, haciendo que se reformen para que sean solubles y móviles en el agua; asimismo, se debe tener en consideración la concentración durante su aplicación, pues esta influye en el proceso de estabilización de los metales (Labanowski et al., 2008).

Con lo mencionado y la información obtenida de las fuentes bibliográficas, el presente trabajo busca estudiar la capacidad de remoción del plomo mediante el tratamiento de lavado de suelos con ácido cítrico; esto para lograr remediar

los suelos contaminados de la ciudad de La Oroya, por causa de la minería. Para ello se pretende establecer condiciones de trabajo para el tratamiento, en los factores de pH y tiempo de contacto, con un tipo de investigación aplicada, nivel explicativo y un diseño experimental de arreglo factorial 3^2 , para de esta manera lograr tener condiciones de trabajo adecuados que nos permitan el mayor porcentaje y capacidad de remoción de plomo haciendo que se cumplan con los valores mencionados en la normativa peruana del ECA-Suelo, Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

Así mismo el trabajo cuenta con 6 capítulos en los cuales se organizó toda la información necesaria para el estudio:

En el primer capítulo se planteó el problema, tomando en consideración su descripción, objetivos, justificación y delimitación.

En el segundo capítulo se planteó el marco teórico, en el cual se organizó la información referencial como antecedentes de investigación, base teórica, marco conceptual y definición de términos básicos.

En el tercer capítulo se plantearon las hipótesis y variables de estudio, seguidamente se presenta el cuarto capítulo donde se menciona el tipo, nivel, enfoque y diseño de la investigación, también los métodos, técnicas y estrategias de ejecución de la investigación.

En el quinto capítulo se presentan los resultados de manera descriptiva e inferencial, seguidamente está el sexto capítulo en el cual se realiza la contrastación y demostración de hipótesis, contrastación de resultados con otros estudios y la responsabilidad ética de la investigación.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones planteadas.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En las últimas décadas, la intensificación de las actividades humanas como la minería, la fundición y las diferentes industrias han generado muchos problemas ambientales. Entre estos se encuentra la generación de enormes cantidades de suelos contaminados con metales pesados que constituyen un importante desafío para la salud de interés mundial (Dermont et al., 2008).

En los Estados Unidos, los metales pesados prevalecen en el 77 % de los sitios, actualmente existen más de 50 millones de m³ de suelo contaminado con metales pesados. En Europa, los suelos contaminados con metales pesados abarcan varios millones de hectáreas, lo que representa alrededor del 37,3 % del suelo contaminado total. (Liao, Li y Yan, 2015). Además, en estudios realizados en la ciudad de China han demostrado que la contaminación por plomo en sus suelos está muy extendida ya que la concentración de Pb fue de $35,9 \pm 0,21$ mg/Kg esto debido a la minería, la fundición y el reciclaje de desechos electrónicos. (Zhang et al., 2019)

Así mismo en el Perú la actividad minera es una de las más realizadas debido a que es una de las fuentes principales de nuestra economía, sin embargo, esta lleva consigo una huella en riesgos y peligros asociados a los pasivos ambientales mineros (PAM) que son instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por su operación. Según el último reporte del Ministerio de Energía y Minas en el año 2020 se registraron 7956 PAM distribuidos en diferentes ámbitos geográficos del país, de los cuales la mayoría no cuenta con un plan de remediación establecido, ocasionando así un riesgo en el ecosistema y salud de la población. (Castillo et al., 2021). Además, según estudios, en el Perú el contenido de plomo en suelos como la de Cerro de Pasco superaron los 1200 mg/Kg, estándar de referencia para suelo residencial, lo cual es alarmante debido a que en muchas de las zonas de estos suelos se encuentran viviendas y desarrollo de actividades agropecuarias. (Van Geen et al., 2012).

En la región Junín, según estudio de (Chira Fernández, 2021), de 225 muestras de suelo superficial y 64 muestras de suelo profundo, se determinó que

los suelos de la región, usados en su mayoría como uso agrícola, están altamente contaminados por metales como As (649ppm), Cd (16.9ppm) y Pb (2021ppm); esto por la actividad minera desarrollada en Junín y los pasivos ambientales de sus alrededores. Por la dispersión geoquímica de los metales ya mencionados en el suelo, el río Mantaro se ha visto afectado, ya que esta sería una de las razones de la carga metálica de las aguas que se transportan desde el norte, donde se emplaza la minería polimetálica de La Oroya.

El complejo Minero La Oroya es considerado un pasivo ambiental perteneciente a la empresa Centromin Perú S.A., la cual no ha presentado responsabilidad alguna en la remediación de las áreas afectadas por la explotación minera; por lo cual, hasta el momento no se ha realizado ninguna acción correctiva de los suelos contaminados de La Oroya, pese a que las operaciones mineras se encuentran paralizadas desde el año 2009, generando así problemas de salud en los pobladores que habitan en la ciudad, pues según el estudio realizado por estudiantes de la Universidad Mayor de San Marcos, se determinó que ciertos puntos de la ciudad de La Oroya Antigua superan los 9000 mg/Kg de concentración de metales pesados, los cuales sobrepasan a los estándares de calidad del suelo peruano para vivienda y para suelo comercial, industrial y extractivo. Por las precipitaciones pluviales, esta contaminación afecta el agua del río Mantaro, haciendo que sea inadecuado para actividades agropecuarias (Arce y Calderón, 2017).

Asimismo, debido a estas actividades mineras, se provocan generalmente fuertes impactos ambientales, como la destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (Antrosoles) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Así mismo debido a que estas actividades ocasionan que el suelo contenga cantidades elevadas de metales pesados, lo vuelven un riesgo para la salud humana pues al estar expuestos a estas concentraciones de metales pesados o el consumo de alguna materia prima obtenida de esta fuente puede llegar a ocasionar retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e, incluso casos de muerte. (Dermont et al., 2008)

Es debido a todo lo mencionado que es preciso estudiar métodos de

tratamiento de suelos contaminados que brinden solución a la problemática de suelos contaminados con plomo, por lo que se toma como punto de partida el estudiar el lavado de suelos con ácido cítrico, tomando en consideración sus factores de pH y tiempo de contacto para poder asegurar la mayor efectividad en la remoción del plomo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto del pH en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?
- ¿Cuál es el efecto del tiempo de contacto en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto del pH en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.
- Determinar el efecto del tiempo de contacto en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Ambiental

Ambientalmente, la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico se presenta como una alternativa efectiva, sostenible y amigable que, según antecedentes, tiene una alta tasa de remediación de suelos contaminados con metales pesados, dado que el ácido cítrico, a diferencia de otros agentes quelantes, es biodegradable y no introduce sustancias tóxicas adicionales al medioambiente al formar complejos solubles. De esta manera, la presente investigación contribuye a solucionar la problemática de la ciudad de la Oroya y lograr la recuperación de sus suelos. Además, cumplir de esta manera con los objetivos planteados en el Política Nacional del Ambiente al 2030, en especial el objetivo prioritario número 3 “Reducir la contaminación del aire, agua y suelo”.

1.4.2. Justificación teórica

En el Perú existen pasivos mineros que no cuentan con un plan de remediación debido a que sus tratamientos son muy complejos y caros, por ello muchas empresas solo llevan a cabo un tratamiento primario el cual no es suficiente para poder remediar adecuadamente estos recursos afectados haciendo que no se llegue a los parámetros establecidos por el estado peruano, algunos solo optan por no realizarlo, siendo uno de estos casos el complejo metalúrgico de la Oroya, lo que al final ocasiona graves problemas en la calidad de los suelos del lugar y a la salud de sus habitantes. Es debido a ello que existen los métodos para la remediación rápida de suelos contaminados con metales pesados como la estabilización, vitrificación y el lavado del suelo (Khalid et al., 2017). La estabilización de metales en el suelo es una tecnología con capacidad de tratamiento a gran escala y bajo costo, pero su estabilidad a largo plazo es incierta. Mientras que el lavado del suelo es uno de los principales medios para eliminar permanentemente los metales pesados de los sitios contaminados. (Kim y Lee, 2017). En ese sentido, la investigación contribuye al conocimiento científico y técnico sobre el lavado de suelos mediante la difusión del uso del agente ácido cítrico, el cual es utilizado pocas veces a pesar de su efectividad.

1.4.3. Justificación metodológica

En estudios anteriores se han demostrado que el lavado del suelo puede dar como resultado la eliminación efectiva de metales pesados del suelo, pues se adecua a todo tipo de suelos, además que la tecnología puede reducir el volumen de residuos y mantener una tasa de efectividad alta (Impellitteri et al., 2002), sin embargo, las investigaciones con el agente ácido cítrico para el lavado de suelos son escasa, por ello se busca contribuir a la información ya existente mediante una metodología sencilla, con la finalidad de ser empleada en escenarios similares.

1.4.4. Justificación practica

El tratamiento presenta ventajas, por ser de aplicación directa y ofrecer una solución práctica y de fácil implementación, además de la eliminación permanente de los metales pesados de los sitios contaminados, alta eficiencia de eliminación y un efecto de tratamiento estable. (Mukhopadhyay et al., 2016). Asimismo, esta investigación permite obtener información sobre los niveles de contaminación por plomo del suelo del lugar delimitado, condiciones de trabajo para el lavado de suelos con ácido cítrico y efectividad del tratamiento, la cual será de utilidad para futuras investigaciones a nivel local y nacional que deseen aplicar este tipo de tratamiento a diferentes tipos de suelos.

1.4.5. Justificación económica

Esta investigación permite identificar y evaluar el uso del ácido cítrico como agente de lavado de suelos contaminados con plomo, el cual al utilizar un agente, comparado con otros métodos, de fácil acceso y un producto comercial permite que el tratamiento mantenga un bajo costo de implementación y facilidad de aplicación in situ. Además, permite minimizar gastos relacionado con remediación ambiental, evitando la necesidad de tecnologías avanzadas y costosas.

1.4.6. Justificación social

Esta tecnología presenta una alternativa de tratamiento de suelos contaminados por plomo que se puede replicar en empresas mineras al momento de realizar el plan de cierre o entes de cuidado ambiental sin necesidad de realizar gastos elevados, todo esto con el fin de mejorar la calidad de suelo

donde la población desarrolla sus actividades y reducir significativamente los riesgos para la salud pública.

1.5. Delimitaciones de la investigación

1.5.1. Teórica

El trabajo de investigación se llevó a cabo con muestras de suelo tomadas de la ciudad de la Oroya, en donde se puede evidenciar la presencia de plomo en su composición, para posteriormente aplicar el tratamiento basado en la técnica de lavado de suelos empleando ácido cítrico sin considerar métodos alternativos; esto conlleva a que se cuente con información limitada que sirva como antecedente para la determinación de procedimiento y resultados a esperar.

1.5.2. Temporal

La delimitación temporal está relacionado al periodo de ejecución de la presente investigación, para ello se llevó a cabo un muestreo de identificación en el mes de febrero del 2024, el tratamiento de dichos suelos tomó 2 meses de trabajo, de febrero a marzo del 2024.

1.5.3. Espacial

El trabajo de investigación se realizó en la ciudad de La Oroya antigua, distrito de La Oroya, provincia de Yauli, departamento de Junín, en la sierra central del Perú. El área por intervenir fue de 4 km² de suelos contaminados con metales pesados, principalmente el plomo, con coordenadas UTM E: 402096 N: 8726469, a una altura de 3814 m.s.n.m.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Debido a que el lavado de suelos es una tecnología efectiva y que las investigaciones con el agente ácido cítrico para el lavado de suelos son escasas, es necesario revisar investigaciones que ayuden a mejorar el rendimiento y la confiabilidad. A continuación, se presentan los antecedentes internacionales alineados con el objetivo de la investigación.

(Hui Sun, Wei Liu y Tigang Duan, 2023), en su investigación “Combinación de lavado de suelo con quelante y tratamiento de reducción catódica para un suelo contaminado con múltiples metales: efecto del control del pH” nos menciona que, en estudios anteriores, se desarrolló una tecnología que combinó el lavado con EDTA y la tecnología de reducción catódica para eliminar aún más los metales pesados del suelo contaminado con desechos de galvanoplastia en comparación con la tecnología de lavado de suelo único. Aunque el método mostró un efecto sinérgico en estudios previos, el efecto de la alcalinización de la suspensión del suelo y el mecanismo detrás de esto siguen sin estar claros. El pH alto del suelo tendrá un impacto en la eliminación de metales objetivo, el consumo de energía y una mayor utilización del suelo. En esta investigación experimental, se habla de la eficacia del control del pH al acoplar el lavado del suelo y la reducción catódica para eliminar múltiples metales pesados del suelo bajo varias densidades de corriente. Para aliviar el OH⁻ iones generados por el cátodo y mejorar la eficiencia de reducción de metales, se utilizó un controlador de pH automático, lo que resultó en un aumento significativo en la tasa de eliminación de los metales objetivo. Los resultados experimentales muestran que controlar el pH de la suspensión del suelo puede aumentar la tasa de eliminación total de los metales objetivos entre 3 y 6 veces. Además, la eficiencia de eliminación de Pb residual en el suelo aumenta en aproximadamente un 30%. En términos de riesgo ecológico, el control del pH podría reducir la solubilidad y movilidad de los metales en un 50 %, y el riesgo ecológico se redujo considerablemente, especialmente para Zn, de alrededor de 90 mg/kg a 50 mg/kg.

(Yao et al., 2022), en su investigación “Efectos de los ácidos orgánicos sobre la liberación o inmovilización de metales pesados en suelos contaminados”, se tuvo por objetivo, evaluar la actividad ambiental de los metales pesados afectados por diferentes ácidos orgánicos en el suelo, se exploró un experimento de incubación por lotes para investigar la influencia del ácido orgánico de alta masa molecular relativa (HMWOA) (ácido húmico y ácido fúlvico) y baja masa molecular relativa del ácido orgánico (LMWOA) (ácido treónico y ácido oxálico) sobre la liberación o inmovilización de Pb, Cu y Cd en suelos. Los resultados mostraron que el LMWOA, especialmente el ácido treónico, tuvo un buen desempeño en la liberación de Pb, Cu y Cd de los suelos. Por el contrario, el HMWOA, especialmente el ácido húmico, disminuyó la liberación de Pb, Cu y Cd. La liberación de Pb, Cu y Cd provocada por el LMWOA se atribuyó a la disociación de la materia orgánica del suelo y los óxidos de hierro amorfo, ya que aumentó el carbono orgánico total y el hierro soluble en agua. La inmovilización de Pb, Cu y Cd por HMWOA se atribuyó a la adsorción en HMWOA seguida de hierro amorfo ya que HMWOA resultó en una disminución significativa del potencial zeta y un aumento de óxido de hierro amorfo. Se puede concluir que el LMWOA tiene una aplicación potencial en la remediación por lavado de suelos, mientras que el HMWOA puede usarse en la remediación por inmovilización de suelos contaminados con metales pesados.

(Peng et al., 2021) en su investigación “Eliminación de metales pesados del suelo contaminado por fundición abandonada con ácido polifosfónico: Optimización de dos objetivos basada en la eficiencia de lavado y la evaluación de riesgos”, se propuso un método de optimización de dos objetivos para investigar las eficiencias de eliminación de los contaminantes y el riesgo de migración (código de evaluación de riesgos, RAC) de metal residual simultáneamente cuando el Cd y el Pb del suelo se lavan con poliamino poliéter metileno fosfonato (PPMP) y bis (hexametileno triamina penta (ácido metileno fosfónico)) (BHMT). Los coeficientes de determinación de las ecuaciones demostraron que el diseño de mezcla D-óptimo podría usarse para optimizar y modelar los dos objetivos durante el lavado del suelo. Su factor único (concentración, pH de la solución o tiempo de contacto) y los efectos de

interacción indicaron que PPMP reacciona con Cd y Pb a través de la quelación en un ácido fuerte en el suelo, mientras que el efecto de disolución del ácido convirtió la forma estable de Pb del suelo en una forma inestable. El BHMT pudo eliminar rápidamente más fracciones solubles en ácido de Cd y Pb a través de la adsorción eléctrica de doble capa, y es favorable en condiciones neutras. Además, las eficiencias óptimas de remoción de Cd y Pb del suelo fueron 83,98% y 41,29%, y los RAC fueron 45,1% y 5,16 % respectivamente en el lavado con PPMP; en consecuencia, en la lixiviación BHMT se obtuvieron 69,31% y 28,11% de remociones óptimas y 32,45% y 0,98% de RAC para Cd y Pb del suelo. Por lo tanto, PPMP y BHMT son dos reactivos de remediación factibles de los suelos industriales abandonados contaminados por metales pesados.

(Hu et al., 2021) en su investigación “Remediación de suelos contaminados con zinc mediante el lavado en dos pasos con ácido cítrico y quitosano hidrosoluble”, utilizaron ácido cítrico (CA) y quitosano soluble en agua (WSCS) como agentes de lavado naturales y degradables para eliminar Zn en el suelo mediante un método de lavado de dos pasos. Los resultados indicaron que el lavado en dos pasos con CA y WSCS fue adecuado para eliminar Zn de suelos contaminados, lo que disminuyó mucho la concentración de Zn en el suelo. Después del proceso de remediación con lavado de suelo en dos pasos, los contenidos de Zn en diferentes especies químicas disminuyeron, especialmente para la fracción ligada a carbonato. Por lo tanto, el lavado de suelo en dos pasos con CA y WSCS fue recomendable para la remediación de suelos contaminados con Zn. El mecanismo de lavado podría incluir la disolución ácida, el intercambio iónico y la reacción de formación de complejos entre los iones de zinc y los grupos funcionales como los grupos hidroxilo, carboxilo, amina y amida. Este estudio proporcionó el sustento teórico para la explotación y aplicación de agentes de lavado adecuados para la remediación de suelos contaminados por metales pesados.

(Choi, Lee y Son, 2021) en su investigación “Procesos de lavado de suelos asistidos por ultrasonido para la remediación de suelos contaminados con metales pesados: El mecanismo de la desorción ultrasónica”, investigaron los procesos de lavado de suelos asistidos por ultrasonidos para la eliminación de

metales pesados (Cu, Pb y Zn) en suelos contaminados reales utilizando HCl y EDTA. El proceso de lavado de suelo asistido por ultrasonido (US/Mezcla) se comparó con el proceso de lavado de suelo convencional (Mezcla) basado en la mezcla mecánica. Se obtuvo una alta eficiencia de remoción (44,8% para HCl y 43,2% para EDTA) de los metales para las condiciones más extremas (HCl 1.0 M o EDTA 0.1 M y relación de líquido: sólido = 10:1) en el proceso de mezcla. Con la ayuda de ultrasonido, se obtuvo una mayor eficiencia de remoción (57,9 % para HCl y 50,0 % para EDTA) en las mismas condiciones extremas y una eficiencia de remoción similar o mayor (p. ej., 54,7 % para HCl 0,5 M y relación de líquido: sólido = 10:1 y 50,5% para EDTA 0,05 M y relación de líquido: sólido = 5:1) incluso en condiciones menos extremas (menor concentración de HCl o EDTA y relación de líquido: sólido). Por lo tanto, se reveló que el US/Mezcla era ventajoso sobre los procesos de Mezcla convencionales en términos de eficiencia de remoción de metales, consumo de químicos, cantidad de lixiviado de lavado generado y volumen/tamaño del reactor de lavado. Además, se mejoró la eliminación de metales pesados para las partículas de suelo más pequeñas en el proceso de US/Mezcla. Esto debido a un movimiento más violento de partículas más pequeñas en la fase de lodo y efectos sonofísicos más violentos. Para comprender el mecanismo de desorción ultrasónica, la prueba se realizó con perlas recubiertas de pintura de tres tamaños (1 mm, 2 mm y 4 mm) para las condiciones libre y adherida. Se encontró que no se observó una desorción/eliminación significativa de pintura de las perlas sin el movimiento de las perlas en el agua, incluyendo flotación, colisión y frotamiento. Por lo tanto, se sugirió que la aplicación simultánea de ultrasonido y mezcla mecánica podría mejorar significativamente el movimiento físico de las partículas y podría lograrse una eliminación/desorción muy alta.

(Thinh et al., 2021) en su investigación “Eliminación de plomo y otros metales tóxicos en suelos muy contaminados mediante quelantes biodegradables: GLDA, ácido cítrico y ácido ascórbico” tuvo como objetivo investigar el nivel de contaminación del suelo agrícola cerca de una antigua fundición de reciclaje de plomo en Vietnam, el cual paso por un método CPMS reveló que el suelo de la zona estaba fuertemente contaminado por metales

pesados, especialmente plomo (Pb) con concentraciones en el suelo superficial de >3000 mg/g. Posteriormente, se realizó una serie de experimentos de lavado en el suelo utilizando quelantes biodegradables, que incluyen sal tetrasódica del ácido N, N-dicarboximetil glutámico (GLDA), ácido ascórbico y ácido cítrico. Los resultados mostraron que la mezcla de GLDA-ascórbico (100 mM: 100 mM) puede ser considerada como una candidata potencial para la remoción de Pb y Zn, la cual remueve aproximadamente 90% de Pb y 70% de Zn. Mientras tanto, se prefirió una mezcla de GLDA-cítrico para eliminar Cu según su mayor eficiencia de extracción que otras mezclas.

(Cheng et al., 2020) en su investigación “Eliminación de Cu, Ni y Zn en suelos industriales mediante lavado con ácidos orgánicos EDTA”, tuvieron por objetivo, mejorar la capacidad de eliminación de metales pesados de suelos industriales empleando reactivos de lavado que se mezclaron con ácidos orgánicos de bajo peso molecular (ácido cítrico, ácido oxálico y ácido tartárico) y el compuesto quelante artificial ácido etilendiaminotetraacético disódico (EDTA). Se consideró el efecto de los parámetros de lavado del suelo, la variación de la toxicidad por lixiviación, la movilidad, la estabilidad y la especiación de los metales pesados. Los resultados de los experimentos de lavado del suelo mostraron que mezclar un volumen igual de EDTA 0.05 M y ácidos orgánicos 0.2 M (ácido cítrico, ácido oxálico y ácido tartárico) podría eliminar más del 80 % de los metales pesados del suelo en condiciones óptimas. Además, se redujo la toxicidad de la lixiviación del suelo y se incrementó la estabilidad de los metales pesados restantes, lo que indicó que los reactivos de lavado con ácido orgánico EDTA pudieron reducir efectivamente el riesgo ecológico del suelo contaminado. El EDTA tuvo una mayor capacidad de quelación con metales pesados que los ácidos orgánicos, y los ácidos orgánicos no sólo podían quelar metales pesados sino también disminuir el pH de la mezcla para promover la desorción de metales pesados. Por lo tanto, la mezcla de EDTA y ácidos orgánicos fue un método aconsejable para mejorar la tecnología de lavado del suelo.

(Wang et al., 2020) en su investigación “Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante lavado inducido por quelantes biodegradables: Eficiencias y mecanismos”, exploraron el lavado por lotes para

evaluar el potencial de cuatro quelantes biodegradables (QB) para eliminar Cd, Pb y Zn de los suelos contaminados. También investigaron las características espectroscópicas del suelo antes y después del lavado. Los resultados demostraron que el ácido iminodisuccínico (ISA) y el ácido glutamato-N, N-diacético (GLDA) eran una alternativa atractiva al ácido etilendiaminotetraacético EDTA no biodegradable comúnmente utilizado, pero el ácido glucomonocarbónico (GCA) y el ácido poliaspártico (PASP) eran menos eficientes. Se determinó como parámetros óptimos de QB una concentración de 50 mmol/L, un pH de 5, un tiempo de contacto de 120 min y una relación de sólido/líquido de 1:5, considerando las eficiencias de remoción de metales y el costo adecuado. Un solo lavado de eliminación podría ser de hasta 52,39 % de Cd, 71,79 % de Pb y 34,13 % de Zn del suelo de la mina, y 98,28 % de Cd, 91,10 % de Pb y 90,91 % de Zn del suelo de tierras de cultivo contaminadas. Después del lavado, la intensidad de la unión de metales pesados a los coloides del suelo aumentó, mientras que la movilidad del metal se redujo debido a las fracciones débilmente unidas eliminadas por los QB. El lavado del suelo inducido por QB reveló que los posibles mecanismos de eliminación de metales incluían la disolución ácida, el intercambio iónico y la complejación de la superficie. Nuestros hallazgos destacan la aplicación potencial de especialmente ISA y GLDA como agentes de lavado eficientes para eliminar elementos potencialmente tóxicos de los suelos contaminados.

(Feng et al., 2020) en su investigación "Remediación por lavado de suelos de metales pesados de suelos contaminados con EDTMP y PAA: Propiedades, optimización y evaluación de riesgos", se eliminaron Cd, Pb y Zn del suelo contaminado mediante etilendiamina tetra (ácido fosfónico de metileno) (EDTMP) y ácido poliacrílico (PAA). Luego investigaron el efecto de variar la concentración, el pH y la duración de los procesos de lavado. Los experimentos de un solo factor sugieren que el proceso de lavado de PAA puede estar dominado por la adsorción electrostática y es adecuado para la remediación en condiciones neutras y de ácido débil. Mientras tanto, la remediación con EDTMP podría estar dominada por la quelación, que es favorable en ambientes ácidos y alcalinos fuertes. En un diseño de optimización D de saturación cuadrática

(QSDD), optimizamos los parámetros de lavado y exploramos más a fondo el mecanismo de lavado, incluido el factor principal, el efecto principal, el efecto de interacción y las condiciones de lavado óptimas, con múltiples factores de influencia cambiantes simultáneamente. Las eficiencias óptimas de remoción de Cd, Pb y Zn fueron 92,74%, 96,14% y 50,76% respectivamente en la remediación con EDTMP y 84,62%, 79,24% y 41,66% respectivamente en la remediación con PAA. Los procesos de lavado redujeron efectivamente la disponibilidad de Cd, Pb y Zn en el suelo contaminado, sin afectar notablemente las propiedades químicas del suelo. Por lo tanto, el lavado incurrió en poco riesgo ecológico. EDTMP y PAA son agentes de remediación adecuados de suelos contaminados por metales pesados.

(Zhai et al., 2018) en su investigación “Remediación de suelos contaminados con múltiples metales pesados mediante la combinación de lavado de suelos e inmovilización in situ”, se centraron en la combinación de lavado del suelo (con FeCl_3) e inmovilización in situ (con cal, biocarbón y carbón negro). Los resultados mostraron que la tasa de eliminación de Cd, Pb, Zn y Cu fue del 62,9 %, 52,1 %, 30,0 % y 16,7 %, respectivamente, cuando se lavaron con FeCl_3 . Después de la remediación combinada (inmovilización con 1% (p/p) de cal), los suelos contaminados mostraron reducciones del 36,5%, 73,6%, 70,9% y 53,4% en la biodisponibilidad de Cd, Cu, Pb y Zn (extraídos con 0.11 M de ácido acético), respectivamente, que los de los suelos lavados sólo con FeCl_3 . Sin embargo, la inmovilización con biocarbón al 1 % (p/p) o negro de carbón al 1 % (p/p) después del lavado mostró efectos bajos en la estabilización de los metales. Las diferencias en los efectos entre la inmovilización con cal, biocarbón y negro de carbón indicaron que el pH del suelo tuvo una influencia significativa en la movilidad de los metales pesados durante el proceso de remediación combinado. La actividad de las enzimas del suelo (ureasa, sucrasa y catalasa) mostró que la adición de todos los materiales, incluidos la cal, el biocarbón y el negro de humo, mostró efectos positivos en la remediación microbiana después del lavado del suelo. Además, la cal fue el material más eficaz, lo que indica que el bajo pH del suelo y las altas concentraciones de metales solubles en ácido podrían restringir la actividad de las enzimas del suelo. El pH y la nutrición del

suelo fueron las principales consideraciones para la remediación microbiana durante la remediación combinada. Estos hallazgos sugieren que la combinación de lavado de suelo e inmovilización in situ es un método efectivo para enmendar los suelos contaminados con múltiples metales pesados.

(Jiang et al., 2017) en su investigación “Eliminación de metales tóxicos de suelos contaminados con vanadio mediante un método de lavado: selección de reactivos y optimización de parámetros”, analizaron los fraccionamientos de vanadio (V) y varios otros metales utilizando el procedimiento de extracción secuencial de tres pasos. Entre los métodos para eliminar la contaminación por metales, el lavado del suelo es un tratamiento permanente eficaz. Realizamos experimentos para seleccionar los reactivos adecuados y optimizar las condiciones de extracción. El ácido cítrico, el ácido tartárico, el ácido oxálico y el Na_2EDTA exhibieron altas tasas de eliminación del estado extraíble de V. Con una relación de líquido a sólido de 10, lavado con 0,4 mol/L de ácido cítrico, 0,4 mol/L de ácido tartárico, 0,4 mol/L de ácido oxálico y 0,12 mol/L de Na_2EDTA condujeron a tasas de eliminación del 91 %, 88 %, 88 % y 61 %, respectivamente. También se exploró el efecto de múltiples lavados en la tasa de eliminación. Según los cambios observados en los fraccionamientos de metales, las diferencias en las tasas de eliminación entre reactivos probablemente se asocian con su valor de pKa, pH en solución y estructura química. Llegaron a la conclusión de que, el tratamiento con reactivos de lavado apropiados en condiciones óptimas puede mejorar en gran medida la remediación de suelos contaminados con vanadio

2.1.2. Nacionales

(García y Araujo, 2021) en su investigación “Optimización de la superficie del carbón activado de coronta de maíz por ácido cítrico y pH en la adsorción de plomo”, cuyo objetivo fue optimizar la superficie del carbón activado de coronta de maíz por ácido cítrico y pH en la adsorción de plomo, mediante un diseño factorial del tipo 3^2 , para lo cual se utilizó agua de relave minero, y se modificó el carbón activado de coronta de maíz con ácido cítrico a volúmenes de 25 mL, 30 mL y 35 mL, para pH 3, 4 y 5. Los resultados presentan una concentración inicial de Pb (II) de 3.62 mg/L, después del proceso de adsorción se observó que con

25 mL de ácido cítrico el porcentaje de remoción fue 41.8%, 52.58% y 71.64%, con 30 mL de ácido cítrico el porcentaje de remoción fue 58.29%, 63.26% y 78.82%, finalmente con 35 mL de ácido cítrico el porcentaje de remoción fue 61.33%, 70.81% y 90.42% respectivamente. Asimismo, se concluyó que a un volumen de ácido cítrico óptimo de 35mL y a un pH óptimo de 5 se alcanzaron mejores porcentajes de remoción de Pb (II) de 90.42%, percibiendo que las áreas superficiales de los carbones se incrementaron al aumenta el volumen de ácido cítrico.

(Gamarra, 2019) en su investigación “Remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio”, el objetivo de este estudio es eliminar el plomo del suelo mediante una técnica de lavado de suelos a escala de laboratorio utilizando tres extractantes: EDTA, ácido cítrico y ácido acético en dos concentraciones diferentes: 0,3 M y 0,5 M; las variables se ordenan por factor, dando como resultado 6 tratamientos y un control, replicándose cada tratamiento 3 veces. El tratamiento se realizó en una columna de sedimentación de 22 cm x 15 cm fabricada con material tipo PET como unidad experimental. Se determinó que el extractante más eficaz para eliminar el plomo del suelo era el EDTA, seguido del ácido cítrico y finalmente el ácido acético. Por otro lado, se determinó la concentración óptima de 0,5 M para producir el mejor efecto del tratamiento en el suelo con una eficiencia de eliminación de plomo del 69,5%.

(Silva, 2018) en su investigación “Remoción de cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes”, determinó los valores adecuados de pH de los extractantes, la eficiencia de remoción de Cd y se comparó los cambios químicos del suelo antes y después del lavado con los extractantes. Se diseñó el equipo para lavado vertical a un volumen de 2 L donde se trató 1 kg de suelo contaminado de Cd con ácido acético y jugo de carambola a tres niveles diferentes de pH (2, 3 y 4). Los resultados evaluados mediante un análisis factorial, mostraron que el pH 2 obtuvo mayor remoción de Cd para ambos extractantes y el ácido acético fue el extractante que logró una remoción mayor de 66,9%. Se determinó también los siguientes cambios químicos en el suelo

antes y después de lavado: variación de pH, conductividad y potencial oxido reducción.

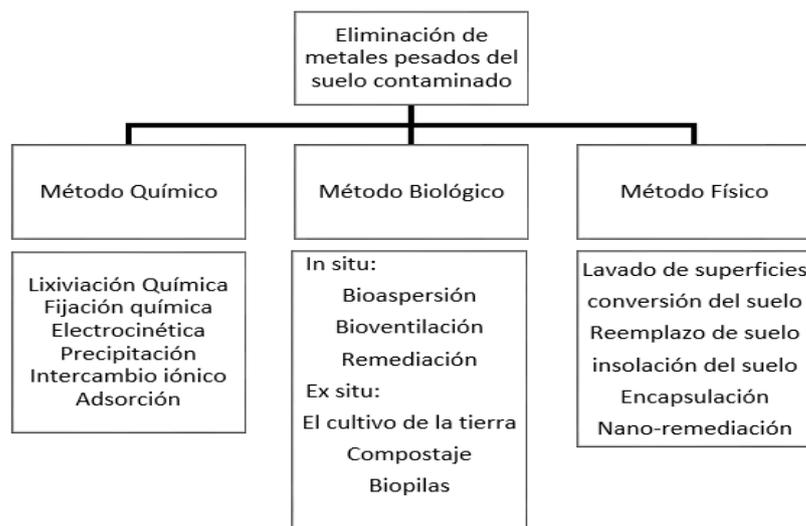
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Remoción de metales pesados de los suelos

Se han explorado varios métodos para eliminar los metales pesados del medio ambiente. Sin embargo, la mayoría de los métodos están limitados por los altos costos, la duración del procesamiento, los problemas geológicos y las cuestiones políticas. Los métodos de extracción se dividen en químicas, biológicas y físicas tal como se muestra en la figura 1 (Saravanan, Rajendrana Priya et al., 2022).

Figura 1

Métodos de remoción de metales pesados



Nota: Adaptado de (Saravanan, Rajendrana Priya et al., 2022).

Estos métodos se enfocan en disminuir las concentraciones máximas y/o biodisponibles de metales pesados en el suelo y sus posibles mecanismos en la cadena de suministro de alimentos (Qin et al., 2020). Los métodos tradicionales para remediar metales pesados de suelos contaminados se basan en métodos físicos, químicos y biológicos que se pueden usar para remediar suelos contaminados en conjunto. La mayoría de estos métodos, a pesar de su alto rendimiento, son caros, nocivos para el medio ambiente, y requiere mucho tiempo (Ahmed et al., 2021).

A. Método biológico. Llamado también tratamientos biológicos o tecnologías de biorremediación utilizan organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para la degradación, transformación o remoción de compuestos orgánicos tóxicos, dependiendo de las actividades catabólicas de los organismos y de su capacidad natural para utilizar los contaminantes como fuente de alimento y energía. (Candia, 2019).

Tabla 1

Tratamientos biológicos

Tecnología - Descripción	Objetivo de Remediación	Contaminantes Tratados
<p>Biotransformación de Metales</p> <p>Inmovilización y/o transformación microbiana de metales u otros compuestos inorgánicos presentes en suelos contaminados mediante mecanismos de oxidación, reducción, metilación, dimetilación, formación de complejos, biosorción y/o acumulación intracelular, entre otros</p>	Descontaminación	Metales
<p>Bioventing/Bioventilación/ Biosparging</p> <p>Estimulación de la biodegradación natural de compuestos en condiciones aeróbicas, mediante el suministro de aire (enriquecido en O₂), suministrando solamente el oxígeno necesario para sostener la actividad de los microorganismos degradadores.</p>	Descontaminación	Metales
<p>Fitorremediación/ Fitorrecuperación</p> <p>Remoción, transferencia, estabilización, concentración y/o destrucción de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) presentes en suelos, lodos y sedimentos, mediante la utilización de especies</p>	Descontaminación	Metales, pesticidas, solventes, explosivos, hidrocarburos aromáticos

vegetales. Son mecanismos la rizodegradación, la fitoextracción, la fitodegradación, la fitovolatilización y la fitoestabilización. policíclicos, crudo

Nota: Adaptado de (Candia, 2019)

B. Método fisicoquímico. Llamados también tratamientos fisicoquímicos aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para la destrucción, separación o contención de la contaminación. Este tipo de tecnologías generalmente son efectivas en cuanto a costos y pueden concluirse en periodos cortos. (Candia, 2019)

Tabla 2

Tratamiento fisicoquímico

Tecnología - Descripción	Objetivo de Remediación	Contaminantes Tratados
<p>Adición de Enmiendas</p> <p>Reducción de la movilidad y biodisponibilidad de sales y metales pesados mediante la adición de sustancias orgánicas e inorgánicas al suelo contaminado. Las enmiendas aportan, además, nutrientes al medio; desempeñando un papel importante en la restauración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos altamente degradados.</p>	Descontaminación	Fundamentalmente sales y metales
<p>Barreras Permeables Reactivas</p> <p>Adsorción, precipitación y/o degradación de contaminantes presentes en aguas subterráneas, mediante la instalación In Situ de una pantalla perpendicular al flujo de la pluma de contaminación, cuyo material de relleno puede adsorber, precipitar o</p>	Descontaminación	Contaminantes orgánicos biodegradables, metales, nitratos, sulfatos

degradar biótica o abióticamente los contaminantes.

Estabilización Físico Química

Limitación de la solubilidad o movilidad del contaminante generalmente por la adición de materiales como cemento hidráulico, cal o polímeros, que aseguren que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica. El suelo contaminado recibe un pretratamiento para eliminar la fracción gruesa y luego se mezcla en tanques con agua y una serie de aditivos o agentes estabilizantes.

Descontaminación

Fundamentalmente compuestos inorgánicos como metales pesados, limitada eficacia para contaminantes orgánicos y pesticidas

Lavado de Suelos

Desorción y solubilización de contaminantes presentes en el suelo mediante la acción de lavado con extractantes químicos. El suelo excavado es previamente separado físicamente por tamizado, densidad o gravedad para eliminar partículas gruesas con poca capacidad de adsorción. Posterior al tratamiento, el suelo se vuelve a lavar con agua para eliminar los contaminantes y agentes extractantes residuales y es devuelto a su lugar de origen.

Descontaminación

Compuestos orgánicos semivolátiles, Hidrocarburos derivados del petróleo, Cianuros y metales

Nota: Adaptado de (Candia, 2019).

C. Tratamientos térmicos. Al igual que las tecnologías fisicoquímicas y a diferencia de las biológicas, los tratamientos térmicos incluyen la destrucción, separación y/o inmovilización de los contaminantes presentes en el medio. Las tecnologías térmicas de separación producen vapores que requieren de tratamiento; las destructivas producen residuos sólidos y, en ocasiones, residuos líquidos, que requieren de tratamiento o disposición final. (Candia, 2019).

Tabla 3*Tratamientos térmicos*

Tecnología - Descripción	Objetivo de Remediación	Contaminantes Tratados
<p>Desorción Térmica (DT)</p> <p>Volatilización de contaminantes en suelos extraídos desde su lugar de origen y tratados en equipos típicamente conocidos como desorbedores. Es un proceso de separación física no destructivo que requiere que los vapores generados reciban un tratamiento posterior. Basado en la temperatura de operación del equipo, el proceso puede ser categorizado en DT de alta temperatura (de 320 a 560 °C) o DT de baja temperatura (de 90 a 320 °C). Durante la DT de baja temperatura, el suelo retiene sus propiedades físicas y sus componentes orgánicos.</p>	Descontaminación	<p>Compuestos orgánicos volátiles no halogenados, combustibles, algunos compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos, PCBs, pesticidas y metales volátiles</p>
<p>Vitrificación</p> <p>Calentamiento del suelo contaminado a alta temperatura (1600 a 2000 °C) para conseguir su fusión y transformación en un material vítreo estable, reduciendo así la movilidad de los contaminantes inorgánicos y la destrucción de los contaminantes orgánicos por reacciones de oxidación y/o pirolisis.</p>	Confinamiento	<p>Contaminantes inorgánicos (principalmente Hg, Pb, Cd, As, Ba, Cr y cianuros) y algunos orgánicos</p>

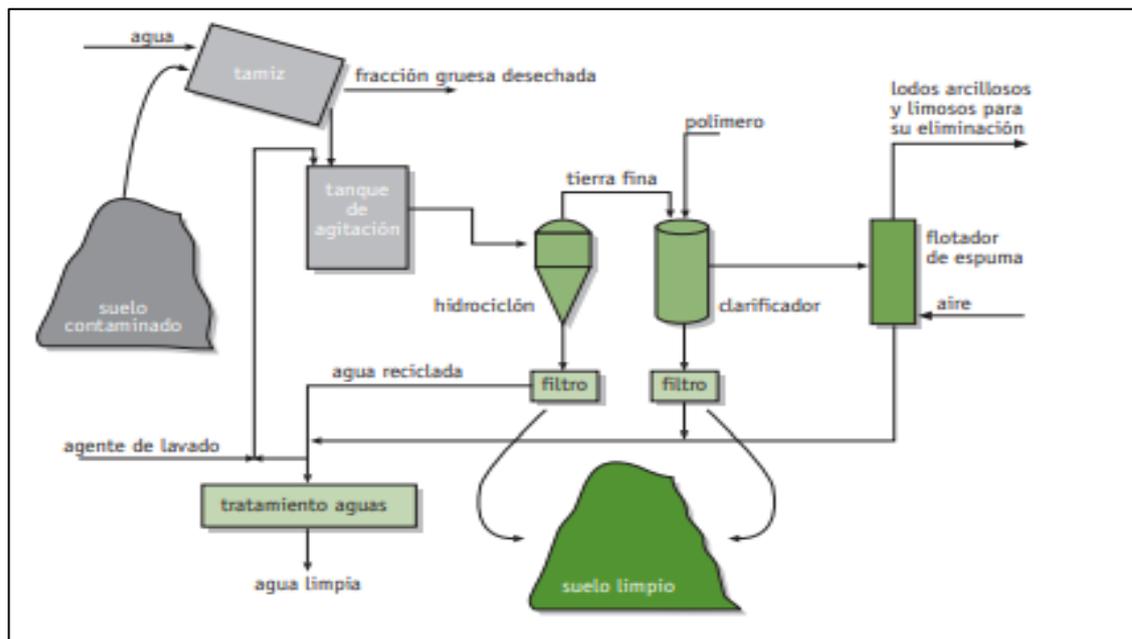
Nota: Adaptado de (Candia, 2019)

2.2.2. Método de lavado de suelos contaminados

En las últimas décadas se han tratado el suelo contaminado con metales mediante métodos de remediación, como reemplazo o relleno de suelo, electrodiálisis, fitorremediación, lavado del suelo, enmienda del suelo, solidificación/estabilización, procesos electrocinéticas y biorremediación. Entre ellos, el lavado de suelos se considera una de las alternativas de tratamiento más eficientes, rápidas y rentables para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Wuana y Okieimen, 2011). El lavado de suelos se usó para separar permanentemente una cierta cantidad de metales de los suelos en un corto período de tiempo mediante la disolución de metales pesado en el eluyente (Dermont et al., 2008). También se informó que los suelos, después de un lavado adecuado, eran reutilizables (Hou et al., 2014).

Figura 2

Proceso de lavado de suelos



Nota: Adaptado de (Ortiz Bernad et al., 2007)

El lavado de suelos se refiere a técnicas ex situ que emplean procedimientos físicos y/o químicos para extraer contaminantes metálicos de los suelos. La Fig. 2 presenta un diagrama esquemático de las opciones típicas utilizadas en los procesos de lavado de suelos: (1) separación física, (2) extracción química, (3) combinación de ambos. La separación física (SF)

concentra los contaminantes metálicos en un volumen más pequeño de suelo al explotar las diferencias en ciertas características físicas entre las partículas que contienen metal y las partículas del suelo (tamaño, densidad, magnetismo y propiedades superficiales hidrofóbicas). La extracción química (EQ) se refiere a las técnicas que intentan solubilizar los contaminantes metálicos del suelo con un fluido acuoso extractor que contiene reactivos químicos como ácidos o agentes quelantes (Dermont et al., 2008).

El uso complementario de los procedimientos de separación física de partículas y lixiviación química proporciona una herramienta muy útil para descontaminar los suelos afectados con metales. La combinación típica utiliza la separación física (principalmente por tamaño, densidad o propiedades de flotabilidad) para concentrar formas de partículas de metales en un pequeño volumen de suelo, seguido de extracción química de esta fracción concentrada para disolver los metales (Dermont et al., 2008).

La optimización del proceso de lavado de suelo es la forma más directa de reducir el consumo de agentes de extracción. Los parámetros más importantes que considerar son:

- La efectividad de extracción del agente extractante elegido
- Su costo
- Su capacidad de sorción del suelo (que puede conducir a una pérdida importante de agente de extracción y efectos adversos en la calidad del suelo)
- Los parámetros operativos, incluida la concentración del agente extractante, la relación suelo/líquido, el tiempo de contacto, las condiciones de mezcla, el pH y el número de pasos de lavado sucesivos.

Por lo general, los parámetros óptimos se determinan mediante pruebas preliminares. Vale la pena señalar que las características del suelo contaminado y los contaminantes deben investigarse cuidadosamente para evaluar la idoneidad del proceso de lavado de suelos. De acuerdo con el historial de

contaminación, el envejecimiento de la contaminación del suelo y el secuestro de contaminantes pueden afectar fuertemente la disponibilidad de contaminantes objetivo para los agentes de extracción (Trellu et al., 2021).

A) Ventajas de la técnica de lavado de suelos

- Esta tecnología puede tratar tanto contaminantes orgánicos como metálicos en el mismo sistema de tratamiento
- Se reduce mucho el volumen de suelo a tratarse adicionalmente (para recuperar metales) o eliminarse fuera del sitio.
- El suelo procesado puede devolverse al sitio a bajo costo
- El metal recuperado puede reciclarse en ciertos casos (p. ej., enviarse a una planta de fundición).
- Los sistemas de trenes de tratamiento son fácilmente modulares y algunos sistemas de unidades móviles están disponibles a gran escala para la remediación en el sitio
- Las tecnologías están bien establecidas en la industria de procesamiento de minerales y los costos operativos suelen ser bajos.

B) Desventajas de la técnica de lavado de suelos

- Este sistema de tratamiento requiere grandes equipos y espacios para el tratamiento del suelo.
- El volumen de suelos a tratar debe ser grande para que sea rentable (>5000 t para el tratamiento en el sitio).
- Puede ser necesario el tratamiento del agua de lavado y la eliminación de los sólidos residuales fuera del sitio, lo que aumenta significativamente el costo.
- El uso de agentes químicos aumenta significativamente los costos de procesamiento (Dermont et al., 2008).

2.2.3. Factores que influyen en la implementación de la técnica de lavado de suelos

La aplicación exitosa del lavado de suelos usando agentes extractantes para la remoción de contaminantes de un sustrato es dependiente de los siguientes factores:

A. Naturaleza del sustrato: Los parámetros del suelo tales como pH, composición mineralógica, distribución granulométrica, contenido de materia orgánica y/o capacidad de intercambio iónico afectan directamente a la retención y movilidad de los contaminantes hacia la solución de lavado. (Gamarra, 2019)

B. Naturaleza de los contaminantes: Las propiedades de los diferentes tipos de contaminantes que existen en el sustrato (metales pesados, residuos de hidrocarburos, residuos agrícolas, etc.) determinan la efectividad del proceso de lavado. Entre estas características se encuentra el contenido de los contaminantes en la matriz y su distribución o formas fisicoquímicas. (Gamarra, 2019)

C. Solubilidad del agente quelante: La solubilidad de los distintos agentes quelantes empleados en el lavado de suelos es dependiente del pH de la solución, incrementándose en ambientes básicos y disminuyendo en entornos ácidos. Resulta mejor trabajar en ambientes poco ácidos pues esto permite elevar la concentración del agente quelante en la solución lo cual favorece a la formación de complejos con los iones metálicos. (Gamarra, 2019)

D. pH de la solución: Este es uno de los parámetros de mayor influencia en el lavado de suelos. El pH de la solución determina la interacción entre los iones H^+ y OH^- con el centro activo del ion metálico lo cual determina la estabilidad del complejo. La fuerza que presenta el complejo quelatado en función del pH de la solución se conoce como constante de estabilidad condicional y esta es tiene una gran importancia al momento de escoger el pH de experimentación en función del metal que se quiera remover del suelo.

E. Tipo de lavado: Dentro de este parámetro se pueden englobar las características inherentes al procedimiento que son aquellas que se prueban a nivel de laboratorio y que corresponden al tiempo de tratamiento, pH de la solución y concentración del agente extractante. La manipulación de las

proporciones de estos factores determinará la capacidad de remoción de metales del suelo y por ende la efectividad del procedimiento. (Gamarra, 2019)

2.2.4. Agentes de Lavado de suelos

Los agentes de lavado o agentes extractantes son empleados en el lavado de suelos a través de los ácidos orgánicos, agentes quelantes y sales o ácidos inorgánicos. Aunque los ácidos inorgánicos pueden lograr altas eficiencias en la remoción de metales pesados, tales reactivos tienen efectos irreversibles sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, como la pérdida de materia orgánica y nutrientes esenciales del suelo, aumentando los riesgos ambientales. Muchos investigadores han cambiado su atención a los agentes quelantes artificiales como el EDTA, que pueden unir múltiples metales pesados para formar complejos solubles y estables. Sin embargo, el uso de altas concentraciones de EDTA puede imponer una carga sobre la capacidad ambiental debido a la biodegradabilidad desfavorable de EDTA (Guo et al., 2016). Los ácidos orgánicos con ciertas funcionalidades podrían promover la desorción de metales pesados de las partículas del suelo. Sin embargo, a menudo se ha observado una baja eficiencia de eliminación de metales pesados porque los ácidos orgánicos tienen vidas medias cortas en el suelo (Cao et al., 2018). Durante los últimos años, la utilización combinada de múltiples reactivos de lavado de suelos se ha convertido en un foco de investigación. Algunos estudios han demostrado que siempre se ha obtenido una mayor eficiencia de eliminación de metales pesados en suelos contaminados mediante la extracción secuencial (Cheng et al. 2020).

Los estudios anteriores se habían centrado en la remediación de bajas concentraciones de contaminantes en el suelo de las tierras de cultivo utilizando reactivos de lavado mixtos (Li et al., 2015). En realidad, el lavado de suelo es muy apropiado para la remediación de suelos industriales contaminados con alta concentración considerando las características anteriores de esta tecnología (Qiu et al., 2010). Sin embargo, pocos estudios se centraron en la innovación de reactivos de lavado, la migración y transformación de contaminantes en la remediación de suelos industriales mediante tecnología de lavado de suelos. Un nuevo reactivo de lavado mixto que se mezcló con una baja concentración de

EDTA y tres ácidos orgánicos (ácido cítrico, ácido oxálico y ácido tartárico) resultó útil para el tratamiento de suelos industriales contaminados con metales pesados, con el objetivo de compensar las deficiencias del lavado de suelos (Cheng et al., 2020).

2.2.5. Marco Legal

Ley N°2811- Ley general del ambiente. Esta ley es el estándar para la clasificación del marco legal para la gestión ambiental en el Perú. Establecer principios y normas básicos para garantizar el derecho a un medio ambiente sano, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida y respetar la obligación de contribuir a la gestión y la protección eficaz del medio ambiente y sus componentes. Mejorar la calidad de vida de las personas y lograr el desarrollo nacional sostenible. (Congreso de la Republica, 2005)

Decreto Supremo N°012-2009-MINAM - Política Nacional del Ambiente al 2030. Los objetivos de la política ambiental nacional determinan la necesidad de reducir el alcance de la pérdida de biodiversidad y la deforestación, reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo y mejorar la gestión de residuos sólidos. También se recomienda reducir la vulnerabilidad al cambio climático para 2030, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la eficiencia ecológica de la producción de bienes y servicios públicos y privados y avanzar hacia una economía circular. Mejor uso de los recursos; todo lo cual se ve reforzado por una mejor gestión, investigación y educación ambiental. (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2021)

Decreto Supremo N°011-2017-MINAM - Estándares de calidad ambiental de suelo. En el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. El cual establece el valor referencial de concentración de una sustancia en el suelo, que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas ni el medio ambiente.

Figura 3

Estándares de Calidad Ambiental 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				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración 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
Piomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y/ó

Nota: Obtenido de (MINAM, 2017)

Decreto Supremo N°002-2013-MINAM - Guía para Muestreo de Suelos. Las pautas de muestreo de suelo proporcionan especificaciones para determinar si el suelo está contaminado, determinar el alcance de la contaminación (horizontal y vertical), determinar las concentraciones de nivel de fondo y/o determinar las medidas correctivas. Es necesario en base a los objetivos marcados, tomar medidas para reducir la concentración de contaminantes en el suelo. (MINAM, 2014)

Ley N°28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. La presente Ley tiene por objeto regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la

población, al ecosistema circundante y la propiedad. (Congreso de la República, 2004)

Ley N°1797 – Ley de uso y gestión del suelo urbano. La presente ley tiene por objetivo establecer los principios y reglas generales que rigen el uso, gestión y acceso del suelo urbano y de expansión urbana, y su relación sobre el territorio nacional, para que se articulen eficazmente, se promueva el desarrollo equitativo y equilibrado del territorio, se propicie el ejercicio del derecho a la ciudad, al hábitat seguro, ambiente saludable y a la vivienda adecuada y digna. (Congreso de la República del Perú, 2017)

Ley N°28090 – Ley que regula el cierre de minas. La presente ley brinda un reglamento para la prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera. (Ministerio de Energía y Minas, 2005)

ISO 14055-1:2017. Gestión ambiental. Menciona las directrices para el establecimiento de buenas prácticas para combatir la degradación de la tierra y la desertificación. Así mismo se define un marco para la identificación de buenas prácticas en la gestión de la tierra, sobre la base de la evaluación de los factores de la degradación de la tierra y los riesgos asociados con las prácticas pasadas y presentes. También proporciona orientación para el seguimiento y el informe de la implementación de las buenas prácticas.

Norma Técnica Colombiana NTC 3656 1994-11-23. Gestión Ambiental Suelo. Toma de muestras de suelo para determinar contaminación. Esta norma tiene por objeto establecer las metodologías para la toma de muestras de suelo con el propósito de determinar la contaminación, y garantizar que los análisis de laboratorio permitan, por una parte, evaluar su calidad y el grado de contaminación y por otra, establecer su efecto sobre la aptitud y el uso de la tierra.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Lavado de suelos

El lavado de suelos es una tecnología eficaz utilizada generalmente para la eliminación de metales pesados presentes en suelos, como el plomo. Para este proceso se usan diferentes extractantes y agentes quelantes (Gluhar, Kaurin y Lestan, 2020). Esta técnica implica la aplicación de soluciones químicas que movilizan, solubilizan y extraen contaminantes del suelo, mejorando su calidad y reduciendo los riesgos ambientales y para la salud humana (Hazrati et al., 2020).

La eficiencia del lavado de suelos con ácido cítrico, ácido orgánico débil y biodegradable, depende de varios factores, por lo cual se aplica el lavado de suelos con una solución de ácido cítrico sobre una superficie determinada de suelos contaminados con plomo en la ciudad de la Oroya, tomando en cuenta las variaciones de pH y tiempo de contacto, formando complejos solubles a extraer posteriormente con agua destilada.

2.3.2. Remoción de plomo

La remoción de plomo es el proceso mediante el cual se extrae el metal del suelo, agua o aire con ayuda de tecnologías debido a que su presencia en el ambiente es peligroso dado su alta toxicidad. (Michael-Igolima, Abbey y Ifelebuegu, 2022). Este proceso es crucial en áreas contaminadas, donde la exposición al plomo representa un riesgo significativo para la salud pública.

La capacidad de remoción de plomo se refiere a la cantidad de plomo que puede ser extraída del suelo mediante el proceso de lavado, esto empleado para reducir o eliminar contaminantes (Kuppusamy et al., 2017). Por lo que la remoción de plomo se medirá mediante la comparación de las concentraciones de plomo en el suelo antes y después del tratamiento. Este proceso cuantificable y medible se realizará en muestras de suelos tratadas con la solución de ácido cítrico. Los resultados permitirán determinar la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado con ácido cítrico y su viabilidad como tratamiento para la remoción de plomo.

2.4. Definición de términos básicos

Ácidos orgánicos

Según (Farid et al., 2019) los ácidos orgánicos de bajo peso molecular son una serie de agentes quelantes naturales, principalmente ácido cítrico, ácido málico, ácido tartárico y ácido oxálico, que generalmente se derivan de exudados de raíces vegetales. Tienen una gran capacidad para activar los metales pesados en los suelos y son prometedores para la fitorremediación de suelos contaminados.

Agente quelante

Son utilizados para la remoción de metales pesados en suelos que tienen altas capacidades amortiguadoras, ya que pueden formar complejos metálicos estables en un amplio rango de pH. Los suelos contaminados con metales pesados también se pueden remediar utilizando el método de solidificación/estabilización in situ (S/S), que se refiere a la inmovilización in situ de metales pesados en suelos contaminados utilizando reactivos aglutinantes. Sin embargo, requiere un seguimiento a largo plazo debido a la posibilidad de que se vuelvan a liberar contaminantes nocivos (Dermont et al., 2008).

Estándar de Calidad Ambiental

El MINAM lo define como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

pH

En química, el pH es una escala numérica utilizada para especificar la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion Hidrógeno. Las soluciones con un pH menor a 7 son ácidas, por el contrario, las soluciones con un pH mayor a 7 son alcalinas o básicas. El agua pura tiene un pH de 7, lo que se refiere a que es neutral, ni ácida ni alcalina. Contrariamente a la creencia popular, el valor del pH puede ser menor que 0 o mayor que 14 para los ácidos y las bases muy fuertes. Sin

embargo, estos extremos son difíciles de medir con precisión. (Vázquez Contreras y Rojas Pérez, 2016)

Plomo

El plomo (Pb) es considerado uno de los metales pesados más peligrosos debido a sus efectos tóxicos sobre el medio ambiente y la salud humana. Los estudios epidemiológicos han demostrado que incluso a bajas concentraciones, la exposición crónica al Pb puede provocar efectos adversos en la sangre y el sistema nervioso central, especialmente en niños pequeños. En 2013, se estimó que la contaminación por Pb resultó en el 0,6 % de la carga mundial de enfermedades y 853 000 muertes (Shi et al., 2019).

Suelo

Según (Bech, Roca y Tume, 2017) los suelos son una parte esencial del medio ambiente y juegan un papel clave en los ecosistemas terrestres, ya que representan la interfaz biosfera-litósfera y tienen implicaciones considerables para los ciclos biogeoquímicos. De hecho, el suelo forma la piel exterior de las masas terrestres del planeta Tierra. Es un cuerpo de la naturaleza, así como nuestro sistema de soporte vital, un recurso casi no renovable, precioso y frágil. La calidad del suelo debe conservarse.

Tiempo de contacto

Según (Contreras, 2004) el tiempo de contacto es el tiempo transcurrido que requiere una materia en específico para pasar una profundidad o punto designado en el espacio anular durante las operaciones. El tiempo de contacto se usa como criterio de diseño para retirar un contaminante.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

- El lavado de suelos con ácido cítrico presenta una capacidad significativa de remoción de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- La variación de pH del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.
- La variación del tiempo de contacto del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE/ ITÉM	MÉTODO	TÉCNICA
Independiente: Lavado de suelos	Es una tecnología eficaz utilizada generalmente para la eliminación de metales pesados presentes en suelos como plomo, para este proceso se usan diferentes extractantes y agentes quelantes. (Gluhar, Kaurin y Lestan, 2020)	Aplicación de una solución de ácido cítrico sobre una superficie determinada de suelos contaminados con plomo, tomando en cuenta la variación del pH y tiempo de contacto para el tratamiento de suelos contaminados con plomo, de la ciudad de la Oroya.	Lavado de suelos con ácido cítrico	pH Tiempo de contacto	Unidad de pH Horas	Experimental cuantitativo	Observación
Dependiente: Remoción de plomo	La remoción de plomo es el proceso mediante el cual se extrae el metal del suelo, agua o aire con ayuda de tecnologías debido a que su presencia en el ambiente es peligrosos dado a su alta toxicidad. (Michael-Igolima, Abbey y Ifelebuegu, 2022)	La remoción de plomo, proceso cuantificable y medible, se dio en las muestras de suelos contaminados de la ciudad de la Oroya, y fueron tratados por el método de lavado con ácido cítrico para poder determinar su eficiencia como tratamiento.	Porcentaje de remoción de plomo	Concentración inicial de plomo (c_i) Concentración final de plomo (c_f) Porcentaje de remoción $\frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100$	mg/Kg PS mg/Kg PS %		

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño Metodológico

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada porque se buscó la resolución directa del problema, aplicando conocimientos científicos realizados sobre la investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2018).

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue correlacional descriptivo; ya que se identificó el alcance de interacción de causa y efecto de los fenómenos o problemas, explicando el resultado y consecuencias que causó las condiciones en las cuales se estudió. (Hernández, Fernández y Baptista, 2018).

4.1.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de la fue cuantitativo, ya que se buscó describir explicar, comprobar y predecir los fenómenos, además de generar y probar teorías, para ello se recolecta datos que ayuden a medir con precisión las variables de estudio. (Hernández, Fernández y Baptista, 2018).

4.1.4. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue experimental con un arreglo factorial 3^2 , debido a que se consideraron dos factores (pH y tiempo de contacto) de tres niveles cada uno, se evaluó el efecto de cada factor y la interacción entre ellos sobre la variable dependiente (remoción de plomo). (Hernández, Fernández y Baptista, 2018).

Tabla 4

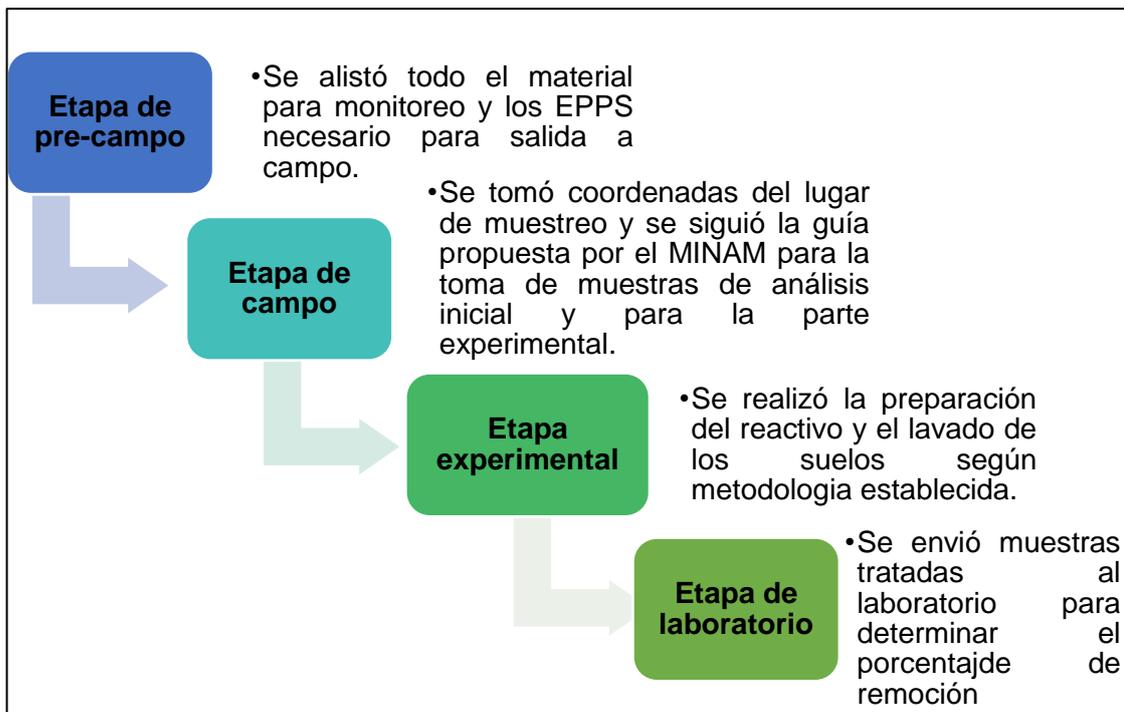
Diseño de investigación experimental con arreglo factorial 3²

		Factores		Réplicas		
Niveles	Tiempo de contacto (horas)	pH	1	2	3	
	2	2	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	2	3	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	2	4	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	6	2	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	6	3	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	6	4	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	8	2	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
	8	3	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb	
8	4	Cf_Pb	Cf_Pb	Cf_Pb		

Donde Cf_Pb: concentración final de plomo

4.2. Método de investigación

La metodología de la investigación fue experimental cuantitativa, porque pretende relacionar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente mediante un proceso sistemático. El método de investigación sigue la siguiente secuencia.



4.2.1. Etapa de pre-campo

- El muestreo de los suelos se siguió la guía para el muestreo de suelos del MINAM, en el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM, ECA para suelos.
- Se alistaron picos, lampas y/o barretas, también bandejas y tamizadores, en el caso de equipos de seguridad se llevó cascos, guantes y chalecos de seguridad. También se llevó conos y barras de distanciamiento para delimitar el lugar de monitoreo.
- Para la toma de coordenadas se llevó cadenas de custodia, GPS, tableros y pizarras.
- Para almacenar las muestras se llevaron bolsas herméticas debidamente rotuladas y fueron transportadas en un cooler.

4.2.2. Etapa de campo

- El área de estudio abarcó los suelos de la ciudad de Oroya Antigua, de los cuales se establece que la densidad de muestreo para los suelos superficiales en un área de 4 km² estuvo dividido un total de 9 puntos de monitoreo (MINAM, 2014).
- Como el suelo a muestrear fue de suelo superficial, se tomaron 20 cm de profundidad con una pala.

Figura 4

Toma de muestra a 20 cm de profundidad



- Seguidamente pasó por tamiz para evitar piedras o cuerpos extraños en la muestra.

Figura 5

Tamizado de muestra de suelo



- Luego del muestreo se realizó el método del cuarteo hasta obtener por lo menos 1 kg de muestra que se analizará químicamente.
- Después se colocaron las muestras en recipientes limpios de plásticos.

Figura 6

Almacenamiento de muestra en bolsa hermética



- Finalmente se llevaron las muestras previamente embolsadas y etiquetadas a los laboratorios para la determinación de plomo inicial del suelo mediante el análisis de espectrometría de absorción atómica.

4.2.3. Etapa experimental

- Se llevó a cabo el experimento utilizando el método de lavado vertical a temperatura constante.
- Se preparó una solución de ácido cítrico con 48 g y se diluyó en 500 mL

de agua destilada, la cual permitió tratar 1 kilogramo de suelo contaminado con plomo.

- A esta solución se le ajustó el pH hasta obtener 2, 3 y 4 con ayuda de agua destilada.
- Se pesó 1 Kg de suelo para cada corrida experimental y se colocó en los contenedores, pero antes de ellos se cubrió el orificio de salida del contenedor con ayuda de una gasa, el cual permitió evitar obstrucciones en su salida, además se verificó que la llave esté cerrada para evitar inconvenientes.
- De igual manera las soluciones de ácido cítrico se ubicaron en sus contenedores respectivos asegurándose que la llave de paso este cerrada en ambos casos.
- Una vez completado el sistema se abrieron las llaves de paso de los contenedores con la solución de ácido cítrico para empezar el proceso de lavado vertical y se dejó durante los tiempos de contacto de 2 h, 6h y 8h.
- Culminado el tiempo se abrieron las llaves de paso de los contenedores de suelo para dejar salir la solución restante de ácido cítrico.
- Posteriormente se volvió a lavar el suelo con agua destilada, aproximadamente 500 mL por cada kilogramo de suelo, para eliminar los contaminantes y agentes extractantes residuales.
- Para finalizar, el suelo fue secado a temperatura ambiente para su respectivo análisis.

4.2.4. Etapa de laboratorio

- Las muestras fueron enviadas a un laboratorio para sus análisis respectivos por el método de espectrofotometría de absorción atómica para así poder calcular el porcentaje de remoción del plomo de la siguiente manera:

$$\%remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

C_i: Concentración inicial del metal

C_f: Concentración final del metal

4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población

La población de la presente investigación son los suelos contaminados con metales pesados de la ciudad de la Oroya Antigua, debido a que en estudios de Arce y Calderón del año 2015 dieron a conocer que los suelos del lugar, que se encuentran frente al Complejo Metalúrgico, están impactados con plomo, llegando a valores tan altos que en algunos casos puntuales sobrepasan los 9000 mg/Kg. (Arce y Calderón, 2017). Llegando así a considerar un área de estudio de 4 Km². (MINAM, 2014)

4.3.2. Muestra

El tipo de muestreo que se aplicó fue de identificación, según la guía del MINAM, ya que este tipo de muestreo nos permite identificar la existencia de contaminación de dicho suelo por la obtención de muestras representativas. Para ello se determinó la cantidad de muestra con la siguiente ecuación para poblaciones infinitas, pues no se conoce la cantidad de suelo del área de estudio; determinar y considerar un aproximado sería apartar algunas zonas del área delimitada, no obteniendo una muestra representativa para el estudio. Además, se usó una precisión de 4,3%.

$$n = n_0$$
$$n_0 = \frac{Z_{\alpha}^2 \times \sigma^2}{E^2} = \frac{Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{E^2}$$

Donde:

n: tamaño de muestra

n₀: tamaño de muestra aproximado

Z_α: Valor de significancia

P: probabilidad de ocurrencia del fenómeno

Q: 1-P

E: error de investigación

La significancia para el valor normal (V_N) con un $\alpha=0,05$ será:

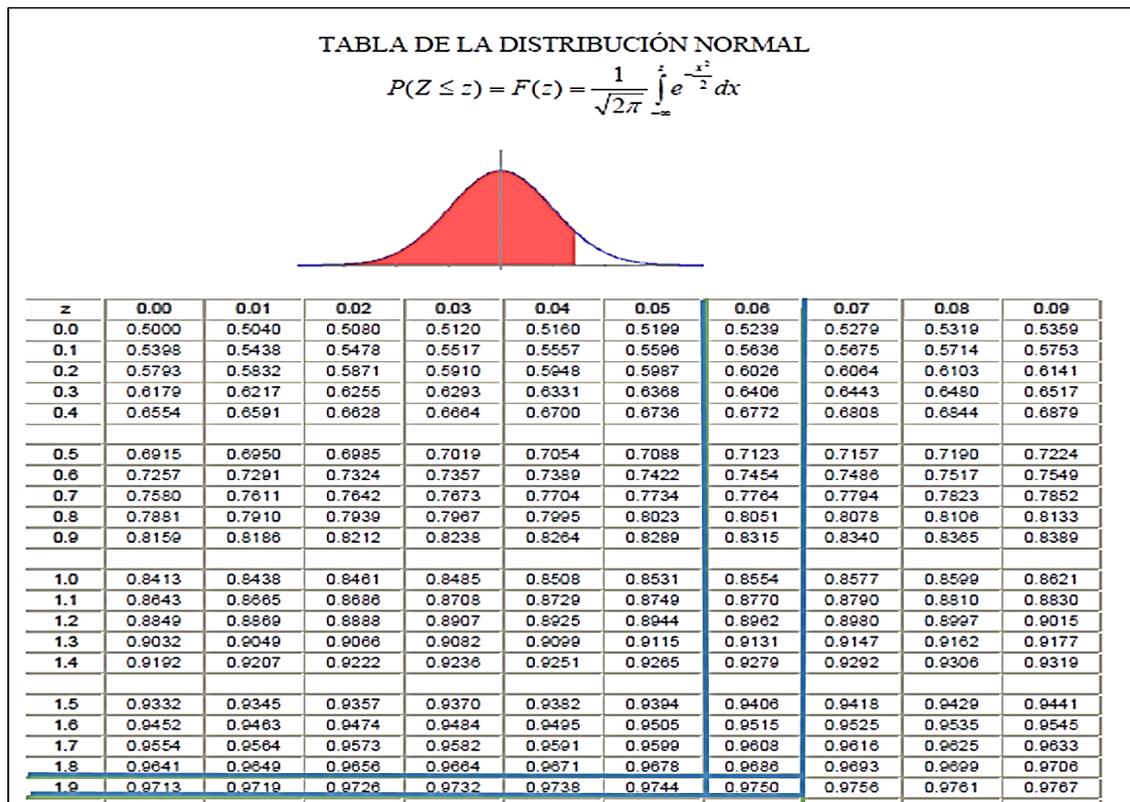
$$V_N = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$V_N = \left(1 - \frac{0,05}{2}\right) = 0,975$$

El valor de Z_α , se determinará mediante la tabla de distribución normal

Figura 7

Distribución Normal.



Nota: Obtenido de (Millones et al., 2018)

De acuerdo con la tabla: $Z_\alpha = 1,96$

La probabilidad se consideró $P = 50\%$ o $0,50$, entonces $Q = 50\%$ o $0,50$.

El error de la investigación de acuerdo con el criterio del investigador fue de $E = 4,3\%$ o $0,043$

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$n_o = \frac{(1,96)^2 * 0,5 * 0,5}{0,043^2}$$

$$n_o = 519,4 \text{ g}$$

$$n \cong n_o$$

$$n \cong 500 \text{ g}$$

De la población infinita, se recolectó 500 g de suelo contaminado para cada corrida experimental dando un total de 13,5 Kg.

4.4. Lugar de estudio y periodo de desarrollado

4.4.1. Lugar de estudio

El Lugar de estudio fue la ciudad de La Oroya, ubicado en el departamento de Junín, conocida como la capital metalúrgica de Sudamérica o ciudad de plomo. La muestra se tomó de la zona La Oroya Antigua en las coordenadas UTM E: 402096 N: 8726469 a 3814 m.s.n.m.

Figura 8

Lugar de monitoreo



Nota: Obtenido de Google Earth Pro

4.4.2. Periodo desarrollado

La presente investigación se desarrolló durante el mes de febrero hasta marzo del 2024, conforme a lo descrito a continuación:

Mes de Febrero

- Semana 1: Cotización y adquisición de materiales y reactivos.
- Semana 2 y 3: Construcción y adecuación del módulo de trabajo bajo información de artículos científicos y tesis.
- Semana 4: Toma de muestra de suelo en la Ciudad de la Oroya Antigua y envió de muestras para análisis de caracterización a laboratorio.

Mes de Marzo

- Semana 1 y 2: Proceso de investigación y manipulación de variables en los diferentes tratamientos propuestos.
- Semana 3: Recolección de muestras para análisis de post-tratamiento y posterior análisis de los parámetros establecidos.
- Semana 4: Recepción de reportes de laboratorio y procesamiento de datos.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que se emplearon son:

- Técnicas de análisis químico: Se realizó con la toma de muestras en campo para analizar a un laboratorio acreditado ante INACAL, para asegurar que los datos reportados sean confiables. El método usado para este proceso es de espectrofotometría de absorción atómica, estandarizado para este tipo de muestras.

- Análisis de documentos: Se llevó a cabo la búsqueda de información para armar los antecedentes y metodología del estudio, los cuales se usaron para redactar la parte experimental y determinar las condiciones de trabajo adecuadas.

4.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se emplearon fueron:

- Documentos de investigación, informes, revistas, tesis de repositorios universitarios, leyes, normas y protocolos propuestas por el estado peruano.

- Cadenas de custodias para el monitoreo de suelos en la ciudad de La Oroya.
- Reportes de laboratorio de análisis de concentración de plomo inicial y final en suelos.
- Ficha de remoción de plomo, concentración/porcentaje (Anexo 2)

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Después de obtener los reportes de análisis se procedió a organizar la información de los resultados en el instrumento de recolección de datos (ver anexo 2), a partir de ello se realizó la programación de comandos en el software R- estudio mediante el cual se obtuvieron las gráficas de barras.

4.6.1. Análisis descriptivo

Para el análisis descriptivo se realizó según el desarrollo del diseño de investigación el cual fue factorial 3^2 , seguidamente se introdujeron los datos obtenidos de las fichas en el software MINITAB, Editor de datos; después de ello se realizó el análisis descriptivo con el cual se brindó información de medias, medianas y desviación estándar.

4.6.2. Análisis inferencial

De la misma manera se realizó el estadístico para el contraste de hipótesis para ello primero se realizó una prueba de normalidad con el método de Anderson-Darling, seguidamente se manejó un análisis ANOVA con el cual, tomando el valor de significancia de cada variable y su interacción, se realizó la comparación con el valor de significancia de 0,05 debido a que el estudio se trabajó con un nivel de confianza del 95%.

4.7. Aspectos éticos en Investigación

El proyecto de investigación respeta la autoría intelectual, citando a los autores y la ética en investigación de la Universidad Nacional del Callao, además se asegura el avance del conocimiento, la comprensión y la mejora de la condición y calidad de la vida humana, así como también el proceso de la sociedad. Además, hay que informar que no se ha generado riesgo ni se ha vulnerado el medio ambiente durante el desarrollo de la investigación.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Según los objetivos planteados, en este ítem se presentan los resultados obtenidos de la caracterización físico químico pre y post lavado de los suelos contaminados.

5.1.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica pre y post lavado de suelos

A. Resultados pretratamiento

Se realizó la toma de muestras de suelos de la Antigua Oroya, según la guía de monitoreo, posteriormente se secó a temperatura ambiente para analizar la humedad del suelo y así tener la misma característica física para el experimento y sus repeticiones, posteriormente esta muestra se envió al laboratorio para analizar la cantidad de plomo presente y las características fisicoquímicas. Los resultados están distribuidos en la siguiente tabla.

Tabla 5

Parámetros fisicoquímicos prelavados de suelos

Código	Parámetros	Respuesta
M-AE	pH	6,6
	Conductividad eléctrica	146,5 mS/cm
	Materia orgánica	1,3%
	Nitrógeno	0,07%
	Fósforo disponible	25,3 mg/Kg
	Potasio disponible	61,0 mg/Kg
	Arena	56%
	Lino	43%
	Arcilla	0%
	Clase de textura	Franco arenoso
	Metal/plomo	3264,00 mg/Kg

Los resultados obtenidos muestran que el suelo de la ciudad de la Oroya antigua es de textura franco arenoso, además de ello que la cantidad de materia orgánica es de 1,3%, fósforo 25 mg/Kg, potasio disponible 61 mg/Kg, según el Decreto supremo N°005-2022-MIDAGRI establece que la fertilidad del suelo es bajo ya que para considerar alta la fertilidad debe tener materia orgánica mayor

a 4%, fósforo mayor a 14 mg/Kg y potasio mayor a 240 mg/Kg, es debido a estas características que en el lugar existe poca vegetación visible.

Además, que la concentración de plomo que presenta la muestra de suelo estudiada se encuentra 4 veces por encima de los valores mencionados en el ECA-suelo según Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

B. Resultados post tratamiento

Después del experimento y sus repeticiones según lo establecido en la Tabla 4. Matriz de diseño, se realizaron en total 27 tratamientos de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya, siendo los resultados la cantidad de plomo presente como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6

Cantidad de plomo post lavado de suelos

Repetición	Código de muestra	Tiempo de contacto (horas)pH	pH	Concentración de Plomo (mg/Kg)
1ra	M-01	2	2	1097,00
	M-02		3	1642,00
	M-03		4	1412,00
	M-04	6	2	962,00
	M-05		3	1870,00
	M-06		4	1044,00
	M-07	8	2	767,00
	M-08		3	2018,00
	M-09		4	1553,00
2da	M-10	2	2	1102,00
	M-11		3	1647,00
	M-12		4	1405,00
	M-13	6	2	976,00
	M-14		3	1865,00
	M-15		4	1041,00
	M-16	8	2	760,00
	M-17		3	2010,00
	M-18		4	1569,00
3ra	M-19	2	2	1087,00
	M-20		3	1636,00
	M-21		4	1417,00
	M-22	6	2	960,00
	M-23		3	1877,00
	M-24		4	1048,00
	M-25	8	2	775,00
	M-26		3	2021,00
	M-27		4	1556,00

En la tabla 6 se registraron los valores de concentración de plomo post tratamiento a diferente pH y tiempo de contacto.

Donde se obtuvo una mayor concentración de plomo en la muestra M-08, M-17 y M-26, en contraste con la muestra M-07, M-16 y M-25 que obtuvo una menor concentración de plomo, lo que indica una mayor remoción.

Tabla 7

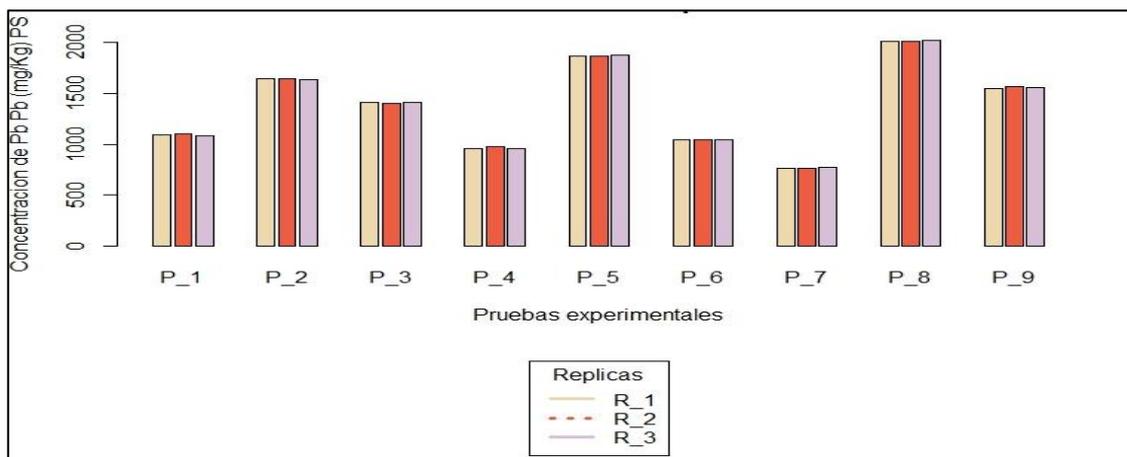
Medida de la concentración de plomo post tratamiento

Estadísticos de concentración de plomo	
N	Valido 27
Media	1374,70
Mediana	1412,00
Desviación	414,326
Mínimo	760,00
Máximo	2021,00

En la tabla 7 se dan los valores estadísticos básicos de la tabla 6, donde el valor central del estudio es 1412,00 mg/Kg, con una desviación estándar de 414,326 mg/Kg, con valores mínimo y máximos de 760 mg/Kg y 2021 mg/Kg respectivamente.

Figura 9

Concentración de plomo post-tratamiento



Según la figura 9 se obtiene que el mejor tratamiento es el 7, que presenta menores tamaños de barras debido a que fue el que obtuvo la menor concentración de plomo, ya que las condiciones de trabajos que evaluó el

tratamiento fueron adecuadas para el proceso de remoción, mientras que el tratamiento 2,5 y 8 fueron los que presentaron mayores concentraciones de plomo mostrando su baja tasa de remoción.

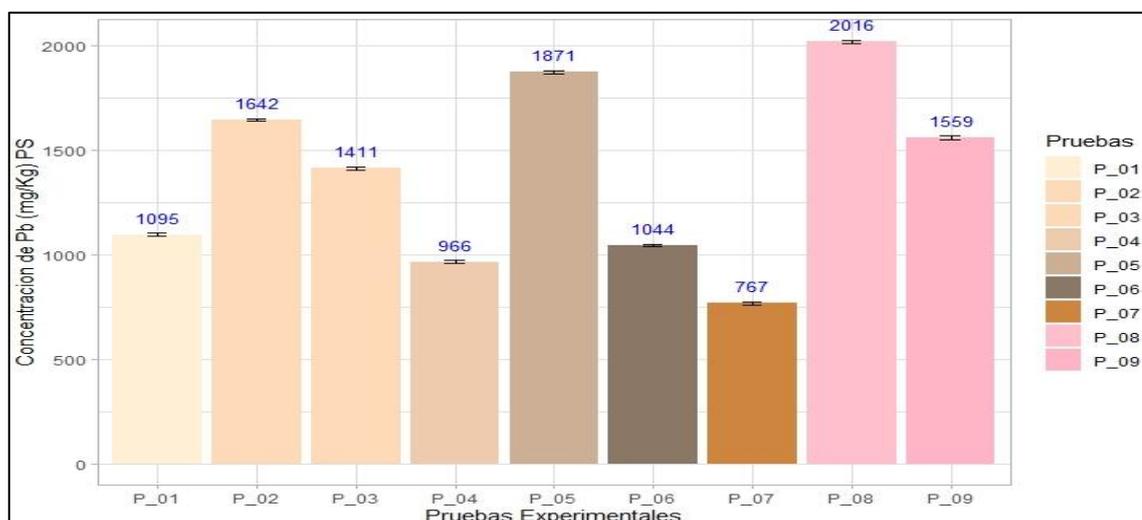
Tabla 8

Remoción de plomo promedio

Código de muestra	Tiempo de contacto (horas)	pH	Concentración de Plomo (mg/Kg)
T-01		2	1095,00
T-02	2	3	1642,00
T-03		4	1411,00
T-04		2	966,00
T-05	6	3	1871,00
T-06		4	1044,00
T-07		2	767,00
T-08	8	3	2016,00
T-09		4	1559,00

Figura 10

Concentración promedio de plomo



Según la tabla 8 y la figura 10 el mejor tratamiento del estudio fue el numero 7 ya que tuvo mejores resultados de porcentaje de remoción con un 767 mg/Kg, mientras que el tratamiento que obtuvo el menor porcentaje fue el 8 con 2016 mg/Kg. Existiendo una diferencia significativa entre estos dos resultados de 1249 mg/Kg.

En consecuencia, de lo obtenido, se contrasto estos datos con el ECA-Suelo, Decreto Supremo N°011-2017-MINAM y determinar si cumplen con esta normativa.

Tabla 9

Comparación de datos obtenidos con el ECA

	Plomo (mg/Kg)
ECA	800
Valor obtenido	767
Estado	Si cumple

En la tabla 9 se muestra que con el tratamiento de lavado de suelos con ácido cítrico se puede llegar a tratar adecuadamente los suelos contaminados con metales pesados como el plomo.

De acuerdo con los objetivos específicos planteados se presentan los resultados a partir del porcentaje de remoción de plomo de acuerdo con las condiciones de operación planteadas.

5.1.2. Porcentaje de remoción de plomo más significativo

La determinación del porcentaje de remoción de plomo es a partir de los resultados de pretratamiento (concentraciones iniciales) y de los resultados post tratamiento (concentraciones finales). Para la determinación del porcentaje de remoción se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

C_i: Concentración inicial del metal

C_f: Concentración final del metal

De tal manera que se obtuvo los siguientes resultados producto del lavado de suelos con ácido cítrico en suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

Tabla 10*Porcentaje de remoción de plomo*

Repetición	Código de muestra	Tiempo de contacto (horas)	pH	Remoción de Plomo (%)
1ra	M-01	2	2	66,39
	M-02		3	49,69
	M-03		4	56,74
	M-04	6	2	70,53
	M-05		3	42,71
	M-06		4	68,01
	M-07	8	2	76,50
	M-08		3	38,17
	M-09		4	52,42
2da	M-10	2	2	66,24
	M-11		3	49,54
	M-12		4	56,95
	M-13	6	2	70,10
	M-14		3	42,86
	M-15		4	68,11
	M-16	8	2	76,72
	M-17		3	38,42
	M-18		4	51,93
3ra	M-19	2	2	66,70
	M-20		3	49,88
	M-21		4	56,59
	M-22	6	2	70,59
	M-23		3	42,49
	M-24		4	67,89
	M-25	8	2	76,26
	M-26		3	38,08
	M-27		4	52,33

En la tabla 10 se observan resultados porcentajes como mínimo de un 38,08% y un máximo de 76,72%.

La determinación del porcentaje de remoción de plomo es a partir de los resultados de pretratamiento (concentraciones iniciales) y de los resultados post tratamiento (concentraciones finales). Para la determinación del porcentaje de remoción se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

C_i: Concentración inicial del metal

C_f: Concentración final del metal

De tal manera que se obtuvo los siguientes resultados producto del lavado de suelos con ácido cítrico en suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

Tabla 11

Porcentaje de remoción promedio

Código de muestra	Tiempo de contacto (horas)	pH	Remoción de Plomo (%)
T-01	2	2	66,44
T-02		3	49,70
T-03		4	56,76
T-04	6	2	70,40
T-05		3	42,69
T-06		4	68,00
T-07	8	2	76,49
T-08		3	38,23
T-09		4	52,23

Según la tabla 11 el mejor tratamiento del estudio fue el número 7 ya que tuvo mejores resultados de porcentaje de remoción con un 76,49%, mientras que el tratamiento que obtuvo el menor porcentaje fue el 8 con 38,23%. Existiendo una diferencia significativa entre estos dos resultados de 38,26%.

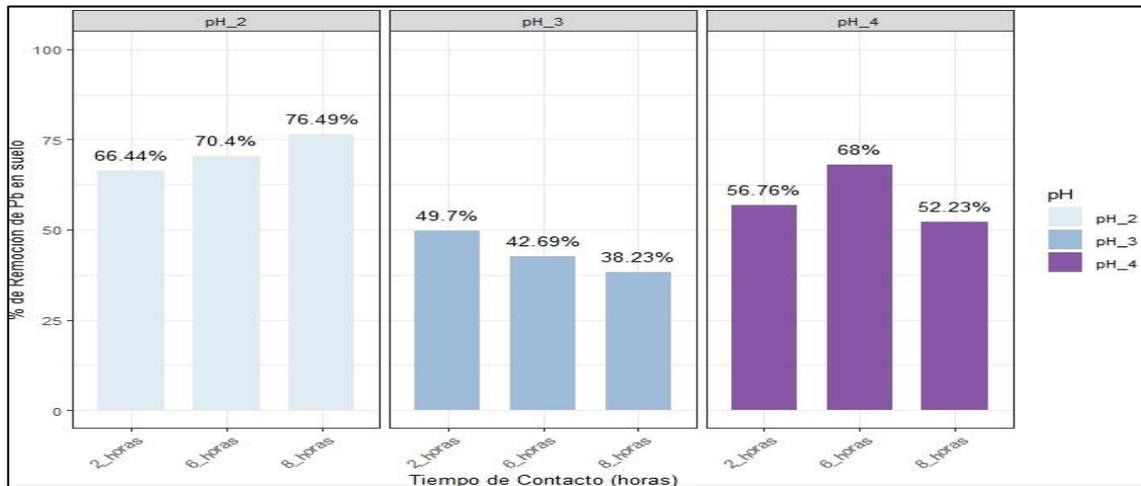
5.1.3. Condiciones de operación

De acuerdo con la bibliografía revisada se planteó como condiciones de operación al tiempo de contacto medido en horas y al pH del ácido cítrico en la aplicación del proceso de lavado de suelos.

Tomando en consideración los valores de la tabla 11 se realizaron los siguientes gráficos.

Figura 11

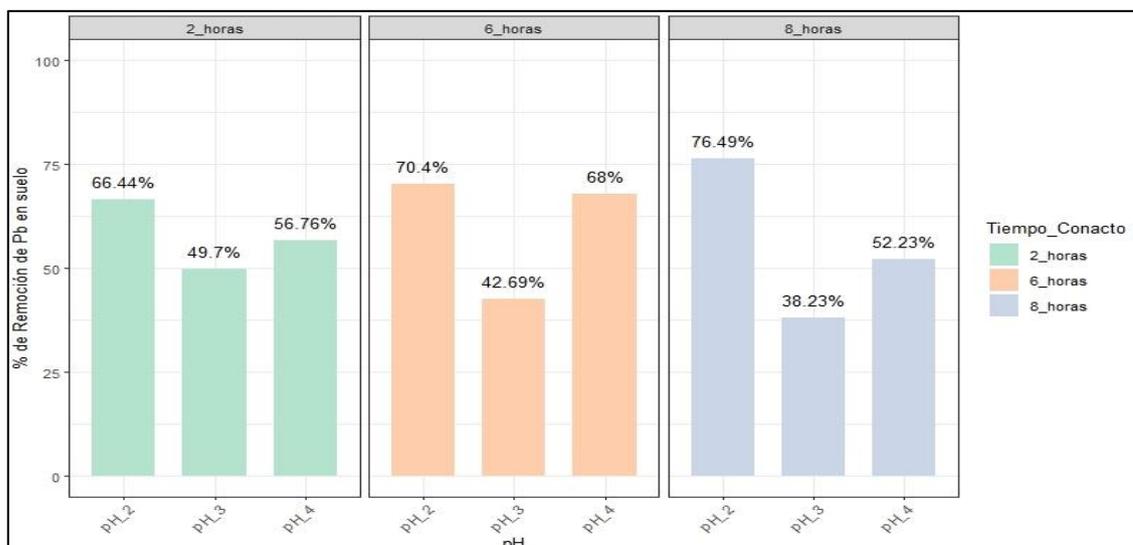
Efecto del pH en concentración final de plomo en los suelos



Según la figura 11 se puede decir que a medida que el pH baja, el porcentaje de remoción de plomo aumenta, ya que el gráfico muestra que los mejores resultados fueron obtenidos en un pH de 2 llegando a un porcentaje de remoción de 76,49%. Mientras que a un pH de 3 y 4 se obtuvieron remociones máximas de plomo de 49,7% y 68% respectivamente. Existiendo una diferencia significativa de 26,79% entre la menor y mayor concentración de plomo.

Figura 12

Efecto del tiempo de contacto en la concentración final de plomo en los suelos



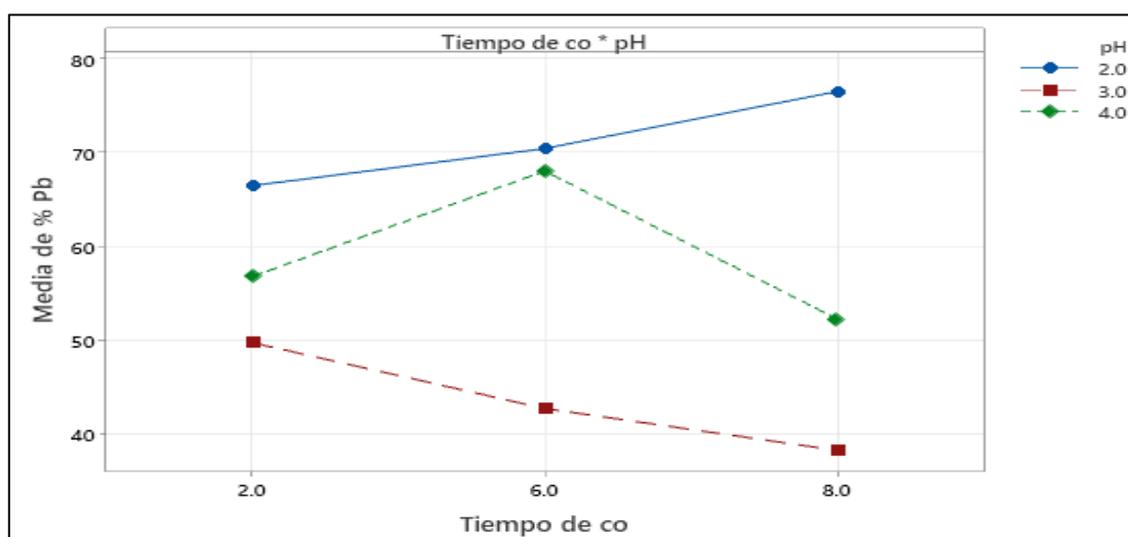
Según la figura 12 se puede decir que a medida que el tiempo tiende a aumentar, la remoción de plomo en los suelos aumenta, ya que el gráfico muestra que los mejores resultados fueron obtenidos al cabo de 8 horas de trabajo logrando un porcentaje de remoción de 76,49%. Mientras que a un tiempo 2 y 4 horas se obtuvieron porcentajes máximos de remoción de 66,44% y 70,4% respectivamente. Existiendo una diferencia significativa entre el tiempo de 8 horas y 2 horas de 10,05%.

5.1.4. Interacción de variables

Para el análisis de la interacción de variables se desarrolló mediante gráficos realizados en el programa MINITAB.

Figura 13

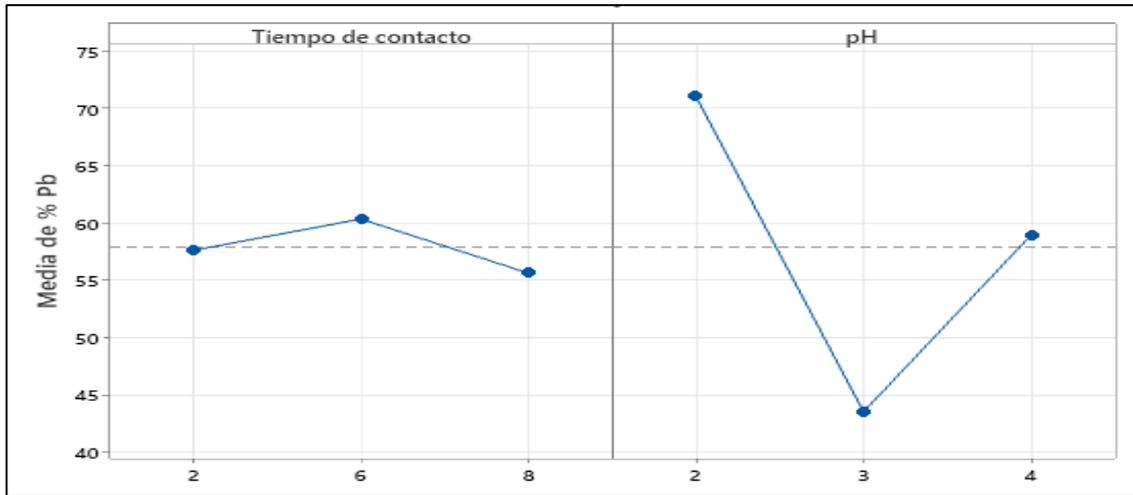
Interacción entre el tiempo de contacto y pH de ácido cítrico para la remoción de plomo



Según la figura 13 se puede observar que la interacción de los 3 niveles de pH y el tiempo de contacto, mostrando que cuando el tiempo es mayor y el pH es el menor, se obtiene mayor porcentaje de remoción de plomo en el suelo; mientras que cuando el pH aumenta y tiempo disminuye, la remoción de plomo disminuye no llegando a cumplir con las concentraciones presentadas en la normativa peruana.

Figura 14

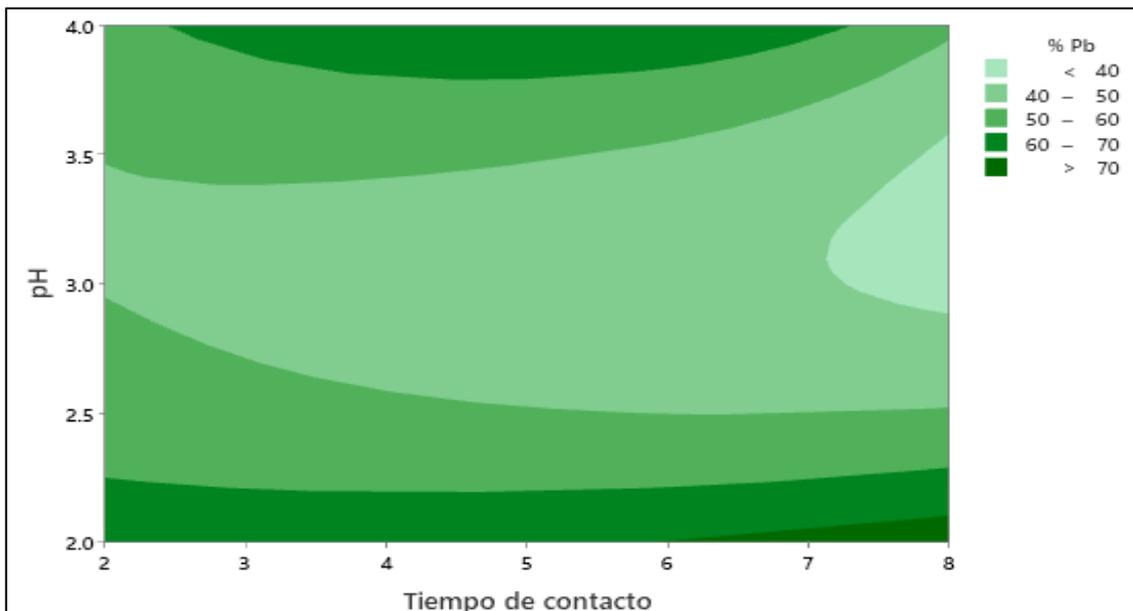
Efectos principales de las variables en la remoción de plomo



Según la figura 14 se puede observar que a medida que aumenta el tiempo existe un mayor efecto en la remoción de plomo mostrando que están relacionados de forma directa, mientras que en el caso del pH se observa que cuando esta tiende a aumentar la remoción disminuye demostrando que están relacionados de forma inversa.

Figura 15

Gráfica de contorno de la remoción de plomo



Según la figura 15 se puede observar a través de colores los efectos de las variables en la remoción de plomo, dando a mostrar que cuando el pH se encuentra entre 3 y 4 con tiempos de 2 horas y 4 horas se obtiene remociones menores al 60% esto se encuentra representado por las tonalidades de verde claro. Mientras que cuando se trabaja con un pH de 2 y tiempos de 6 horas existe una remoción del 60% al 70% y está representado por el verde. Finalmente, cuando se trabaja con un pH de 2 y tiempo de 8 horas se tiene remociones mayores al 70% representado por el verde oscuro.

5.2. Resultados inferenciales

En este subcapítulo de la investigación se presentan los resultados inferenciales mediante análisis descriptivos y referidos a las hipótesis de las variables de manera individual.

5.2.1. Factor *inter sujeto*

Se realizó un análisis descriptivo con ayuda del programa MINITAB en el cual se calculó la media de cada tratamiento y su desviación estándar.

Tabla 12

Estadístico descriptivo de la media del Pb respecto al tiempo y pH

Tratamientos	Variables		Media	Desviación	N
	Tiempo	pH			
T1	2	2	1095,33	7,63763	3
T2	2	3	1641,67	5,50757	3
T3	2	4	1411,33	6,02771	3
T4	6	2	966,00	8,71780	3
T5	6	3	1870,67	6,02771	3
T6	6	4	1044,33	3,51188	3
T7	8	2	767,33	7,50555	3
T8	8	3	2016,33	5,68624	3
T9	8	4	1559,33	8,50490	3

La Tabla 12 muestra las medias para el Pb para cada tratamiento resaltando entre ellas los resultados más bajos de T7 que trabajo con pH de 2 y

tiempo de 8 horas dando una media de 767,3 mg/Kg, seguido por T4 que trabajo con pH 2 y tiempo de 6 horas dando una media de 966 mg/Kg y el T6 que trabajo con pH 4, tiempo 6 hora dando una media de 1044,33 mg/Kg; del cual se puede determinar que el Tratamiento 7 (T7) es el que tiene una menor media de la concentración de plomo.

5.2.2. Prueba Post Hoc

Con la finalidad de determinar la comparación de las medias de los tratamientos se realizó la Prueba Post Hoc mediante el método Tukey, para datos homogéneos, además se comparó las medias individuales provenientes de un análisis de varianza de diferentes muestras.

Tabla 13

Prueba de Tukey para plomo a diferentes pH

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
3 - 2	900,0	86,1	(685,1; 1114,9)	10,45	0,000
4 - 2	395,4	86,1	(180,6; 610,3)	4,59	0,000
4 - 3	-504,6	86,1	(-719,4; -289,7)	-5,86	0,000

La Tabla 13 muestra la prueba de Post hoc, de la cual se puede observar los resultados de la prueba Tukey para los pH, donde el valor de significancia entre los pH en los 3 diferentes niveles es de 0,000, siendo estos menores al valor de significancia de 0,05; por lo tanto, se puede decir que las medias son diferentes, demostrando la diferencia significativa entre los pH.

Tabla 14

Prueba de Tukey para plomo a diferentes tiempos

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
6 - 2	-89	201	(-590; 412)	-0,44	0,898
8 - 2	65	201	(-436; 566)	0,32	0,944
8 - 6	154	201	(-347; 655)	0,77	0,727

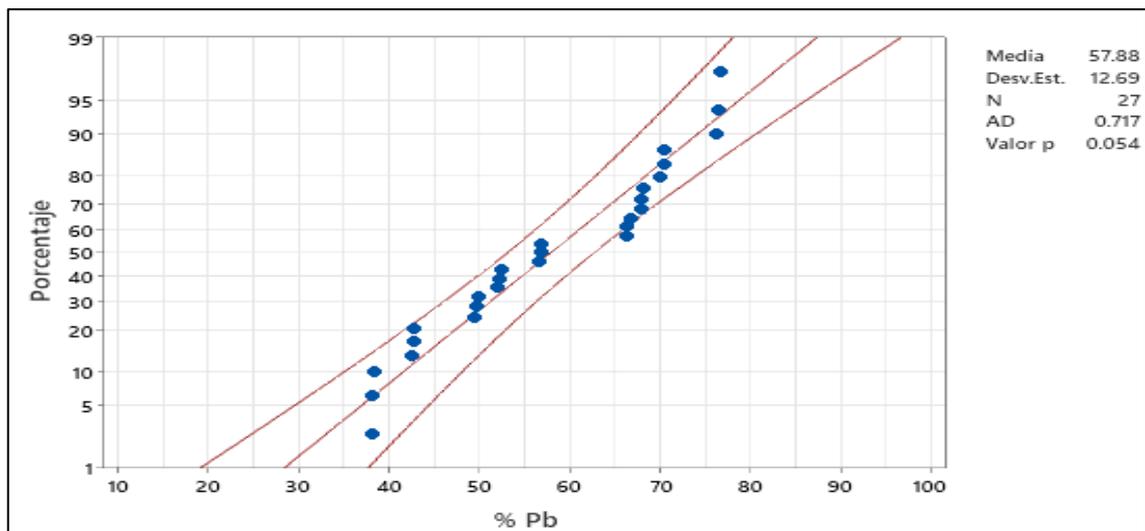
La Tabla 14 muestra la prueba de Post hoc, de la cual se puede observar los resultados de la prueba Tukey para los tiempos de contacto, donde el valor de significancia entre los tiempos de 8 horas – 2 horas es 0,944, 6 horas – 2 horas es 0,898 y 8 horas – 6 horas es 0,727; siendo este mayor al valor de significancia de 0,05; lo cual indica que las medias son iguales entre ellas, esto se da debido a que las modas de estos intervalos son muy similares como se puede observar en la tabla 12.

5.2.3. Prueba de normalidad

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis primero se determinó qué tipo de población se tiene, para ello se utilizó el diagrama de Anderson-Darling la cual determinó si es una población normal o no y de esta manera se definió la prueba estadística a utilizar.

Figura 16

Prueba de normalidad



Según la figura 16 nos muestra la prueba de normalidad para la remoción de plomo, donde el valor de “p” es 0,054 el cual es mayor al nivel de significancia de 0,05, señalando que los datos son provenientes de una población normal, por lo que se debe hacer uso de la prueba paramétrica ANOVA para la comprobación de hipótesis.

5.2.4. Análisis estadístico ANOVA

A continuación, se desarrolla el análisis de varianza estableciendo un diseño factorial completo.

Tabla 15

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
pH	3	2; 3; 4
Tiempo de contacto	3	2; 6; 8

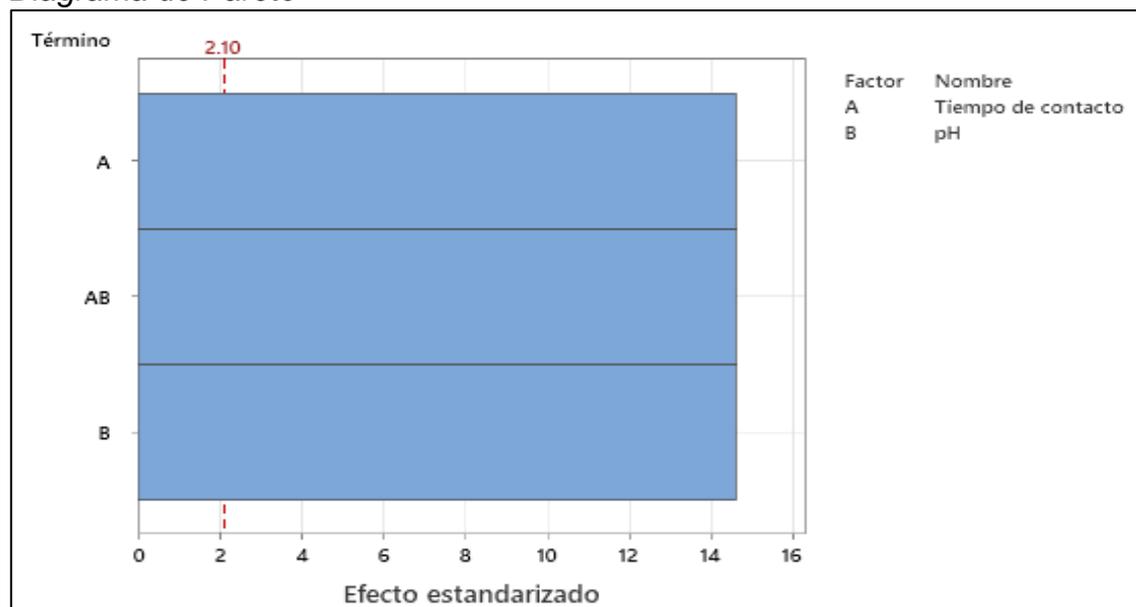
Tabla 16

Análisis de Varianza -ANOVA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	4188,68	523,58	12224,76	0,000
Lineal	4	3539,11	884,78	20657,96	0,000
Tiempo de contacto	2	101,00	50,50	1179,08	0,000
pH	2	3438,11	1719,05	40136,84	0,000
Interacciones de 2 términos	4	649,57	162,39	3791,56	0,000
Tiempo de contacto*pH	4	649,57	162,39	3791,56	0,000
Error	18	0,77	0,04		
Total	26	4189,45			

Figura 17

Diagrama de Pareto



Según la figura 17 los efectos estandarizados de las variables de estudios son significativos, ya que son mayores al valor de 2,10 en su interacción individual y conjunta en el proceso.

El análisis de varianza para comparar la media de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellas, por lo que se toma los indicadores en base al análisis de la Tabla 16 Análisis de Varianza - ANOVA.

a. Tiempo de contacto

Se sabe que:

$H_0: T1=T2=T3=0$ (No existe influencia entre los tiempos evaluados).

$H_1: T1 \neq T2 \neq T3 \neq 0$ (Existe influencia entre los tiempos evaluados).

Entonces:

Tomando la información resaltada de la tabla 16 en la fila 2 se menciona el valor de p para el tiempo de contacto que es de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05, por ello se puede indicar que existe influencia en los tiempos evaluados para la remoción de plomo en suelos contaminados.

b. pH del ácido cítrico

Se sabe que:

$H_0: P1=P2=P3=0$ (No existe influencia entre los pH evaluados).

$H_1: P1 \neq P2 \neq P3 \neq 0$ (Existe influencia entre los pH evaluados).

Entonces:

Tomando la información resaltada de la tabla 16 en la fila 3 se menciona el valor de p para el pH que es de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05, por ello se puede indicar que existe influencia de los pH evaluados para la remoción de plomo en suelos contaminados.

c. Interacción del tiempo de contacto y pH

Para determinar si cuando el tiempo de contacto y pH del ácido cítrico interactúan, influye de manera significativa en la remoción de plomo se tomó la información de la tabla 16 en la fila 5 la cual menciona que su valor de p es de 0,000 y como esta es menor al valor de significancia de 0,05 se puede decir que la interacción de las dos variables influye significativamente en la remoción de plomo en suelos contaminados.

5.3. Otro tipo de resultados estadísticos

En el presente estudio se aplicaron métodos estadísticos principales necesarios para responder a las preguntas de investigación y probar las hipótesis planteadas. Después de un análisis exhaustivo, no se encontraron otros tipos de resultados estadísticos relevantes que fueran acordes con la naturaleza del problema y las hipótesis del estudio.

Por lo tanto, no se presentan resultados adicionales en esta sección. La metodología empleada y los análisis realizados fueron suficientes para abordar los objetivos del trabajo de manera integral y concluyente.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. Hipótesis General

H0: El lavado de suelos con ácido cítrico no presenta una capacidad significativa de remoción de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya.

Ha: El lavado de suelos con ácido cítrico presenta una capacidad significativa de remoción de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya.

De acuerdo con los resultados descriptivos e inferenciales obtenidos en el capítulo V, se determinó que se removi6 hasta concentraciones finales de 767 mg/Kg valor el cual llega a cumplir con la normativa peruana de ECA-Suelo seg6n Decreto Supremo N°011-2017-MINAM, adem6s que dicho resultado representa un 76,49% de remoci6n con respecto a la concentraci6n inicial. Adem6s, el valor de p de la interacci6n de variables del lavado de suelo es 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05 seg6n la tabla 16. Estos valores muestran que el tratamiento utilizado tiene una capacidad significativa. Por ello se acepta la hip6tesis alterna y se rechaza la hip6tesis nula, demostrando que el lavado de suelos con 6cido cítrico presenta una capacidad significativa de remoci6n de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya.

6.1.2. Hip6tesis Específicas

H01: La variaci6n de pH del 6cido cítrico no influye significativamente en la remoci6n de plomo mediante el lavado de suelos con 6cido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

Ha1: La variaci6n de pH del 6cido cítrico influye significativamente en la remoci6n de plomo mediante el lavado de suelos con 6cido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

De acuerdo con la data obtenida con respecto al an6lisis de varianza mostrada en la tabla 16 menciona que el valor de p para dicha variable pH es menor a 0,05, por lo tanto, se acepta la hip6tesis alternativa y se rechaza la hip6tesis nula, demostrando de esta manera que la variaci6n de pH del 6cido cítrico influye significativamente en la remoci6n de plomo mediante el lavado de

suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

H02: La variación del tiempo de contacto del ácido cítrico no influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

Ha2: La variación del tiempo de contacto del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

De acuerdo con la data obtenida con respecto al análisis de varianza mostrada en la tabla 16 menciona que el valor de p para dicha variable tiempo de contacto es menor a 0,05, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula, demostrando de esta manera que la variación del tiempo de contacto del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

El resultado del estudio muestra concordancia con el trabajo de (Gamarra, 2019) en su estudio “Remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio” el cual dio como resultados que el extractante más eficiente en la remoción del plomo del suelo es el EDTA, seguido del ácido cítrico y por último el ácido acético, asimismo, menciona que el pH presenta variaciones considerables en los porcentajes de extracción logrados, dando los mejores porcentajes de extracción de cuando se trabajó con un valor de pH de 2.

También se comprueba ello en el trabajo de (Silva, 2018), titulado “Remoción de cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes”, determinó los valores adecuados de pH de los extractantes, la eficiencia de remoción de Cd dando como resultados que el pH 2 obtuvo mayor remoción de Cd logrando hasta un de 66,9%. Además, que menciona que los cambios químicos en el suelo antes y después de lavado se dieron en los parámetros de pH, conductividad y potencial oxido reducción. Así mismo en el estudio de (Hui Sun, Wei Liu y Tigang Duan, 2023) comprueba la determinado en el estudio, pues tuvo como objetivo el evaluar la combinación de lavado de suelo con

quelante y tratamiento de reducción catódica para un suelo contaminado con múltiples metales: efecto del control del pH, mencionando como resultados que controlar el pH de la suspensión del suelo puede aumentar la tasa de eliminación total de los metales objetivos entre 3 y 6 veces, además que la eficiencia de la eficiencia de eliminación de Pb residual en el suelo aumenta en aproximadamente un 30%.

Sin embargo en el estudio de (Wang et al., 2020), titulado “Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante lavado inducido por quelantes biodegradables: Eficiencias y mecanismos”, exploraron el lavado por lotes para evaluar el potencial de cuatro quelantes biodegradables (QB) para eliminar Cd, Pb y Zn de los suelos contaminados, dando como resultados que los parámetros óptimos de QB son una concentración de 50 mmol/L, un pH de 5, un tiempo de contacto de 120 min y una relación de sólido/líquido de 1:5, considerando las eficiencias de remoción de metales y el costo adecuado. Un solo lavado de eliminación podría ser de hasta 52,39 % de Cd, 71,79 % de Pb y 34,13 % de Zn del suelo de la mina, y 98,28 % de Cd, 91,10 % de Pb y 90,91 % de Zn del suelo de tierras de cultivo contaminadas. Se muestra que la eficiencia en la remoción plomo es casi igual sin embargo difieren en el tiempo y pH esto debido a que el tipo de agente utilizado es diferente, por ende, el pH se desarrolla mejor cuando va tendiendo a neutro mientras que en nuestro caso cuanto más ácido es mejores resultados se obtienen, igual en el tiempo de contacto.

En el estudio de (García y Araujo, 2021) titulado “Optimización de la superficie del carbón activado de coronta de maíz por ácido cítrico y pH en la adsorción de plomo” dio como resultados que con un volumen de ácido cítrico óptimo de 35mL y a un pH óptimo de 5 se alcanzaron mejores porcentajes de remoción de Pb (II) de 90.42%. Este estudio lleva a cabo un proceso diferente al estudiado sin embargo ayuda a confirmar la eficiencia que tiene el ácido cítrico ya sea como agente de lavado o como agente de activación de carbón activado en la remoción de metales.

En el caso del estudio de (Peng et al., 2021) titulado “Eliminación de metales pesados del suelo contaminado por fundición abandonada con ácido polifosfónico: Optimización de dos objetivos basada en la eficiencia de lavado y

la evaluación de riesgos”, utilizo el BHMT (hexametileno triamina penta (ácido metilfosfónico)) con el cual pudo eliminar rápidamente más fracciones solubles en ácido de Cd y Pb a través de la adsorción eléctrica de doble capa, logrando eficiencias óptimas de remoción de Cd y Pb del suelo del 83,98% y 41,29% respectivamente. Además, en el estudio de (Zhai et al., 2018) titulada “Remediación de suelos contaminados con múltiples metales pesados mediante la combinación de lavado de suelos e inmovilización in situ” mostro como resultados que la tasa de eliminación de Cd, Pb, Zn y Cu fue del 62,9 %, 52,1 %, 30,0 % y 16,7 %, respectivamente, cuando se lavaron con FeCl₃. Estos resultados son diferentes a los obtenidos en el estudio y con agentes distintos, pero a través de ello se puede asegurar la gran eficiencia del ácido cítrico que a pesar de ser un reactivo convencional logró remover mayor cantidad de plomo que el BHMT y FeCl₃, confirmando su gran capacidad y factibilidad de uso para el tratamiento de suelos con metales pesados.

En el estudio de (Feng et al., 2020) titulado “Remediación por lavado de suelos de metales pesados de suelos contaminados con EDTMP y PAA: Propiedades, optimización y evaluación de riesgos” se investigó el efecto de variar la concentración, el pH (4,5,7 y 9) y la duración de los procesos de lavado (30 min, 60 min, 120 min y 240 min), determinando así que el ácido fosfónico de metileno (EDTMP) con un pH de 4 y tiempo de 30 min estuvieron estrechamente relacionados con las eficiencias de eliminación de Cd, Pb y Zn, esto debido a que dichas condiciones se logró eficiencias óptimas de remoción de Cd, Pb y Zn fueron 92,74%, 96,14% y 50,76% respectivamente. Estos resultados se alejan de lo realizado en el estudio sin embargo comprueba lo mencionado en el estudio que el lavado de suelos presenta mejores eficiencias cuando el pH tiende a ser más ácido ya que en el antecedente se observa que las mejores remociones se dieron al pH más ácido que aplicaron.

En la investigación de (Benschoten, Matsumoto y Young, 1997) titulado “Evaluación y análisis del lavado de suelos para siete suelos contaminados con plomo” nos da a conocer que el factor más importante que afectó la eliminación de Pb fue el pH, observándose mayores eliminaciones a un pH más bajo. Esta información apoya y concuerda con lo establecido en nuestros resultados.

En la investigación de (Thinh et al., 2021) titulado “Eliminación de plomo y otros metales tóxicos en suelos muy contaminados mediante quelantes biodegradables: GLDA, ácido cítrico y ácido ascórbico” muestran que la mezcla de GLDA-ascórbico (100 mM: 100 mM) puede considerarse como un candidato potencial para la eliminación de Pb y Zn, que elimina aproximadamente el 90% de Pb y el 70% de Zn. Se prefería una mezcla de GLDA-cítrico para eliminar Cu por su mayor eficiencia de extracción que otras mezclas. Esta información no apoya los resultados del estudio debido a que el agente que ellos obtienen que es el mejor no cumple con lo realizado en el estudio, sin embargo, con el presente trabajo se demostró que el ácido cítrico también cumple un gran papel como agente removedor de plomo ya que se obtuvo remociones de 70% y se logró cumplir con lo normativa peruana.

Además en el estudio de (Ke et al., 2020) titulado “Eliminación de Cd, Pb, Zn, Cu en suelo de fundición mediante lixiviación con ácido cítrico” menciona que el ácido cítrico pueden eliminar iones de metales pesados en suelos contaminados mediante reacciones de quelación, además que el pH en esta tiene un efecto importante logrando remover hasta 89,1% Cd, 26,8% Pb, 41,7% Zn, 14,2% Cu pero esto cuando el pH es 5, por lo cual podemos decir que los resultados obtenidos son mejores pues como el mismo estudio del antecedente menciona el pH juega a un papel importante pues cuando este es 2 logra mejores remociones de plomo llegando hasta un 70%

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Esta investigación se realizó respetando el código de ética de la Universidad Nacional del Callao y la directiva N° 004-2022-R “Directiva para la elaboración de proyecto e informe final de investigación de pregrado, posgrado, equipos, centros e institutos de investigación”, aprobado mediante resolución rectoral N° 319-2022-R con fecha 22 de abril de 2022, con la finalidad de elaborar una investigación que aporte conocimiento a la comunidad científica y sociedad. En este sentido, esta investigación proporciona resultados reales en torno al tema de investigación, mantiene un fondo auténtico y sin copia de trabajos anteriores, asimismo estará al servicio y disposición del público en el repositorio de la Universidad Nacional del Callao.

VII. CONCLUSIONES

Se determinó que el lavado de suelos con ácido cítrico presenta una capacidad significativa de remoción de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya, esto debido a que obtuvo un 76,72% de porcentaje de remoción de plomo ya que se logró reducir la concentración de plomo desde 3264 mg/Kg hasta 760 mg/Kg, además que dicho resultado se encuentra dentro de los valores propuestos en el ECA-Suelo según Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

Se determinó que la variación de pH del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya, ya que según el análisis estadístico ANOVA se obtuvo un valor de p de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05, esto nos permite afirmar lo mencionado. Además, que según resultados se observó que a medida que el pH aumentaba la remoción del metal disminuía, por lo cual los mejores resultados se obtuvieron cuando el pH del ácido cítrico fue de 2.

Se determinó que la variación del tiempo de contacto del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya, ya que según el análisis estadístico ANOVA se obtuvo el valor de p de 0,000 el cual es menor al valor de significancia de 0,05, lo cual nos permite afirmar lo mencionado. Además, que según resultados se observó que cuando menor era el tiempo de contacto la remoción disminuía, por lo cual los mejores resultados se obtuvieron cuando este tiempo de contacto fueron de 8 horas.

VIII. RECOMENDACIONES

Fomentar la implementación de la técnica de lavado de suelos para obtener altas tasas de remoción de otros metales pesados que afectan la calidad del suelo (cobre, cadmio, zinc y arsénico) debido a actividades mineras.

Evaluar los efectos de variaciones controladas de pH básico en la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos y determinar los cambios significativos resultantes.

Evaluar cómo la reducción de los intervalos de tiempo de contacto afecta en la capacidad de remoción de plomo en suelos contaminados mediante el lavado de suelos con ácido cítrico y determinar los cambios significativos resultantes.

Fomentar en las entidades relacionadas al campo minero como el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN); entidades relacionadas al campo ambiental como el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), mediante capacitaciones y cursos la implementación de la técnica de lavado de suelos con ácido cítrico, para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por actividades mineras.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, S.F., MOFIJUR, M., NUZHAT, S., CHOWDHURY, A.T., RAFA, N., UDDIN, M.A., INAYAT, A., MAHLIA, T.M.I., ONG, H.C., CHIA, W.Y. y SHOW, P.L., 2021. Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 416, no. April, [consulta: 4 marzo 2024]. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2021.125912. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125912>.

ARCE, S. y CALDERÓN, M., 2017. Lead Contaminated Soils in the city of La Oroya-JUNIN, and its impact on the quality of the waters of the Mantaro river. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM, PERÚ* [en línea], vol. 20, no. 40, Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RFIGMMG-40-48.pdf>.

BECH, J., ROCA, N. y TUME, P., 2017. Hazardous Element Accumulation in Soils and Native Plants in Areas Affected by Mining Activities in South America [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128095881. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809588-1.00016-5>.

BENSCHOTEN, J.E. Van, MATSUMOTO, M.R. y YOUNG, W.H., 1997. Evaluation and Analysis of Soil Washing for Seven Lead-Contaminated Soils. *Journal of Environmental Engineering*, vol. 123, no. 3, ISSN 0733-9372. DOI 10.1061/(asce)0733-9372(1997)123:3(217).

CANDIA, J., 2019. Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados. *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], vol. 53, no. 9, ISSN 1098-6596. Disponible en: https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf.

CAO, Y., ZHANG, S., ZHONG, Q., WANG, G., XU, X., LI, T., WANG, L., JIA, Y. y LI, Y., 2018. Feasibility of nanoscale zero-valent iron to enhance the removal efficiencies of heavy metals from polluted soils by organic acids. *Ecotoxicology*

and Environmental Safety [en línea], vol. 162, no. May, ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2018.07.036. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.036>.

CASTILLO, L., SATALAYA, C., PAREDES, U., ENCALADA, M., ZAMORA, J. y CUADROS, A., 2021. Pasivos Ambientales Mineros en el Perú. Contraloría General de la República del Perú (CGR) [en línea], vol. I, Disponible en: https://doc.contraloria.gob.pe/estudios-especiales/documento_trabajo/2021/PAM_FINAL_25-08-21.pdf.

CHENG, S., LIN, Q., WANG, Y., LUO, H., HUANG, Z., FU, H., CHEN, H. y XIAO, R., 2020. The removal of Cu, Ni, and Zn in industrial soil by washing with EDTA-organic acids. Arabian Journal of Chemistry [en línea], vol. 13, no. 4, ISSN 18785352. DOI 10.1016/j.arabjc.2020.02.015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.02.015>.

CHOI, J., LEE, D. y SON, Y., 2021. Ultrasound-assisted soil washing processes for the remediation of heavy metals contaminated soils: The mechanism of the ultrasonic desorption. Ultrasonics Sonochemistry [en línea], vol. 74, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18732828. DOI 10.1016/j.ultsonch.2021.105574. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105574>.

CHRISTOFOLETTI, C.A., ANSOAR-RODRÍGUEZ, Y., GUEDES, T.A. y FONTANETTI, C.S., 2017. Comet assay and micronucleus tests on *Oreochromis niloticus* (Perciforme: Cichlidae) exposed to raw sugarcane vinasse and to phisicochemical treated vinasse by pH adjustment with lime (CaO). Chemosphere [en línea], vol. 173, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.01.025. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.025>.

CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2005. Ley N° 27181: Ley general del ambiente. Minam [en línea], Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N°-28611.pdf>.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2004. Ley que regula los pasivos ambientales

de la actividad minera. Minem [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC064905/#:~:text=Ley No 28271 - Ley que,FAOLEX>.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ, 2017. Ley de uso y gestión del suelo urbano. 2017. S.l.: s.n.

CONTRERAS, S., 2004. REACCIONES QUÍMICAS. Universidad de los Andes [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/537>.

DERMONT, G., BERGERON, M., MERCIER, G. y RICHER-LAFLÈCHE, M., 2008. Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 152, no. 1, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.10.043. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.043>.

FARID, M., ALI, S., SAEED, R., RIZWAN, M., BUKHARI, S.A.H., ABBASI, G.H., HUSSAIN, A., ALI, B., ZAMIR, M.S.I. y AHMAD, I., 2019. Combined application of citric acid and 5-aminolevulinic acid improved biomass, photosynthesis and gas exchange attributes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown on chromium contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation* [en línea], vol. 21, no. 8, ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2018.1556595. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556595>.

FENG, W., ZHANG, S., ZHONG, Q., WANG, G., PAN, X., XU, X., ZHOU, W., LI, T., LUO, L. y ZHANG, Y., 2020. Soil washing remediation of heavy metal from contaminated soil with EDTMP and PAA: Properties, optimization, and risk assessment. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 381, ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2019.120997. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120997>.

GAMARRA, T., 2019. Remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio. Universidad Nacional Agraria de la Selva,

GARCÍA, A. y ARAUJO, D., 2021. Optimización de la superficie del carbón activado de coronta de maíz por ácido cítrico y pH en la adsorción de plomo. [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7928>.

GLUHAR, S., KAURIN, A. y LESTAN, D., 2020. Soil washing with biodegradable chelating agents and EDTA: Technological feasibility, remediation efficiency and environmental sustainability. *Chemosphere* [en línea], vol. 257, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.127226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127226>.

GUO, W., ZHANG, H., WANG, M., YIN, X. y WANG, Z., 2020. Arsenic Removal from Contaminated Soil Inside Non-Ferrous Metal Smelter by Washing. *Soil and Sediment Contamination* [en línea], vol. 29, no. 2, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 15497887. DOI 10.1080/15320383.2019.1689919. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1689919>.

GUO, X., WEI, Z., WU, Q., LI, C., QIAN, T. y ZHENG, W., 2016. Effect of soil washing with only chelators or combining with ferric chloride on soil heavy metal removal and phytoavailability: Field experiments. *Chemosphere* [en línea], vol. 147, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2015.12.087. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.087>.

HAZRATI, S., FARAHBAKHS, M., HEYDARPOOR, G. y BESALATPOUR, A.A., 2020. Mitigation in availability and toxicity of multi-metal contaminated soil by combining soil washing and organic amendments stabilization. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 201, no. February, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.110807. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110807>.

HERNÁNDEZ, R.S., FERNÁNDEZ, C.C. y BAPTISTA, P.L., 2014. Metodología de la Investigación [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9781456223960. Disponible en: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.

HOU, D., AL-TABBAA, A., GUTHRIE, P., HELLINGS, J. y GU, Q., 2014. Using a

hybrid LCA method to evaluate the sustainability of sediment remediation at the London Olympic Park. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 83, ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2014.07.062. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.062>.

HU, W., NIU, Y., ZHU, H., DONG, K., WANG, D. y LIU, F., 2021. Remediation of zinc-contaminated soils by using the two-step washing with citric acid and water-soluble chitosan. *Chemosphere* [en línea], vol. 282, no. May, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.131092. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131092>.

HUI SUN, Y.S., WEI LIU, M.Z. y TIGANG DUAN, Y.C., 2023. Coupling soil washing with chelator and cathodic reduction treatment for a multi-metal contaminated soil: Effect of pH controlling. *Electrochimica Acta* [en línea], vol. 448, no. 142178, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142178>.

IMPELLITTERI, C.A., LU, Y., SAXE, J.K., ALLEN, H.E. y PEIJNENBURG, W.J.G.M., 2002. Correlation of the partitioning of dissolved organic matter fractions with the desorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from 18 Dutch soils. *Environment International* [en línea], vol. 28, no. 5, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18736750. DOI 10.1016/S0160-4120(02)00065-X. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00065-X](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00065-X).

JIANG, J., YANG, M., GAO, Y., WANG, J., LI, D. y LI, T., 2017. Removal of toxic metals from vanadium-contaminated soils using a washing method: Reagent selection and parameter optimization. *Chemosphere* [en línea], vol. 180, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.03.116. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.116>.

KE, X., ZHANG, F.J., ZHOU, Y., ZHANG, H.J., GUO, G.L. y TIAN, Y., 2020. Removal of Cd, Pb, Zn, Cu in smelter soil by citric acid leaching. *Chemosphere* [en línea], vol. 255, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126690>.

KHALID, S., SHAHID, M., NIAZI, N.K., MURTAZA, B., BIBI, I. y DUMAT, C.,

2017. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration* [en línea], vol. 182, ISSN 03756742. DOI 10.1016/j.gexplo.2016.11.021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.021>.

KIM, H.T. y LEE, T.G., 2017. A simultaneous stabilization and solidification of the top five most toxic heavy metals (Hg, Pb, As, Cr, and Cd). *Chemosphere* [en línea], vol. 178, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.03.092. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.092>.

KUPPUSAMY, S., THAVAMANI, P., VENKATESWARLU, K., LEE, Y.B., NAIDU, R. y MEGHARAJ, M., 2017. Remediation approaches for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) contaminated soils: Technological constraints, emerging trends and future directions. *Chemosphere* [en línea], vol. 168, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.10.115. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.115>.

LABANOWSKI, J., MONNA, F., BERMOND, A., CAMBIER, P., FERNANDEZ, C., LAMY, I. y VAN OORT, F., 2008. Kinetic extractions to assess mobilization of Zn, Pb, Cu, and Cd in a metal-contaminated soil: EDTA vs. citrate. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 152, no. 3, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 02697491. DOI 10.1016/j.envpol.2007.06.054. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.054>.

LEE, D.H., CODY, R.D., KIM, D.J. y CHOI, S., 2002. Effect of soil texture on surfactant-based remediation of hydrophobic organic-contaminated soil. *Environment International* [en línea], vol. 27, no. 8, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18736750. DOI 10.1016/S0160-4120(01)00130-1. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00130-1](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00130-1).

LI, Y. jiao, HU, P. jie, ZHAO, J. y DONG, C. xun, 2015. Remediation of cadmium- and lead-contaminated agricultural soil by composite washing with chlorides and citric acid. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 22, no. 7, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-014-3720-z.

Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3720-z>.

LIAO, X., LI, Y. y YAN, X., 2015. Removal of heavy metals and arsenic from a co-contaminated soil by sieving combined with washing process. ScienceDirect [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 1001-0742. DOI 10.1016/j.jes.2015.06.017. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.06.017>.

MICHAEL-IGOLIMA, U., ABBEY, S.J. y IFELEBUEGU, A.O., 2022. A systematic review on the effectiveness of remediation methods for oil contaminated soils. Environmental Advances [en línea], vol. 9, no. October, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 26667657. DOI 10.1016/j.envadv.2022.100319. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100319>.

MILLONES, R., BARRENO, E., VÁSQUEZ, F. y CASTILLO, C., 2018. Estadística descriptiva y probabilidades. Aplicaciones en la ingeniería y los negocios. S.l.: s.n. ISBN 9786077442486.

MINAM, 2014. Guía para el muestreo de suelos. Minam [en línea], Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>.

MINAM, 2017. Decreto Supremo No 011-2017-MINAM. El Peruano [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC176755/>.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, R. de P., 2005. Reglamento Para El Cierre De Minas DS N° 033-2005-EM. Ley No 28090,

MINISTERIO DEL AMBIENTE - MINAM, 2021. Política Nacional del Ambiente al 2030 [en línea]. 2021. S.l.: s.n. Disponible en: [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2037169/POLITICA NACIONAL DEL AMBIENTE AL 2030.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2037169/POLITICA_NACIONAL_DEL_AMBIENTE_AL_2030.pdf.pdf).

MUKHOPADHYAY, S., MUKHERJEE, S., ADNAN, N.F., HAYYAN, A., HAYYAN, M., HASHIM, M.A. y SEN GUPTA, B., 2016. Ammonium-based deep eutectic

solvents as novel soil washing agent for lead removal. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 294, ISSN 13858947. DOI 10.1016/j.cej.2016.02.030. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.02.030>.

ORTIZ BERNAD, I., SANZ GARCÍA, J., DORADO VALIÑO, M. y VILLAR FERNÁNDEZ, S., 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. *Circulo de innovación* [en línea], Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/33509>.

PENG, Y., ZHANG, S., ZHONG, Q., WANG, G., FENG, C., XU, X., PU, Y. y GUO, X., 2021. Removal of heavy metals from abandoned smelter contaminated soil with poly-phosphonic acid: Two-objective optimization based on washing efficiency and risk assessment. *Chemical Engineering Journal* [en línea], vol. 421, [consulta: 8 marzo 2024]. DOI 10.1016/j.cej.2021.129882. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129882>.

QIN, H., HU, T., ZHAI, Y., LU, N. y ALIYEVA, J., 2020. The improved methods of heavy metals removal by biosorbents: A review [en línea]. S.I.: Elsevier. [consulta: 8 marzo 2024]. vol. 258. ISBN 8673188822829. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113777>.

QIU, R., ZOU, Z., ZHAO, Z., ZHANG, W., ZHANG, T., DONG, H. y WEI, X., 2010. Removal of trace and major metals by soil washing with Na₂EDTA and oxalate. *Journal of Soils and Sediments* [en línea], vol. 10, no. 1, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 14390108. DOI 10.1007/s11368-009-0083-z. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0083-z>.

SARAVANAN, RAJENDRANA PRIYA, T.A.K., KUAN, S.K., HUI-SUAN, N., TUAN, K.A.H., HELI, S.H., CEREN, K., LOKE SHOW, P. y YASIN, O., 2022. A critical review on various remediation approaches for heavy metal contaminants removal from contaminated soils. *Chemosphere* [en línea], vol. 287, DOI <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132369>Get. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521028411#pre-view-section-abstract>.

SHI, T., MA, J., ZHANG, Y., LIU, C., HU, Y., GONG, Y., WU, X., JU, T., HOU, H. y ZHAO, L., 2019. Status of lead accumulation in agricultural soils across China (1979–2016). *Environment International* [en línea], vol. 129, no. January, ISSN 18736750. DOI 10.1016/j.envint.2019.05.025. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.025>.

SILVA, C.G., 2018. Remoción de cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1461>.

SUN, B., ZHAO, F.J., LOMBI, E. y MCGRATH, S.P., 2001. Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 113, no. 2, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 02697491. DOI 10.1016/S0269-7491(00)00176-7. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00176-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00176-7).

THINH, N. Van, OSANAI, Y., ADACHI, T., VUONG, B.T.S., KITANO, I., CHUNG, N.T. y THAI, P.K., 2021. Removal of lead and other toxic metals in heavily contaminated soil using biodegradable chelators: GLDA, citric acid and ascorbic acid. *Chemosphere* [en línea], vol. 263, ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.127912. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127912>.

TRELLU, C., PECHAUD, Y., OTURAN, N., MOUSSET, E., VAN HULLEBUSCH, E.D., HUGUENOT, D. y OTURAN, M.A., 2021. Remediation of soils contaminated by hydrophobic organic compounds: How to recover extracting agents from soil washing solutions? *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 404, ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2020.124137. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124137>.

VAN GEEN, A., BRAVO, C., GIL, V., SHERPA, S. y JACK, D., 2012. Exposition au plomb dans le sol des villes minières du Pérou: Une évaluation nationale soutenue par deux exemples contrastés. *Bulletin of the World Health Organization* [en línea], vol. 90, no. 12, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN

00429686. DOI 10.2471/BLT.12.106419. Disponible en:
<http://doi.org/10.2471/BLT.12.106419>.

VÁZQUEZ CONTRERAS, E. y ROJAS PÉREZ, T., 2016. pH: Teoría y 232 Problemas [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 8 marzo 2024]. vol. 6. ISBN 9786021018187. Disponible en:
<http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/handle/123456789/988>.

WANG, G., PAN, X., ZHANG, S., ZHONG, Q., ZHOU, W., ZHANG, X., WU, J., VIJVER, M.G. y PEIJNENBURG, J.G.M., 2020. Remediation of heavy metal contaminated soil by biodegradable chelator-induced washing: Efficiencies and mechanisms. *Environmental Research* [en línea], [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 0013-9351. DOI 10.1016/j.envres.2020.109554. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109554>.

WUANA, R.A. y OKIEIMEN, F.E., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology* [en línea], vol. 2011, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 2090-4614. DOI 10.5402/2011/402647. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>.

YAO, W., HUANG, L., YANG, Z. y ZHAO, F., 2022. Effects of organic acids on heavy metal release or immobilization in contaminated soil. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [en línea], vol. 32, [consulta: 8 marzo 2024]. DOI 10.1016/S1003-6326(22)65873-4. Disponible en:
[https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(22\)65873-4](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(22)65873-4).

YAO, Z., LI, J., XIE, H. y YU, C., 2012. Review on Remediation Technologies of Soil Contaminated by Heavy Metals. *Procedia Environmental Sciences* [en línea], vol. 16, [consulta: 8 marzo 2024]. ISSN 18780296. DOI 10.1016/j.proenv.2012.10.099. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.099>.

ZHAI, X., LI, Z., HUANG, B., LUO, N., HUANG, M., ZHANG, Q. y ZENG, G., 2018. Remediation of multiple heavy metal-contaminated soil through the

combination of soil washing and in situ immobilization [en línea]. 2018. S.l.: s.n. [consulta: 8 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.119>.

ZHANG, Y., HOU, D., O'CONNOR, D., SHEN, Z., SHI, P., OK, Y.S., TSANG, D.C.W., WEN, Y. y LUO, M., 2019. Lead contamination in Chinese surface soils: Source identification, spatial-temporal distribution and associated health risks. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [en línea], vol. 49, no. 15, ISSN 1064-3389. DOI 10.1080/10643389.2019.1571354. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1571354>.

ZHIHUA, Z., WANG, J., XUEQIANG, L., YUAN, L., LIU, X. y DENG, H., 2021. Comparative study on washing effects of different washing agents and conditions on heavy metal contaminated soil. *Surfaces and Interfaces* [en línea], vol. 27, DOI <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101563>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468023021006350#pre-view-section-references>.

X. ANEXOS

1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL LAVADO DE SUELOS CON ÁCIDO CÍTRICO EN LA CIUDAD DE LA OROYA 2024"									
Problema General	Objetivos General	Hipótesis General	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad	Metodología
¿Cuál es la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?	Determinar la capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.	El lavado de suelos con ácido cítrico presenta una capacidad significativa de remoción de plomo de suelos contaminados en la ciudad de la Oroya.	Variable independiente (Y) Lavado de suelos con ácido cítrico	Es una tecnología eficaz utilizada generalmente para la eliminación de metales pesados presentes en suelos como puede ser el plomo, para este proceso se usan diferentes extractantes y agentes quelantes. (Gluhar, Kaurin y Lestan, 2020)	Se usará el proceso de lavado con ácido cítrico, variando el pH y tiempo de contacto para el tratamiento de suelos contaminados con plomo de la ciudad de la Oroya.	Agente extractante (ácido cítrico)	pH	Unidad de pH	Tipo de investigación Aplicada Nivel de investigación Correlacional descriptivo Diseño de investigación Factorial 3 ²
							Tiempo de contacto	Horas	
Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad	Método de investigación
¿Cuál es el efecto del pH en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?	Determinar el efecto del pH en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.	La variación de pH del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.	Variable dependiente (X) Remoción de plomo	La remoción de plomo es el proceso mediante el cual se extrae el metal del suelo, agua o aire con ayuda de tecnologías debido a que su presencia en el ambiente es peligrosos dado a su alta toxicidad. (Michael-Igolima, Abbey y Ifelebugu, 2022)	La remoción de plomo se dará en las muestras de suelos contaminados de la ciudad de la Oroya, y será tratado por el método de lavado con ácido cítrico para poder determinar su eficiencia como tratamiento	Porcentaje de remoción de plomo	Concentración inicial de plomo (c_i)	mg/Kg	Población Suelos contaminados de la ciudad de La Oroya antigua Muestra 500 g de suelo por cada unidad experimental
¿Cuál es el efecto del tiempo de contacto en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya?	Determinar el efecto del tiempo de contacto en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.	La variación del tiempo de contacto del ácido cítrico influye significativamente en la remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico de suelos contaminados de la ciudad de La Oroya.					Concentración final de plomo (c_f)	mg/Kg	
							Porcentaje de remoción $e = \frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100$	%	

2. Instrumento de recolección de datos

Ficha de remoción de plomo, concentración/porcentaje

Repetición	Tiempo de contacto (horas)	pH	Concentración de Plomo (mg/Kg)	Remoción de Plomo (%)
1ra	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		
2da	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		
3ra	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		

3. Validación de instrumento de recolección de datos

	VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO	INSTRUMENTO N° 01
	FICHA DE REMOCIÓN DE PLOMO CONCENTRACIÓN/PORCENTAJE	
TÍTULO	Capacidad de remoción de plomo mediante el lavado de suelos con ácido cítrico en la ciudad de la oroya 2024	
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	Ciencias de la tierra y del ambiente	
FACULTAD	Facultad de ingeniería ambiental y de recursos naturales	
REALIZADO POR	Estrada Galdos, Aroon Israel Vega Vasquez, Ximena	

Repetición	Tiempo de contacto (horas)	pH	Concentración de Plomo (mg/Kg)	Remoción de Plomo (%)
1ra	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		
2da	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		
3ra	2	2		
		3		
		4		
	6	2		
		3		
		4		
	8	2		
		3		
		4		



Henry R. Ochoa León
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP N° 124232


GRUPO JHACC S.A.C.
 Consultora e Ingeniería Ambiental

 Ing. Prof. Ing. María S. Mejía-Ciriaco
 SUB GERENTE
 CIP 210898



David R. Giraldo Valenzuela
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP N° 199456

Firma Del Experto
 CIP: 124232
 DNI: 42776990

Firma del Experto
 CIP: 210898
 DNI: 74023826

Firma del Experto
 CIP: 199456
 DNI: 45865067



VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Mendoza Ciriaco Fiorella Stefany
 1.2. Cargo e institución donde labora: Subgerente - Grupo JHACC SAC
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniera Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de remoción de plomo concentración/porcentaje**
 1.5. Autora de Instrumento: **Estrada Galdos, Aroon Israel**
Vega Vasquez, Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.												x	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												x	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													x
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											x		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													x
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													x
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													x

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

96


GRUPO JHACC S.A.C.
 Consultoría e Ingeniería Ambiental
Ing. Fiorella S. Mendoza Ciriaco
 SUB GERENTE
 CIP 210898



VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Henry Raúl Ochoa León
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad Nacional del Centro del Perú
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniera Química
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de remoción de plomo concentración/porcentaje**
 1.5. Autora de Instrumento: **Estrada Galdos, Aroon Israel**
Vega Vasquez, Ximena

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											x		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											x		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											x		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													x
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												x	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													x
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													x
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													x

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

94



 Henry R. Ochoa León
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP N° 124232



VALIDACION DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACION

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: David Ruso Giraldo Valentin
 1.2. Cargo e institución donde labora: Gerente de Heidegger SAC
 1.3. Especialidad o línea de investigación: Ingeniera Ambiental
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de remoción de plomo concentración/porcentaje**
 1.5. Autora de Instrumento: **Estrada Galdos, Aroon Israel
 Vega Vasquez, Ximena**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.												x	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												x	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												x	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													x
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												x	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													x
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													x
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												x	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												x	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												x	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

96,5


 David R. Giraldo Valentin
 INGENIERO AMBIENTAL
 CIP N° 129458

4. Permiso de consentimiento



AUTORIZACIÓN DE LABORATORIO

Huancayo, 28 de Mayo de 2023

Por medio del presente, yo, **HENRY RAÚL OCHOA LEÓN** identificado con Documento de Identidad N° **42776990**, representante legal de la empresa **GRUPO JHACC S.A.C. Consultoría e Ingeniería Ambiental** con R.U.C. N° **20568279191** y propietario del inmueble ubicado en **Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo**, autorizo prestar mis instalaciones expresamente a los señores:

- AROON ISRAEL ESTRADA GALDOS DNI: 73097363
- XIMENA VEGA VASQUEZ DNI: 74249744

Con el fin que desarrollen su tesis titulada "CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE EL LAVADO DE SUELOS CONTAMINADOS CON ÁCIDO CÍTRICO EN LA CIUDAD DE LA OROYA 2024".

A tal efecto, declaro expresamente mi autorización para que realicen su etapa experimental en mis instalaciones.

Atentamente:




Henry R. Ochoa León
INGENIERO QUÍMICO
CIP N° 124232



956 988 682 - 971 718 825
954 416 149 - 947 879 574

administracion@grupojhacc.com
grupojhaccsac@gmail.com

Jr. Santa Rosa, N° 1361 - El Tambo
Huancayo - Junín - Perú

5. Base de datos



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO N° 040298-24/SU/LABSAF - SANTA ANA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estrada Galdos Aron
 Propietario / Productor : Estrada Galdos Aron
 Dirección del cliente : Jr. Juan Hague 3497
 Solicitado por : Estrada Galdos Aron
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestras
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente
 Procedencia de muestra(s) : Junin - La Oroya- La Oroya
 Fecha(s) de muestreo : 2024-03-07 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2024-04-09
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana
 Fecha(s) de análisis : 1900-01-06
 Cotización del servicio : 100-SA-24
 Fecha de emisión : 2024-04-30

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1585-SA-24	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo Agrícola	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2024-03-07	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	9:30:00	-	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-	-
Código/identificación de la Muestra por el Cliente	suelo La Oroya	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0.1	6.6	-	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	146.5	-	-	-
Materia Orgánica	%	0.2	1.3	-	-	-
Nitrógeno (**)	%	-	0.07	-	-	-
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	0.5	25.3	-	-	-
Potasio Disponible (**)	mg/Kg	3.0	61.0	-	-	-
Arena (**)	%	-	56	-	-	-
Limo (**)	%	-	43	-	-	-
Arcilla (**)	%	-	0	-	-	-
Clase Textural (**)	-	-	Franco Arenoso	-	-	-



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliare
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Dirección: Carretera Saños Grande - Hualahoyo km. 8 Santa Ana, El Tambo - Huancayo - Junin

Página 1 de 2
F-46 / Ver.04
www.inia.gob.pe

INFORME DE ENSAYO
N° 040298-24/SU/ LABSAF - SANTA ANA

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-09. 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.10, AS-10. 2000. Fosforo extraíble, en suelos de neutros a alcalinos (Procedimiento de Olsen y colaboradores).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002) ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revision 5. 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.
Metales	METHOD 3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS Determination of Metals and Trace Elements on acid digestion by Inductively Coupled Plasma-Atomic Microwave Spectrometry

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, tales 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
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C

(*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandro Mendez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.



Firma
Ing. Ivana Cortéz Juro
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 151



INFORME DE ENSAYO N° MA24030241 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Domicilio Legal : Jr. Juan Luis Hague 3497 - San Martín de Porres
Solicitado Por : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Referencias : PLOMO EN SUELO

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : LA OROYA
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 10
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 08-15/03/2024
Fecha de Recepción : 23/03/2024
Fecha Inicio Ensayo : 23/03/2024

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales ICP - MS	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.



USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com

**INFORME DE ENSAYO N° MA24030241
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	AX01 - I	AX02 - I	AX03 - I	AX04 - I	AX05 - I			
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D			
Cod. Lab.	MA24030241.01	MA24030241.02	MA24030241.03	MA24030241.04	MA24030241.05			
Tipo de Producto	Suelo; suelo							
Fecha de Muestreo	15/03/2024	15/03/2024	15/03/2024	15/03/2024	15/03/2024			
Hora de Muestreo	17:22	17:25	17:27	17:30	17:36			
Cadena de Custodia	10278	10278	10278	10278	10278			
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados				
Metales ICP - MS								
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 097	1 642	1 412	962	1 870

Cod. Cliente	AX06 - I	AX07 - I	AX08 - I	AX09 - I	SUI - I			
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D			
Cod. Lab.	MA24030241.06	MA24030241.07	MA24030241.08	MA24030241.09	MA24030241.10			
Tipo de Producto	Suelo; suelo							
Fecha de Muestreo	15/03/2024	15/03/2024	15/03/2024	15/03/2024	8/03/2024			
Hora de Muestreo	17:40	17:47	17:40	17:38	13:59			
Cadena de Custodia	10278	10278	10278	10278	10278			
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados				
Metales ICP - MS								
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 044	767	2 018	1 553	3264

Leyenda: L.D = Limite de detección L.C = Limite de cuantificación N.A. = No aplica S.D = Sin descripción

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lurin, 30 de Marzo del 2024



Gloria Uturnco Mamani
Supervisor de Lab Químico
XERTEK LIFE S.A.C.

USO DEL INFORME

1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dimerentes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.

3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



DATOS DE LA MUESTRA

Cod. Cliente	Descripción	Tipo de Producto	Coordenadas			Cadena de Custodia	Cod. Lab.
			Este	Norte	Altitud		
AX01 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.01
AX02 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.02
AX03 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.03
AX04 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.04
AX05 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.05
AX06 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.06
AX07 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.07
AX08 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.08
AX09 - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.09
SUI - I	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10278	MA24030241.10



USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



INFORME DE ENSAYO N° MA24030242 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Domicilio Legal : Jr. Juan Luis Hague 3497 - San Martín de Porres
Solicitado Por : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Referencias : PLOMO EN SUELO

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : LA OROYA
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 9
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 17/03/2024
Fecha de Recepción : 23/03/2024
Fecha Inicio Ensayo : 23/03/2024

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales ICP - MS	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.



USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurín
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com

INFORME DE ENSAYO N° MA24030242 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	AX01 - II	AX02 - II	AX03 - II	AX04 - II	AX05 - II			
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D			
Cod. Lab.	MA24030242.01	MA24030242.02	MA24030242.03	MA24030242.04	MA24030242.05			
Tipo de Producto	Suelo; suelo							
Fecha de Muestreo	17/03/2024	17/03/2024	17/03/2024	17/03/2024	17/03/2024			
Hora de Muestreo	16:55	16:30	16:40	15:25	15:40			
Cadena de Custodia	10279	10279	10279	10279	10279			
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados				
Metales ICP - MS								
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 102	1 647	1 405	976	1 865

Cod. Cliente	AX06 - II	AX07 - II	AX08 - II	AX09 - II			
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D			
Cod. Lab.	MA24030242.06	MA24030242.07	MA24030242.08	MA24030242.09			
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo			
Fecha de Muestreo	17/03/2024	17/03/2024	17/03/2024	17/03/2024			
Hora de Muestreo	16:00	15:10	15:00	15:15			
Cadena de Custodia	10279	10279	10279	10279			
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados			
Metales ICP - MS							
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 041	760	2 010	1 569

Legenda: L.D = Limite de detección LC = Limite de cuantificación NA. = No aplica S.D = Sin descripción

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lurin, 30 de Marzo del 2024



Gloria Uturunco Mamani
Supervisor de Lab Químico
XERTEK LIFE S.A.C.

USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



DATOS DE LA MUESTRA

Cod. Cliente	Descripción	Tipo de Producto	Coordenadas			Cadena de Custodia	Cod. Lab.
			Este	Norte	Altitud		
AX01 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.01
AX02 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.02
AX03 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.03
AX04 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.04
AX05 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.05
AX06 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.06
AX07 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.07
AX08 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.08
AX09 - II	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10279	MA24030242.09



USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



INFORME DE ENSAYO N° MA24030243 CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Domicilio Legal : Jr. Juan Luis Hague 3497 - San Martín de Porres
Solicitado Por : ESTRADA GALDOS AROON ISRAEL
Referencias : PLOMO EN SUELO

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : LA OROYA
Plan de Muestreo : Realizado por el Cliente
Cantidad de Muestras : 9
Condición de la Muestra : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

Fecha de Muestreo : 18/03/2024
Fecha de Recepción : 23/03/2024
Fecha Inicio Ensayo : 23/03/2024

MÉTODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Metales ICP - MS	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.



USO DEL INFORME

- 1.- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2.- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3.- El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 151



DATOS DE LA MUESTRA

Cod. Cliente	Descripción	Tipo de Producto	Coordenadas			Cadena de Custodia	Cod. Lab.
			Este	Norte	Altitud		
AX01 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.01
AX02 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.02
AX03 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.03
AX04 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.04
AX05 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.05
AX06 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.06
AX07 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.07
AX08 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.08
AX09 - III	S.D	Suelo; suelo	S.D	S.D	S.D	10280	MA24030243.09



USO DEL INFORME

- 1- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimientes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.

**INFORME DE ENSAYO N° MA24030243
CON VALOR OFICIAL**

Cod. Cliente	AX01 - III	AX02 - III	AX03 - III	AX04 - III	AX05 - III
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D	S.D
Cod. Lab.	MA24030243.01	MA24030243.02	MA24030243.03	MA24030243.04	MA24030243.05
Tipo de Producto	Suelo; suelo				
Fecha de Muestreo	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024
Hora de Muestreo	13:35	13:10	13:20	11:30	11:55
Cadena de Custodia	10280	10280	10280	10280	10280
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados	
Metales ICP - MS					
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 087	1 636
				1 417	960
					1 877

Cod. Cliente	AX06 - III	AX07 - III	AX08 - III	AX09 - III	
Descripción	S.D	S.D	S.D	S.D	
Cod. Lab.	MA24030243.06	MA24030243.07	MA24030243.08	MA24030243.09	
Tipo de Producto	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	Suelo; suelo	
Fecha de Muestreo	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024	18/03/2024	
Hora de Muestreo	11:40	12:30	12:25	12:40	
Cadena de Custodia	10280	10280	10280	10280	
Parámetros	Unidad	L.D.	L.C.	Resultados	
Metales ICP - MS					
Plomo	mg/Kg (PS)	0,02	0,05	1 048	775
				2 021	1 556

Legenda: L.D = Limite de detección L.C = Limite de cuantificación N.A. = No aplica S.D = Sin descripción

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Lurin, 30 de Marzo del 2024



Gloria Uturnco Mamani
Supervisor de Lab Químico
XERTEK LIFE S.A.C.

USO DEL INFORME

- 1- El presente informe sólo es válido para el lote de muestras de la referencia.
- 2- El lote de muestras que incluye el presente informe y/o muestras dirimentes serán descartadas a los 30 días calendario de la fecha de emisión del presente documento, salvo que su perecibilidad exija un periodo menor, en este caso el periodo de custodia estará definido por los requisitos del método empleado. El cliente o parte licitante podrá solicitar la devolución del remanente de estas muestras antes del vencimiento aquí indicado.
- 3 - El presente informe de ensayo constituye un documento oficial del interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo con las leyes vigentes tanto en materia civil como penal. Está prohibida la reproducción parcial o total del presente informe, salvo autorización escrita de Xertek Life S.A.C.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin
Central: +51 1 611 1891
E-mail: contacto@xerteklife.com

6. Cuadro resumen

Repetición	Tiempo de contacto (horas)	pH	Código de cliente	Código de laboratorio	Concentración de Plomo mg/Kg (PS)	
Blanco	-	-	SUI-I	MA24030241.10	3264	
1ra	2	2	AX01-I	MA24030241.01	1097	
		3	AX02-I	MA24030241.02	1642	
		4	AX03-I	MA24030241.03	1412	
		2	AX04-I	MA24030241.04	962	
	6	3	AX05-I	MA24030241.05	1870	
		4	AX06-I	MA24030241.06	1044	
		2	AX07-I	MA24030241.07	767	
		8	3	AX08-I	MA24030241.08	2018
	4		AX09-I	MA24030241.09	1553	
	2		2	AX01-II	MA24030242.01	1102
			3	AX02-II	MA24030242.02	1647
		4	AX03-II	MA24030242.03	1405	
6		2	AX04-II	MA24030242.04	976	
	3	AX05-II	MA24030242.05	1865		
	4	AX06-II	MA24030242.06	1041		
	8	2	AX07-II	MA24030242.07	760	
3		AX08-II	MA24030242.08	2010		
4		AX09-II	MA24030242.09	1569		
3ra		2	2	AX01-III	MA24030243.01	1087
	3		AX02-III	MA24030243.02	1636	
	4		AX03-III	MA24030243.03	1417	
	2		AX04-III	MA24030243.04	860	
	6	3	AX05-III	MA24030243.05	1877	
		4	AX06-III	MA24030243.06	1048	
		2	AX07-III	MA24030243.07	775	
		8	3	AX08-III	MA24030243.08	2021
	4		AX09-III	MA24030243.09	1556	

7. Toma de muestras de suelo



Perforación de 20 cm del suelo

Toma de muestra de suelo



Tamizado de suelo

Almacenamiento de muestra

8. Tratamiento de suelos



Tamizaje del suelo



Pesado de muestra de suelo para tratar



Construcción del sistema de tratamiento



Incorporación de agente extractante



Tratamiento de muestras