

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

Efecto biorremediador del *Medicago sativa* L. “alfalfa” asistido con materia orgánica en suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Elaborado por

Maritza Isabel Mejia Flores

 [0009-0009-2422-1266](https://orcid.org/0009-0009-2422-1266)

Asesor

MSc. Teodosio Celso Quispe Ojeda

 [0000-0002-8345-4627](https://orcid.org/0000-0002-8345-4627)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Mejia Flores [1]
Referencia/Reference	[1] M. Mejia Flores, " <i>Efecto biorremediador del Medicago sativa L. "alfalfa" asistido con materia orgánica en suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Mejia, 2025)
Referencia/Reference	Mejia, M. (2025). <i>Efecto biorremediador del Medicago sativa L. "alfalfa" asistido con materia orgánica en suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres Maritza y José, por todo el apoyo y amor infinito.

A mis hermanos Juan y Omar, por ser mi fortaleza, motivación e inspiración.

A Aarón, por ser mi compañero de vida y mi soporte.

Agradecimientos

A Dios, por darme fuerza en los momentos más difíciles.

Al Msc. Celso Quispe por su apoyo constante durante todo el desarrollo de la tesis.

Al personal administrativo de la Universidad Nacional de Ingeniería por estar siempre dispuestos a apoyar y haberlo hecho conmigo en los requerimientos durante la elaboración de mi investigación.

A todas las personas, amigos y familiares, que me acompañaron y animaron en la realización y culminación de mi tesis.

Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación de materia orgánica en conjunto con la especie *Medicago sativa* L. para la fitorremediación del Plomo y Cadmio en suelos contaminados con relaves mineros, procedentes del depósito de relaves de la Universidad Nacional de Ingeniería. La investigación es del tipo explicativa, con diseño experimental y de enfoque cuantitativo.

La metodología se basó en el Diseño de Bloque Completo al Azar (DBCA), con estadística paramétrica de 3 repeticiones, varianza y prueba de Scott & Knott a un nivel de $\alpha = 0,05$, con cinco tratamientos, haciendo un total de 15 unidades experimentales.

Entre las conclusiones se obtuvo que la materia orgánica mejoró el pH del suelo, donde algunos tratamientos terminaron con un pH neutro, asimismo se presentó una mejora de la densidad aparente e intercambio de nutrientes.

Además, se evidenció que la alfalfa es una especie resistente y tolerante a sustratos contaminados con altas concentraciones de metales pesados. No se presentó diferencias significativas entre los tratamientos en relación con las semillas germinadas y altura de plantas, pero si en el grosor de las raíces. Además, se observó mayor absorción de metales pesados cadmio y plomo, por parte de la alfalfa en los tratamientos donde hubo mayor disponibilidad de este.

Palabras clave — fitorremediación, alfalfa, relave, compost

Abstract

The objective of the research was to evaluate the application of organic matter together with the species *Medicago sativa* L. for the phytoremediation of lead and cadmium in soils contaminated with mining tailings from the tailings deposit of the Universidad Nacional de Ingeniería. The research is of the explanatory type, with experimental design and quantitative approach.

The methodology was based on the Randomized Complete Block Design (RCBD), with parametric statistics of 3 repetitions, variance and Scott & Knott test at a level of $\alpha = 0.05$, with five treatments, making a total of 15 experimental units.

Among the conclusions, it was obtained that organic matter improved soil pH, where some treatments ended with a neutral pH, and there was also an improvement in bulk density and nutrient exchange.

In addition, it was shown that alfalfa is a species resistant and tolerant to substrates contaminated with high concentrations of heavy metals. There were no significant differences between treatments in terms of germinated seeds and plant height, but there were significant differences in root thickness. In addition, greater absorption of heavy metals cadmium and lead by alfalfa was observed in the treatments where there was greater availability of these metals.

Keywords — phytoremediation, alfalfa, tailings, compost.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	xi
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación.....	2
1.3 Objetivos del estudio	4
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
1.4 Hipótesis	4
1.4.1 <i>Hipótesis General</i>	4
1.4.2 <i>Hipótesis Específicas</i>	5
1.5 Antecedentes investigativos	5
Capítulo II. Marcos teórico y legal	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 <i>Suelo</i>	9
2.1.2 <i>Suelo contaminado</i>	10
2.1.3 <i>Biorremediación de suelos</i>	14
2.1.4 <i>Fitorremediación</i>	14
2.1.5 <i>Metales pesados</i>	17
2.1.6 <i>Dinámica de metales pesados en el suelo</i>	22
2.1.7 <i>Relave minero</i>	22
2.1.8 <i>Pasivo ambiental minero (PAM)</i>	23
2.1.9 <i>Materia orgánica (compost)</i>	23
2.1.10 <i>Plantas hiperacumuladoras de metales pesados</i>	24
2.1.11 <i>Alfalfa</i>	25
2.1.12 <i>Prueba de germinación de semillas</i>	26
2.1.13 <i>Propiedades físicas del suelo</i>	27
2.1.14 <i>Características químicas del suelo</i>	33
2.1.15 <i>Contenido de materia orgánica</i>	35
2.1.16 <i>Diseño en bloques completos al azar (DBCA)</i>	35
2.2 Marco legal.....	37
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	39
3.1 Tipo de Investigación y diseño experimental	39
3.1.1 <i>Tipo de Investigación</i>	39
3.1.2 <i>Diseño experimental</i>	39
3.2 Finalidades y alcances	40
3.3 Etapa 1: Toma de muestra de relave y análisis de laboratorio.....	41
3.4 Etapa 2. Prueba de germinación	46
3.5 Etapa 3. Preparación de sustratos y siembra de semillas.....	48
3.6 Etapa 4. Análisis de plantas y Análisis de laboratorio	51
3.6.1 <i>Análisis de plantas instaladas</i>	51
3.6.2 <i>Análisis de laboratorio</i>	55
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	56
4.1 Resultados	56
4.1.1 <i>Características físicas del suelo contaminado</i>	56
4.1.2 <i>Contenido inicial de metales pesados en suelo del depósito de relave</i> 57	57
4.1.3 <i>Determinación del efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado con relave</i>	58
4.1.4 <i>Resultados de las concentraciones de metales pesados en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería</i>	59

4.1.5	<i>Resultados del comportamiento del crecimiento del Medicado Sativa L. durante la fitorremediación del suelo contaminado con relave</i>	60
4.2	<i>Discusión de resultados</i>	63
4.2.1	<i>Características físicas del suelo contaminado</i>	63
4.2.2	<i>Contenido de metales pesados en suelo del depósito de relave</i>	66
4.2.3	<i>Análisis del efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado con relave</i>	67
4.2.4	<i>Análisis de las concentraciones de metales pesados en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería</i>	75
4.2.5	<i>Análisis del comportamiento del crecimiento del Medicado Sativa L. durante la fitorremediación del suelo contaminado con relave</i>	78
	<i>Conclusiones</i>	90
	<i>Recomendaciones</i>	92
	<i>Referencias bibliográficas</i>	93
	<i>Anexos</i>	106

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Densidad aparente según la porosidad total</i>	28
Tabla 2	<i>Nivel de disponibilidad de nutrientes según el CIC en suelo</i>	34
Tabla 3	<i>Concentración de los tratamientos trabajados</i>	40
Tabla 4	<i>Coordenadas de los puntos de muestreo</i>	43
Tabla 5	<i>Métodos de análisis de parámetros</i>	45
Tabla 6	<i>Coordenadas del lugar de ejecución</i>	49
Tabla 7	<i>Cantidades pesadas para cada tratamiento</i>	49
Tabla 8	<i>Distribución de macetas</i>	50
Tabla 9	<i>Textura del relave</i>	57
Tabla 10	<i>Comparación de parámetros del suelo con el ECA Suelo</i>	57
Tabla 11	<i>Resultados de los tratamientos del bloque I</i>	58
Tabla 12	<i>Resultados de los tratamientos del bloque II</i>	58
Tabla 13	<i>Resultados de los tratamientos del bloque III</i>	59
Tabla 14	<i>Resultados de metales pesados del bloque I</i>	59
Tabla 15	<i>Resultados de metales pesados del bloque II</i>	59
Tabla 16	<i>Resultados de metales pesados del bloque III</i>	59
Tabla 17	<i>Resultados de % germinados de bloques I, II y III</i>	60
Tabla 18	<i>Resultados de altura promedio de bloques I, II y III</i>	60
Tabla 19	<i>Resultados de grosor de raíces promedio de bloques I, II y III</i>	61
Tabla 20	<i>Resultados de peso fresco de plantas en bloques I, II y III</i>	62
Tabla 21	<i>Resultados de concentración de cadmio de bloques I, II y III</i>	62
Tabla 22	<i>Resultados de concentración de plomo de bloques I, II y III</i>	63
Tabla 23	<i>Clase de suelo según el pH</i>	64
Tabla 24	<i>Nivel de fertilidad según la materia orgánica</i>	65
Tabla 25	<i>Análisis de porcentaje de superación del ECA</i>	67
Tabla 26	<i>Análisis de Varianza en materia orgánica en suelos</i>	67
Tabla 27	<i>Comparación de materia orgánica en suelos entre tratamientos</i>	68
Tabla 28	<i>Análisis de Varianza en CIC en suelos</i>	69
Tabla 29	<i>Comparación de CIC en suelos entre tratamientos</i>	70
Tabla 30	<i>Análisis de Varianza de pH en suelos</i>	71
Tabla 31	<i>Comparación de pH en suelos entre tratamientos</i>	72
Tabla 32	<i>Análisis de Varianza de densidad aparente en suelos</i>	73
Tabla 33	<i>Comparación de densidad aparente en suelos entre tratamientos</i>	73
Tabla 34	<i>Análisis de Varianza de plomo en suelos</i>	75
Tabla 35	<i>Comparación de plomo en suelos entre tratamientos</i>	75
Tabla 36	<i>Análisis de Varianza de cadmio en suelos</i>	76
Tabla 37	<i>Comparación de cadmio en suelos entre tratamientos</i>	77
Tabla 38	<i>Análisis de Varianza de % de semillas germinadas</i>	78
Tabla 39	<i>Comparación de % de semillas germinadas entre tratamientos</i>	79
Tabla 40	<i>Análisis de Varianza de altura promedio de alfalfa</i>	80
Tabla 41	<i>Comparación de alturas promedio de alfalfa entre tratamientos</i>	81
Tabla 42	<i>Análisis de Varianza de grosor de raíces de alfalfa</i>	82
Tabla 43	<i>Comparación de grosor de raíces de alfalfa entre tratamientos</i>	82
Tabla 44	<i>Análisis de Varianza de peso fresco de alfalfa</i>	84
Tabla 45	<i>Comparación de pesos promedio de alfalfa entre tratamientos</i>	84
Tabla 46	<i>Análisis de Varianza de cadmio en tallos y raíces de alfalfa</i>	86
Tabla 47	<i>Comparación de concentración de cadmio entre tratamientos</i>	86
Tabla 48	<i>Análisis de Varianza de plomo en tallos y raíces de alfalfa</i>	88
Tabla 49	<i>Comparación de concentración de plomo entre tratamientos</i>	88

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Clasificación de los contaminantes predominantes en el suelo (IUPAC)</i>	11
Figura 2	<i>Rutas de entrada y destino de los contaminantes en los suelos</i>	13
Figura 3	<i>(A) Modelo esquemático de las tecnologías de fitorremediación involucrando remoción y contención de contaminantes; (B) Procesos fisiológicos de la planta durante la remediación.</i>	17
Figura 4	<i>Ciclo biogeoquímico del plomo</i>	19
Figura 5	<i>Flujo de cadmio en el medio físico</i>	21
Figura 6	<i>Dinámica de metales pesados en el suelo</i>	22
Figura 7	<i>Partes de la alfalfa</i>	25
Figura 8	<i>Procedimiento del método de la parafina</i>	29
Figura 9	<i>Cálculos para determinar la densidad aparente</i>	30
Figura 10	<i>Triángulo de las texturas del suelo</i>	32
Figura 11.	<i>Distribución de semillas en macetas</i>	41
Figura 12.	<i>Ubicación del Área de estudio</i>	42
Figura 13	<i>Ubicación de puntos de muestreo para obtener muestra compuesta</i>	43
Figura 14	<i>Inicio de prueba de germinación de semillas de alfalfa</i>	47
Figura 15	<i>7 días de la prueba de germinación de semillas de alfalfa</i>	48
Figura 16	<i>Vista general de ubicación de las macetas</i>	51
Figura 17	<i>Crecimiento del bloque I a los 120 días</i>	52
Figura 18	<i>Crecimiento de los bloques II y III a los 120 días</i>	53
Figura 19	<i>Medición de alturas</i>	54
Figura 20	<i>Medición del grosor de raíces</i>	54
Figura 21	<i>Toma de muestras del suelo y alfalfa para análisis final en laboratorio</i>	55
Figura 22	<i>Comparación gráfica de resultados de metales pesados con ECA Suelo</i>	66
Figura 23	<i>Diferencia en concentraciones de materia orgánica por tratamientos</i>	68
Figura 24	<i>Diferencia de CIC por tratamientos</i>	70
Figura 25	<i>Diferencia en pH por tratamientos</i>	72
Figura 26	<i>Diferencia en densidad aparente por tratamientos</i>	74
Figura 27	<i>Diferencia en concentraciones de plomo por tratamientos</i>	76
Figura 28	<i>Diferencia en concentraciones de cadmio por tratamientos</i>	77
Figura 29	<i>Diferencia en % de germinados de las semillas</i>	79
Figura 30	<i>Diferencia en alturas promedio</i>	81
Figura 31	<i>Diferencia en grosor promedio de raíces</i>	83
Figura 32	<i>Diferencia en pesos promedio</i>	85
Figura 33	<i>Diferencia en captura de Cadmio de raíces y tallos</i>	87
Figura 34	<i>Diferencia en captura de plomo de raíces y tallos</i>	89

Introducción

Las actividades mineras crecen año tras a año y con ello incrementa la contaminación de suelos con metales pesados, desertificación, erosión y pérdida del suelo fértil (Pérez et al., 2012).

El Perú es reconocido mundialmente por contar con una reserva minera importante para producción y exportación de plata, oro, cobre y zinc. Sin embargo, posterior al abandono pueden quedar pasivos ambientales mineros (PAM) como instalaciones, efluentes, emisiones o depósitos de residuos producidos por la actividad (Castillo et al., 2021), los cuales al 2024, en el país ascienden a 6001 PAM, acorde al inventario actualizado mediante la R.M. N° 351-2024-MINEM/DM (2024).

Los depósitos de residuos son obras de ingeniería y seguras donde se contiene el relave proveniente de la planta de concentración húmeda de minerales, suele ser el depósito definitivo de los materiales sólidos y debe estar en un lugar seguro, estable y con controles de seguridad para que no afecten la salud de las personas y el medio ambiente (Claussen et al., 2019).

En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) existe un área donde se dispuso relave proveniente de la Planta Concentradora ubicada a la parte posterior de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica (FIGMM), perteneciente en un inicio al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), y que actualmente está inoperativa. El depósito de relave tiene una extensión de aproximadamente 1 Ha y se encuentra a la intemperie (Natividad, 2019).

Por otra parte, la fitorremediación es una tecnología alternativa sustentable y económico que se emplea para descontaminar suelos con metales pesados, pues utiliza especies vegetales que son capaces de degradar, transformar, extraer o acumular estos metales (Núñez et al., 2004). Según investigaciones realizadas con esta especie, se concluyó que la alfalfa tiene una buena capacidad hiperacumuladora de plomo en sus

tejidos (Bonilla, 2013), coincidiendo con Giraldez Solano (2019), quien indicó que la alfalfa tuvo buena capacidad acumuladora de plomo, cadmio y níquel en la zona radicular.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto biorremediador del *Medicago Sativa L.* “alfalfa” asistido con materia orgánica en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería, para lo cual en primer lugar se realizó la caracterización del suelo proveniente del depósito, el análisis de concentración de los metales pesados, y posterior al experimento, se evaluó el efecto de la materia orgánica en las propiedades físicas del suelo, las concentraciones finales de metales pesados y el comportamiento de la alfalfa.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Justificación e importancia

A nivel práctico, el presente trabajo permitirá conocer los efectos biorremediadores de la especie vegetal *Medicago Sativa L.* conocida como “Alfalfa”, asistido con materia orgánica, describiendo la diferencia entre las características físicas del suelo y de la especie, antes y después del proceso de remediación del suelo contaminado con desechos mineros de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A nivel social y ambiental la investigación pretende evaluar la viabilidad de extracción de los metales contaminantes del relave de la UNI mediante la fitorremediación, los cuales son altamente tóxicos para la comunidad universitaria y personal docente y administrativo. Los metales presentes son Cu, Pb, As, Cd, Sn, Se, Sb, Hg Zn, Mo y Ag, y considerando que el suelo es ácido y con baja capacidad de intercambio catiónico, existe la biodisponibilidad de estos elementos para su ingreso a la cadena trófica (Natividad, 2019).

Asimismo, la investigación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 15: Vida de Ecosistemas Terrestres, el cual tiene como objetivo la protección y restauración de suelos con el fin de mejorar la salud de los ecosistemas y por consiguiente la salud de las personas, reconociendo que los ecosistemas son vitales para el sostenimiento de la vida humana (Moran, 2023).

La presente investigación de la fitorremediación del suelo contaminado con relave usando materia orgánica y la especie “alfalfa”, a nivel teórico permitirá conocer a detalle esta opción para una posible futura remediación del suelo contaminado en la UNI, pues se

sabe que es una alternativa económica y sustentable para la recuperación de sitios contaminados (Delgadillo-López et al., 2011).

1.2 Descripción del problema de investigación

La minería en Perú es una de las actividades más significativas y que más repercute en la economía del país. A lo largo de todo el país se cuenta con gran potencial mineralógico, en especial en los Andes, en donde existen importantes yacimientos mineros. Alrededor del 60% de las exportaciones de Perú son productos mineros, lo que ayuda a generar divisas y permite al gobierno comprar cosas como coches, comestibles, medicinas, gasolina, maquinaria y equipos esenciales para el progreso económico del país. (Dammert, 2020)

La actividad minera, como toda actividad extractiva, genera residuos que en su mayoría contienen metales pesados, minerales de ganga y otros contaminantes tóxicos para el ambiente, que se acumulan en depósitos llamados relaveras. Como parte de ciclo del proyecto, estas infraestructuras deberían contar con un cierre adecuado donde se garantice la adecuada calidad del ambiente una vez que la empresa minera abandona el lugar, sin embargo, actualmente en el Perú existen identificados 6001 sitios mineros inactivos y desatendidos con problemas ambientales (MINEM, 2024), que no tuvieron actividades de rehabilitación inmediata y que representan una amenaza continua y potencial para la salud de las personas, el entorno ecológico circundante y la propiedad. (Chappuis, 2019)

En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) existe un área donde se dispuso relave proveniente de la Planta Concentradora ubicada a la parte posterior de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica (FIGMM), perteneciente en un inicio al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), y que actualmente está

inoperativa. El depósito de relave tiene una extensión de aproximadamente 1 Ha y se encuentra a la intemperie (Natividad, 2019).

La presencia de este depósito de relaves mineros representa un riesgo significativo tanto para las personas como para el medio ambiente, debido a la probable inhalación prolongada de polvos tóxicos que pueden ser transportados por el viento, por ejemplo el arsénico se relaciona al desarrollo de enfermedades renales, cáncer de hígado, próstata, piel y problemas cardiovasculares, a su vez el cadmio provoca daños renales y riesgo de cáncer de pulmón y riñón, y el plomo con efectos en el sistema nervioso, óseo y hematológico. Por otra parte, los ecosistemas cercanos a este depósito se encuentran expuestos a ser contaminados y sufrir la pérdida de fertilidad de suelos y provocar daños metabólicos en las plantas, así como la muerte de especies vegetales, a su vez, se genera la degradación del paisaje, por el impacto visual negativo y reduce el valor estético del área (Hernández-Caricio et al., 2022).

Actualmente, la fitorremediación es una tecnología alternativa sustentable y un método económico empleado para limpiar suelos contaminados con metales pesados, ya que consiste en la siembra de especies vegetales para restaurar dichas zonas (Núñez et al., 2004), tal tecnología se podría aplicar para la remediación del relave de la UNI, sin embargo, es necesario que el suelo cuente con las características adecuadas que permita el crecimiento de la planta remediadora.

En ese sentido, para el presente trabajo de investigación se realizará la fitorremediación del suelo con un sustrato preparado básicamente con el suelo contaminado del relave combinado y materia orgánica, con aplicación de la especie *Medicago sativa* L. “Alfalfa”.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto biorremediador del *Medicago sativa* L. “Alfalfa” asistido con materia orgánica en suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería - Lima.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar las características físicas del suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Determinar la concentración de metales pesados del suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Determinar el efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Determinar el efecto en las concentraciones de metales pesados en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Analizar el comportamiento del crecimiento del *Medicago Sativa* L. durante la fitorremediación del suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

Ha. La aplicación de materia orgánica reduce significativamente la concentración de plomo en el suelo contaminado con relave.

1.4.2 Hipótesis Específicas

H1. El suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería presenta características físicas desfavorables para el crecimiento vegetal y la biorremediación.

H2. El suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería presenta concentraciones elevadas de metales pesados, impidiendo el desarrollo vegetal.

H3. La aplicación de materia orgánica mejora las características físicas del suelo contaminado con relave de la UNI.

H4. En las diferentes proporciones de materia orgánica se reduce la concentración de metales pesados del suelo contaminado de la UNI.

H5. El crecimiento de *Medicago sativa* L. es influenciado por la presencia de relave, mostrando diferencias en altura, biomasa y desarrollo radicular según la concentración de materia orgánica.

1.5 Antecedentes investigativos

Giraldez (2019) investigó la capacidad de *Medicago sativa* L. para extraer contaminantes del suelo en un intento por restaurar terrenos degradados debido al exceso de fertilizantes, en ese sentido, estableció tres espacios de alfalfa con diferentes densidades: P1 - baja, P2 - media y P3 - alta en suelos con altos niveles de fertilización. Las muestras de suelo se tomaron previo a la siembra y posterior a la cosecha. Como resultados resaltó que si bien el *Medicago sativa* extrajo metales pesados del suelo en importantes cantidades: Cadmio P1: 25.92%, P2: 11.56%, P3: 34.03%, Níquel P1: 23.78%, P2: 13.03%, P3: 16.11%, y plomo P1: 20.65%, P2: 5.49%, P3: 25.93%, la alfalfa exhibió una función exclusiva al estabilizar los metales pesados en la región de sus raíces. Esto

se evidenció en las tres parcelas donde el factor de bioconcentración y bioasimilación fue inferior a 1. Este resultado indica que la planta no logra transferir eficientemente los metales pesados de la raíz a la parte aérea. Por consiguiente, su capacidad principal radica en la fitoestabilización de los metales en la zona radicular.

Sambrano & Pomari (2019) describieron en su estudio los resultados de fitorremediación aplicando alfalfa y el rábano para la eliminación del mercurio de suelo procedente de zona minera de Ollachea en Puno. Del estudio experimental, trabajando con 23 muestras de suelo seleccionados aleatoriamente de acuerdo con la Guía vigente de muestreo del suelo del 2013 (MINAM), se empezó con concentraciones de mercurio al 50% (70,2 ppm) y 25% (45,5 ppm), y completando con suelo preparado hasta 2 kg por maceta, haciendo un total de 12 ejemplares. Y culminando el experimento a las 10 semanas, realizaron el análisis del contenido de Hg en un laboratorio autorizado, y analizando los datos mediante un arreglo factorial de DCA., los autores determinaron que ambos tipos de cultivos tienen una alta producción en la eliminación de suelos contaminados con mercurio, ya que la fitoextracción reveló que la alfalfa cultivada en el tratamiento T-2 eliminó 58,72% más de mercurio que los tratamientos T-1, T-3 y T-4.

Mendoza (2020) llevó a cabo una investigación para evaluar la eficacia de la alfalfa en la limpieza de suelos contaminados con plomo en tres niveles diferentes y un control, y en macetas por 45 y 90 días utilizando un diseño de bloques completamente aleatorizado con tres replicas (en total de 12 unidades de experimentación). La prueba de significaciones de Duncan fue usada para las medias de tratamiento. Con respecto al plomo absorbido por la alfalfa, los análisis de los hallazgos en el campo y el laboratorio revelaron que, a los 45 y 90 días, la captación fue superior en las raíces y menos en la zona aérea de la planta. La concentración de plomo residual en el suelo aumentó en los grupos que recibieron 210 mg/kg de plomo y disminuyó después de 45 y 90 días. Al concluir del estudio se llegó a las siguientes conclusiones: la salinidad es media, la textura es

espesa, la materia orgánica está entre baja y media, y el pH fluctúa y sugiere suelos ligeramente básicos - características que no soportan el transporte y disponibilidad de metales pesados. La altitud de la planta fue marginalmente influenciada por el aumento del contenido de plomo. Además, los factores de concentración de las partes aérea y raíz produjeron valores inferiores a uno, lo que indica que la alfalfa es un exasperante del plomo. El factor de translocación también clasificó la alfalfa como una planta desestabilizadora cuando sus valores eran inferiores a 1.

López (2022) llevó a cabo un estudio para evaluar la capacidad de la alfalfa y la papa para limpiar suelos contaminados con metales pesados, específicamente plomo, en áreas adyacentes al río Rímac. Las semillas se sembraron directamente en el suelo contaminado y se controló el riego. Se utilizó un diseño experimental estadístico en bloques y filas, y se aplicó la prueba paramétrica t-student con un nivel de significancia del 0.05 para analizar los datos de varios indicadores, incluida la concentración de plomo, el porcentaje de plomo eliminado, el pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica del suelo al inicio y al final del estudio. Los resultados mostraron diferencias significativas en estos indicadores, y se concluyó que tanto la papa como la alfalfa redujeron la concentración de plomo en el suelo, siendo la papa más eficaz en la fitorremediación de metales pesados.

Huallpa (2023) se centró en investigar la capacidad de la alfalfa para extraer metales pesados pertenecientes a los biosólidos de la PTAR "La Totorá". Se empleó un diseño experimental completamente aleatorio y explicativo. Inicialmente, se determinaron las concentraciones de cromo, cadmio y plomo en biosólidos utilizando Espectroscopía de Emisión Atómica (ICP-OES), encontrando niveles de 320,7 mg/kg, 7,3 mg/kg y 37,7 mg/kg, respectivamente. La mezcla de sustratos consistió en un 45% de biosólidos y un 55% de tierra, y se sembró alfalfa en tres densidades y variedades diferentes: "Master10", "Moapa" y "California". El riego se realizó con agua potable, y al final del experimento, se analizaron

las concentraciones de metales pesados, observando niveles de 257,7 mg/kg de cromo, 7,0 mg/kg de cadmio y 27,3 mg/kg de plomo. La tercera variedad de alfalfa sembrada a una densidad de 25 kg/ha logró reducir la contaminación de manera significativa, extrayendo un 43% de cromo, un 76% de cadmio y un 71% de plomo, cumpliendo así con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para uso agrícola en el caso del cadmio y el plomo. Sin embargo, el nivel de cromo permaneció por encima del LMP después del experimento. El autor concluyó que la alfalfa, cuando se cultiva en sustratos compuestos por biosólidos, puede retener eficazmente los metales pesados en zonas de raíces y partes aéreas, y recomienda su aplicación en la PTAR.

Chen et al. (2022) realizó una revisión integral sobre la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados utilizando la alfalfa, donde indicó que esta especie ha desarrollado varios mecanismos para tolerar el estrés a los contaminantes, asimismo que tienen la capacidad de acumular estos elementos en sus tejidos y con la asistencia de medidas, la fitorremediación se puede hacer más eficiente. De los estudios revisados se concluye que la alfalfa tiene una alta capacidad de acumular los metales pesados en las raíces, aunque al estar expuesta a un nivel excesivo del contaminante, puede sufrir un daño oxidativo, inhibiendo su crecimiento y los procesos fisiológicos, y debilitando su capacidad de absorción.

Díaz et al. (2023) examinó la eliminación de cadmio y plomo proveniente de suelo con residuos mineros de la UNI utilizando la planta *Zea mays*. El experimento consistió en utilizar concentraciones de relave al 10% (C-1), al 20% (C-2) y al 30% (C-3), con 4 repeticiones cada una. Se concluyó que hubo mayor remoción del plomo en C-3 con 427.97 mg/kg; además, hubo mayor remoción de cadmio en C2 con 1.35 mg/kg. El análisis de hipótesis, con significancia de 0.05, indicó que la eliminación tanto del plomo como del cadmio para todas las concentraciones fue estadísticamente significativa, excepto en el caso del cadmio en el C-3.

Capítulo II. Marcos teórico y legal

2.1 Marco teórico

2.1.1 Suelo

El suelo es descrito como la capa no consolidada de material mineral u orgánico en la superficie de la Tierra, que proporciona un medio natural para el desarrollo de las plantas. El suelo es un conjunto natural de capas, el horizonte del suelo, formado por materia mineral descompuesta, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia de las condiciones meteorológicas combinadas con el clima, la topografía, los organismos vivos (flora, fauna y seres humanos) y los materiales parentales (rocas y minerales parentales) (Soil Science Society of America, 2008, como se cita en Aparicio, 2015).

El suelo posee una parte sólida, conocida como Fase Sólida del suelo. También contiene arcilla y una pequeña cantidad de materia orgánica. La fase sólida constituye el 50% del volumen total de suelo. Alrededor del 25% del suelo son gases y el 25% restante es agua, principalmente capilar e higroscópica (Proyecto Universidad en el Campo UNICA, 2011).

Más allá de una simple capa superficial, el suelo se configura como una intrincada red de interacciones entre la biosfera, la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. En su límite inferior, se funde gradualmente con la litosfera, mientras que en su parte superior se encuentra en constante intercambio con la atmósfera. La hidrosfera, por su parte, impregna el suelo, moldeando su composición y dinámica. El suelo forma un continuum dinámico, de espesor variable y edáfico producto de su pasado y dinamismo, lo que explica la variedad de suelos que encontramos en un paisaje determinado. Los suelos no solo albergan una gran biodiversidad, sino que también son esenciales para el funcionamiento de los ciclos

biogeoquímicos y la materia orgánica. Además, brindan productos alimenticios y bienes y servicios ecosistémicos vitales para la vida en la Tierra (Porta et al., 2019).

2.1.2 Suelo contaminado

El suelo no es un recurso infinito, es decir sus alteraciones por presencia de contaminantes significa la pérdida y degradación que difícilmente se podrá recuperar y, en consecuencia, podrá afectar los componentes agua, aire, la salud y a todo organismo vivo que pueda tener contacto con ello (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

La contaminación del suelo representa una seria amenaza para su salud, extendiéndose más allá de su ámbito para afectar de manera irreversible tanto a la salud humana como al medio ambiente. El suelo contaminado puede convertirse en una fuente de contaminación para otros elementos ambientales, como el aire, el agua, los organismos y los alimentos, incluyendo a los humanos. Sus efectos pueden resultar en la pérdida de servicios ecosistémicos, así como en considerables pérdidas económicas y desigualdades sociales, comprometiendo el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (FAO y PNUMA, 2022).

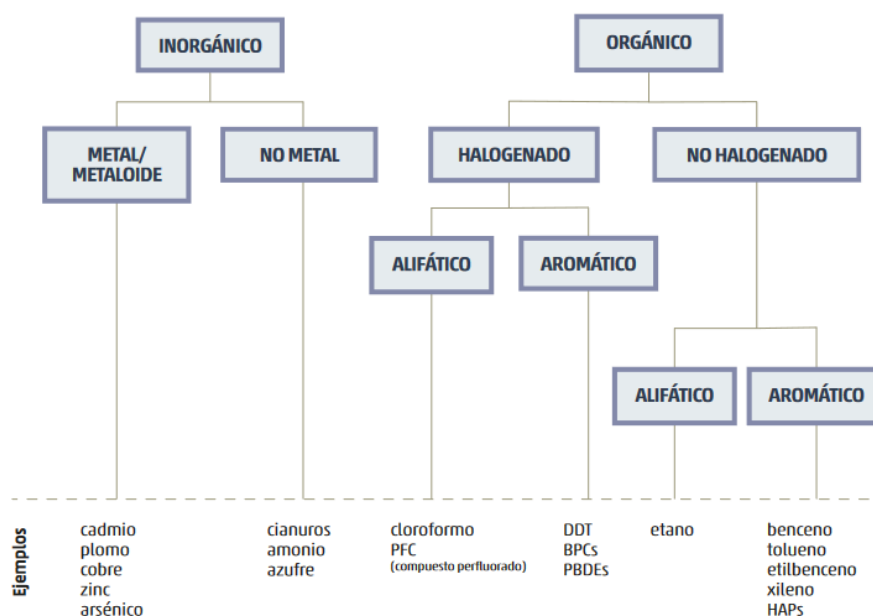
Según el Ministerio del Ambiente (2013), un área contaminada se caracteriza por la alteración adversa de las propiedades químicas del suelo debido a la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas como resultado de actividades humanas. Estas sustancias se encuentran en concentraciones y pueden ser un peligro para el medio ambiente y la salud humana, dependiendo del uso actual o planeado del área y de su entorno circundante.

Los elementos orgánicos e inorgánicos son sustancias que contaminan el suelo y pueden suponer peligros tanto para la salud pública como para el entorno ecológico. La

siguiente representación ilustra una categorización metódica de varios contaminantes típicos del suelo, organizados según sus características química (FAO y PNUMA, 2022).

Figura 1

Clasificación de los contaminantes predominantes en el suelo (IUPAC)



Nota: fuente (FAO y PNUMA, 2022)

En la Figura 1 se puede apreciar que como principales contaminantes inorgánicos se tiene a los metales y metaloides, donde destacan el cadmio y plomo.

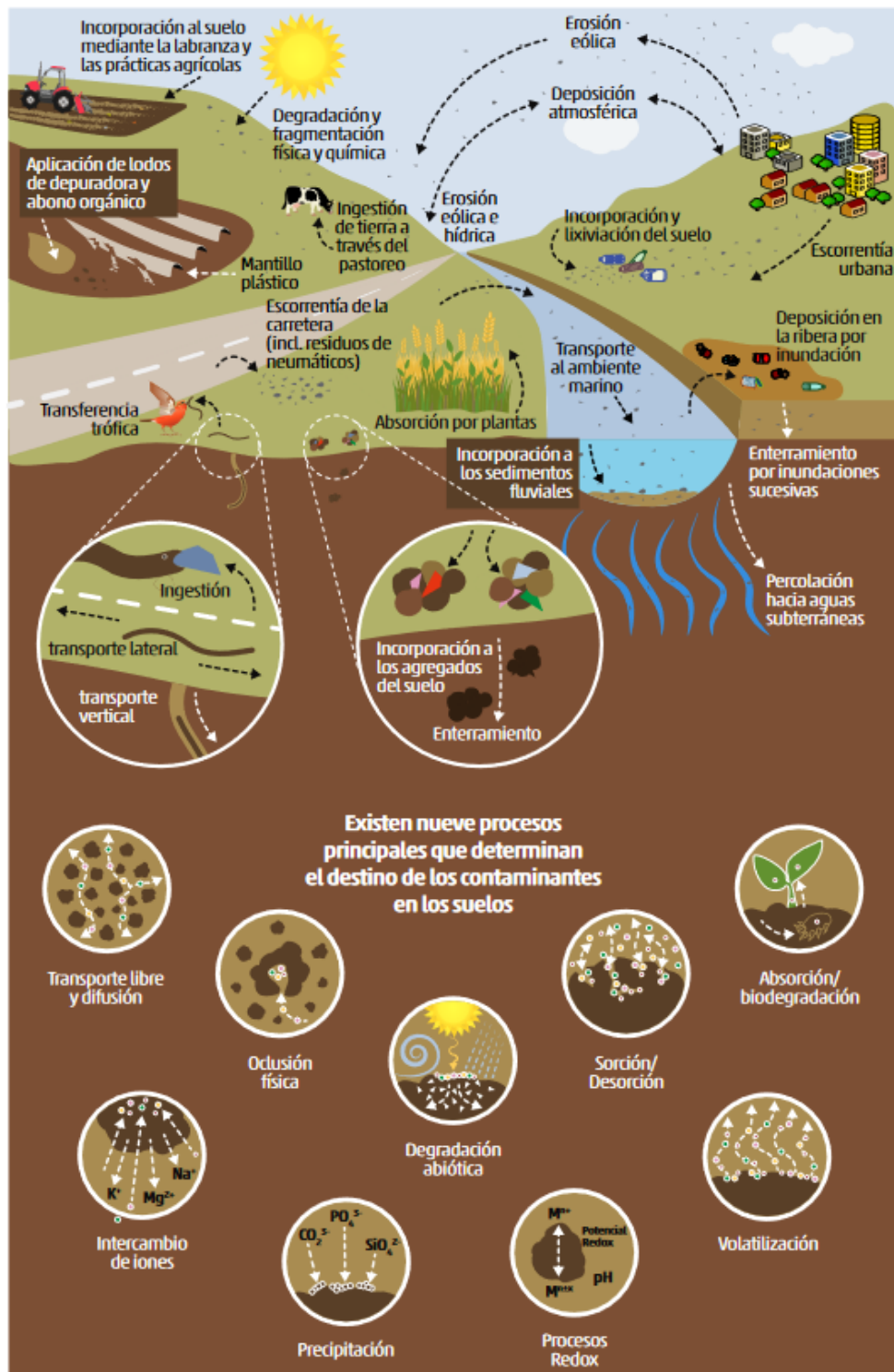
La contaminación del suelo suele tener consecuencias a largo plazo en la salud humana, siendo influenciada por diversos factores. Estos incluyen la variabilidad en la exposición a los contaminantes en la vida, los posibles impactos sinérgicos, aditivos o antagónicos de dicha exposición, las distintas formas de contacto que a menudo se presentan en paralelo, los múltiples focos de contaminación como el suelo, el polvo, el agua o los alimentos, y la vulnerabilidad individual y comunitaria, que incluye individuos con enfermedades preexistentes, especialmente los vulnerables como neonatos, niños y fetos,

así como comunidades con hábitos alimentarios particulares, como los geófagos (FAO y PNUMA, 2022).

La figura siguiente ilustra las vías de entrada de los contaminantes al suelo y los procesos diversos que influyen en el destino de estos contaminantes dentro del suelo.

Figura 2

Rutas de entrada y destino de los contaminantes en los suelos

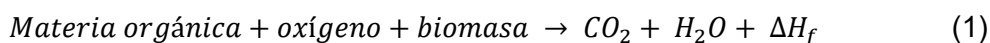


Nota: fuente (FAO y PNUMA, 2022)

2.1.3 Biorremediación de suelos

La biorremediación es el proceso natural de transformación y descomposición de contaminantes potencialmente nocivos en dióxido de carbono, agua, biomasa microbiana y subproductos menos peligrosos, utilizando microorganismos, como bacterias, hongos y plantas (Malik, 2022).

La biorremediación depende del metabolismo de contaminantes por microorganismos y bacterias, que requiere una fuente de energía y la exportación de la energía desarrollada a través de aceptores terminales de electrones (TEA). Los microorganismos utilizan el carbono como fuente de energía, pero el proceso metabólico requiere un TEA terminal para la oxidación enzimática de la fuente de carbono.



Donde: ΔH_f = energía producida por reacción para alimentar otros procesos metabólicos (crecimiento y reproducción) (Malik, 2022)

2.1.4 Fitorremediación

La fitorremediación es el proceso de utilizar plantas para eliminar, reducir, transformar, volatilizar o estabilizar contaminantes del suelo en su entorno. Estos contaminantes pueden incluir metales pesados, productos químicos orgánicos y derivados del petróleo. Se han identificado una amplia variedad de especies, algunas de ellas se denominan hiperacumuladora por su capacidad para acumular metales pesados (Delgadillo-López et al., 2011).

Basada en la función de las plantas en el proceso de remediación y en los principales procesos implicados se tienen diferentes técnicas de fitorremediación, entre ellos se tiene: fitodegradación o fitotransformación, fitoestimulación, fitovolatilización,

fitoestabilización, fitoextracción o llamado Fitoacumulación, y rizofiltración (Núñez et al., 2004).

La fitodegradación (fitotransformación) hace referencia a la degradación o transformación de los contaminantes orgánicos por las enzimas de las plantas, sus productos o los microorganismos rizosféricos, para luego ser asimilado y secuestrado por las plantas (Núñez et al., 2004).

La fitoestimulación (rizodegradación) hace referencia a la estimulación del crecimiento microbiano para la degradación de contaminantes, gracias a la liberación de exudados o enzimas en la zona radicular (rizósfera) como azúcares, aminoácidos, nutrientes y oxígeno que son transportados desde la parte superior hasta las raíces favoreciendo así el desarrollo de microorganismos en las raíces. (López-Martínez et al., 2005) En el pasado, las plantas y los microorganismos se utilizaban por separado para la biorremediación, pero numerosos estudios revelan ahora que, de forma sinérgica, pueden esforzarse por mejorar el proceso de mitigación de diversas matrices, como el aire, el agua, y el suelo (Malik, 2022).

La fitovolatilización es una técnica consistente en capturar los contaminantes del suelo, transformarlos en una forma volátil y eliminarlos en una forma volátil a través de la transpiración de la planta hacia la atmósfera. Ha sido usado en casos de contaminación de mercurio, cromo y arsénico. Su inconveniente es que el gas volátil liberado al ambiente es perjudicial para la calidad del aire (Malik, 2022).

La fitoestabilización utiliza plantas resistentes a los metales para inmovilizarlos por su captación y acumulación en las raíces o su deposición en la rizosfera, haciendo menos posible que se muevan o estén biodisponibles para otras especies vivas en suelos, se aplica para casos donde enormes cantidades de contaminantes no pueden ser extraídos.

Este método se ayuda de plantas con un gran sistema de raíces para secuestrar los contaminantes, impidiendo su migración al agua, aire o cadena alimenticia (Bernal, 2014).

La fitoextracción o fitoacumulación consiste en la absorción y traslocación de los metales desde las raíces hasta las partes aéreas, dando opción a que cuando el proceso de fitorremediación culmina, las plantas se corten y se quemen o se procesen para reciclar los metales. Es el mejor procedimiento para eliminar los metales del suelo sin alterar su estructura física y está recomendada para suelos con baja contaminación y muy cerca de la superficie (Malik, 2022).

La rizofiltración está referido en la absorción de los metales en la zona de raíces, usualmente con plantas producidas en invernadero y sembradas en zonas contaminadas, donde las raíces se encuentran sumergidas, aplicando la técnica de hidroponía (Bernal, 2014), esta técnica es recomendada para tratar parcialmente la escorrentía agrícola, el drenaje de minas y vertidos industriales (Malik, 2022).

La fitorestauración se refiere a la replantación de zonas contaminadas usando plantas resistentes y de rápido crecimiento que impiden la movilización de partículas contaminantes y además la erosión del suelo (Batista & Sánchez, 2009).

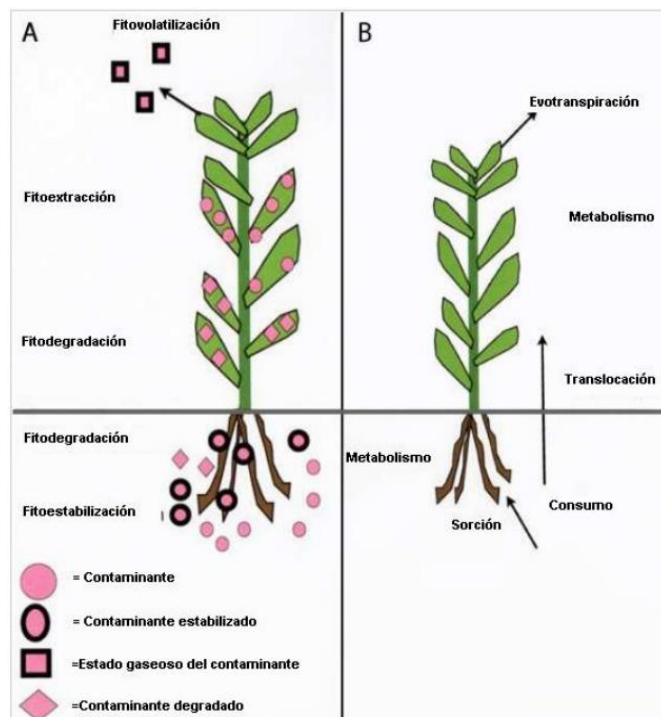
Asimismo, Bernal (2014) acota que el objetivo de un proceso fitorremediador no debe ser sólo eliminar la contaminación del suelo, sino también restaurar la calidad del recurso, definida como su capacidad para desempeñar sus funciones de forma sostenible.

Respecto a la fitorremediación con *Medicago Sativa* “alfalfa”, existe una investigación en la ciudad de Trujillo, donde alumnos experimentaron con suelos contaminados con cobre, donde después de dos meses de haber sembrado la planta, esta logró disminuir las concentraciones de cobre notablemente en el suelo y acumuló mayor cantidad del contaminante en la raíz que en el tallo (Gonzales et al., 2018).

Asimismo, Mendoza (2020) realizó un trabajo de investigación de fitorremediación con alfalfa en suelo contaminado con plomo en Huaura, donde se analizó la planta a los 45 y 90 días de crecimiento, encontrándose que la planta obtuvo una mayor concentración de plomo en las raíces que en la zona aérea, por lo cual se concluyó que es una planta fitoestabilizadora, coincidiendo este resultado con el anterior mencionado.

Figura 3

(A) Modelo esquemático de las tecnologías de fitorremediación involucrando remoción y contención de contaminantes; (B) Procesos fisiológicos de la planta durante la remediación.



Nota: fuente (Bustos, 2021)

2.1.5 Metales pesados

Los metales pesados conforman un grupo de elementos con propiedades metálicas que incluyen metales de transición, algunos semimetales, lantánidos y actínidos. Tradicionalmente, se han clasificado en función de su densidad específica, que generalmente es superior a 5 g/cm³, y su número atómico, que es mayor a 20. Sin embargo, algunos expertos consideran esta definición como poco adecuada, ya que la

densidad específica no necesariamente se relaciona con la reactividad o toxicidad de un metal (Covarrubias & Peña, 2017).

La existencia de metales pesados como cadmio, arsénico, cobre, cromo, níquel, mercurio, plomo, y zinc en el suelo representa una amenaza para su calidad por su elevado poder de toxicidad y su incapacidad para degradarse de manera natural. Sin embargo, el grado de impacto está asociado con la disponibilidad y solubilidad del metal, factores que influyen en cómo se distribuye el contaminante dentro de la matriz del suelo (Fernandez et al., 2022).

Plomo

El plomo está de forma natural en la corteza terrestre en cantidades mínimas, aproximadamente un 0,002%. Sus fuentes comunes de extracción son la anglesita, galena, y la cerosita (Volke et al., 2005).

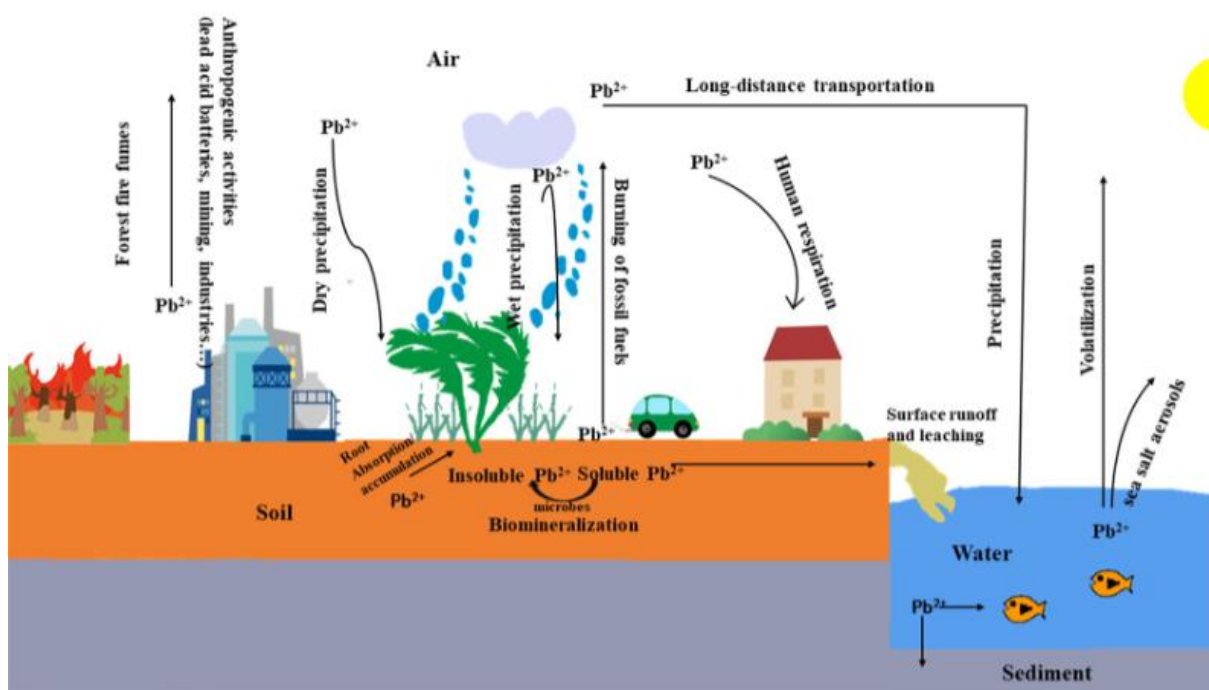
Las usuales causas de liberación de plomo al entorno son el procesamiento y la fundición de metales, la recuperación de pilas de plomo ácido, la actividad minera mediante el desecho de residuos mineros y la contaminación del aire derivada del uso de gasolina con plomo. (Volke et al., 2005) Además de los anteriores, otros contaminantes metálicos como As, Hg y Zn son comunes en los sitios de contaminación por plomo (Covarrubias & Peña, 2017).

El plomo al ser un elemento no se degrada en el ambiente, en el aire se desplaza distancias extensas antes de depositarse en la superficie, ya en el suelo puede adherirse a las partículas de este medio, y en este puede llegar hasta las aguas subterráneas, dependiendo del compuesto de plomo y del tipo de suelo (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2021).

Las personas podrían estar expuestas al plomo básicamente por dos vías: (i) respiración de partículas de plomo producto de la quema de materiales metálicos, como fundiciones, decapado de pintura con plomo o reciclaje, y (ii) por la ingesta de polvo, alimentos o agua contaminada con plomo, como agua proveniente de tubos aplomados o comida en envases aplomados (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Figura 4

Ciclo biogeoquímico del plomo



Nota: fuente (Shan et al., 2021)

En la figura anterior se explica el ingreso del plomo a la atmósfera, por las emisiones de las industrias metálicas, de pinturas, emisiones de los autos, etc., pudiendo ser inhalado por los seres vivos. Luego, el plomo precipita en los suelos por su peso y por acción de las lluvias. En los ecosistemas acuáticos, el plomo está presente debido a los efluentes de las productoras de baterías y tiende a almacenarse en el fondo del mar. Asimismo, debido a que se transporta largas distancias en el aire y cae por su peso. Una vez en el mar, puede ser ingerido por los animales, ingresando así a la cadena trófica (Shan et al., 2021).

Cadmio

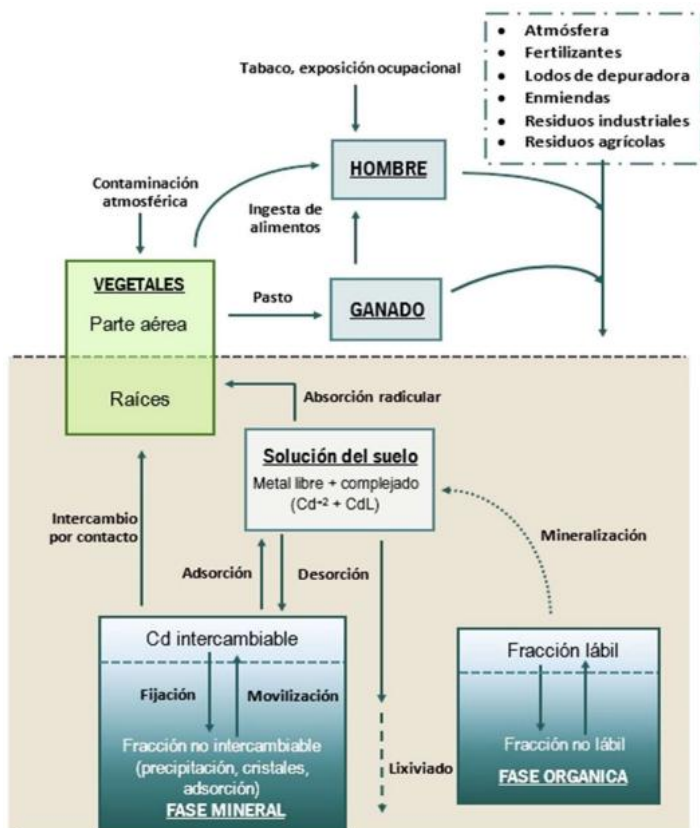
El cadmio, designado con el símbolo Cd y ubicado en el grupo II-b de la tabla periódica, posee un peso atómico de 112,40. Este metal, que es relativamente poco común, ocupa el puesto número 67 en términos de abundancia elemental y compuestos estables. Su forma más estable es el sulfuro de cadmio (CdS), y generalmente se presenta en estado divalente (Alloway, 1990). El cadmio suele encontrarse acompañado de compuestos de zinc, como la esfalerita, o presentarse en minerales propios como la blenda de cadmio o la otavita. Carece de cualquier función biológica vital y representa una gran toxicidad para tanto las plantas como los animales.

El cadmio tiene una vida útil en el suelo que puede variar desde 15 hasta 1100 años (Kabata-Pendias y Pendias, 1992), Esto implica que constituye un problema tanto a corto como a largo plazo, lo que nos insta a tomar medidas preventivas o de mitigación para reducir la contaminación por cadmio.

La contaminación del medio ambiente por cadmio ha aumentado drásticamente en las últimas décadas debido al creciente consumo industrial. Esta contaminación es producto de la minería (Smolders et al., 1999), la industria metalúrgica y sus desechos. (Rábago Juan-Aracil, 2010)

Figura 5

Flujo de cadmio en el medio físico



Nota. fuente (Sánchez, 2016)

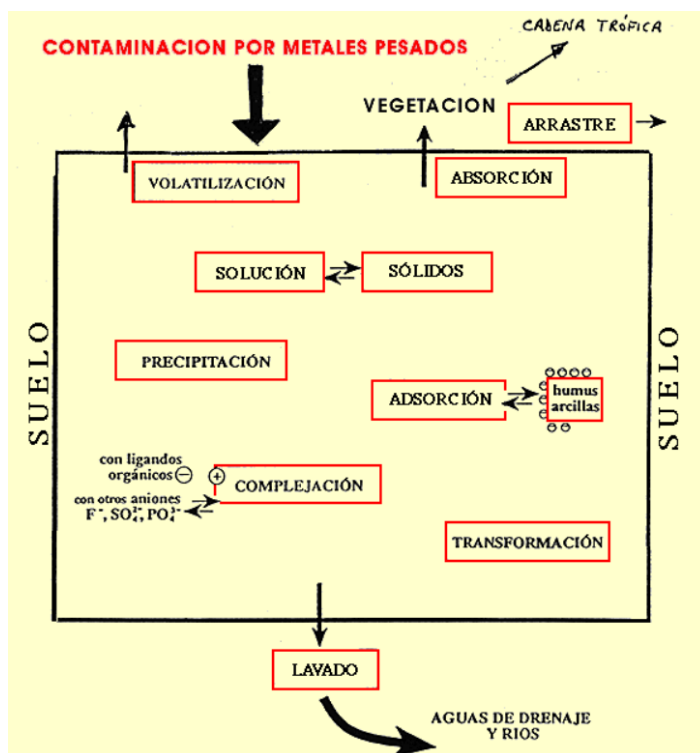
En el suelo la movilidad del cadmio depende del pH, potencial redox y nivel de materia orgánica, que varían acorde la ubicación geográfica. Usualmente, el cadmio se une fuertemente a la materia orgánica y puede ser absorbido por las plantas, pudiendo así ingresar a la cadena trófica. Varias investigaciones coinciden en que: i) la dinámica del Cd está muy ligada al pH, ii) en suelos con acidez, los sesquióxidos y la materia orgánica, determinan la capacidad de disolución del metal, iii) en suelo alcalino, el cadmio es inmóvil, pues precipita, y iv) la fijación del Cd se da en suelo con alta materia orgánica, textura fina, mayor CIC y baja saturación de aluminio intercambiable. Asimismo, en suelos con bajo potencial redox, la solubilidad del cadmio aumenta (Sánchez, 2016).

2.1.6 Dinámica de metales pesados en el suelo

En términos generales, los metales pesados en el suelo suelen tener estas rutas: i) permanecer en el suelo, disuelto, en complejo, adsorbido o precipitado, ii) absorbido por las plantas, iii) volatilizado en la atmosfera, o iv) en aguas superficiales o subterráneas.

Figura 6

Dinámica de metales pesados en el suelo



Nota. fuente (Calvo Anta, 1996)

2.1.7 Relave minero

Los relaves mineros son un subproducto de los procesos de minería, normalmente una mezcla de tierra, mineral, agua y roca que contiene altas concentraciones de químicos.

Los riesgos de una gestión deficiente de los residuos mineros provienen de la forma en que son manipulados (contenidos, recolectados, transportados y tratados) y una elevada toxicidad de sus elementos (cobre, cadmio, arsénico, plomo, entre otros),

aumentan el nivel de peligrosidad y la probabilidad de causar impacto contaminante (Menéndez & Muñoz, 2021).

2.1.8 Pasivo ambiental minero (PAM)

Se consideran a esas infraestructuras, sean aguas residuales, emisiones, desperdicios o residuos de operaciones mineras actualmente cerradas o sin actividad que simbolizan un peligro continuo y potencial para la salud pública, y las áreas circundantes de los ecosistemas. Esto incluye las operaciones mineras, residuos, infraestructura y edificios, y áreas de depósitos de productos químicos (Castillo et al., 2021).

2.1.9 Materia orgánica (compost)

Para Soto & Muñoz (2002) el compostaje es la descomposición biológica de los componentes orgánicos y cumple la función de incrementar la eficacia del suelo en la retención y distribución de nutrientes y agua.

El uso de estas enmiendas en suelos contaminados originarios de minas mejora las propiedades no solo físicas sino también químicas y biológicas (Perea-Vélez et al., 2015). El compost tiene efectos positivos en los suelos, como el incremento de la actividad biológica del suelo, reducción de los microorganismos patógenos y el incremento de la materia orgánica (Bulluck et al., 2002). A mayor materia orgánica y espacio poroso (mayor infiltración y aireación), el suelo tiene menos densidad aparente y viceversa (Salamanca & Sadeghian, 2005).

Además, al incorporar abono al suelo, en este aumenta la capacidad de intercambio catiónico y el pH, así como el fósforo, potasio y nitrógeno total, y micronutrientes como cobre, zinc manganeso y hierro. En el aspecto biológico, también mejora la cantidad de bacterias, hongos y actinomicetos (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2016).

2.1.10 Plantas hiperacumuladoras de metales pesados

Las plantas toman los metales del suelo en el que se encuentran, y la cantidad depende de la especie vegetal, sus características y cantidad de metales del suelo. Ante los metales del medio ambiente, las plantas pueden utilizar diferentes estrategias (Baker, 1981, como se cita en Llugany et al., 2007). Algunas plantas son capaces de tolerar los metales por la segregación de estos solo en la zona de raíces. Otras optan por acumularlos en la zona aérea de manera inofensiva para ellas. Generalmente, las plantas más tolerantes y sensibles a los metales, los excluyen, mientras que las plantas que brotan de suelos contaminados optan por su acumulación (Llugany et al., 2007).

Según el procedimiento de acumulación por parte de las plantas hiperacumuladoras puede alcanzar a acumular hasta más de 100 veces los niveles normales de acumulación de metales. Dado que pueden ser altamente tolerantes a más de un metal pesado y no compiten en zonas sin contaminación. Están distribuidas a nivel mundial en suelos en un extenso rango de concentraciones de metales (Llugany et al., 2007).

Su competencia para desarrollarse y sobrevivir en suelos contaminados les permite retener elevados niveles de metales, haciendo que las plantas hiperacumuladoras sean muy adecuadas para la extracción. La hiperacumulación conlleva el desarrollo de mecanismos internos para depurar los iones metálicos libres con el fin de evitar daños oxidativos a las células. Las plantas comúnmente se defienden mediante la formación de complejos metálicos estables y menos perjudiciales como la fitoesfingosina, los ácidos orgánicos, los aminoácidos o los fenoles flavonoides y/o secuestrando los metales del citoplasma hacia vacuolas o paredes celulares, donde no causan mayores daños (Llugany et al., 2007).

2.1.11 Alfalfa

La alfalfa es una planta que vive varios años, con raíces profundas, es decir, crece verticalmente hasta una profundidad hasta una profundidad de 7 a 9 metros. Los tallos crecen desde la corona sobre el suelo. Llega a alturas entre 60 y 90 cm, con hojas compuestas trifoliadas y su inflorescencia en forma de racimo y púrpura. Su fruto es una legumbre en forma de espiral, además brota semillas que pueden ser amarillas, marrón brillante o verde oliváceo (A. del R. Diaz, 2020).

Básicamente, está compuesta por su raíz principal que posee una corona debajo de la superficie del suelo por lo que está protegida de los animales que pastorean la zona (Formoso, s. f.).

Figura 7

Partes de la alfalfa



Nota: fuente (Formoso, s. f.)

Según los resultados del trabajo de investigación de biorremediación con alfalfa de suelo contaminado con Plomo, se concluyó que, en el mejor de los casos, la alfalfa logró

retener 88773 mg.kg^{-1} de plomo, en un periodo de 90 días, resultados que coinciden con la afirmación de Peixoto (2018) quien reportó que la alfalfa demostró competencia para extraer el 47% del plomo presente en el suelo, después de 3 meses (Mendoza, 2020).

En un estudio realizado por Bonilla (2013), en Ecuador, donde se practicó la biorremediación de suelo contaminado con plomo utilizando las plantas Amaranto, Acelga y Alfalfa, se concluyó que estas especies presentaron buena competencia para almacenar plomo en sus tejidos, después de estar presente en suelos contaminados con dicho metal. Asimismo, el amaranto y la alfalfa tienen una buena capacidad de hiperacumulación con el aumento del tamaño y la edad de las plantas, lo que las hace potencialmente adecuadas para remediación de suelos contaminados.

Por otra parte, del estudio de Giraldez (2019) que comparó la capacidad acumuladora de la alfalfa en su sistema radicular con los elementos plomo, cadmio y níquel, concluyó que el plomo es el elemento predominante y que la bioacumulación en la parte aérea son bajas.

2.1.12 Prueba de germinación de semillas

La germinación de una semilla es la emersión y desarrollo de plántulas hasta una etapa en la que la aparición de arreglos básicos indica la capacidad de convertirse en una planta adulta en condiciones óptimas de campo. (International Seed Testing Association, 2023)

La prueba de germinación da como resultado el porcentaje de semillas que han germinado, donde el conteo está enfocado en aquellas plántulas clasificadas como normales. Según la (International Seed Testing Association, 2023), se consideran plántulas normales aquellas que cumplen con uno de lo siguiente:

- Plántula integra: aquellas que están bien desarrolladas, cuentan con estructuras esenciales, completas, correctamente proporcionadas y sanas.
- Plántula defectuosa leve: aquellas con unos cuantos defectos menores en sus arreglos básicos, y demuestran un crecimiento equilibrado y satisfactorio por lo demás.
- Plántulas con infección secundaria: aquellas que conformarían de manera notoria una de las clasificaciones mencionadas, pero que han sido atacadas por bacterias u hongos no provenientes de la semilla madre.

2.1.13 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas se reconocen como los grandes responsables del buen crecimiento de las plantas, pero generalmente se suele dar mayor atención a las propiedades químicas. Asimismo, para crear un ambiente adecuado para el desarrollo de las especies, es importante contemplar la interacción activa entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las características físicas del suelo se clasifican como fundamentales, como la textura, la densidad, la temperatura, la consistencia y la estructura; y las que derivan de las interacciones básicas (Ramírez, 1997).

Densidad aparente

Se define así a la correlación entre la masa y el volumen de la tierra, el cual considera el espacio de los poros. Esta propiedad informa sobre las condiciones del suelo con relación a la disponibilidad del agua, la compactación, el oxígeno y la porosidad. Se dice que un suelo tiene problemas de compactación cuando su densidad aparente es mayor a 1.6 g/ml. Según Duchaufour (1965), cuando se incrementa la densidad aparente decrece la porosidad total, afectando la cantidad de oxígeno y agua, penetración de raíces, y otras condiciones. En el siguiente

cuadro se indica la relación entre densidad y la porosidad aparente (Ramírez, 1997).

Tabla 1

Densidad aparente según la porosidad total

Densidad aparente (g/ml)	Porosidad total (%)
<1.0	>63
1.0 – 1.2	55-62
1.2- 1.4	47-54
1.-4 – 1.6	40-46
1.6-1.8	32-39
>1.8	<31

Nota: Tabla adaptada de (Duchaufour, 1965).

Existen tres métodos muy conocidos para realizar el cálculo de la densidad aparente, los cuales son: el método del cilindro, método de la parafina y el método de la probeta, de manera breve se explica cada método (Rojas, 2012):

En laboratorio, el cálculo de la densidad aparente del suelo se suele realizar mediante el método de la parafina, aplicando la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-200 ítem 7.1.3 AS-03 (2002), la cual se detalla a continuación:

Principio y aplicación

La densidad aparente de un extracto del suelo se calcula conociendo dos parámetros: el volumen total (el de sólidos y de poros) y la masa del suelo. El volumen se determina de forma indirecta envolviendo el terrón con una capa de parafina y anotando su peso cuando está sumergido en agua, y la masa, se calcula usando una balanza para pesar el terrón.

Materiales y equipos

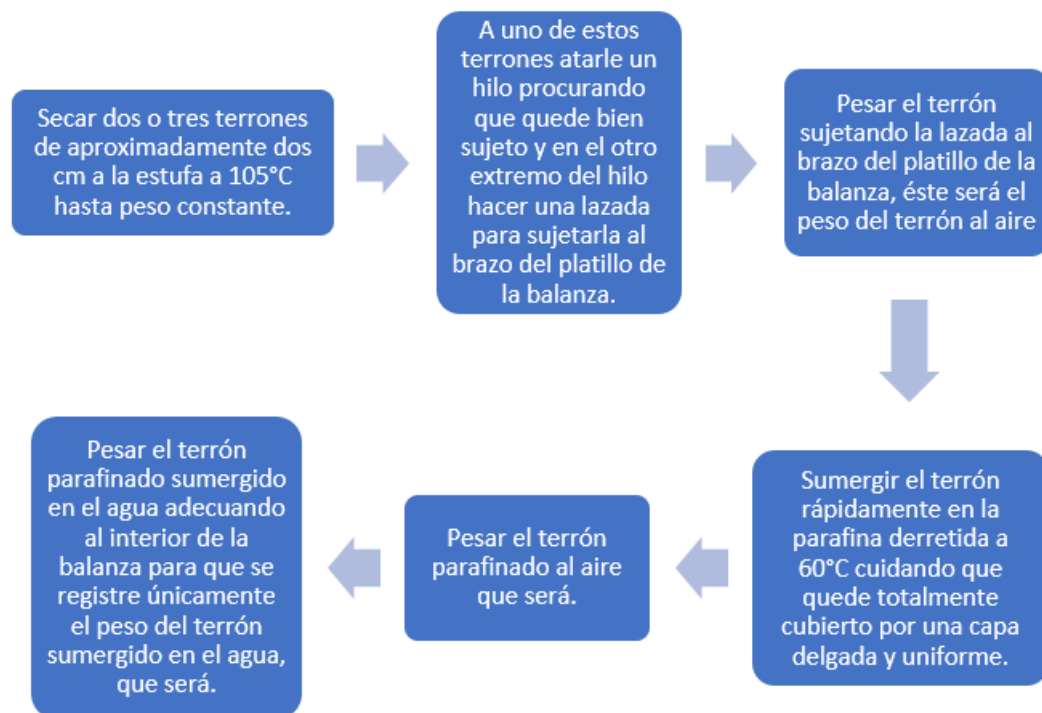
1. Terrón de suelo (diámetro de 2 cm máximo)
2. Hilo de algodón
3. Parafina (entre 56 y 60 °C)
4. Vaso precipitado (500 ml)
5. Termómetro
6. Estufa
7. Balanza analítica

Procedimiento

A continuación, se describe el procedimiento paso a paso:

Figura 8

Procedimiento del método de la parafina



Nota. fuente (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México, 2002)

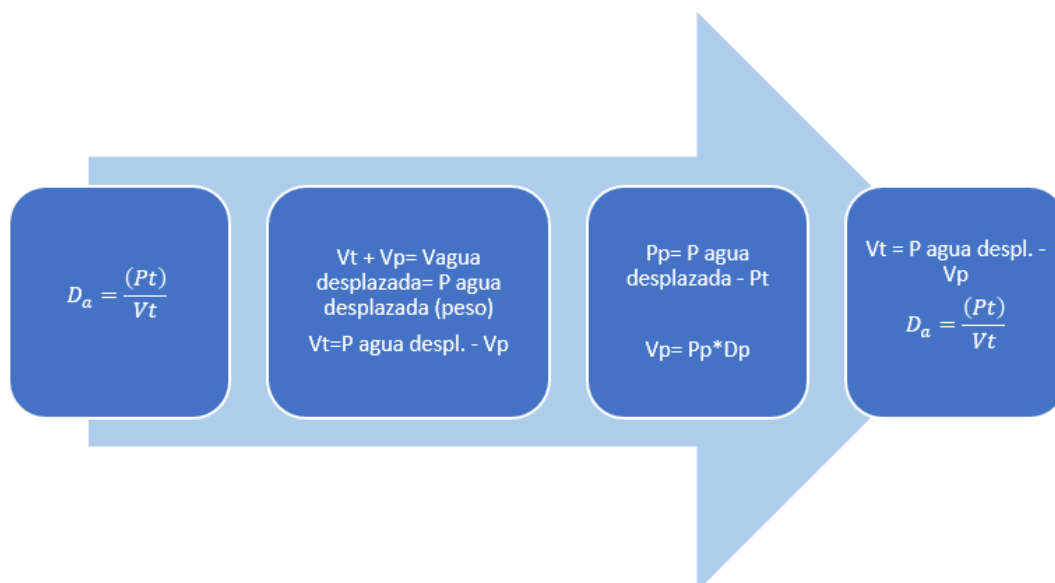
Cálculos

El cálculo se realiza según la conocida formula de peso sobre volumen, donde el peso del terrón (Pt) se determina con una balanza, y el detalle es calcular su volumen (Vt). Para ello, se entiende que el volumen del terrón es el volumen de agua desplazada menos el volumen de la parafina, donde el volumen de agua desplazada tiene el mismo valor que el peso del agua desplazada. Entonces, el peso de la parafina es el peso del agua desplazada menos el peso del terrón (Pt), y el volumen de la parafina es su peso por su densidad, los cuales son valores conocidos. Así, restando el peso del agua desplazada menos el volumen de la parafina, se obtiene el volumen del terrón, el cual nos sirve para determinar la densidad aparente de la muestra de suelo.

En la siguiente figura, se considera Vt: volumen del terrón, Vp: volumen de la parafina, Pp: peso de la parafina, Dp: densidad de la parafina, densidad de parafina: 0.9 gr/cm3 y densidad del agua: 1 gr/cm3.

Figura 9

Cálculos para determinar la densidad aparente



Nota. fuente (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México, 2002)

Textura

Esta propiedad indica la distribución de los componentes inorgánicos del suelo de distintos tamaños, expresada en porcentaje, e incide sobre la fertilidad, laboreo del suelo o la facilidad de preparación, velocidad de infiltración del agua, el drenaje, la aireación, etc. (Ramírez, 1997).

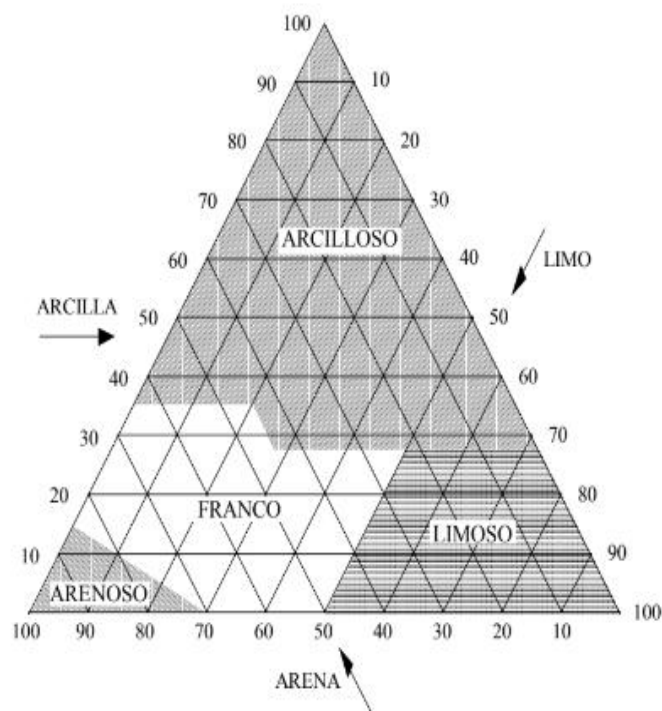
En el suelo, las partículas pueden clasificarse acorde a su tamaño:

- Gravas y piedras: fragmentos minerales de tamaño variado, desde 2 mm hasta 7 cm en el caso de las gravas y aún más grandes en las piedras. Su presencia en exceso puede alterar las características del suelo y complicar su manipulación.
- Tierra fina: Contiene fragmentos con un diámetro inferior a 2 mm, que varían entre 2 mm y 0.02 mm de tamaño. Estos fragmentos consisten principalmente en minerales como cuarzo, feldespatos, micas, entre otros, y son fácilmente identificables de forma individual. Tienen una capacidad de intercambio catiónico reducida y juegan un papel crucial en la configuración global del suelo.
- Limo: Son partículas minerales que oscilan entre 0.02 mm y 0.002 mm en tamaño, conformadas mayormente por partículas de textura media a fina, como el talco. Su capacidad de intercambio catiónico es limitada.
- Arcilla: más pequeña mineralógicamente, esta fracción se distingue de la anterior debido a que está formada por minerales que resultan de procesos de meteorización, los cuales no están presentes en las rocas antes de meteorizar. Las partículas de arcilla tienen la capacidad de unirse formando agregados y no se comportan como partículas individuales en el suelo. Su tamaño es menor a 0.002 mm y exhiben propiedades físicas y químicas distintivas. (Jordán, 2006)

La presencia de grava y otros materiales con un tamaño superior a 2 mm no se incluye en la evaluación de la textura o cualquier otro aspecto del suelo. La textura del suelo se puede representar visualmente mediante el uso de un diagrama textural, que consiste en un gráfico triangular equilátero. En este diagrama, se representa el porcentaje de arena, limo y arcilla a lo largo de cada lado, permitiendo comparar de manera gráfica diferentes muestras de suelo (Jordán, 2006).

Figura 10

Triangulo de las texturas del suelo



Nota. fuente: (Jordán, 2006)

Según Murray et al. (2011), en su investigación de análisis de las propiedades físicas del suelo, en un sistema agroforestal, posterior a 5 años, ante el aumento de la materia orgánica, no se vieron cambios en la textura del suelo e indicó que la textura es una propiedad que varía en un tiempo superior a 1000 años, que no varía con las

operaciones de laboreo y señaló que la cantidad de materia orgánica aumenta en suelo arcilloso.

2.1.14 Características químicas del suelo

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Esta propiedad esta referida a la habilidad global de los coloides del suelo, incluyendo materia orgánica y arcilla, para realizar un intercambio de cationes con la solución del suelo. Su medida puede estar afectada a causa de diversos factores como la presión, la temperatura, la relación de masas entre suelo y solución, y la composición de la fase líquida (Sposito 1989, como se cita en Jordán, 2006).

Gracias a su capacidad de intercambio catiónico, el suelo puede retener nutrientes incluso cuando ocurre el lavado, ya que estos se adhieren a las partículas de arcilla presentes en el medio del suelo. Esto mantiene un equilibrio entre la entrada de nutrientes desde diversas fuentes y las pérdidas causadas por la extracción de las plantas o la eliminación física debido a la erosión. Sin esta capacidad de retención de nutrientes, la vida en la tierra no habría sido viable (León 2004, como se cita en Guevara, 2018).

En términos generales, la CIC se describe como la cantidad de iones con carga positiva que pueden ser absorbidos por cada unidad de masa seca de suelo. Se puede medir en diferentes unidades, como centimoles de carga positiva por kilogramo (cmol (+)/kg) o miliequivalentes por cada 100 gramos (meq/100 g), siendo esta última la más utilizada (Barrios 2012 como se cita en Guevara, 2018).

Las arcillas y la materia orgánica son los principales agentes que facilitan el intercambio de cationes en el suelo. Varios factores determinan la capacidad de cambio de cationes de un suelo, entre ellos: el tamaño de las partículas, siendo las más pequeñas las que tienen mayor capacidad de intercambio, y la naturaleza de

las partículas, donde la estructura y composición de estas influyen en las posibilidades de intercambio de cationes (Proyecto UNICA «Universidad en el Campo», 2011).

La CIC es de gran relevancia pues regula la disposición de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y potasio (K^{+}). Además, esta capacidad también convierte al suelo en un depurador natural al retener contaminantes que ingresan al medio edáfico (Proyecto UNICA «Universidad en el Campo», 2011).

Según la FAO, la CIC está relacionada con el tipo de arcilla, la textura, y contenido de materia orgánica del suelo. Una alta capacidad de suministrar potasio, calcio y Magnesio a las plantas se ve reflejada en una alta CIC, lo que indica una alta saturación de bases (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Tabla 2

Nivel de disponibilidad de nutrientes según el CIC en suelo

Nivel de disponibilidad	CIC
Baja	< 10meq/100 g
Media	10 – 20 meq/100 g
Alta	> 20meq/100 g

Nota. fuente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

pH del suelo

Indica el nivel de acidez del suelo en solución el cual incide en el crecimiento de las plantas y su fauna, así como en la calidad y velocidad de los procesos de conversión de humus y minerales. Asimismo, puede influenciar en las características física y química del

suelo, suele bloquear la absorción de determinados nutrientes cuando se presenta un pH ácido o alcalino y se considera que el pH entre 6 y 7.5 es bueno para el buen crecimiento de las plantas. Los factores que influyen en la acidez de los suelos son diversos, entre los cuales se encuentra el tipo de roca madre del suelo, su biótica, y la frecuencia de precipitación, donde a mayores lluvias se acidifica el suelo (Proyecto UNICA «Universidad en el Campo», 2011).

Gómez Armesto et al. (2020) mediante pruebas de laboratorio identificó que el pH es uno de los principales parámetros que intervienen o afectan a la biodisponibilidad de los metales en los suelos, junto con el nivel de materia orgánica.

2.1.15 Contenido de materia orgánica

La FAO considera que el material descompuesto, parcialmente descompuesto y no descompuesto de origen animal o vegetal se denomina "materia orgánica". A menudo se utiliza para referirse a materiales orgánicos totalmente degradados conocidos como sustancias húmicas, sin embargo, es esencialmente equivalente con humus (FAO, 2009).

2.1.16 Diseño en bloques completos al azar (DBCA)

Es un modelo del análisis de varianza que toma en cuenta más de una fuente de variación. Este modelo se emplea cuando existe una variación gradual en las repeticiones de los tratamientos que dificulta la aleatorización efectiva de las unidades experimentales. Por ello, se ajusta para equilibrar y homogeneizar las condiciones de cada tratamiento dentro de cada bloque. En otras palabras, el modelo está diseñado para incluir solo una repetición de cada tratamiento en cada bloque. De esta manera, el modelo se puede expresar de la siguiente forma (Núñez-Colín, 2018):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}; j = 1, \dots, b; i = 1, \dots, t \quad (2)$$

Donde Y_{ij} representa la respuesta observada en la j -ésima unidad experimental que recibe el i -ésimo tratamiento. μ es la media global, un valor común a todas las unidades antes de aplicar cualquier tratamiento. τ_i refleja el efecto asociado al i -ésimo tratamiento, mientras que β_j captura el efecto del j -ésimo bloque. Por último, ε_{ij} corresponde al error experimental presente en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento (Núñez-Colín, 2018).

En este modelo, los bloques se usan para considerar la variabilidad natural entre las unidades experimentales, pero sin que esta variación sea el foco del estudio. Es decir, los bloques ayudan a evaluar los tratamientos en diferentes condiciones sin que interfieran en los resultados. Se asume que no hay interacción entre los bloques y los tratamientos (Sokal y Rohlf, 2002), y por eso cada tratamiento debe aparecer al menos una vez en cada bloque, manteniendo el mismo número de repeticiones para todos (Núñez-Colín, 2018).

A partir del modelo, se obtiene la variación total del experimento, que básicamente nos dice cuánto varían los datos en conjunto. Para entender mejor esta variación, se hace una partición "ad hoc", es decir, se divide esa variabilidad de una manera que se ajuste específicamente a lo que se está estudiando. Esto se hace usando una ecuación de suma de cuadrados, que ayuda a separar la variación total en partes más pequeñas, como los tratamientos, a los bloques o al error experimental. "Ad hoc" significa que no se sigue una regla fija, sino que se adapta la división a las necesidades del experimento, lo que permite analizar los datos de una manera más clara y enfocada. Se realiza mediante la siguiente ecuación de suma de cuadrados (Núñez-Colín, 2018):

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..})^2 + b \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 + t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2 \quad (3)$$

Donde: $\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$ es la suma de cuadrados total (SCTot)

$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..})^2$ es la suma de cuadrados del error (SCE)

$b \sum_{i=1}^t (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2$ es la suma de cuadrados de los tratamientos (SCTrat) y

$t \sum_{j=1}^b (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2$ es la suma de cuadrados de bloques (SCBloq)

Con esta información y los grados de libertad asociados a cada componente, se construye la tabla que suele presentarse en un análisis de varianza (ANOVA), la cual es una herramienta estándar para resumir y evaluar los resultados del experimento.

2.2 Marco legal

D.S. N° 011-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Suelos. - Los ECA para Suelo es una base obligatoria para diseñar y aplicar herramientas de gestión ambiental, y abarca parámetros relacionados con las actividades de producción, extracción y servicios. Estos parámetros pueden ser orgánicos o inorgánicos e incluyen los metales pesados.

Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM - Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados. - Esta regulación define directrices para administrar áreas contaminadas que surgen de actividades humanas, abarcando temas de evaluación y corrección que deben ser supervisados por las autoridades pertinentes en cada sector. El objetivo es salvaguardar tanto la buena salud de las personas y los ecosistemas.

Guía para la evaluación de sitios contaminados y la elaboración de planes dirigidos a la remediación. El documento ofrece directrices técnicas para evaluar áreas que podrían estar contaminadas o que ya lo están, así como para desarrollar planes de remediación en conformidad con los estándares establecidos para la gestión de sitios contaminados.

Guía para muestreo de suelos. – Esta publicación detalla diversas metodologías de recolección de muestras de suelo, establece los criterios para determinar la cantidad de muestras necesarias, y especifica procedimientos de control de calidad para asegurar la adecuada recolección y manipulación de las muestras.

Decreto Supremo N° 005-2022- MIDAGRI, que aprueba el reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, establece un marco reglamentario

para clasificar las tierras en función de su potencial de uso sostenible. El objetivo de este Reglamento es garantizar un uso adecuado de la tierra, promover su utilización óptima para la agricultura, la silvicultura y la conservación de la naturaleza, y garantizar la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Tipo de Investigación y diseño experimental

3.1.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo es de método experimental, pues se manejará como variable independiente, la proporción de materia orgánica, y como dependiente, el efecto biorremediador del *Medicago Sativa L.*, analizándose las variables del suelo y planta, por el proceso de fitorremediación del suelo contaminado con relave. Al finalizar el experimento se evaluarán los efectos de las variables, y se observará la respuesta de la alfalfa.

Asimismo, es transversal, pues se evaluarán las variables después de 120 días de la siembra de las semillas de alfalfa.

Y es de enfoque cuantitativo, pues la mayoría de las variables son numéricas, como densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico, pH, concentración de metales pesados en suelos y alfalfa, % de germinación, altura de la alfalfa y grosor de raíces.

3.1.2 Diseño experimental

Se utilizará el análisis de varianza ANVA mediante el programa del Info Stat (IS). De los cinco tratamientos consistentes, cuatro tendrán concentraciones de relave en el suelo en macetas a trabajar y una muestra del suelo sin relave será la prueba control. También se utilizará el coeficiente de variabilidad (CV) como indicador estadístico para evaluar el rendimiento del crecimiento.

Los datos para procesar serán los producidos por el análisis de los parámetros fisicoquímicos del depósito de relaves, de la concentración de metales pesados del suelo, y de la caracterización del crecimiento de la alfalfa al término de 120 días.

Con la información recolectada, se aplicará Scott Knott para la comparación de los datos de densidad aparente, materia orgánica, CIC, pH, metales pesados, y los que caracterizan el crecimiento de la alfalfa en los distintos tratamientos y bloques (la altura de los tallos, % de semillas germinadas, grosor de raíces y absorción de cadmio y plomo).

El análisis de parámetros fisicoquímicos y de metales pesados en suelo y plantas, fue realizado por el laboratorio Servicios Analíticos Generales - SAG.

3.2 Finalidades y alcances

Población y muestra: La población estuvo comprendida por todo el relave de la UNI, y la muestra fue una parte representativa del relave de la UNI.

Técnicas e instrumentos para la recolección de información: en el presente trabajo de investigación se realizó la fitorremediación con la especie vegetal *Medicago sativa* “alfalfa”, del suelo contaminado con relave *ex situ* asistido con materia orgánica. Las muestras de suelo se prepararon y depositaron en macetas circulares de plástico, de 20 cm de diámetro y 20 cm de alto aproximadamente, a diferentes concentraciones del contaminante.

Concentración del relave en el suelo: Se realizaron 3 repeticiones o bloques, con 4 tratamientos y un control, realizando un total de 15 unidades experimentales. Las concentraciones de los tratamientos fueron los siguientes:

Tabla 3

Concentración de los tratamientos trabajados

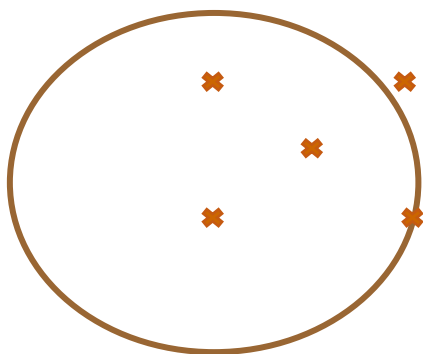
Nº Muestra	% Relave	% Materia orgánica
Muestra 1 - T ₁	25%	75%
Muestra 2 – T ₂	20%	80%
Muestra 3 – T ₃	15%	85%
Muestra 4 – T ₄	10%	90%
Muestra 5 – T ₅	-	100%

Nota. Elaboración propia

Siembra: Una vez preparadas las unidades experimentales con relave y materia orgánica *ex situ*, se sembraron 15 semillas de *Medicago sativa* “alfalfa” en cada maceta, en cinco orificios donde en cada uno se colocó tres semillas, de la siguiente manera.

Figura 11.

Distribución de semillas en macetas



Nota. Elaboración propia

La presente investigación contempló las siguientes etapas:

- Etapa 1. Toma de muestra de relave y análisis de laboratorio
- Etapa 2. Prueba de germinación
- Etapa 3. Preparación de sustratos y siembra de semillas
- Etapa 4. Análisis de plantas y Análisis de laboratorio

3.3 Etapa 1: Toma de muestra de relave y análisis de laboratorio

❖ Lugar de ejecución

El depósito de relaves se encuentra ubicado dentro de la UNI, a espaldas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 12

Ubicación del Área de estudio



Nota. Elaboración propia

En la figura, el depósito se encuentra sombreado en color amarillo, tiene un área de 1 Ha y un perímetro de 428 m. se encuentra ubicada en una pendiente, y a espaldas de la facultad FIGMM, de su pabellón de aulas y su loza deportiva, zonas que cuentan con afluencia de alumnos, docentes, y personal administrativo durante todo el año.

Este depósito es el residuo de la planta concentradora de cobre, plomo, zinc, plata y oro que funcionó en la UNI, de minerales que provenían de pequeñas minas de la sierra centro del país. Los concentrados se filtraban a través de tubos de PVC desde las celdas de flotación, y de manera parecida, el relave fue transportado por tubos de PVC hacia las canchas de relave que se establecieron en terrenos planos que tenían alta capacidad de absorber, sedimentar y secar a la intemperie y se ubicó al costado de la FIGMM, sin mayores medidas de protección ambiental en la época (Natividad, 2019).

Se ejecutó el muestreo siguiendo lo establecido en la Guía para el Muestreo de Suelos aprobado por el Ministerio del Ambiente (RM N° 085-2014-MINAM). Considerando que, en la investigación de Natividad (2019), se identificó que en el área habían puntos que

superaban el ECA en metales pesados, y que la norma establece que para 1 Ha de extensión la muestra compuesta debe estar conformada por al menos 9 puntos, se decidió extraer el doble de muestras del depósito de relaves, es decir 18 puntos distribuidos en una cuadrícula determinada con el programa ArcGIS 10.3, según el siguiente mapa.

Figura 13

Ubicación de puntos de muestreo para obtener muestra compuesta



Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto	Código	Este	Norte
1	CS-01	277120.1519	8670405.04
2	CS-02	277120.1519	8670428.04
3	CS-03	277143.1519	8670428.04
4	CS-04	277120.1519	8670451.04
5	CS-05	277143.1519	8670451.04
6	CS-06	277166.1519	8670451.04
7	CS-07	277120.1519	8670474.04

8	CS-08	277143.1519	8670474.04
9	CS-09	277166.1519	8670474.04
10	CS-10	277189.1519	8670474.04
11	CS-11	277120.1519	8670497.04
12	CS-12	277143.1519	8670497.04
13	CS-13	277166.1519	8670497.04
14	CS-14	277189.1519	8670497.04
15	CS-15	277097.1519	8670520.04
16	CS-16	277120.1519	8670520.04
17	CS-17	277143.1519	8670520.04
18	CS-18	277166.1519	8670520.04

Nota. Elaboración propia

❖ **Materiales**

El muestreo se realizó el 09 de noviembre del 2022, y se utilizaron los siguientes materiales:

- Picos y rastrillos de plástico
- Baldes
- Costales
- Bolsas de plástico
- Bolsas ziploc
- Cooler
- Cadena de custodia
- Lapiceros
- Cámara fotográfica
- Guantes de goma
- Mascarillas
- Casco
- Balanza
- GPS – UTM Gep Map (aplicativo móvil)

❖ **Metodología**

Se obtuvieron 18 muestras de 1 kg aproximadamente cada una, y luego se mezclaron uniformemente para lograr una muestra compuesta de la cual se extrajeron 900

gr en bolsas ziploc para ser llevados al laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC. Las muestras fueron extraídas con los cuidados necesarios para evitar tener contacto directo con el suelo y evitar su ingreso en el organismo. En campo se llenó la cadena de custodia y se reservaron las muestras herméticamente hasta su entrega al laboratorio Servicios Analíticos Generales (SAG).

Los parámetros solicitados para análisis fueron:

- pH
- materia orgánica
- densidad aparente
- Concentración de metales pesados
- textura y clase textural
- capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los resultados del informe de Laboratorio se pueden observar en el Anexo de la presente tesis. Los ensayos realizados para determinar los parámetros mencionados se detallan a continuación:

Tabla 5

Métodos de análisis de parámetros

Ensayo	Método	L.C.	unidades
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH	---	unid pH
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-200 ítem 7.1.7 Método AS-07.2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
Densidad aparente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-200 ítem 7.1.3 AS-03 – Método de la parafina (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	g/cm ³
metales	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev	---	mg/kg

	5, 2018. Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)		
Textura y clase textural	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-200 ítem 7.1.9 método AS-09 (31 de diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	No aplica	%
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases cambiables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) – suelos ácidos y calcáreos	Norma oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (31 de diciembre 2002), Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. ítem 7.1.13 Método AS-13 Capacidad de Intercambio catiónico y bases intercambiable (suelos ácidos y calcáreos)	---	mEq/100g muestra

L.C. Límite de cuantificación

Nota. Fuente: Laboratorio Servicios Analíticos Generales SAG

3.4 Etapa 2. Prueba de germinación

Previo a la siembra en los maceteros, se realizó la prueba de germinación de las semillas de alfalfa variedad Cuf 101 Mejorada, la cual tiene como características ser rústica, tolerante a sequías, con rápida recuperación del corte y resistente a condiciones extremas. Se obtuvieron de la empresa Alabama SAC. Esta prueba de germinación es importante para conocer la afectación real del relave a las semillas, y conocer la calidad de las semillas previo al experimento.

❖ Materiales

- 100 semillas
- Papel toalla
- Táper de plástico con tapa

❖ Metodología

Se procedió a humedecer el papel toalla y colocarlo en la base del táper, luego a distribuir las 100 semillas de manera uniforme en 10 filas de 10 columnas y se colocó otra tira de papel toalla húmeda, pero sin gotear. La prueba se realizó en el área de trabajo,

domicilio de la tesista, en el mes de noviembre del 2022 a temperatura ambiente, donde se tuvo una temperatura ambiental promedio de 18 °C, según la información disponible en el portal web Power NASA. Luego de 7 días, se contabilizaron las semillas germinadas, cuyo resultado fue 82 de 100, siendo el porcentaje de germinación de 82%. Este resultado coincide con lo indicado por Figueroa et al. (2018), quien indica que la temperatura óptima para el crecimiento de la alfalfa es de 15 a 35 °C y obtuvo un 74% de germinación de semillas de alfalfa en su investigación.

Figura 14

Inicio de prueba de germinación de semillas de alfalfa



Nota. Elaboración propia

Figura 15

7 días de la prueba de germinación de semillas de alfalfa



Nota. Elaboración propia

3.5 Etapa 3. Preparación de sustratos y siembra de semillas

❖ Lugar de ejecución

El área experimental se estableció en el tercer piso de la vivienda de la tesista, ubicado en el distrito de San Juan de Miraflores, donde se acondicionó un espacio de 12 m² protegido con mallas Raschel, para evitar los rayos directos del sol y asegurando la ventilación por los laterales, a fin de mantener el flujo de oxígeno y lograr el crecimiento de las plantas.

Tabla 6*Coordenadas del lugar de ejecución*

Punto	X	Y	Z	Zona
Experimental	0286488	8652278	105	18L

Nota. Elaboración propia**❖ Materiales**

- 15 macetas rotuladas
- Balanza digital
- 50 kg de tierra negra
- 10 kg de muestra del depósito de relaves
- Agua
- Regadera
- Semillas de alfalfa
- Regla

❖ Metodología

Para preparar los 5 tratamientos, con tres repeticiones cada uno, se procedió a establecer las medidas para cada maceta rotulada. En cada maceta se definió 2.7 kg en total, según eso fueron variando los gramos de materia orgánica y relave según las concentraciones ya establecidas. En la siguiente tabla se describen las cantidades utilizadas para cada tratamiento:

Tabla 7*Cantidades pesadas para cada tratamiento*

Tratamiento	Porcentaje	Componente	Cantidad (mg)	Repeticiones
T1	25	relave	675	3
	75	Materia orgánica	2025	3
T2	20	relave	540	3
	80	Materia orgánica	2160	3
T3	15	relave	405	3
	85	Materia orgánica	2295	3
T4	10	relave	270	3
	90	Materia orgánica	2430	3
T5	0	relave	0	3

100	Materia orgánica	2700	3
-----	------------------	------	---

Nota. Elaboración propia

Una vez preparadas las macetas, se procedió a regar el sustrato, hasta lograr que este húmedo. Posterior a ello, se realizaron 5 orificios de medio centímetro de profundidad, y se colocaron 3 semillas en cada orificio, haciendo un total de 15 semillas por maceta.

La distribución de las macetas se realizó de manera aleatoria, en 3 bloques, cada bloque con 1 repetición de cada tratamiento. A continuación, se indica la ubicación de las macetas entre sí, asimismo, cabe señalar que las macetas estaban distanciadas unas de otras por 60 cm de distancia.

Tabla 8

Distribución de macetas

	Bloques		
	I	II	III
	T5	T1	T3
	T4	T5	T2
	T3	T4	T1
	T2	T3	T5
Tratamientos	T1	T2	T4

Nota. Elaboración propia

Figura 16

Vista general de ubicación de las macetas



Nota. Elaboración propia

De izquierda a derecha, Bloque I, Bloque II, y Bloque III, es importante precisar que, según la distribución y por la orientación de la salida y ocultamiento del sol, los bloques I y III tuvieron una exposición mayor a los rayos del sol, que el tratamiento II, ya que el techo era de malla Rachel oscura con 90% de sombra.

3.6 Etapa 4. Análisis de plantas y Análisis de laboratorio

3.6.1 Análisis de plantas instaladas

❖ Parámetros evaluados:

- % de germinados
- Altura promedio de tallos (a los 120 días)
- Grosor de raíces (a los 120 días)
- Peso fresco de hojas y tallos (a los 120 días)

❖ Materiales

- Cinta métrica
- Vernier digital
- Guantes y mascarilla
- Block de apuntes
- Lapicero

- Cámara fotográfica
- Balanza de precisión

❖ Procedimiento

Se realizó el control de las plantas en % de germinados, y en alturas promedios, grosor de raíces y peso fresco de hojas y tallos. Para el control de germinados, a los 7 días de siembra, se realizó el conteo de las semillas que germinaron, teniendo en cuenta que en cada maceta había 15 semillas. La medición de alturas promedio, el grosor de raíces y peso fresco de hojas y tallos se anotaron a los 120 días.

Figura 17

Crecimiento del bloque I a los 120 días



Nota. Elaboración propia

Figura 18

Crecimiento de los bloques II y III a los 120 días



Nota. Elaboración propia

Figura 19

Medición de alturas



Nota. Elaboración propia

Figura 20

Medición del grosor de raíces



Nota. Elaboración propia

Figura 21

Toma de muestras del suelo y alfalfa para análisis final en laboratorio



Nota. Elaboración propia

Posteriormente, esta información se sistematizó e ingresó al Excel y al software Info Stat, versión estudiantil.

3.6.2 Análisis de laboratorio

En el laboratorio de Servicios Analíticos Generales SAC, se analizaron las muestras de suelo y plantas, según los siguientes parámetros:

- Análisis de metales pesados en plantas
- Análisis del pH del suelo
- Análisis de materia orgánica en suelo
- Análisis de densidad aparente en suelo
- Análisis de metales pesados en suelo
- Análisis de textura del suelo
- Análisis de CIC del suelo

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Resultados

4.1.1 Características físicas del suelo contaminado

De acuerdo con el Informe de ensayo N° 167246-2022 de Laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC, se obtuvieron los siguientes resultados:

❖ Resultado de pH

La muestra de suelo del depósito de relave de la UNI arrojó un pH de 6.09.

❖ Resultado de materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en la muestra compuesta proveniente del depósito de relave de la UNI resultó ser 1.28%.

❖ Resultado de densidad aparente

La densidad aparente de la muestra de suelo fue 1.42 g/cm³.

❖ Resultado de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC de la muestra de suelo resultó 5.08 mEq/100 g.

❖ Análisis de Textura del suelo

El resultado del análisis de textura del suelo fue de Franco Arenoso, según la siguiente tabla.

Tabla 9*Textura del relave*

Composición			Denominación
% Arena	% Limo	% Arcilla	
62	25	13	Franco Arenoso

Nota. fuente: Informe de Ensayo N° 167246-2022

Esta textura indica un suelo compactado, con una porosidad inadecuada para las plantas (Hossne et al., 2009).

4.1.2 Contenido inicial de metales pesados en suelo del depósito de relave

Del Informe de Ensayo, se extrajeron los principales resultados de metales pesados y se realizó la comparación con el ECA Suelo, para zona residenciales y/o parques:

Tabla 10*Comparación de parámetros del suelo con el ECA Suelo*

Metales	Resultados	ECA	Unidades
		Suelo Residencial/Parques	
Antimonio	130.08	-	mg/kg
Arsénico	1610.71	50	mg/kg
Cadmio	86.16	10	mg/kg
Cromo	9.74	-	mg/kg
Estaño	11.21	-	mg/kg
Mercurio	12.31	6.6	mg/kg
Molibdeno	51.74	-	mg/kg
Plata	35.67	-	mg/kg
Plomo	>5000	140	mg/kg
Zinc	>5000	-	mg/kg

Nota. Elaboración propia

Para algunos metales, se puede observar que no se cuenta con un valor en el Estándar de Calidad Peruano. Asimismo, los metales: arsénico, cadmio, mercurio y plomo superan los valores máximos permitido por el ECA Suelo.

4.1.3 Determinación del efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado con relave

Del Informe de Ensayo N° 17304-2023, del laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC, del 21 de junio del 2023, del análisis de las características físicas del suelo posterior al proceso de fitorremediación con el *Medicago Sativa L.* “alfalfa”, indica los siguientes resultados.

Tabla 11

Resultados de los tratamientos del bloque I

Parámetros	Tratamientos				
	I-T1	I-T2	I-T3	I-T4	I-T5
M.O. (%)	51.2	54.91	45	48.89	54.6
pH	6.77	6.69	6.73	6.42	6.91
Dens. Apar. (g/cm ³)	0.84	0.83	0.83	0.75	0.75
CIC (mEq/100 g muestra)	22.54	26.76	17.77	8.21	38.85
Textura	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

Tabla 12

Resultados de los tratamientos del bloque II

Parámetros	Tratamientos				
	II-T1	II-T2	II-T3	II-T4	II-T5
M.O. (%)	47.31	52.7	53.91	50.5	69.3
pH	6.56	6.84	6.65	6.38	7.08
Dens. Apar. (g/cm ³)	0.74	0.74	0.75	0.74	0.53
CIC (mEq/100 g muestra)	28.88	27.4	26.91	25.13	31.66
Textura	Franco	Franco	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

Tabla 13*Resultados de los tratamientos del bloque III*

Parámetros	Tratamientos				
	III-T1	III-T2	III-T3	III-T4	III-T5
M.O. (%)	48.2	43.81	53.2	59.81	77.11
pH	6.64	6.65	6.63	6.92	7.12
Dens. Apar. (g/cm ³)	0.73	0.69	0.65	0.6	0.59
CIC (mEq/100 g muestra)	21.45	24.21	19.06	23.8	23.04
Textura	Franco Limoso	Franco	Franco	Franco Limoso	Franco Limoso

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

4.1.4 Resultados de las concentraciones de metales pesados en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería

❖ Resultados de Plomo y Cadmio en Suelo

Tabla 14*Resultados de metales pesados del bloque I*

Ensayo	I-T1	I-T2	I-T3	I-T4	I-T5
Plomo (mg/kg)	4337.96	3397.42	3233.07	2806.68	146.04
Cadmio (mg/kg)	32.54	26.88	25.22	21.62	1.82

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

Tabla 15*Resultados de metales pesados del bloque II*

Ensayo	II-T1	II-T2	II-T3	II-T4	II-T5
Plomo (mg/kg)	4392.54	3603.24	3177.98	2782.76	170.76
Cadmio (mg/kg)	32.24	27.92	23.31	22.89	1.78

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

Tabla 16*Resultados de metales pesados del bloque III*

Ensayo	III-T1	III-T2	III-T3	III-T4	III-T5
Plomo (mg/kg)	4610.13	3957.07	3209.56	2223.83	108.44
Cadmio (mg/kg)	34.79	30.02	22.71	17.61	1.37

Nota. Fuente: Informe de Ensayo N° 173074-2023 Laboratorio SAG

4.1.5 Resultados del comportamiento del crecimiento del Medicado Sativa L. durante la fitorremediación del suelo contaminado con relave

❖ % germinados

En la siguiente tabla se indican los porcentajes de semillas germinadas en las macetas, a los 7 días de realizada a siembra.

Tabla 17

Resultados de % germinados de bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	% germinados
I	1	100
I	2	93
I	3	93
I	4	100
I	5	100
II	1	73
II	2	100
II	3	100
II	4	100
II	5	80
III	1	100
III	2	73
III	3	73
III	4	100
III	5	100

Nota. Elaboración propia

❖ Alturas promedio de última medición

En la siguiente tabla, se indican las alturas promedio de las alfalfas, medidas a los 120 días de siembra.

Tabla 18

Resultados de altura promedio de bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	Altura promedio (cm)
--------	-------------	----------------------

I	1	5,13
I	2	10
I	3	10,7
I	4	17,53
I	5	23,08
II	1	11,73
II	2	14,28
II	3	9,78
II	4	15,93
II	5	22,35
III	1	9,6
III	2	12,33
III	3	17,9
III	4	14,27
III	5	20,1

Nota. Elaboración propia

❖ Grosor raíces

Tabla 19

Resultados de grosor de raíces promedio de bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	Grosor raíces promedio (cm)
I	1	1,32
I	2	2,12
I	3	2,05
I	4	3,1
I	5	4,25
II	1	0,95
II	2	1,92
II	3	1,49
II	4	2,17
II	5	3,42
III	1	0,94
III	2	1,8
III	3	1,68
III	4	2,95
III	5	3,79

Nota. Elaboración propia

❖ **Peso fresco de plantas**

Tabla 20

Resultados de peso fresco de plantas en bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	Peso plantas
I	1	3,8
I	2	8,8
I	3	9,8
I	4	22,5
I	5	46,2
II	1	9,5
II	2	9,6
II	3	4,7
II	4	15,9
II	5	30,6
IV	1	4,5
IV	2	15,2
IV	3	26,2
IV	4	19,7
IV	5	23,7

Nota. Elaboración propia

❖ **Cadmio en Plantas**

Tabla 21

Resultados de concentración de cadmio de bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	Cadmio (mg/kg)
I	1	0,16
I	2	0,12
I	3	0,17
I	4	0,06
I	5	0,02
II	1	0,39
II	2	0,16
II	3	0,2
II	4	0,04
II	5	0,01
III	1	0,26
III	2	0,23
III	3	0,42
III	4	0,07

III	5	0,01
-----	---	------

Nota. Elaboración propia

❖ Plomo en Plantas

Tabla 22

Resultados de concentración de plomo de bloques I, II y III

Bloque	Tratamiento	Plomo (mg/kg)
I	1	0,51
I	2	0,92
I	3	0,94
I	4	0,21
I	5	0,11
II	1	1,27
II	2	1,2
II	3	1,1
II	4	0,16
II	5	0,07
III	1	0,86
III	2	1,79
III	3	2,27
III	4	0,26
III	5	0,05

Nota. Elaboración propia

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Características físicas del suelo contaminado

❖ Resultado de pH

La muestra de suelo del depósito de relave de la UNI arrojó un pH de 6.09, lo cual indica que es un suelo con tendencia a ser ácido. Es muy importante estudiar cómo los metales contaminantes en el suelo pueden volverse "biodisponibles". Si estos metales tienen una alta biodisponibilidad, pueden entrar en la cadena alimentaria y afectar nuestra salud. Normalmente, la biodisponibilidad de los metales disminuye cuando el pH del suelo es más alto. Es decir, cuando el pH del suelo es bajo, los metales son más biodisponibles y peligrosos. (García et al., 2002)

El suelo de la UNI posee un pH ligeramente por debajo de un suelo que se podría considerar saludable y bueno para el crecimiento de las plantas, el cual es entre 6 y 7.5. (Proyecto UNICA «Universidad en el Campo», 2011)

Por otra parte, según el Decreto Supremo N° 005-2022- MIDAGRI, que aprueba el reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, se considera un suelo moderadamente ácido, según la siguiente tabla.

Tabla 23

Clase de suelo según el pH

Rangos	Clases
Menor de 3.5	Ultra ácido
3.6 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
Más de 9.0	Muy fuertemente alcalino

Nota. Fuente (DS 005-2022-MIDAGRI)

❖ Resultado de materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica en la muestra compuesta proveniente del depósito de relave de la UNI resultó ser 1.28%. La materia orgánica es un indicador de fertilidad del suelo, donde según el Decreto Supremo N° 005-2022- MIDAGRI, que aprueba el reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, una concentración menor al 2% significa bajo nivel de materia orgánica y por ende bajo nivel de fertilidad, en los 30 cm de capa superficial.

Tabla 24*Nivel de fertilidad según la materia orgánica*

Nivel	Materia orgánica
Bajo	Menor de 2
Medio	2 - 4
Alto	Mayor de 4

Nota. Fuente: (DS 005-2022- MIDAGRI)

❖ Resultado de densidad aparente

La densidad aparente de la muestra de suelo fue 1.42 g/cm³, lo que se considera una densidad aparente alta que genera condiciones de baja permeabilidad y aireación, y es malo para el crecimiento de raíces. Valores por debajo de 1.3 g/cm³ indican un suelo poroso con buena permeabilidad, aireación y condiciones ideales para el desarrollo radicular (Bonta, 2011).

En suelos arenosos la densidad aparente oscila entre 1,2 y 1,6 g/cm³, y esta se ve afectada por la naturaleza, la disposición de las partículas del suelo y el tamaño. (Koicheoski, 2022)

❖ Resultado de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC de la muestra de suelo resultó 5.08 mEq/100 g, lo cual indica un nivel bajo de disponibilidad de nutrientes, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013), que a su vez, indica que valores mayores a 10 mEq/100 g, se considera un nivel medio de disponibilidad de nutrientes, y mayores a 20 mEq/100 g, se considera un nivel alto.

Un suelo bajo en CIC indica además que es un suelo arenoso o pobre en materia orgánica.

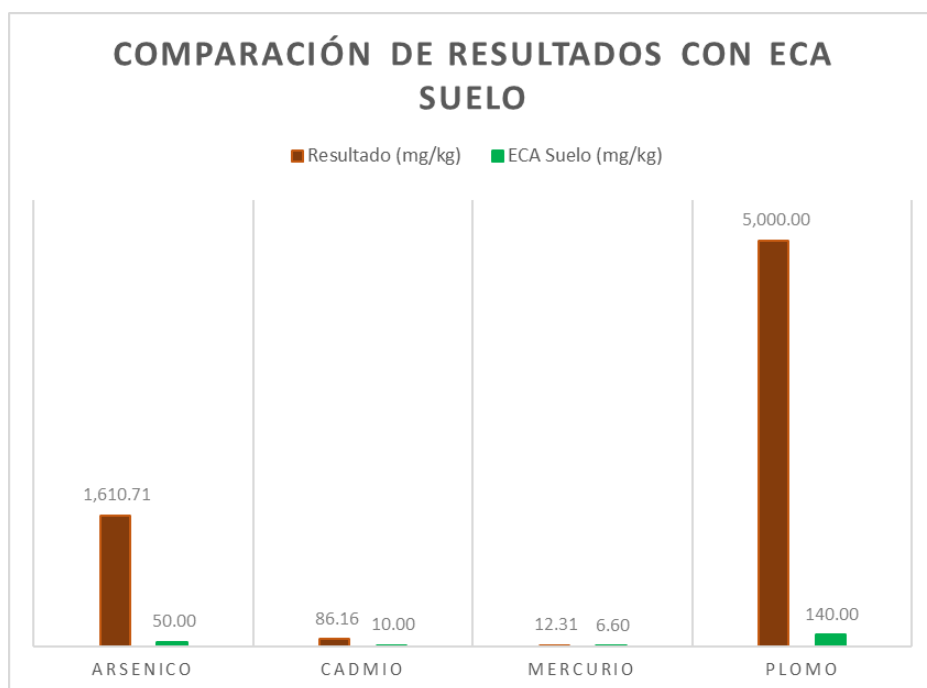
❖ Análisis de Textura del suelo

La textura franco arenoso indica un suelo compactado, con una porosidad inadecuada para el crecimiento de plantas (Hossne García et al., 2009). Por su parte, la FAO (1999) lo describe como un suelo áspero, que no forma figuras y mancha la mano.

4.2.2 Contenido de metales pesados en suelo del depósito de relave

Figura 22

Comparación gráfica de resultados de metales pesados con ECA Suelo



Nota. Elaboración propia

En la siguiente tabla se puede apreciar el porcentaje de superación con respecto a los valores del ECA Suelo según D.S. N° 011-2017-MINAM, categoría residencial y parques, y acorde a los parámetros que se han podido analizar. Se observa que el nivel de superación llega hasta 3471% para el plomo, sin embargo, considerando que el valor real es superior a 5000 mg/kg, este porcentaje sería mayor. El elemento que supera, pero en menor amplitud es el mercurio, en 87% con respecto al valor del ECA Suelo.

Tabla 25*Análisis de porcentaje de superación del ECA*

	Resultado (mg/kg)	ECA Suelo (mg/kg)	% de superación
Arsénico	1,610.71	50.00	3121%
Cadmio	86.16	10.00	762%
Mercurio	12.31	6.60	87%
Plomo	>5,000.00	140.00	3471%

Nota. Elaboración propia

4.2.3 Análisis del efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado con relave

❖ Resultados de Materia orgánica

En la Tabla 12 se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia (ns) y entre tratamientos tampoco, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 54.03%, con un coeficiente de varianza 12.71% en la medición de la materia orgánica en el sustrato suelo.

Tabla 26*Análisis de Varianza en materia orgánica en suelos*

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloques	2	79.61	39.81	0.84	0.4652	ns
Tratamientos	4	657.7	164.43	3.48	0.0626	ns
Error	8	377.55	47.19			
Total	14	1114.87				

ns= no significancia

*= significancia

CV= 12.71

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo mayor cantidad de materia orgánica con 67%, y se diferencia de los demás tratamientos estudiados; en cambio entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4 no hubo diferencia estadística

significativa, pero si existió una diferencia numérica como se puede apreciar en la Tabla 13. El tratamiento T4 superó al tratamiento T1 en un 8.52%.

Tabla 27

Comparación de materia orgánica en suelos entre tratamientos

Tratamientos	Muestras	M.O.	Prueba de Scott& Knott
1	25% Relave-75%MO	48.9	A
2	20% Relave-80%MO	50.47	A
3	15% Relave-85%MO	50.7	A
4	10% Relave-90%MO	53.07	A
5	Control	67	B

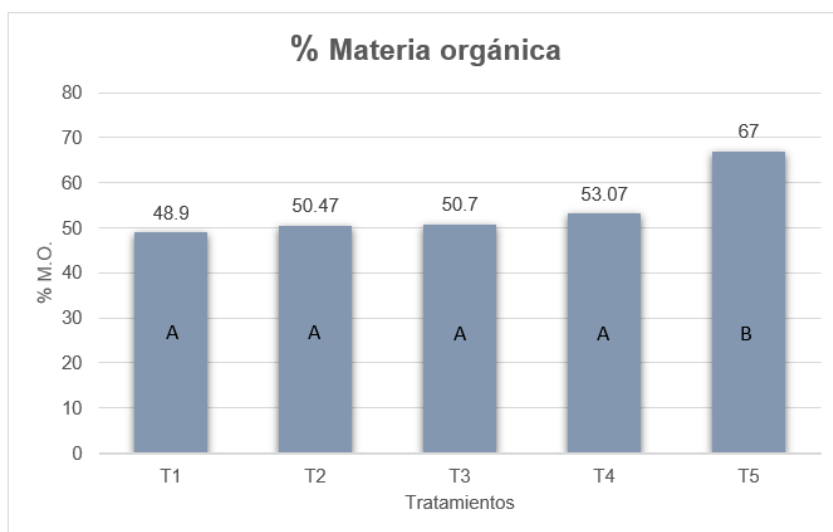
Medias con letra en común no son diferentes significativamente ($p>0.05$)

Nota. Elaboración propia

En la siguiente Figura se observa claramente, en cuanto al promedio de porcentaje de materia orgánica por tratamiento, el T5 a superó a los demás tratamientos.

Figura 23

Diferencia en concentraciones de materia orgánica por tratamientos



Nota. Elaboración propia

Los resultados se pueden interpretar como que los niveles de relave iniciales entre los tratamientos 1, 2, 3 y 4 no causan una diferencia significativa en la concentración final de materia orgánica, y podría sugerir que hay un comportamiento similar entre estos

tratamientos. Generalmente, al adicionar materia orgánica en el suelo su concentración aumenta pues se descompone e incorpora a la matriz del suelo, ayudando en la inmovilización de los metales pesados y disminuyendo su disponibilidad para las plantas (Zhao et al., 2015). La materia orgánica es un factor clave para reducir la movilidad del metal pesado, pero en ciertos casos, un exceso de materia orgánica puede no mostrar diferencias significativas entre comparaciones con proporciones mixtas de relaves (Kumpiene et al., 2008).

❖ Resultados de CIC

En la Tabla 14 se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia (ns) y entre tratamientos tampoco, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 24.38 mEq/100g, con un coeficiente de varianza 24.71% en la medición de CIC en el sustrato suelo.

Tabla 28

Análisis de Varianza en CIC en suelos

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	4	262.78	65.7	1.81	0.2202	ns
Bloque	2	98.83	49.42	1.36	0.3098	ns
Error	8	290.35	36.29			
Total	14	651.97				

ns= no significancia

CV= 24.71

Nota. Elaboración propia

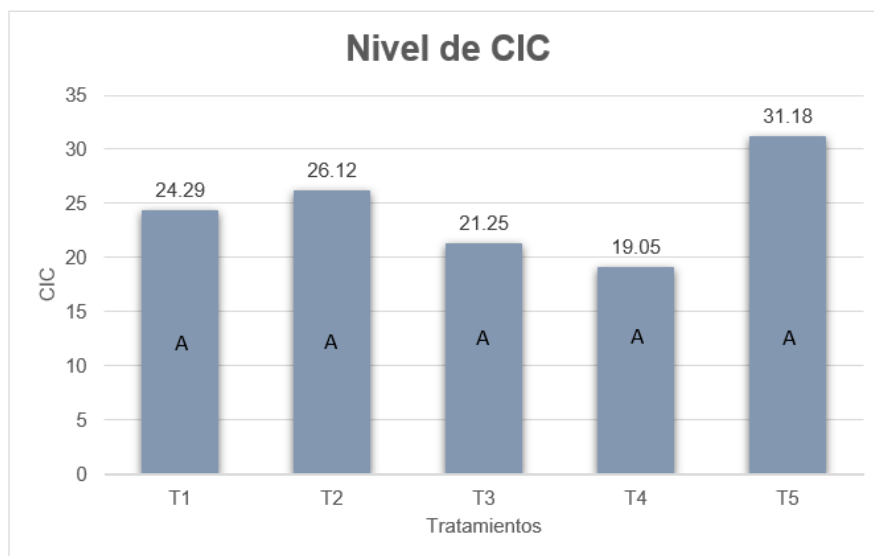
Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo mayor valor de CIC 31.18 mEq/100g; en general entre los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 no hubo diferencia significativa, mas si existiendo una diferencia numérica como se puede apreciar en la Tabla 28. El tratamiento T5 superó al tratamiento T4 en un 63.7%.

Tabla 29*Comparación de CIC en suelos entre tratamientos*

Tratamientos	Muestra	CIC	Prueba de Scott & Knott
4	10% Relave-90%MO	19.05	A
3	15% Relave-85%MO	21.25	A
1	25% Relave-75%MO	24.29	A
2	20% Relave-80%MO	26.12	A
5	Control	31.18	A

Nota. Elaboración propia

En la Figura 17 se observa claramente, en cuanto al promedio de porcentaje de materia orgánica por tratamiento, el T2 a superó a los demás tratamientos, excepto al control.

Figura 24*Diferencia de CIC por tratamientos**Nota.* Elaboración propia

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013), el nivel de CIC de tratamiento 4 se consideraría medio, y de los tratamientos 1, 2 y 3, sería alto, con respecto al nivel de disponibilidad de nutrientes.

De los resultados se puede interpretar que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, respecto al nivel de CIC a los 120 días del experimento, lo cual es consistente con los resultados obtenidos por Alvarenga et al. (2008), quien utilizó diferentes cantidades de enmiendas orgánicas y no se produjeron diferencias significativas en la CIC, explicado por la alta cantidad de materia orgánica que ayuda a la retención de cationes y regulación del pH. En el T1 y T2 se observa mayor CIC puesto que la alfalfa absorbió más metales pesados en vez de nutrientes, en comparación con los demás tratamientos.

❖ Resultados de Ph - Suelo

En la Tabla 16 se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia (ns) y entre tratamientos no existió una significancia, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 6.73, con un coeficiente de varianza 2.51% en la medición de pH en el sustrato suelo.

Tabla 30

Análisis de Varianza de pH en suelos

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	4	0.38	0.1	3.36	0.0679	ns
Bloque	2	0.03	0.01	0.46	0.6446	ns
Error	8	0.23	0.03			
Total	14	0.64				

ns= no significancia

*= significancia

CV= 2.51

Nota. Elaboración propia

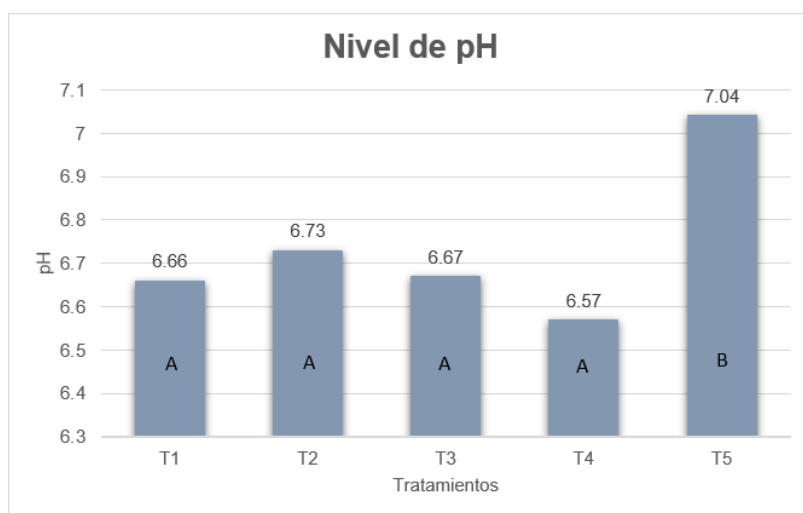
Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo mayor pH con 7.04, y se diferencia de los demás tratamientos estudiados; en cambio entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4 no hubo diferencia estadística, mas si existiendo una diferencia numérica como se puede apreciar en la Tabla 13. El tratamiento T5 superó al tratamiento T1 en un 5.7%.

Tabla 31*Comparación de pH en suelos entre tratamientos*

Tratamientos	Muestra	pH	Prueba de Scott & Knott
4	10% Relave-90%MO	6.57	A
1	25% Relave-75%MO	6.66	A
3	15% Relave-85%MO	6.67	A
2	20% Relave-80%MO	6.73	A
5	Control	7.04	B

Medias con letra en común no son diferentes significativamente ($p>0.05$)*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 23 se observa claramente, en cuanto al pH por tratamiento, el T2 a superó a los demás tratamientos, excepto al control, pero no existe diferencia significativa.

Figura 25*Diferencia en pH por tratamientos**Nota.* Elaboración propia

El pH del suelo del tratamiento 4 está dentro del rango de ligeramente ácido, mientras que el de los tratamientos 1, 2 y 3, son neutros, indicando una mejoría del pH inicial del relave, el cual era moderadamente ácido.

La materia orgánica mostró un comportamiento amortiguador de pH, ya que el promedio de este entre los tratamientos 1, 2, 3 y 4, fue de 6.6, logrando mantener los

niveles estables ante la presencia del relave, sin mostrar diferencias significativas. Esto es consistente con lo indicado por Jindo et al. (2023), quien manifiesta que suelos con mayor materia orgánica tienden a tener un pH estable, y en algunos casos más elevados por la descomposición que libera bases como Ca^{2+} y Mg^{2+} , y que neutralizan la acidez.

❖ Resultados de la Densidad Aparente - Suelo

En la Tabla 18 se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques existió significancia y entre tratamientos también existió una significancia, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 0.72, con un coeficiente de varianza 6.36% en la medición de densidad aparente en el sustrato suelo.

Tabla 32

Análisis de Varianza de densidad aparente en suelos

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamiento	4	0.04	0.01	5.05	0.0251	*
Bloque	2	0.06	0.03	13.69	0.0026	*
Error	8	0.02	0.0021			
Total	14	0.12				

*= significancia

CV= 6.36

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo la menor densidad aparente con 0.62, y se diferencia de los demás tratamientos estudiados; en cambio entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4 no hubo diferencia, pero si existiendo una diferencia numérica como se puede apreciar en la Tabla 19. El tratamiento T1 superó al tratamiento T5 en un 24.1%.

Tabla 33

Comparación de densidad aparente en suelos entre tratamientos

Tratamientos	Muestra	D.A.	Prueba de Scott & Knott
5	Control	0.62	A
4	10% Relave-90%MO	0.7	B

3	15% Relave-85%MO	0.74	B
2	20% Relave-80%MO	0.75	B
1	25% Relave-75%MO	0.77	B

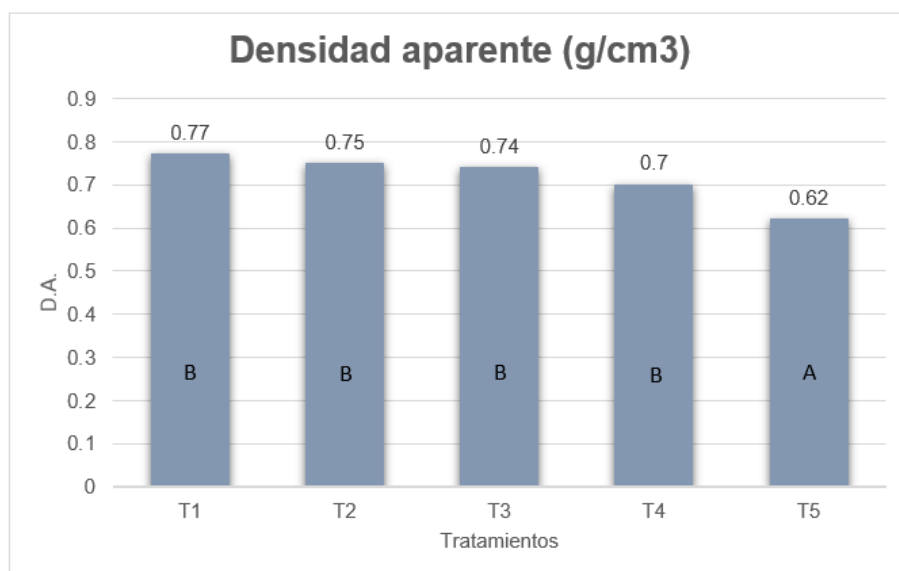
Medias con letra en común no son diferentes significativamente ($p>0.05$)

Nota. Elaboración propia

En la Figura 26 se observa que, en cuanto a la densidad aparente por tratamiento, el T1 superó a los demás tratamientos inclusive el control, pero no hubo diferencia significativa.

Figura 26

Diferencia en densidad aparente por tratamientos



Nota. Elaboración propia

La densidad aparente de todos los tratamientos, incluyendo el T1 con un 25% de relave, se encontraron por debajo de 1.3 g/cm³, lo cual indica un suelo con buena permeabilidad, aireación y condiciones favorables para desarrollo de raíces (Bonta, 2011).

Según lo precisado anteriormente, los resultados son compatibles con Castelo-Gutiérrez et al. (2016), quien concluyó que la materia orgánica es un mejorador de la calidad del suelo, especialmente en sus características físicoquímicas.

4.2.4 Análisis de las concentraciones de metales pesados en el suelo contaminado con relave de la Universidad Nacional de Ingeniería

❖ Resultados de Pb - Suelo

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia (ns), pero si entre tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 2810.5 mg/kg, y con un coeficiente de varianza 8.13% en el nivel de Plomo en suelo.

Tabla 34

Análisis de Varianza de plomo en suelos

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	5207.05	2603.53	0.05	0.9516	ns
Tratamiento	4	32125928	8031482	153.87	<0.0001	**
Error	8	417576	52197			
Total	14	32548712				

Ns= no significancia

**= alta significancia

CV= 8.13

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo la menor concentración de plomo con 141.75 mg/kg, y se diferencia de los demás tratamientos estudiados, asimismo hubo diferencias entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, pero no hubo diferencia entre los tratamientos T3 y T4. El tratamiento T1 superó al tratamiento T4 en un 71%.

Tabla 35

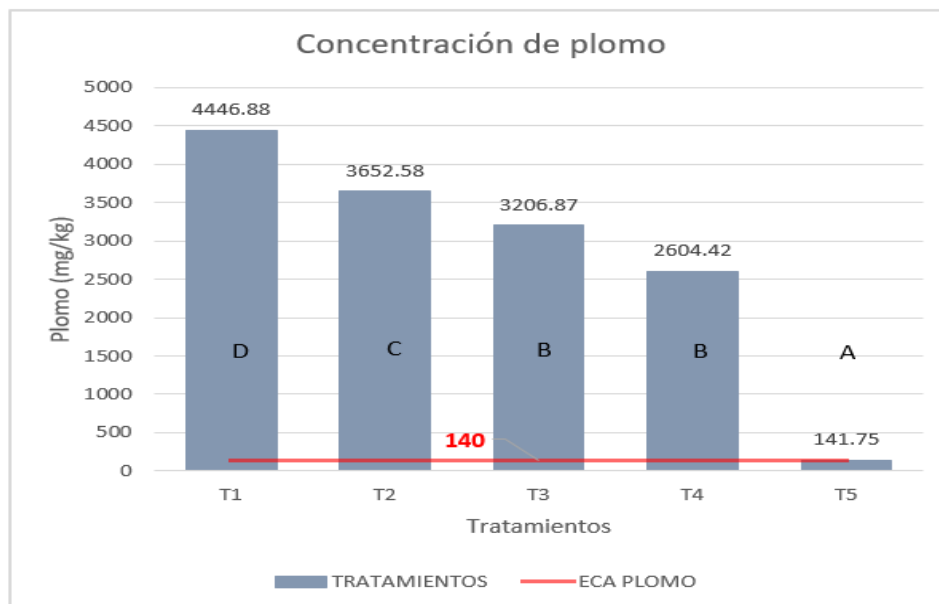
Comparación de plomo en suelos entre tratamientos

Tratamientos	Muestra	Plomo	Prueba de Scott & Knott			
5	Control	141.75	A			
4	10% Relave-90%MO	2604.42		B		
3	15% Relave-85%MO	3206.87		B		
2	20% Relave-80%MO	3652.58			C	
1	25% Relave-75%MO	4446.88				D

Nota. Elaboración propia

Figura 27

Diferencia en concentraciones de plomo por tratamientos



Nota. Elaboración propia

Se observa una disminución progresiva en las concentraciones de plomo a medida que aumenta la proporción de materia orgánica y disminuye la cantidad de relave en los tratamientos. A su vez, todos los tratamientos superaron el ECA Plomo.

❖ Resultados de Cd- Suelo

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, pero sí entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 21.516 mg/kg, y con un coeficiente de varianza 8.6% en la medición de concentración de cadmio en el suelo.

Tabla 36

Análisis de Varianza de cadmio en suelos

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	0.35	0.17	0.05	0.9511	ns

Tratamiento	4	1745.9	436.48	127.41	<0.0001	**
Error	8	27.41	3.43			
Total	14	1773.66				

Ns= no significancia

**= alta significancia

CV= 8.6%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T5 (Control) obtuvo la menor concentración de cadmio con 1.66 mg/kg, y se diferencia de los demás tratamientos estudiados. Asimismo, hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, excepto entre los tratamientos 4 y 3, donde solo hubo diferencia numérica. El tratamiento T1 superó al tratamiento T4 en un 60%.

Tabla 37

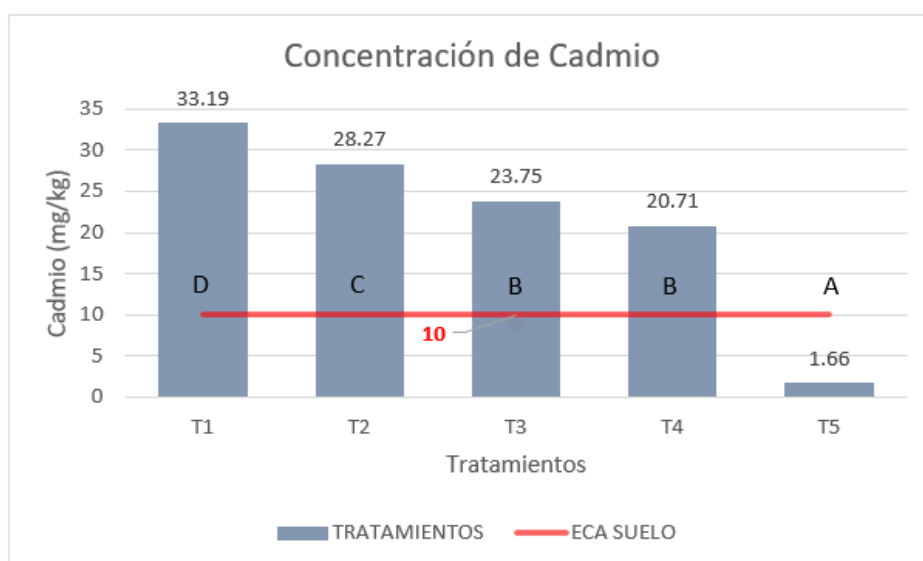
Comparación de cadmio en suelos entre tratamientos

Tratamiento	Muestra	Cadmio	Prueba de Scott & Knott		
5	Control	1.66	A		
4	10% Relave-90%MO	20.71		B	
3	15% Relave-85%MO	23.75		B	
2	20% Relave-80%MO	28.27			C
1	25% Relave-75%MO	33.19			D

Nota. Elaboración propia

Figura 28

Diferencia en concentraciones de cadmio por tratamientos



Nota. Elaboración propia

Las concentraciones de cadmio presentaron un comportamiento similar al del plomo, donde hay una disminución de concentraciones a medida que aumenta la proporción de materia orgánica.

Cabe mencionar que el promedio del pH del suelo de todos los tratamientos fue 6.73, el cual se considera neutro y es ideal para la captación de cadmio, ya que permite la disponibilidad de nutrientes para las plantas y existe una menor toxicidad del cadmio para las plantas (Zheng et al., 2024).

Asimismo, la materia orgánica tiene una alta capacidad para inmovilizar el cadmio a través de la formación de complejos con sus componentes, como ácidos húmicos y fúlvicos. Estos compuestos pueden unirse al cadmio, reduciendo su movilidad y biodisponibilidad a las plantas (Houben et al., 2013).

4.2.5 Análisis del comportamiento del crecimiento del Medicado Sativa L. durante la fitorremediación del suelo contaminado con relave

❖ % germinados

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, y tampoco entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 92.33% de germinación, y con un coeficiente de varianza 14.10% en la medición del % de germinación.

Tabla 38

Análisis de Varianza de % de semillas germinadas

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	182.53	91.27	0.54	0.6033	ns
Tratamiento	4	265.33	66.33	0.39	0.8094	ns
Error	8	1355.47	169.43			
Total	14	1803.33				

Ns= no significancia
CV= 14.10%
Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, los tratamientos T3 y T2 obtuvieron el menor % de germinados en semillas, ambos con 88.67%, sin embargo, no se diferencian de los demás tratamientos estudiados. Asimismo, no hubo diferencias estadísticas entre todos los tratamientos, tan solo diferencia numérica. El tratamiento T4 tuvo el % máximo de germinación, es decir 100%.

Tabla 39

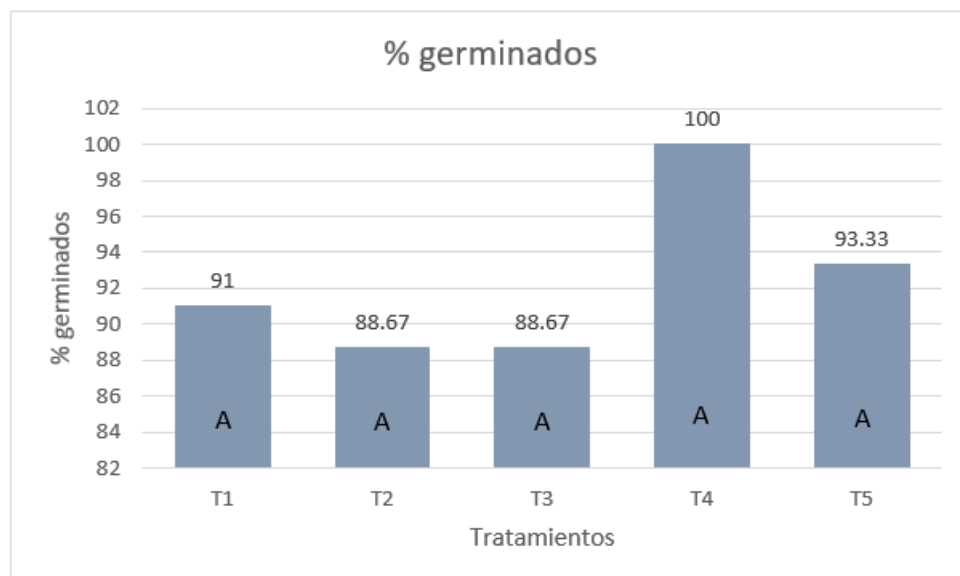
Comparación de % de semillas germinadas entre tratamientos

Tratamiento	Muestra	% germinados promedios	Prueba de Scott & Knott
3	15% Relave-85%MO	88.67	A
2	20% Relave-80%MO	88.67	A
1	25% Relave-75%MO	91	A
5	Control	93.33	A
4	10% Relave-90%MO	100	A

Nota. Elaboración propia

Figura 29

Diferencia en % de germinados de las semillas



Nota. Elaboración propia

Que no exista diferencia significativa entre los tratamientos, se puede interpretar como que existe una buena tolerancia de la especie *Medicago Sativa L.* a los metales pesados, esto se sustenta con lo mencionado por Diaz (2020), quien reportó que esta especie tuvo alta tolerancia al plomo puesto que no presentó marchitamiento severo ni muerte de individuos cuando fue sembrado en diferentes concentraciones.

❖ Alturas promedio de alfalfa en última medición (120 días)

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, pero si entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 14.312 cm de altura, y con un coeficiente de varianza 21.20% en la medición la altura promedio.

Tabla 40

Análisis de Varianza de altura promedio de alfalfa

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	7.9	3.95	0.43	0.6654	ns
Tratamiento	4	288.57	72.14	7.84	0.0072	**
Error	8	73.66	9.21			
Total	14	370.12				

Ns= no significancia

**= alta significancia

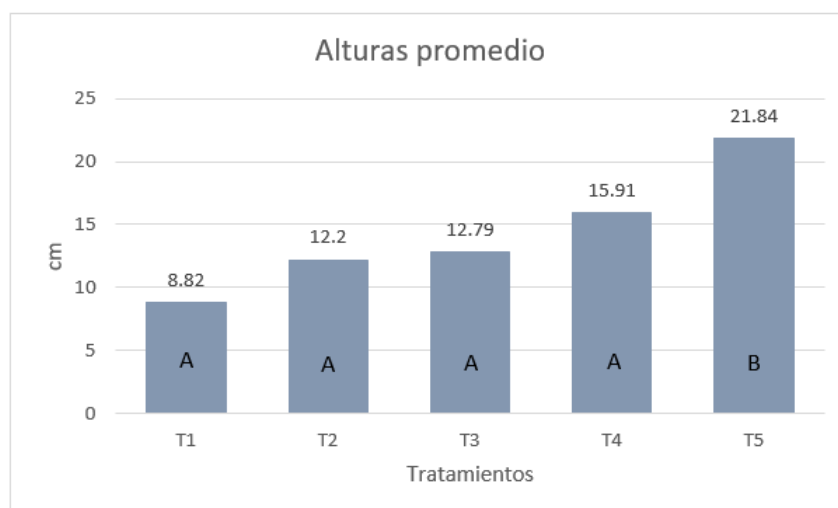
CV= 21.20%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T1 obtuvo la menor altura promedio, con 8.82 cm, y no se diferencia significativamente de los demás tratamientos estudiados, excepto del T5. Por otra parte, no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, tan solo diferencia numérica. El tratamiento T5 tuvo la máxima altura promedio, con 21.84 cm.

Tabla 41*Comparación de alturas promedio de alfalfa entre tratamientos*

Tratamiento	Muestra	Altura promedio	Prueba de Scott & Knott
1	25% Relave-75%MO	8.82	A
2	20% Relave-80%MO	12.2	A
3	15% Relave-85%MO	12.79	A
4	10% Relave-90%MO	15.91	A
5	Control	21.84	B

Nota. Elaboración propia**Figura 30***Diferencia en alturas promedio**Nota.* Elaboración propia

La figura anterior indica que la altura promedio de la alfalfa aumenta a medida que la proporción de materia orgánica aumenta. Sin embargo, a nivel estadístico, los tratamientos 1, 2, 3 y 4 tienen un mismo nivel de significancia, lo que podría sugerir que la alfalfa superó las condiciones tóxicas del relave en el suelo de manera favorable, y que podría tolerar y desarrollarse en un sustrato con mayor proporción de relave.

❖ Grosor raíces

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, pero si entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05)

con un resultado de promedio general de 2.264 cm de grosor, y con un coeficiente de varianza 8.7% en la medición del grosor de raíces.

Tabla 42

Análisis de Varianza de grosor de raíces de alfalfa

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	0.84	0.42	10.87	0.0052	**
Tratamiento	4	13.35	3.34	86.08	<0.0001	**
Error	8	0.31	0.04			
Total	14	14.5				

**= alta significancia

CV= 8.7%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T1 obtuvo la menor altura promedio, con 8.82 cm, y no se diferencia significativamente de los demás tratamientos estudiados, excepto el T5. Por otra parte, no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, tan solo diferencia numérica. El tratamiento T5 tuvo la máxima altura promedio, con 21.84 cm.

Tabla 43

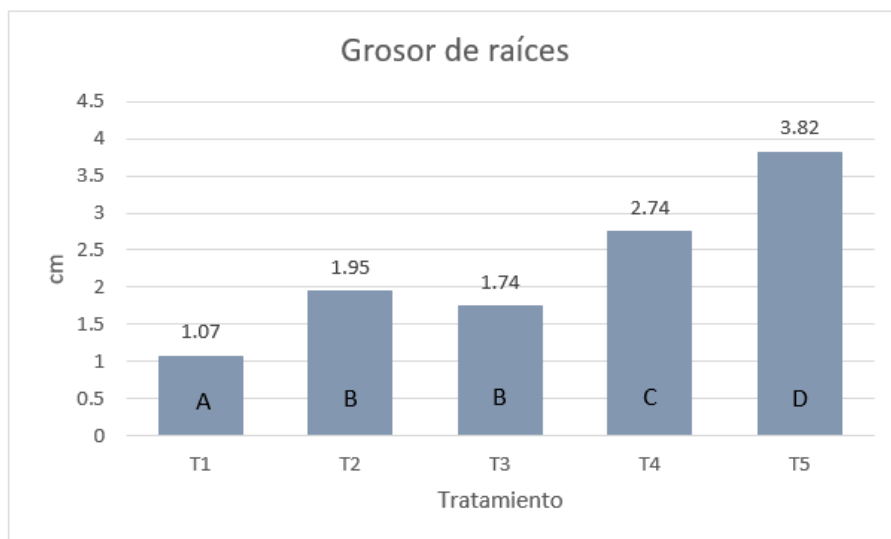
Comparación de grosor de raíces de alfalfa entre tratamientos

Tratamiento	Muestra	Grosor promedio	Prueba de Scott & Knott			
1	25% Relave-75%MO	1.07	A			
3	15% Relave-85%MO	1.74				
2	20% Relave-80%MO	1.95				
4	10% Relave-90%MO	2.74	C			
5	Control	3.82				

Nota. Elaboración propia

Figura 31

Diferencia en grosor promedio de raíces



Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se observa como a medida que disminuye la concentración de relave, el grosor de las raíces aumenta, teniendo un nivel máximo en el tratamiento 5, y sugiriendo que las condiciones más tóxicas del relave limitan el crecimiento radicular, y aunque los tratamientos 2, 3 y 4 también tenían relave, presentaron un mayor grosor.

Este patrón sugiere que la presencia de relave minero afecta negativamente el desarrollo radicular de la alfalfa, lo cual es coherente con estudios que señalan que los relaves contienen metales pesados y compuestos tóxicos que alteran la absorción de nutrientes, el equilibrio osmótico y la fisiología de las raíces (Chibuike & Obiora, 2014).

❖ **Peso fresco de tallos y raíces**

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, pero si entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 16.1 gramos, y con un coeficiente de varianza 48.73% en la medición de peso.

Tabla 44*Análisis de Varianza de peso fresco de alfalfa*

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	53.13	26.56	0.4	0.6827	ns
Tratamiento	4	1336.02	334	5.04	0.0252	*
Error	8	530.61	66.33			
Total	14	1919.76				

Ns= no significancia

*= significancia

CV= 48.73%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T1 obtuvo el menor peso fresco promedio, con 5.93 g, y no se diferencia significativamente de los demás tratamientos estudiados, excepto del T5. Por otra parte, no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, tan solo diferencia numérica. El tratamiento T5 tuvo el máxima peso, con 33.5 g.

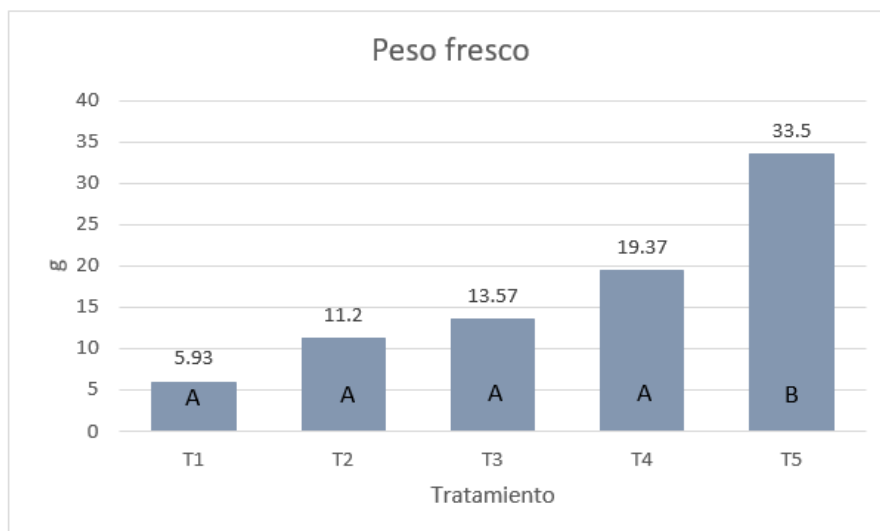
Tabla 45*Comparación de pesos promedio de alfalfa entre tratamientos*

Tratamiento	Muestra	Peso promedio	Prueba de Scott & Knott
1	25% Relave-75%MO	5.93	A
2	20% Relave-80%MO	11.2	A
3	15% Relave-85%MO	13.57	A
4	10% Relave-90%MO	19.37	A
5	Control	33.5	B

Nota. Elaboración propia

Figura 32

Diferencia en pesos promedio



Nota. Elaboración propia

El tratamiento control tuvo un peso significativamente mayor que el resto, indicando que, sin presencia del relave, la alfalfa desarrolló mayor biomasa, contrario a los demás tratamientos que se vieron afectados su crecimiento por los contaminantes.

La figura muestra que el peso fresco de la alfalfa está directamente relacionado con la calidad del sustrato. La presencia de relave minero reduce significativamente la biomasa, mientras que la adición de materia orgánica mejora el desarrollo vegetal. Por tanto, la enmienda orgánica no solo ayuda a estabilizar contaminantes, sino que también permite que la planta alcance su potencial productivo (Kabata-Pendias, 1984).

❖ **Concentración de cadmio en tallos y raíces**

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques no existió significancia, pero si entre los tratamientos, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 0.15 mg/kg de grosor, y con un coeficiente de varianza 50.72% en la medición del cadmio en las plantas (parte aérea y de raíces).

Tabla 46*Análisis de Varianza de cadmio en tallos y raíces de alfalfa*

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	6	0.02	0.01	1.74	0.2364	ns
Tratamiento	4	0.16	0.04	6.69	0.0114	**
Error	2	0.05	0.01			
Total	8	0.24				

**= alta significancia

CV= 50.72%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T1 obtuvo la mayor captura de Cadmio, con 0.27 mg/kg, y no se diferencia significativamente de los tratamientos T2 y T3, pero sí de los tratamientos T4 y T5. El tratamiento T1 capturó 350% más que el tratamiento T4.

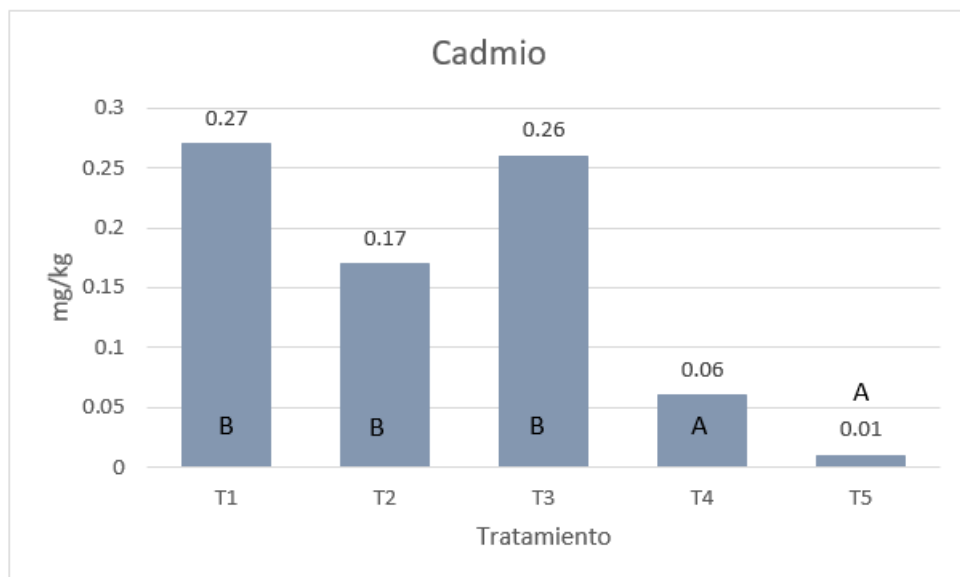
Tabla 47*Comparación de concentración de cadmio entre tratamientos*

Tratamiento	Muestra	Cadmio	Prueba de Scott & Knott
5	Control	0.01	A
4	10% Relave-90%MO	0.06	A
2	20% Relave-80%MO	0.17	B
3	15% Relave-85%MO	0.26	B
1	25% Relave-75%MO	0.27	B

Nota. Elaboración propia

Figura 33

Diferencia en captura de Cadmio de raíces y tallos



Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se observa una absorción diferencial del cadmio, pues en los tratamientos 1, 2 y 3 donde hubo mayor disponibilidad de este metal en el suelo, hubo mayor absorción de cadmio por parte de la planta, en comparación con los tratamientos 4 y 5, los cuales tienen menor significancia y están en el grupo A de la prueba de Scott & Knott.

Este comportamiento fue reportado por Chen et al. (2022), quien informó que la absorción y traslocación de elementos potencialmente tóxicos (PTE) aumenta con el incremento del PTE biodisponible en los suelos. Los iones de Cd^{2+} se pueden acumular en las partes de la raíz o translocarse a los brotes.

Por otra parte, en los tratamientos 4 y 5 hubo menor absorción de cadmio por las plantas, debido a que el cadmio estuvo menos disponible por haber mayor contenido de materia orgánica, el cual tiene la capacidad de regular la biodisponibilidad de cadmio pues inmoviliza los cationes al formar complejos (Guzman, 2019).

❖ Concentración de plomo en tallos y raíces

En la siguiente tabla se realizó el análisis de varianza estadística, donde entre los bloques y tratamiento no existió significancia, a una prueba de F al (0.05) con un resultado de promedio general de 0.78 mg/kg de grosor, y con un coeficiente de varianza 47.39% en la medición del plomo en las plantas (parte aérea y de raíces).

Tabla 48

Análisis de Varianza de plomo en tallos y raíces de alfalfa

Fuente Variación	GL	SC	CM	F	p-valor	Significancia
Bloque	2	0.65	0.32	2.37	0.1559	ns
Tratamiento	4	4.6	1.15	8.4	0.0058	*
Error	8	1.1	0.14			
Total	14	6.35				

ns= no significancia

*=significancia

CV= 47.39%

Nota. Elaboración propia

Según la prueba de Scott & Knott al 5%, el tratamiento T1 obtuvo la mayor captura de Cadmio, con 0.27 mg/kg, y no se diferencia significativamente de los tratamientos T2 y T3, pero sí de los tratamientos T4 y T5. El tratamiento T1 capturó 350% más que el tratamiento T4.

Tabla 49

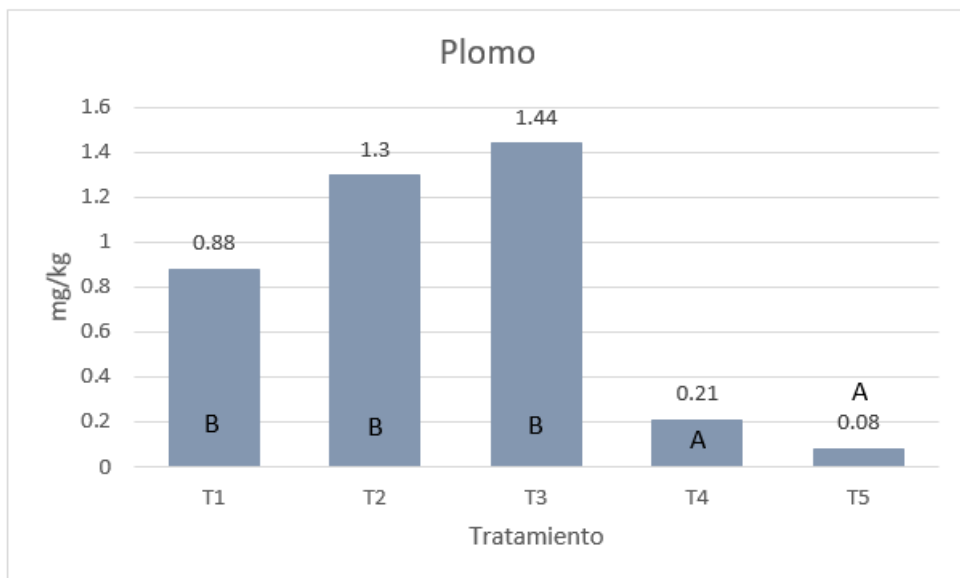
Comparación de concentración de plomo entre tratamientos

Tratamiento	Muestra	Plomo	Prueba de Scott & Knott
5	Control	0.08	A
4	10% Relave-90%MO	0.21	A
2	20% Relave-80%MO	1.3	B
3	15% Relave-85%MO	1.44	B
1	25% Relave-75%MO	0.88	B

Nota. Elaboración propia

Figura 34

Diferencia en captura de plomo de raíces y tallos



Nota. Elaboración propia

En la figura anterior se observa una mayor absorción del plomo en suelos de los tratamientos 1, 2 y 3, donde hubo mayor presencia de contaminación por el relave. Esto se explica por la mayor disponibilidad del plomo en el suelo, lo que facilita su ingreso en la alfalfa.

La alfalfa presentó una alta capacidad fitoextractora, pues a pesar del aumento de la concentración de relave, tuvo la capacidad de crecer y absorber el plomo en sus tallos y raíces, lo cual coincide con el estudio de Montes (2019), donde indica que la alfalfa logró capturar entre 0.33 y 10.8 mg/kg de plomo al cabo de 3 meses de experimento, concluyendo que la especie tiene un alto potencial fitoextractor.

Por otra parte, en los tratamientos 4 y 5, al haber mayor presencia de materia orgánica se redujo la biodisponibilidad del plomo en el suelo, lo que limitó su absorción.

Conclusiones

Respecto a las características físicas del suelo contaminado, del análisis de laboratorio se determina que es un suelo pobre en materia orgánica, donde los metales pesados están ligeramente biodisponibles para iniciar un proceso de fitorremediación, asimismo tiene un nivel bajo de nutrientes con porosidad inadecuada para el transporte de fluidos.

Respecto al análisis del efecto de la materia orgánica en las características físicas del suelo contaminado al término del experimento, aunque no hubo diferencia estadística significativa entre los tratamientos excepto en la densidad aparente del suelo. Si hubo mejoras en los valores de CIC, pH y densidad aparente, significando una mejora en los niveles de disponibilidad de nutrientes, con la permeabilidad y aireación, inclusive en el tratamiento con 25% de relave.

Respecto a las concentraciones finales de metales pesados en el suelo, se observó una disminución promedio de plomo en 30.4% y en cadmio de 69.2%, aun así, todos los tratamientos superaron el ECA Suelo.

Con relación al comportamiento del crecimiento del *Medicago Sativa L.*, se presentó diferencia significativa entre los tratamientos. En relación con el % de germinación de semillas, alturas, grosor de las raíces y peso fresco de la parte aérea y raíces, la alfalfa presentó alteraciones en su desarrollo a medida que el tratamiento tuvo mayor porcentaje de relave, pero no se observó necrosis ni hubo individuos muertos, lo que indicaría que la alfalfa es capaz de tolerar y desarrollarse en un sustrato contaminado.

Respecto a la concentración de cadmio en tallos y raíces, hubo mayor absorción del metal pesado en el tratamiento 1 donde hubo mayor disponibilidad de este. Y en

relación con el plomo, hubo mayor absorción por parte del tratamiento 3 pero no hubo diferencia significativa con los tratamientos 1 y 2.

Recomendaciones

Se recomienda trabajar en un periodo más largo de 120 días y con mayor siembra de semillas de alfalfa en los tratamientos, para lograr obtener el peso mínimo de la biomasa aérea y radicular necesaria para que sea analizado en laboratorio.

Asimismo, se recomienda experimentar con mayores concentraciones de relave, superiores al 25%, para identificar el tratamiento en el cual se imposibilita el crecimiento y desarrollo de la alfalfa.

Además, realizar el mismo estudio en campo, donde las condiciones ambientales y del suelo sean propias del lugar. Esto permitiría obtener datos más precisos, que podrían ser de gran utilidad para formular un futuro Plan de descontaminación.

Se sugiere plantear iniciar el proceso de biorremediación del depósito de suelo contaminado en la UNI, utilizando la especie *Medicago Sativa L.*, la cual es perenne y ha demostrado ser resistente y tolerante a sustratos con alta concentración de metales pesados.

Finalmente, se recomienda llevar a cabo un análisis detallado que incluya el cálculo y modelado de las dimensiones y el volumen del relave ubicado en la UNI. Esta información permitirá una adecuada estimación y planificación de los recursos requeridos para su manejo y remediación.

Referencias bibliográficas

Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. (2021, marzo 17).

ToxFAQsTM: Plomo (Lead). ATSDR.

https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html

Alvarenga, P., Gonçalves, A. P., Fernandes, R. M., de Varennes, A., Vallini, G., Duarte, E., & Cunha-Queda, A. C. (2008). Evaluation of composts and liming materials in the phytostabilization of a mine soil using perennial ryegrass. *Science of The Total Environment*, 406(1), 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.061>

Aparicio, S. A. (2015). Impulso y difusión de la Ciencia del Suelo en el 2015, Año Internacional de los Suelos (AIS2015). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 330-342. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/download/306541/396521>

Batista, R. A., & Sánchez, A. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 9(16), Article 16. <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/123/398>

Bernal, A. A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: Una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.22490/21456453.1340>

Bonilla, S. M. (2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación* [Tesis de Pregrado, Universidad Politecnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4400>

- Bonta, A. (2011). *Interpretación de análisis de suelo*. 3, 20-25. Revista Frutícola. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/30594/NR38194.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Bulluck, R., Brosius, M., Evanylo, G., & Ristaino, J. (2002). Organic and synthetic fertility amendment influence soil microbial physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 19, 147-160. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00187-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00187-1)
- Bustos, Y. (2021). *Uso de plantas hiperacumuladoras en minería: Conceptos y aplicaciones* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79356>
- Castelo-Gutiérrez, A. A., García-Mendivil, H. A., Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., Arellano-Gil, M., Figueroa-López, P., & Gutiérrez-Coronado, M. A. (2016). [Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2016000200083&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2016000200083&lng=es&nrm=iso&tlng=en). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 22(2), 83-94. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.06.012>
- Castillo, L., Satalaya, C., Paredes, Ú., Encalada, M., Zamora, J., & Cuadros, M. (2021). Pasivos Ambientales Mineros en el Perú: Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM. *Contraloría General de la República-CGR*. <https://repositorio.contraloria.gob.pe/handle/ENC/158>
- Chappuis, M. (2019). *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú* (168). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/45068>
- Chen, L., Beiyuan, J., Hu, W., Zhang, Z., Duan, C., Cui, Q., Zhu, X., He, H., Huang, X., & Fang, L. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos (PTE) utilizando alfalfa (*Medicago sativa* L.): Una revisión

integral. *Chemosphere*, 293, 133577.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133577>

Chibuike, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014(1), 752708. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>

Claussen, P., Zúñiga, E., Díaz, B., & Fernández, B. (2019). *Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible*.
https://www.minmineria.gob.cl/media/2021/05/Plan_Nacional_de_Despositos_de_Relaves_para_una_Mineria_Sostenible_2021_old.pdf

Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

Dammert, A. (2020). La Importancia del sector Minero para el Perú. *Journal of Economics Finance and International Business*, 4(1), 33-40.
<https://doi.org/10.20511/jefib.2020.v4n1.841>

Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (2013). <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>

Decreto Supremo N° 005-2022-MIDAGRI que aprueba el reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, 28 (2022). <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar

- la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/2972/>
- Díaz, A. del R. (2020). *Factores implicados en la Calidad del forraje de Alfalfa: Medicago sativa* [Tesina, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/f8129b4b-9ede-467a-bc2d-3c0a6034d354/content>
- Díaz, Y., Quispe, Y., & Samamé, E. (2023). *Fitorremediación con Zea Mays para la remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional UNAC.
<https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7277>
- FAO. (1999). *Educación ambiental para el trópico de Cochabamba*.
<https://www.fao.org/4/ah645s/AH645S04.htm>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4ta ed.).
<https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO y PNUMA. (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo: Resumen para los formuladores de políticas*. FAO, UNEP. <https://doi.org/10.4060/cb4827es>
- Fernández, B. H., Mullisaca, E., & Huanchi, L. E. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2), 131-138. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.416>
- Figuerola, Y., Quevedo Guerrero, J., & Sánchez, A. (2018). Evaluación de la germinación de un cultivar serrano de *Medicago sativa* L. en la granja Santa Inés. *Agro-Ecosystems*, 6, 31-40.

- Formoso, F. (s. f.). *Manejo de Alfalfa*. Artículo INIA. Recuperado 12 de noviembre de 2023, de https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R92/R92_42.htm
- García, C., Moreno-Ortego, J. L., Hernández, M. T., & Polo, A. (2002). *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. 125-138. <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- Giraldez, L. M. (2019). *Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5337>
- Gómez, A., Nóvoa, J. C., Arias, M., Núñez, A., Álvarez, E., & Fernández, M. J. (2020). Introducing students to remediation of polluted soils: Influence of waste-based amendments on Cd extractability. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 221-225. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00445>
- Gonzales, J., Aponte, M. del P., Bustamante, E., & Chomba, J. (2018). Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa *Medicago Sativa*. *SEARCHING-SCIENCE*, 1(1), Article 1. <https://revista.uct.edu.pe/index.php/science/article/view/341>
- Guevara, J. A. (2018). *Fundamentos para el estudio, identificación y determinación metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el departamento del Valle del Cauca* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio UNAD. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/18030>
- Guzman, J. J. (2019). *Efecto de la materia orgánica en la reducción del cadmio en el suelo y en plantones de cacao en vivero* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria

de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS.
<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b6752f46-026b-4736-9b55-98c1354e958b/content>

Hernández-Caricio, C., Ramírez, V., Martínez, J., Quintero-Hernández, V., Baez, A., Munive, J., & Rosas-Murrieta, R. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: El caso de *Bacillus* como bioherramienta para la recuperación de suelos. *AyTBUAP*, 7(27), 1-68. AyTBUAP.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7091406>

Hossne, A. J., Mayorca, Y. N., Salazar, L. D., Subero, F. A., & Zacillo, A. M. (2009). Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 937-950. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3394198>

Hossne García, A., Mayorca Jaime, Y. N., Salazar Bastardo, L. D., Subero Llovera, F. A., & Zacillo Contreras, A. M. (2009). *Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela*. 9(4), 937-950. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/96159759/3394198-libre.pdf?1671636157=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHumedad_compactante_y_sus_implicaciones.pdf&Expires=1724733528&Signature=WvSvFskW8QNJphFX5CAkKVJgfUm5FQPZiRHmceVjczMFw~CbRXFtPmpTDJnnwRhvaUjZOULR0jClhZnQj52P8tot8iAxsElNbNmS1X326vl8Enr7RgmHCyqMIPwbRpLiztA8CnksEAWuRDek4seaF4snGV7JRrDz39Zsr2VHblAru1aMYJmXaARZ5JKqz5EWGxn2qR8X3vYLnnfeKa9qxSFn5JM~2xMXr8wE0DMo8omA25ldpBIDv6c3WorFV-gX9QQnmKXebzRQW87GL9ry3FBhEG8hSqekttNRGXyw24-

MRqnacPGBahkYCvpTlnm9PiB2Pofh2eScszmO9vnMg__&Key-Pair-
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Houben, D., Evrard, L., & Sonnet, P. (2013). Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd, Pb and Zn and the biomass production of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass and Bioenergy*, 57, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.019>

Huallpa, H. S. (2023). *Remoción de metales pesados de los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” Ayacucho, utilizando la alfalfa (medicago sativa)* [Tesis de Postgrado, Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5945>

International Seed Testing Association. (2023). Analisis de Germinación. *International Rules for Seed Testing*, 2023(1), i-5-58. <https://doi.org/10.15258/istarules.2023.05>

Jindo, K., Audette, Y., Olivares, F. L., Canellas, L. P., Smith, D. S., & Paul Voroney, R. (2023). Biotic and abiotic effects of soil organic matter on the phytoavailable phosphorus in soils: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00401-y>

Jordán, A. (2006). *Manual de Edafología*.

Kabata-Pendias, A. (with Internet Archive). (1984). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, Fla. : CRC Press. <http://archive.org/details/traceelementsins0000kaba>

Koicheoski, R. J. (2022). *Evaluación de la calidad del suelo en cuatro sistemas de uso (cacao, plátano, café y purma) ubicados en el caserío los cedros, distrito José Crespo y Castillo* [Tesis de Pregrado, Universidad Navional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/62019245-2cac-421c-9ab1-6008dc79caba/content>

Kumpiene, Jurate, Lagerkvist, Anders, & Maurice, Christian. (2008). *Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments—A review*. 28, 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.012>

Llugany, M., Tolrá, R., Poschnrieder, C., & Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16(2), Article 2. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/124>

López, L. C. Y. (2022). *Fitorremediación de suelos contaminados por plomo mediante alfalfa (Medicago sativa) y papa (Solanum tuberosum) en Carapongo, Lurigancho, Lima – 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de Tesis UPU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6384>

López-Martínez, S., Gallegos-Martínez, M. E., Flores, L. J. P., & Gutierrez Rojas, M. (2005). *Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas*. 21(2), 91-100. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n2/0188-4999-rica-21-02-91.pdf>

Malik, J. A. (Ed.). (2022). *Advances in bioremediation and phytoremediation for sustainable soil management: Principles, monitoring and remediation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89984-4>

Mendoza, M. E. (2020). *Capacidad fitorremediadora de la “alfalfa” Medicago sativa L. en suelos contaminados con plomo evaluada en dos etapas de crecimiento, Végueta, Huaura* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional digital UCSS. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/1072>

- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia XXI*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>
- Montes, J. D. (2019). *Evaluación de la capacidad fitoextractora en Medicago Sativa L. Para disminuir la concentración de plomo en suelos contaminados con relaves mineros ubicados en el distrito de Coayllo, Cañete—Lima, Perú* [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/437>
- Moran, M. (2023). Bosques, desertificación y diversidad biológica. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/>
- Murray, R. M., Bojórquez, J. I., Orozco, M. G., García, J. D., Ontiveros, H. M., Aguirre, J., Gomez, J. R., & Hernandez, A. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarut, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 1, 9. Repositorio Institucional Aramara. <http://aramara.uan.mx:8080/handle/123456789/583>
- Natividad, J. J. (2019). *Evaluación de la concentración de metales y metaloides en suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería utilizando un equipo portátil de fluorescencia de rayos x* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/19992>
- Núñez, R. A., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 55(3), Article 3. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencia-academia-mexicana-de-ciencias/articulo/fitorremediacion-fundamentos-y-aplicaciones>

- Núñez-Colín, C. A. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: Un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(3), Article 3. <https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/55>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. www.fao.org/publications. <https://www.fao.org/3/i3361s/i3361s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018, julio). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro*. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/1127957/>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Intoxicación por plomo y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Perea-Vélez, Y. S., Carrillo-González, R., Solís-Domínguez, F. A., & González-Chávez, Ma. D. C. A. (2015). Fitorremediación de un residuo de mina asistida con enmiendas y bacterias promotoras de crecimiento. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.7603/s40682-015-0003-4>
- Pérez, A., Céspedes, C., Almonte, I., Sotomayor Ramírez, D., Cruz, C. E., & Núñez, P. A. (2012). Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 201-211. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792012000300201&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Porta, J., Lopez-Acevedo Reguerin, M., & Poch, R. (2019). *Edafología: Uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=SZ3BDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=P>

A5&dq=Factores+formadores+del+suelo+pdf+hans+jenny&ots=3KNKxwgn4h&sig
=Z1HCv40nS_nKWYJYW4olFt_YKSc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Proyecto UNICA «Universidad en el Campo». (2011). *Edafología* (I).

Proyecto Universidad en el Campo UNICA. (2011). *Edafología* 1.
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Produmedios.

R.M. N° 351-2024-MINEM/DM que aprueba la actualización del Inventario de Pasivos
Ambientales Mineros, 4 (2024). 2024
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6908387/5966041-rm-351-2024-minem-dm.pdf?v=1725898468>

Rojas, J. (2012). *Densidad Aparente, Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa*.

Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relacion con otras
propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
Repositorio Digital Cenicafe.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/163/1/arc056%2804%29381-397.pdf>

Sambrano, N. B., & Pomari, L. (2019). *Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) y rábano (Raphanus sativus) sobre la remoción de Hg en suelos contaminados por actividad minera* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de Tesis UPU.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4848>

Sánchez, G. (2016). *Ecotoxicología del Cadmio* [Universidad Complutense]. Repositorio
Universidad Complutense Madrid.

<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México. (2002, diciembre 31).

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Shan, B., Hao, R., Xu, H., Li, J., Li, Y., Xu, X., & Zhang, J. (2021). A review on mechanism of biomineralization using microbial-induced precipitation for immobilizing lead ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14045-8>

Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 123-129. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5955/A2037e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8). <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>

Volke, T., Velasco, J. A., & de la Rosa, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación* (1era Edición). https://www.researchgate.net/publication/308419159_Suelos_contaminados_por_metales_y_metaloides_muestreo_y_alternativas_para_su_remediacion

Zhao, F.-J., Ma, Y., Zhu, Y.-G., Tang, Z., & McGrath, S. P. (2015). Soil Contamination in China: Current Status and Mitigation Strategies. *Environmental Science & Technology*, 49(2), 750-759. <https://doi.org/10.1021/es5047099>

Zheng, X., Lin, H., Du, D., Li, G., Alam, O., Cheng, Z., Liu, X., Jiang, S., & Li, J. (2024). Remediation of heavy metals polluted soil environment: A critical review on biological approaches. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 284, 116883. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116883>

Anexos

Anexo 1 <i>Informe de laboratorio del análisis de relave</i>	1
Anexo 2 <i>Informe de laboratorio del análisis final de suelos y plantas</i>	5
Anexo 3 <i>Toma de muestras del relave</i>	29
Anexo 4 <i>Preparación de tratamiento y siembra de alfalfa</i>	30
Anexo 5 <i>Tratamientos a los 120 días</i>	31

Anexo 1

Informe de laboratorio del análisis de relave



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167246-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL
DOMICILIO LEGAL
SOLICITADO POR
REFERENCIA

: MEJÍA FLORES MARITZA ISABEL
: AV. MIGUEL IGLESIAS CALLE 3 - SAN JUAN DE MIRAFLORES - LIMA - LIMA
: MEJÍA FLORES MARITZA ISABEL
: TESIS "EFECTO BIORREMEDIADOR DEL MEDICAGO SATIVA L "ALFALFA" ASISTIDO CON
MATERIA ORGÁNICA EN MUESTRA EXTRAÍDA DEL DEPÓSITO DE RELAVE DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE INGENIERÍA - LIMA"

PROCEDENCIA

: UNI

FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

: 2022-11-09

FECHA(S) DE ANÁLISIS

: 2022-11-09 AL 2022-11-21

FECHA(S) DE MUESTREO

: 2022-11-09

MUESTREO POR

: EL CLIENTE

CONDICIÓN DE LA MUESTRA

: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unidad pH
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
Densidad aparente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.3 AS-03 - Método de la parafina (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	g/cm ³
Metales: Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Boron (B), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silica (SiO ₂), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Estadio, Titanium (Ti), Vanadium (V), Zinc (Zn), Thorium (Th), Uranium (U), Tungsten (W)	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	mg/kg
Texture and textural class Textura y clase textural	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Método AS-09 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	no aplica	%
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺) -suelos ácidos y calcáreos	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. ítem 7.1.13 Método AS-13 Capacidad de Intercambio Catiónico y bases intercambiables (suelos ácidos y calcáreos).	---	mEq/100g muestra

L.C.: límite de cuantificación.

Ing. Mariño Tello Paucar
Director Técnico
C.I.P. N° 219824
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está permitida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perechibilidad del padámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167246-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-11-09	
Hora de inicio de muestreo (h)	16:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	CS-08	
Código del Laboratorio	22110626	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayo	Unidades	Resultados
pH	unidad pH	6.09
Materia orgánica	%	1.28
Densidad aparente	g/cm³	1.42
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	mEq/100g muestra	5.08 *
Bases cambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺)	mEq/100g muestra	52.76 *
Bases Cambiables		
Ca ²⁺	mEq/100g muestra	41.94 *
Mg ²⁺	mEq/100g muestra	5.33 *
Na ⁺	mEq/100g muestra	4.84 *
K ⁺	mEq/100g muestra	0.64 *

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS. Resultados de Suelo reportados en base seca.

Medición de pH realizada a 25°C.

Cod. FI 004 / Versión 03 / FE: 06/2022

OBSERVACIONES: * Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. * Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. * Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. * Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. * Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima y Pasaje Cleopatra Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ricos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 4

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167246-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo		
Matriz analizada	Suelo		
Fecha de muestreo	2022-11-09		
Hora de inicio de muestreo (h)	16:00		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	CS-08		
Código del Laboratorio	22110626		
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.06	mg/kg	35.67
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	7347.3
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	1610.71
Boro (B)	0.2	mg/kg	1.4
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	117.4
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	<0.021
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	30554.3
Cadmio (Cd)	0.03	mg/kg	86.16
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	27.1
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	29.93
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	9.74
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	1598.02
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	>20000
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	12.31
Potasio (K)	3.5	mg/kg	1607.1
Litio (Li)	0.3	mg/kg	23.9
Magnesio (Mg)	3.7	mg/kg	4246.0
Manganeso (Mn)	0.08	mg/kg	>2000
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	51.74
Sodio (Na)	3.9	mg/kg	1289.7
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	39.60
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	513.7
Plomo (Pb)	0.08	mg/kg	>5000
Antimonio (Sb)	0.22	mg/kg	130.08
Selenio (Se)	0.4	mg/kg	<0.4
Silice (SiO2)	1.7	mg/kg	2139.2
Estaino (Sn)	0.10	mg/kg	11.21
Estroncio (Sr)	0.07	mg/kg	67.07
Torio (Th)	0.20	mg/kg	0.47
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	333.66
Talio (Tl)	0.4	mg/kg	<0.4
Uranio (U)	0.3	mg/kg	11.8
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	39.75
Wolframio (W)/Tungsteno	0.20	mg/kg	<0.20
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	>5000

L.D.M.: Límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Cod. FI 004 / Versión 03 / FE.: 06/2022

DISPOSICIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de validez del patrón analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, invalida la validez del contenido de la información de este documento en papel y los sistemas pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleopatra Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 4

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



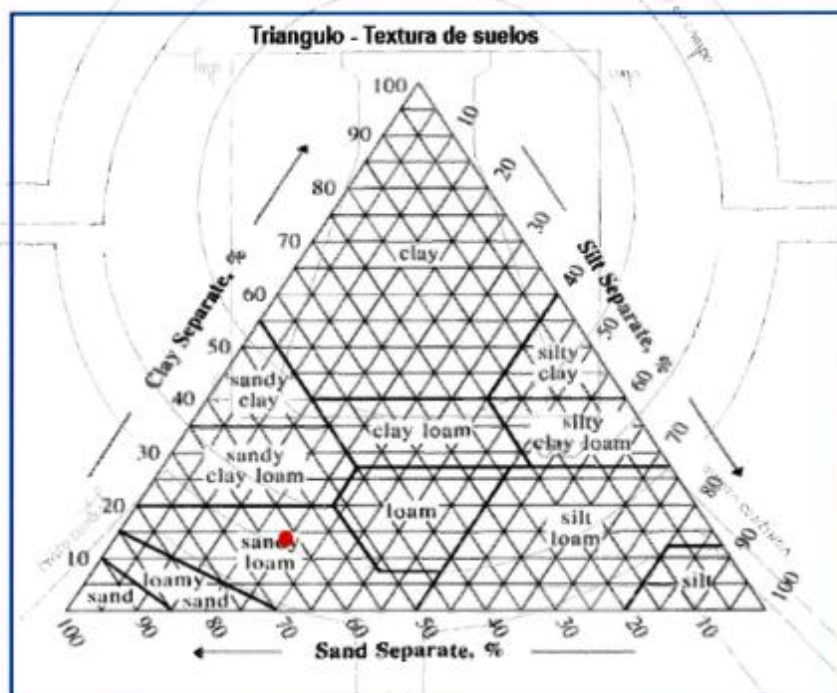
INFORME DE ENSAYO N° 167246-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcillo	
CS-08	22110626	2022-11-09	16:00	50.77	99.03	50	62	25	13	FRANCO ARENOSO

A= Arena; A.Fr.= Arena franca; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L.= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Lima, 22 de Noviembre del 2022.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

DISPOSICIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1365 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matte de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6895 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 4 de 4

Nota: SAG SAC

Anexo 2

Informe de laboratorio del análisis final de suelos y plantas



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : MEJÍA FLORES MARITZA ISABEL
DOMICILIO LEGAL : AV. MIGUEL GLESIAS CALLE 3 - SAN JUAN DE MIRAFLORES - LIMA - LIMA
SOLICITADO POR : MEJÍA FLORES MARITZA ISABEL
REFERENCIA : TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE FITORREMEDIACIÓN
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2023-05-22
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2023-05-22 AL 2023-06-08
FECHA(S) DE MUESTREO : 2023-05-22
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
TEJIDO			
Total Metales (In Vegetable Tissues): Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr) Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg) Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo) Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Uranium (U), Vanadium (V), Zinc (Zn).	EPA Method 200.3, Rev. 1, April, 1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4, EMMC Version 1994.	---	mg/Kg
SUELO			
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unidad pH
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.7 Método AS-07, 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
Densidad aparente	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.3 AS- 03 - Método de la parafina (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	g/cm ³
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Telurio, Talio, Tantalio, Vanadio, Zinc.	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y bases cambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. ítem 7.1.13 Método AS-13 Capacidad de Intercambio Catiónico y bases intercambiables (suelos ácidos y calcáreos).	---	mEq/100g muestra
Texture and textural class Textura y clase textural	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ítem 7.1.9 Método AS-09 (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	no aplica	%

L.C.: límite de cuantificación.



ING. TELLO PAUCAR
MARILU
SERVICIOS ANALÍTICOS
GENERALES SAC
Firmado con www.tocapu.pe

DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Matriz analizada	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	11:00	11:15	11:30
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	T-1	T-2	T-3
Código del Laboratorio	23051379	23051380	23051381
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales totales			
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg	0.10
Aluminium / Aluminio (Al)	0.7	mg/kg	1.1
Arsenic / Arsénico (As)	0.07	mg/kg	1.89
Boron / Boro (B)	0.10	mg/kg	8.65
Barium / Bario (Ba)	0.09	mg/kg	0.78
Beryllium / Berilio (Be)	0.04	mg/kg	0.04
Calcium / Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	1792.2
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	0.81
Cerium / Cerio (Ce)	0.14	mg/kg	<0.14
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.04
Chromium / Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	<0.04
Copper / Cobre (Cu)	0.05	mg/kg	1.92
Iron / Hierro (Fe)	0.12	mg/kg	12.49
Mercury / Mercurio (Hg)	0.05	mg/kg	<0.05
Potassium / Potasio (K)	1.8	mg/kg	7790.0
Lithium / Litio (Li)	0.14	mg/kg	0.64
Magnesium / Magnesio (Mg)	1.9	mg/kg	561.4
Manganese / Manganeso (Mn)	0.04	mg/kg	24.46
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.07	mg/kg	0.23
Sodium / Sodio (Na)	1.6	mg/kg	905.4
Nickel / Níquel (Ni)	0.05	mg/kg	0.05
Phosphorus / Fósforo (P)	0.15	mg/kg	812.05
Lead / Plomo (Pb)	0.04	mg/kg	2.84
Antimony / Antimonio (Sb)	0.10	mg/kg	<0.10
Selenium / Selenio (Se)	0.10	mg/kg	<0.10
Tin / Estaño (Sn)	0.05	mg/kg	0.11
Strontium / Estroncio (Sr)	0.04	mg/kg	4.81
Titanium / Titanio (Ti)	0.04	mg/kg	0.27
Tellurium / Teluro (Te)	0.15	mg/kg	<0.15
Vanadium / Vanadio (V)	0.05	mg/kg	<0.05
Zinc (Zn)	0.14	mg/kg	57.72
Uranium / Uranio (U)	0.15	mg/kg	<0.15

L.D.M.: Límite de detección del método

Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E. 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Río Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Matriz analizada	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	11:45	11:59
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Código del Cliente	T-4	T-5
Código del Laboratorio	23051382	23051383
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829		
Ensayo	L.D.M.	Resultados
Metales totales		
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg <0.05
Aluminum / Aluminio (Al)	0.07	mg/kg 4.9
Boron / Boro (B)	0.07	mg/kg 3.20
Barium / Bario (Ba)	0.10	mg/kg 10.00
Beryllium / Berilio (Be)	0.09	mg/kg 0.87
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg <0.04
Calcium / Calcio (Ca)	2.4	mg/kg 1750.1
Cerium / Cerio (Ce)	0.04	mg/kg 0.17
Cobalt / Cobalto (Co)	0.14	mg/kg <0.14
Copper / Cobre (Cu)	0.04	mg/kg <0.04
Chromium / Cromo (Cr)	0.04	mg/kg <0.04
Iron / Hierro (Fe)	0.05	mg/kg 1.60
Mercury / Mercurio (Hg)	0.12	mg/kg 17.45
Lithium / Litio (Li)	0.05	mg/kg <0.05
Magnesium / Magnesio (Mg)	0.8	mg/kg 7786.5
Manganese / Manganeso (Mn)	0.14	mg/kg 0.48
Nickel / Niquel (Ni)	1.9	mg/kg 391.9
Phosphorus / Fósforo (P)	0.04	mg/kg 11.44
Potassium / Potasio (K)	0.07	mg/kg 0.38
Sodium / Sodio (Na)	0.07	mg/kg 261.1
Selenium / Selenio (Se)	0.05	mg/kg <0.05
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg <0.05
Tin / Estaño (Sn)	0.15	mg/kg 1337.85
Titanium / Titanio (Ti)	0.04	mg/kg 0.42
Vanadium / Vanadio (V)	0.04	mg/kg 4.38
Zinc / Zinc (Zn)	0.15	mg/kg <0.15
Uranium / Uranio (U)	0.05	mg/kg <0.05

L.D.M.: Límite de detección del método

Cod. FI 004 / Versión 03/ FE.: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Rios Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de Inicio de muestreo (h)	06:00	06:15	06:30	06:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	I-T1	I-T2	I-T3	I-T4
Código del Laboratorio	23051384	23051385	23051386	23051387
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	Unidades	Resultados		
pH	unidad pH	6.77	6.69	6.73
Materia orgánica	%	51.2	54.91	45
Humedad aparente	g/cm³	0.64 *	0.83 *	0.75 *
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	mEq/100g muestra	22.54*	26.76*	17.77*
Sales intercambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	mEq/100g muestra	62.52*	60.52*	63.69*
Ca ²⁺	mEq/100g muestra	36.07*	33.68*	34.42*
Mg ²⁺	mEq/100g muestra	7.19*	6.95*	7.43*
Na ⁺	mEq/100g muestra	9.78*	9.88*	10.47*
K ⁺	mEq/100g muestra	9.49*	10.21*	11.57*
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de Inicio de muestreo (h)	07:00	07:15	07:30	07:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	I-T5	II-T1	II-T2	II-T3
Código del Laboratorio	23051388	23051389	23051390	23051391
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	Unidades	Resultados		
pH	unidad pH	6.91	6.56	6.84
Materia orgánica	%	54.60	47.31	52.70
Humedad aparente	g/cm³	0.75 *	0.74 *	0.75 *
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	mEq/100g muestra	38.85*	28.88*	27.40*
Sales intercambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	mEq/100g muestra	73.37*	61.46*	67.44*
Ca ²⁺	mEq/100g muestra	36.38*	34.80*	32.30*
Mg ²⁺	mEq/100g muestra	8.39*	7.02*	6.75*
Na ⁺	mEq/100g muestra	13.30*	9.79*	9.11*
K ⁺	mEq/100g muestra	15.24*	9.85*	9.28*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS

Medición de pH realizada a 25°C, relación 1:1

Cod. FI 004 / Versión 03/ FE.: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y las autoridades pueden ser procesadas de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 4 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	08:00	08:15	08:30	08:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	II-T4	II-T5	IV-T1	IV-T2
Código del Laboratorio	23051392	23051393	23051394	23051395
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	Unidades	Resultados		
pH	unidades pH	6.38	7.08	6.64
Materia orgánica	%	50.50	60.30	43.81
Densidad aparente	g/cm ³	0.74 *	0.53 *	0.73 *
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	mEq/100g muestra	25.13*	31.66*	21.45*
Bases Intercambiables	mEq/100g muestra	52.86*	57.71*	55.81*
Ca ²⁺	mEq/100g muestra	28.89*	27.30*	32.64*
Mg ²⁺	mEq/100g muestra	6.26*	6.66*	6.37*
Na ⁺	mEq/100g muestra	8.23*	10.89*	8.86*
K ⁺	mEq/100g muestra	9.46*	12.86*	7.94*
Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	09:00	09:15	09:30	09:30
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	IV-T3	IV-T4	IV-T5	IV-T5
Código del Laboratorio	23051396	23051397	23051398	23051398
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	Unidades	Resultados		
pH	unidades pH	6.63	6.92	7.12
Materia orgánica	%	55.30	56.83	77.11
Densidad aparente	g/cm ³	0.65 *	0.60 *	0.59 *
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	mEq/100g muestra	19.06*	23.80*	23.04*
Bases Intercambiables	mEq/100g muestra	52.72*	49.27*	47.54*
Ca ²⁺	mEq/100g muestra	28.51*	24.63*	22.01*
Mg ²⁺	mEq/100g muestra	6.13*	5.67*	5.21*
Na ⁺	mEq/100g muestra	8.92*	8.88*	9.10*
K ⁺	mEq/100g muestra	9.18*	10.08*	11.22*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS

Medición de pH realizada a 25°C, relación 1:1

Cod. FI 004 / Versión 03/ FE: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 5 de 24

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	06:00	06:15	06:30	06:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	I-T1	I-T2	I-T3	I-T4
Código del Laboratorio	23051384	23051385	23051386	23051387
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	0.06	mg/kg	16.15	14.57
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	8409	7731
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	862.29	584.50
Boro (B)	0.2	mg/kg	8.4	8.4
Bario (Ba)	0.23	mg/kg	131.25	140.99
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	<0.021	<0.021
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	18547	17401
Cadmio (Cd)	0.03	mg/kg	32.54	26.88
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	16.2	14.5
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	13.94	11.36
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	4.74	4.15
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	517.43	391.38
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	35991.11	28735.50
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	6.94	9.37
Plata (K)	3.5	mg/kg	5104	5267
Litio (Li)	0.3	mg/kg	10.2	9.5
Magnesio (Mg)	3.7	mg/kg	4109	3907
Manganeso (Mn)	0.06	mg/kg	1337.86	1290.86
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	21.85	12.70
Sodio (Na)	3.9	mg/kg	1738	1727
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	7.63	6.84
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	1722	1611
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	4337.96	3397.42
Antimonio (Sb)	0.22	mg/kg	118.18	88.74
Selenio (Se)	0.4	mg/kg	<0.4	<0.4
Estadio (Sn)	0.10	mg/kg	4.62	3.51
Estroncio (Sr)	0.07	mg/kg	54.07	49.89
Talio (Tl)	0.03	mg/kg	209.12	186.46
Talio (Tl)	0.4	mg/kg	<0.4	<0.4
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	19.79	17.97
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	>5000	4690.72

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E. 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preceptibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Rios Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 6 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	07:00	07:15	07:30	07:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	I-T5	II-T1	II-T2	II-T3
Código del Laboratorio	23051388	23051389	23051390	23051391
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	0.05	mg/kg	<0.05	15.36
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	7420.2	8672.1
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	43.29	609.20
Boro (B)	0.2	mg/kg	13.0	7.5
Bario (Ba)	0.23	mg/kg	88.79	129.94
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	0.032	0.086
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	14245.3	18053.7
Cadmio (Cd)	0.03	mg/kg	1.82	32.24
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	12.5	16.7
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	3.72	59.82
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	3.34	4.94
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	30.39	541.43
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	14430.81	38761
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	<0.10	7.29
Platino (K)	3.5	mg/kg	7641.3	5174.8
Litio (Li)	0.3	mg/kg	8.8	10.6
Magnesio (Mg)	1.7	mg/kg	4395.4	4396.0
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	329.35	1445.52
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	0.92	17.74
Sodio (Na)	3.9	mg/kg	2446.9	1734.1
Níquel (Ni)	0.05	mg/kg	3.10	8.29
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	2387.6	1678.6
Plomo (Pb)	0.05	mg/kg	146.04	4392.54
Antimonio (Sb)	0.22	mg/kg	5.94	114.73
Selenio (Se)	0.4	mg/kg	<0.4	<0.4
Estanho (Sn)	0.10	mg/kg	6.99	4.73
Estroncio (Sr)	0.07	mg/kg	50.19	53.73
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	153.41	219.52
Talio (Tl)	0.4	mg/kg	<0.4	<0.4
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	15.61	20.45
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	196.34	>5000
L.D.M.: Límite de detección del método				

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Cod. FI 004 / Versión 03/ FE: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cicerinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 7 de 24

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	08:00	08:15	08:30	08:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	II-T4	II-T5	IV-T1	IV-T2
Código del Laboratorio	23051392	23051393	23051394	23051395
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)				
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	0.06	mg/kg	10.29	17.57
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	8204	8284
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	523.56	845.59
Boro (B)	0.2	mg/kg	9.7	6.6
Bario (Ba)	0.23	mg/kg	117.72	112.92
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	<0.021	<0.021
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	171.25	18474
Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	22.89	1.78
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	15.6	10.0
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	10.34	3.02
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	4.24	2.59
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	345.66	30.65
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	29052	123.40
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	4.38	<0.10
Potasio (K)	3.3	mg/kg	5140	6425
Litio (Li)	0.2	mg/kg	9.8	6.6
Magnesio (Mg)	3.7	mg/kg	4603.1	3563.6
Manganeso (Mn)	0.08	mg/kg	1171.29	457.03
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	20.41	0.80
Niobio (Nb)	3.9	mg/kg	1619.4	3024.8
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	6.31	2.58
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	2006	2059
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	2782.76	176.78
Selenio (Se)	0.22	mg/kg	100.19	6.49
Selenio(Se)	0.4	mg/kg	<0.4	<0.4
Estato (Sn)	0.10	mg/kg	12.05	1.09
Stroncio (Sr)	0.07	mg/kg	53.18	38.61
Talio (Tl)	0.4	mg/kg	181.75	120.23
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	19.71	12.06
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	3939.74	222.71

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y las culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6865 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 5 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2023-05-22	2023-05-22	2023-05-22
Hora de inicio de muestreo (h)	09:00	09:15	09:30
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	IV-T3	IV-T4	IV-T5
Código del Laboratorio	23051396	23051397	23051398
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.05	mg/kg	10.97
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	7403
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	339.33
Boro (B)	0.2	mg/kg	8.7
Bario (Ba)	0.23	mg/kg	124.69
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	<0.021
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	16191
Cadmio (Cd)	0.03	mg/kg	22.71
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	13.4
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	11.70
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	4.20
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	355.56
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	27704
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	5.88
Potasio (K)	3.5	mg/kg	5206
Litio (Li)	0.3	mg/kg	9.1
Magnesio (Mg)	3.7	mg/kg	3892
Manganeso (Mn)	0.08	mg/kg	1191.86
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	12.08
Sodio (Na)	3.9	mg/kg	1789
Niquel (Ni)	0.05	mg/kg	6.67
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	1784
Plomo (Pb)	0.08	mg/kg	3209.56
Antimonio (Sb)	0.22	mg/kg	87.63
Selenio (Se)	0.4	mg/kg	<0.4
Estaño (Sn)	0.10	mg/kg	3.48
Telurio (Te)	0.07	mg/kg	30.44
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	181.72
Talio (Tl)	0.4	mg/kg	<0.4
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	17.44
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	3966.67

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Rios Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 9 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



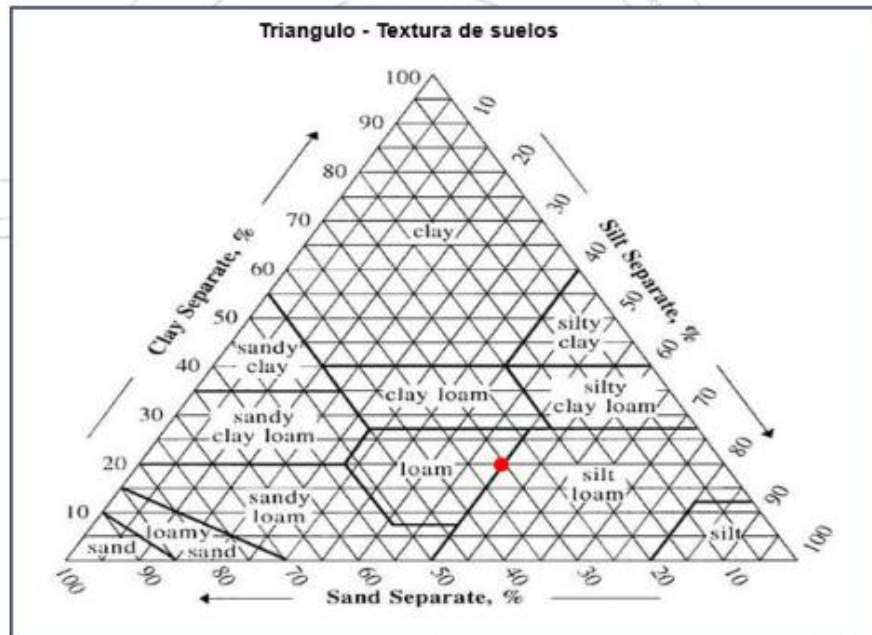
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
IDENTIFICACIÓN				ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO			COMPOSICIÓN			
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Peso de muestra y porcentaje de sólidos			% Arena	% Limo	% Arcilla	Denominación
				Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)				
I-T1	23851384	2023-05-22	06:00	50.26	41.28	21	31	50	19	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleirinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6865 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Página 10 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



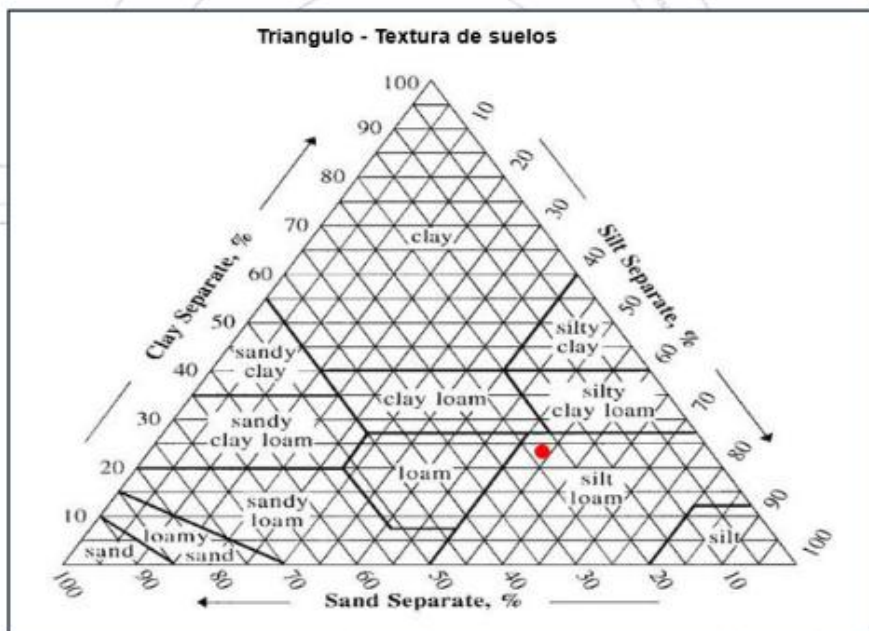
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Denominación
I-T3	23851385	2023-05-23	06:15	50.17	35.42	18	23	54	23	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuede a la falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los sujetos pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Glorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 11 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

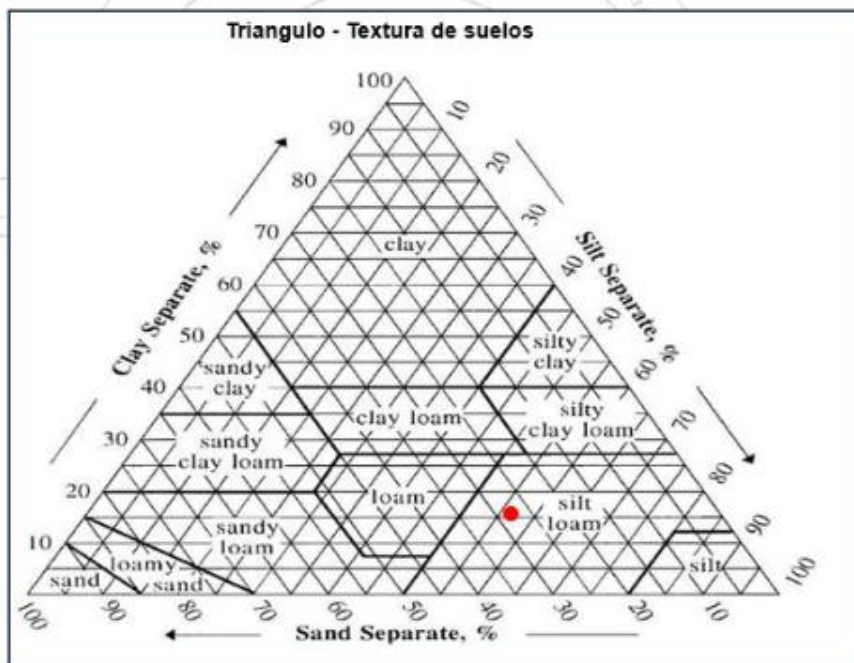
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
IDENTIFICACIÓN				ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO			COMPOSICIÓN			
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Denominación
I-T3	23651386	2023-05-22	06:30	50.66	38.77	20	28	57	15	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ FE. 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacara Río Norte - Lima y Pasaje Glorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacara Río Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 12 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



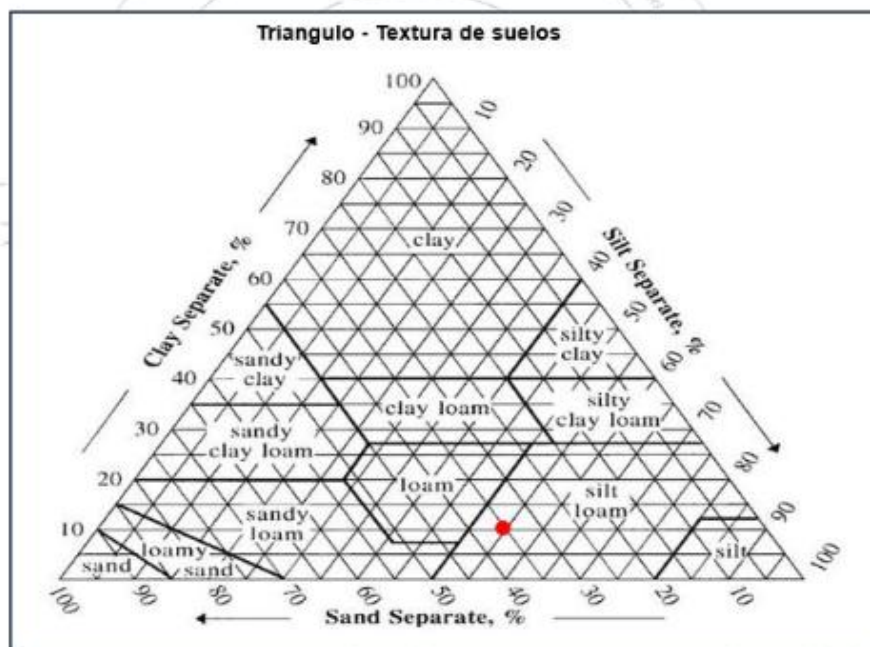
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
IDENTIFICACIÓN				ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO				COMPOSICIÓN		
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Denominación
I-74	23051387	2023-05-22	06:45	50.05	41.25	21	35	35	10	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Fr.= Arena fríasca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ FE- 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y las acciones pueden ser procesadas de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleirinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6865 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Página 13 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



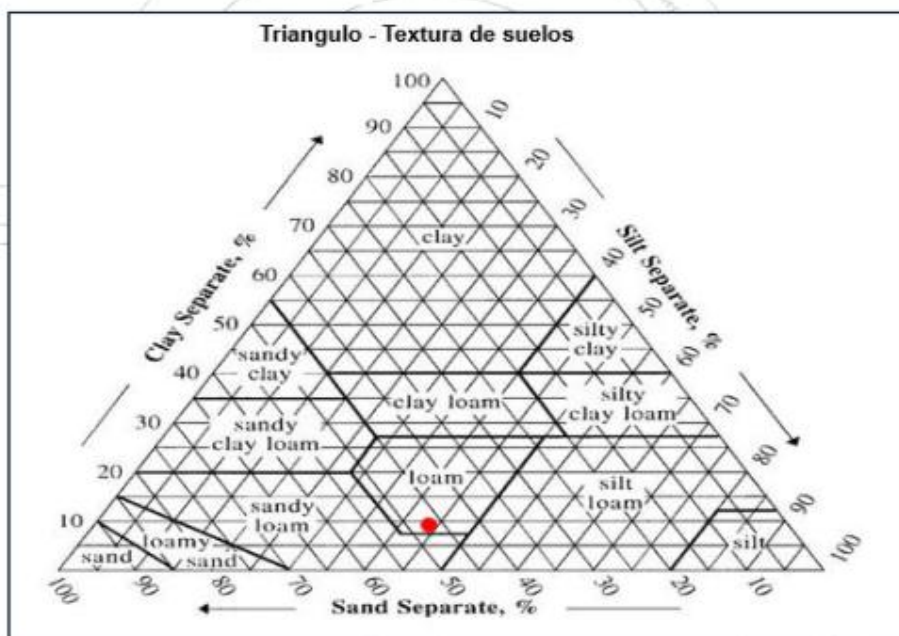
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
I-T5	23051388	2023-05-22	07:00	50.97	42.67	22	47	44	9	FRANCO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ FE: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los subscritores pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 14 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



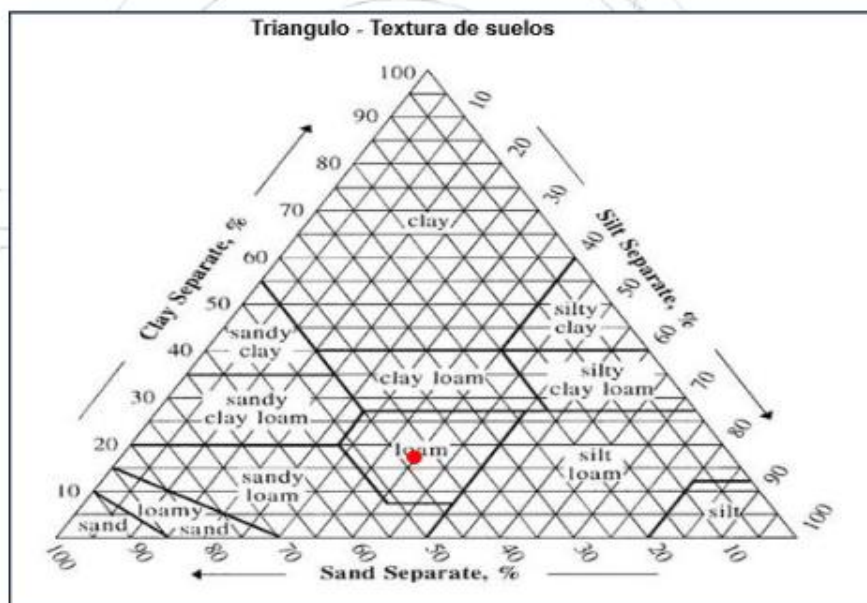
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra seca al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
11-T1	23051389	2023-05-22	07:15	50.75	46.41	24	43	40	17	FRANCO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L.= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ EE: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleonida Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 15 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



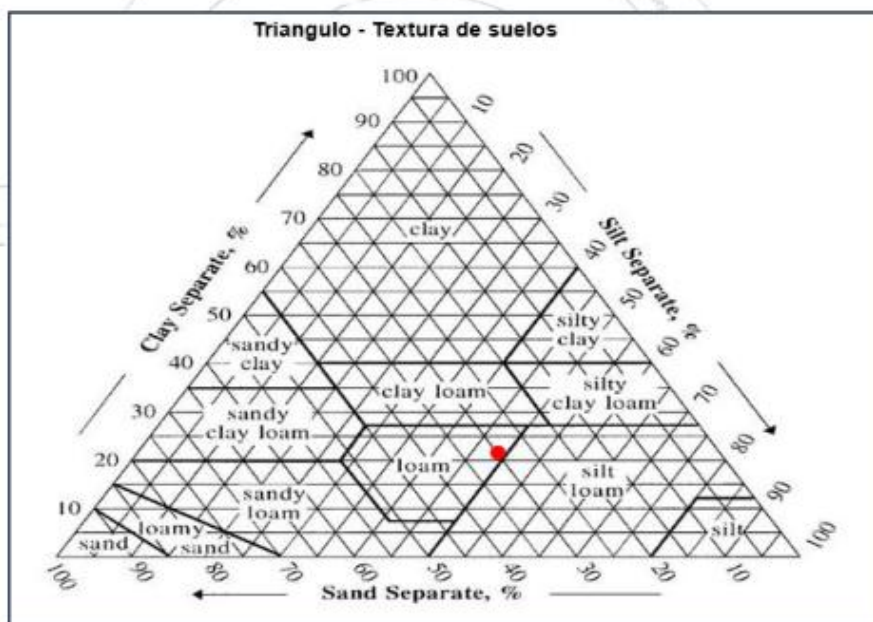
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
II-T2	23051390	2023-05-22	07:30	50.39	38.71	20	30	49	21	FRANCO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ FE. 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cierinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Página 16 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



Registro N° LE - 047

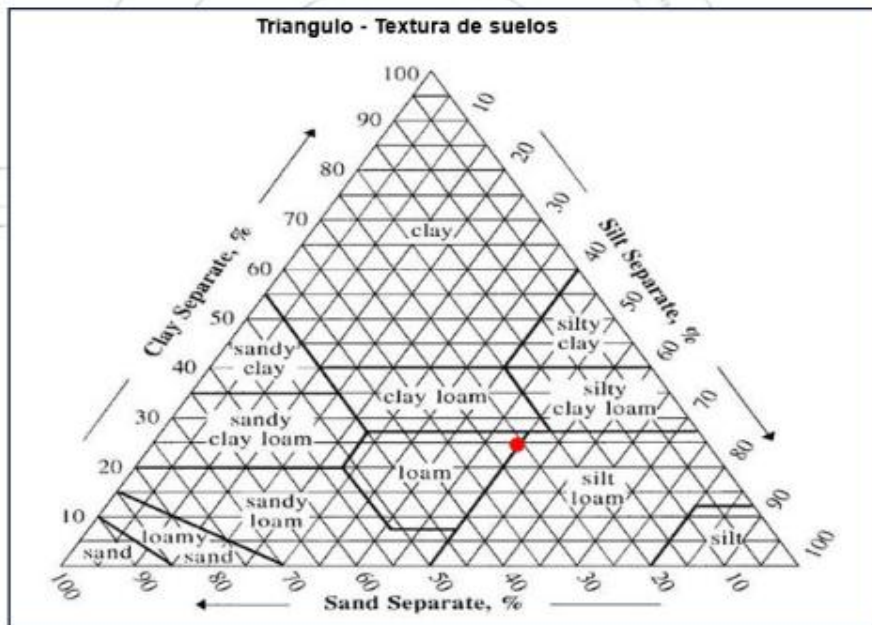
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
II-T3	23051391	2023-05-23	07:45	50.09	38.97	20	28	50	24	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ FE: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del protocolo analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para garantizar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 17 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



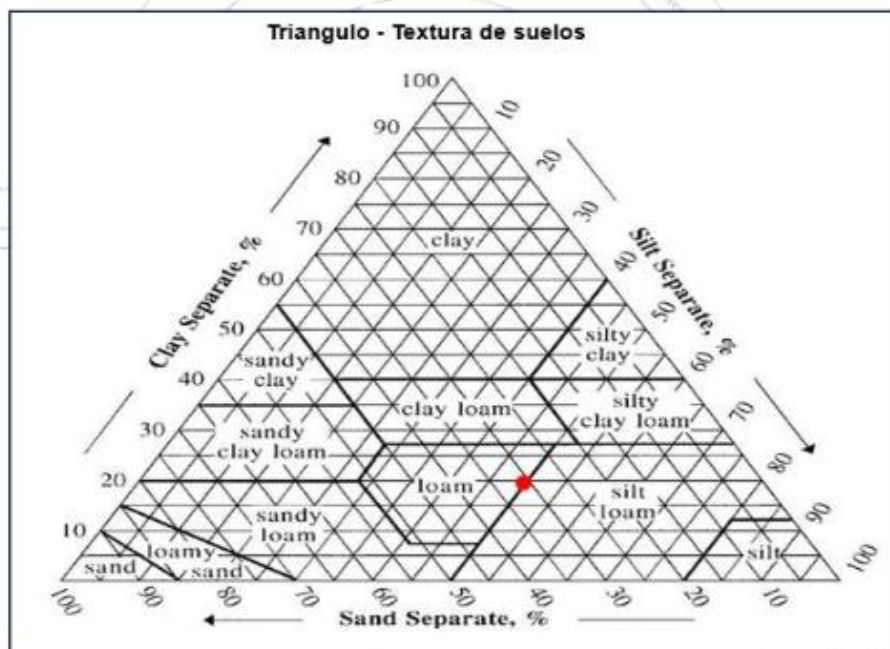
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
IDENTIFICACIÓN				ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
II-T4	23851392	2023-05-22	08:00	50.77	38.38	19	31	50	19	FRANCO LIMOSO

A = Arena; A.Fr. = Arena franca; Fr.A = Franco arenoso; Fr. = Franco; L = Limoso; Fr.L = Franco limoso; Fr.Ar.A = Franco arcillo arenoso; Fr.Ar. = Franco arcilloso; Fr.Ar.L = Franco arcillo limoso; Ar.A = Arcillo arenoso; Ar. = Arcilloso; Ar.L = Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI004 / Versión 03/ FE: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para cambiar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y las cabeceras pueden ser procesadas de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 15 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



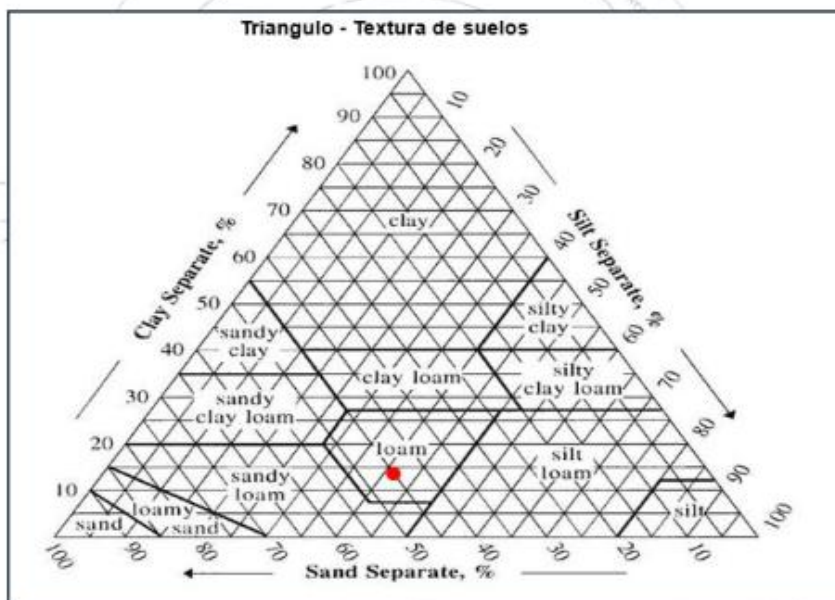
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
11-TS	23051393	2023-05-22	08:15	50.34	41.23	21	45	42	13	FRANCO

A= Arena; A.Pr.= Arena frágil; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ EE: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1965 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleopatra Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Página 19 de 24

Nota: SAG SAC



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



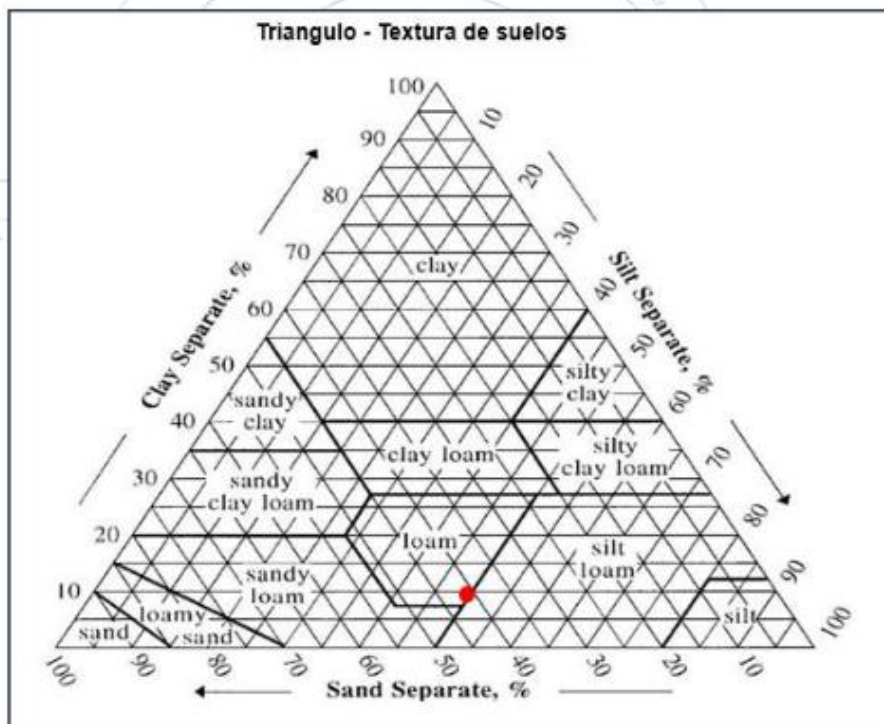
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
IV-T1	23051394	2023-05-22	08:30	50.43	46.15	23	41	50	9	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Pr.= Arena fríasca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de validez del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para comprobar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, invalida la validez del contenido o de la apariencia de este documento en legal y los subsecuentes pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleofinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Página 20 de 24

Nota: SAG SAC

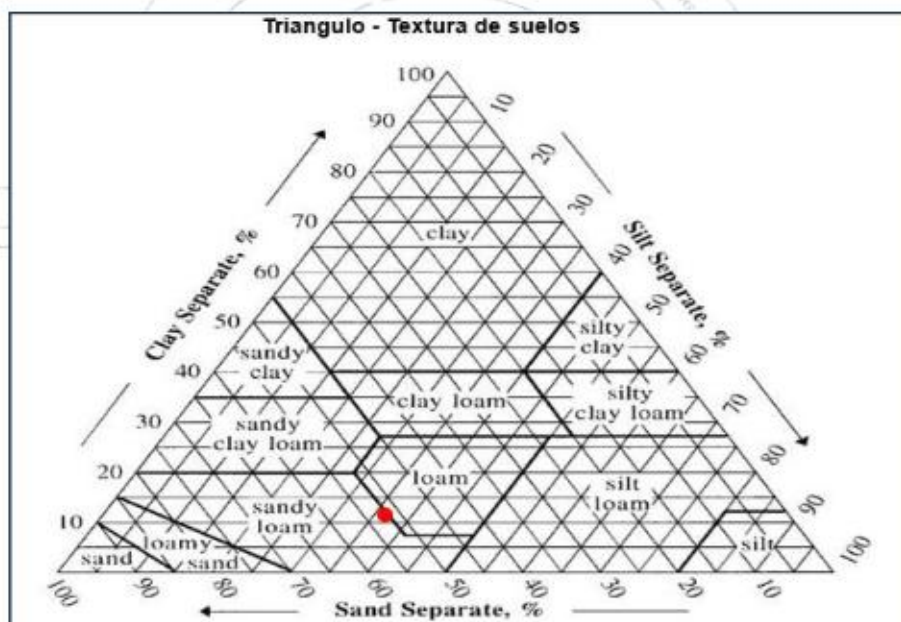
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829											
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO											
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación	
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra seca al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla		
IV-T2	23851395	2023-05-22	08:45	50.4	50.48	25	52	37	11	FRANCO	

A= Arena; A.Pr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:





LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



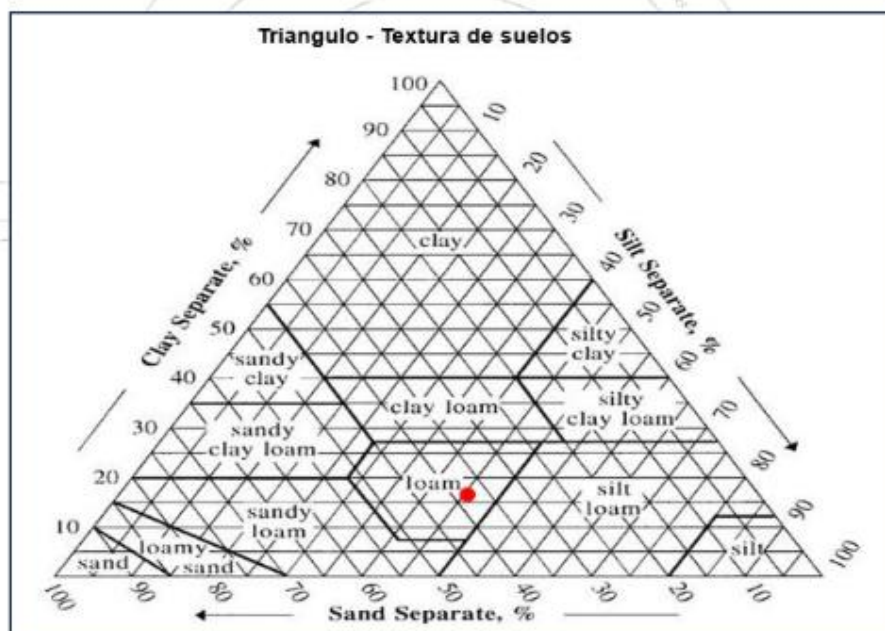
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
IDENTIFICACIÓN				ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO						
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Peso de muestra y porcentaje de sólidos						
				Muestra seca al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	Denominación
IV-T3	23051396	2023-05-22	09:00	50.34	42.91	22	38	48	16	FRANCO

A= Arena; A.Pr.= Arena fríasca; Fr.A.= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L.= Franco limoso; Fr.Ar.A.= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L.= Franco arcillo limoso; Ar.A.= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L.= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Cod. FI 004 / Versión 03/ F.E.: 06/2022

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para cambiar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 22 de 24

Nota: SAG SAC

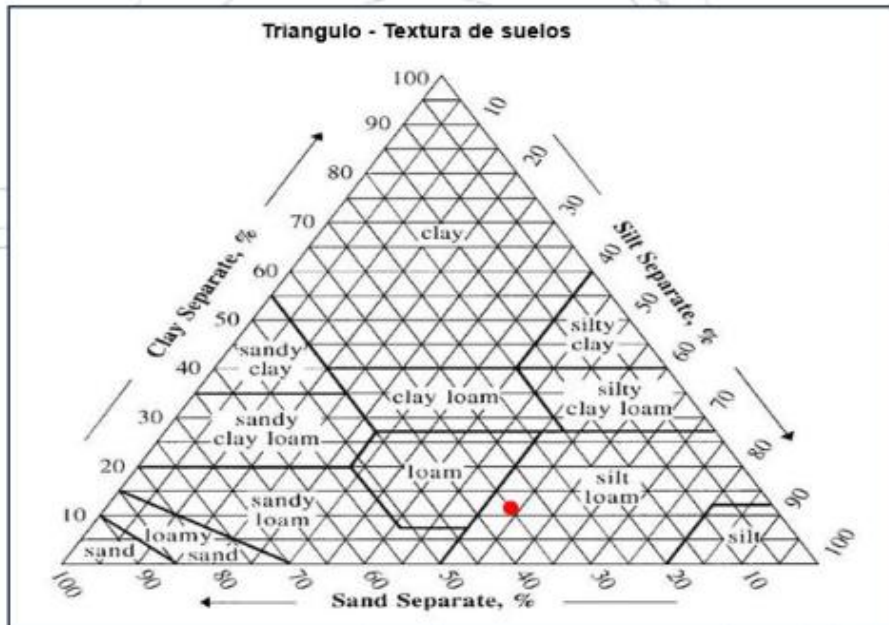
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
IV-T4	23051397	2023-05-23	09:15	30.48	44.32	22.473696	33	54	11	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Fr.= Arena fríasca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:





LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



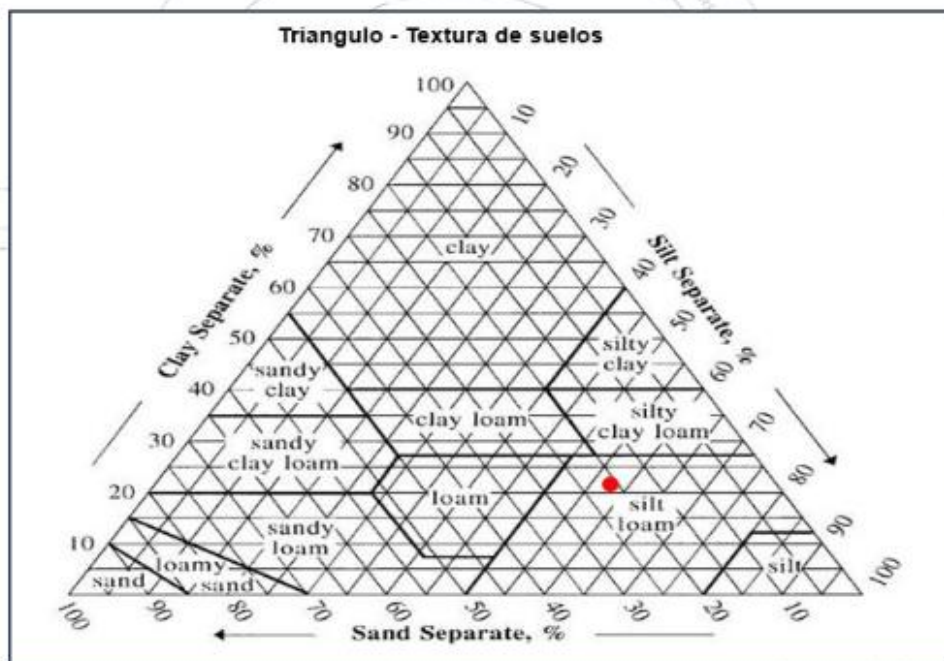
INFORME DE ENSAYO N° 173074-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829										
ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELO										
IDENTIFICACIÓN				Peso de muestra y porcentaje de sólidos			COMPOSICIÓN			Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Muestra secada al aire (g)	% Sólidos	Muestra en base seca (g)	% Arena	% Limo	% Arcilla	
IV-TS	23851398	2023-05-22	09:30	50.26	34.08	17	21	58	21	FRANCO LIMOSO

A= Arena; A.Fr.= Arena franca; Fr.A= Franco arenoso; Fr.= Franco; L= Limoso; Fr.L= Franco limoso; Fr.Ar.A= Franco arcillo arenoso; Fr.Ar.= Franco arcilloso; Fr.Ar.L= Franco arcillo limoso; Ar.A= Arcillo arenoso; Ar.= Arcilloso; Ar.L= Arcillo limoso

Gráfico de Clasificación Textural:



Lima, 09 de Junio del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, resulta a falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los subditos pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima y Pasaje Cierinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Rios Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 24 de 24

Nota: SAG SAC

Anexo 3

Toma de muestras del relave



Nota: Elaboración propia

Anexo 4

Preparación de tratamiento y siembra de alfalfa



Nota: Elaboración propia

Anexo 5

Tratamientos a los 120 días



Nota: Elaboración propia