

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de *Medicago sativa* en la  
fitorremediación de suelos contaminados con Cd y  
Pb tratados con estiércol de oveja en el distrito de  
Chupuro - Junín, 2023**

Julisa Milagros Salvador Salazar  
Yubithza Medalith Gutarra Cunyas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Verónica Nelly Canales Guerra

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 12 de agosto del 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor del trabajo de investigación titulado "INFLUENCIA DE MEDICAGO SATIVA EN LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON Cd y Pb, TRATADOS CON ESTIÉRCOL DE OVEJA EN EL DISTRITO DE CHUPURO- JUNÍN, 2023", perteneciente a JULISA MILAGROS SALVADOR SALAZAR y YUBITHZA MEDALITH GUTARRA CUNYAS, de la E.A.P de Ingeniería Ambiental, se procedió con la carga del documento a la plataforma Turnitin y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14% de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio.

Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: **15**) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad. Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC. Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Asesor de tesis

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado en primer lugar a Dios, por ser el inspirador y la fuerza para poder obtener una de mis metas principales. A mis padres (Emilio y Norma), mi hermano y familia por el apoyo incondicional, por su amor, valores. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, es un orgullo y privilegio ser miembro de la familia.

Julisa Salvador Salazar

A mi madre Trinidad y a mi padre Iván, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores y por su esfuerzo para que pueda culminar con mis objetivos. A mis hermanos porque siempre han estado junto a mí a lo largo de mi carrera, brindándome su apoyo para no rendirme y siempre salir adelante. A mis familiares por su apoyo en todo momento.

Yubithza Gutarra Cunyas

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios, por guiarme a lo largo de todo este camino y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Gracias a mis padres y hermano por ser un apoyo incondicional para lograr mis metas y sueños, por confiar y creer en mí.

Agradezco a la Universidad Continental por ser mi alma máter y haber compartido sus enseñanzas a lo largo de mi preparación profesional y de manera especial a mi asesora de tesis.

Julisa Salvador Salazar

Principalmente, agradezco a Dios y a mis abuelitos por guiarme en este camino y por brindarme salud y vida. A mis padres y hermanos, por su motivación y fortaleza. A nuestra asesora, la Mg. Verónica Nelly Canales Guerra, por ser parte de esta tesis, por los conocimientos y enseñanzas impartidas.

Yubithza Gutarra Cunyas

## Índice de contenido

Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de contenido.....	v
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras .....	ix
Resumen.....	xi
Abstract .....	xii
Introducción.....	xiii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1 Problema general .....	15
1.1.2 Problemas específicos .....	15
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivo específico .....	16
1.3 Justificación e importancia.....	16
1.3.1 Justificación de la investigación .....	16
1.3.2 Importancia de la investigación .....	17
1.4 Delimitación del proyecto.....	17
1.5 Hipótesis y variables.....	17
1.5.1 Hipótesis.....	17
1.5.2 Variables.....	17
1.5.3 Independiente.....	17
1.5.4 Dependiente.....	17
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	18

2.1.2	Antecedentes nacionales.....	20
2.1.3	Antecedentes locales.....	21
2.2	Bases teóricas.....	22
2.2.1	Contaminación del suelo.....	22
2.2.2	Tipos de contaminación del suelo.....	22
2.2.3	Fuentes de contaminación del suelo.....	23
2.2.4	Fitorremediación.....	26
2.2.5	Plantas biorremediadores.....	27
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		29
3.1	Método, tipo o alcance de la investigación.....	29
3.1.1	Método.....	29
3.1.2	Nivel de la investigación.....	29
3.1.3	Tipo de investigación.....	29
3.1.4	Enfoque de la investigación.....	29
3.1.5	Diseño de la investigación.....	29
3.2	Población y muestra.....	30
3.2.1	Población.....	30
3.2.2	Muestra.....	30
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
3.3.1	Técnicas.....	31
3.3.2	Instrumentos.....	31
3.4	Materiales y métodos.....	31
3.5	Procedimiento de la investigación.....	32
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		54
4.1	Presentación de resultados.....	54
4.1.1	Caracterización físico-química del suelo.....	54
4.1.2	Características físicas del <i>Medicago Sativa</i> .....	55
4.1.3	Remoción de Cd y Pb.....	59
4.2	Prueba de hipótesis.....	61

4.3	Discusión de resultados .....	63
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		67
5.1	Conclusiones.....	67
5.2	Recomendaciones.....	67
Referencias bibliográficas .....		69
Anexos .....		74

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros evaluados en el análisis del suelo inicial.....	35
<b>Tabla 2.</b> Análisis de la textura del suelo inicial y final .....	54
<b>Tabla 3.</b> Análisis de la fertilidad del suelo inicial y final .....	55
<b>Tabla 4.</b> Altura del Medicago sativa en el primer corte .....	55
<b>Tabla 5.</b> Altura del Medicago sativa en el segundo corte.....	56
<b>Tabla 6.</b> Altura del Medicago sativa en el tercer corte.....	57
<b>Tabla 7.</b> Longitud de la raíz del Medicago sativa. ....	58
<b>Tabla 8.</b> Concentración final de Cd en tratamiento de suelo con Medicago sativa.....	59
<b>Tabla 9.</b> <i>Eficiencia de la remoción de Cd</i> .....	60
<b>Tabla 10.</b> Concentración final de Pb en tratamiento de suelo con Medicago sativa .....	60
<b>Tabla 11.</b> <i>Eficiencia de la remoción de Pb</i> .....	60
<b>Tabla 12.</b> <i>Comparación de ECA de suelo y los metales de Cd y Pb</i> .....	61
<b>Tabla 13.</b> <i>ANOVA para concentración de Cd en cada corte y post-hoc de Tukey</i> .....	61
<b>Tabla 14.</b> <i>ANOVA para concentración de Pb en cada corte y post-hoc de Tukey</i> .....	62
<b>Tabla 15.</b> <i>Análisis factorial para la remoción de Cd y Pb</i> .....	63

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Clasificación de elementos metálicos y no metálicos que se encuentran frecuentemente en suelos agrícolas. Tomado de RASHID ET AL. (30) “Contaminación por metales pesados en suelos agrícolas”.....	25
<b>Figura 2.</b> Mecanismo de fitorremediación por las plantas. Tomado de DURICKOVIC I. (33) “Diferentes mecanismos de fitorremediación por acción de plantas, 2019”. .....	27
<b>Figura 3.</b> Ubicación del lugar del estudio.....	32
<b>Figura 4.</b> <i>Ubicación del área de extracción de muestreo. Obtenido de google earth</i> .....	33
<b>Figura 5.</b> Extracción de la muestra del suelo.....	35
<b>Figura 6.</b> Excavación de las pozas experimentales.....	37
<b>Figura 7.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 1, el mes 1. ....	38
<b>Figura 8.</b> Mediciones de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 2, mes 1 .....	38
<b>Figura 9.</b> Mediciones de altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 3, el mes 1 .....	39
<b>Figura 10.</b> Obtención de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 1 .....	39
<b>Figura 11.</b> Obtención de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 1 .....	40
<b>Figura 12.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 1.....	40
<b>Figura 13.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el área 1, el mes 2.....	41
<b>Figura 14.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en el área 2, el mes 2 .....	41
<b>Figura 15.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en el área 3, el mes 2 .....	42
<b>Figura 16.</b> Extracción de la prueba del suelo en el área 1, mes 2 .....	42
<b>Figura 17.</b> Extracción de la prueba del suelo en el área 2, mes 2 .....	43
<b>Figura 18.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 2.....	43
<b>Figura 19.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en la ubicación 1, el mes 3 .	44
<b>Figura 20.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en 2, el mes 3 .....	44
<b>Figura 21.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 3, el mes 3.....	45
<b>Figura 22.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 3.....	45
<b>Figura 23.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 3.....	45
<b>Figura 24.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 3.....	46
<b>Figura 25.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en la ubicación 1, el mes 4 .	46
<b>Figura 26.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en la ubicación 2, el mes 4	47
<b>Figura 27.</b> Evaluación de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 3, el mes 4.....	47
<b>Figura 28.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 4.....	48
<b>Figura 29.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 4.....	48
<b>Figura 30.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 4.....	48
<b>Figura 31.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 1, el mes 5 .....	49
<b>Figura 32.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 2, el mes 5 .....	49
<b>Figura 33.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 3, el mes 5 .....	50

<b>Figura 34.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 5.....	50
<b>Figura 35.</b> Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 5.....	51
<b>Figura 36.</b> Extracción de la muestra del suelo en el punto 3, mes 5. ....	51
<b>Figura 37.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 1, el mes 6 .....	51
<b>Figura 38.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 2, el mes 6 .....	52
<b>Figura 39.</b> Medición de la altura del Medicago sativa y la raíz en el punto 3, el mes 6.....	52
<b>Figura 40.</b> <i>Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 6.</i> .....	53
<b>Figura 41.</b> <i>Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 6.</i> .....	53
<b>Figura 42.</b> <i>Extracción de la muestra del suelo en el punto 31, mes 6.</i> .....	53
<b>Figura 43.</b> Altura en cm del Medicago sativa en el primer corte.....	56
<b>Figura 44.</b> Altura del Medicago sativa en el segundo corte. ....	57
<b>Figura 45.</b> Altura del Medicago sativa en el tercer corte .....	58
<b>Figura 46.</b> Longitud de la raíz del Medicago sativa.....	59

## Resumen

El trabajo tiene como objetivo evaluar la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb del distrito de Chupuro, Huancayo - Junín. Se extrajeron 432 kg de suelo contaminado de la margen derecha del río Mantaro según la guía de muestreo de suelos del MINAM. Para un diseño experimental se construyeron 3 pozas con 144 kg cada una, que se trataron con diferentes cantidades de estiércol de oveja: 0 kg (punto 03), 7 kg (punto 02) y 14 kg (punto 01). Los resultados muestran una reducción progresiva de Cd y Pb durante los seis meses de evaluación. Al sexto mes, en el punto 01, se logró reducir Cd a 0.74 mg/kg (83.84 %); en el punto 02: 0.89 mg/kg (80.57 %) y en el punto 03: 0.98 mg/kg (78.60 %); para el Pb, en el punto 01: 217.79 mg/kg (58.30 %); en el punto 02: 287.52 mg/kg (55.88 %) y el punto 03: 284.85 mg/kg (56.29 %). La máxima remoción de metales en el punto 01 puede ser facilitado por el estiércol de oveja que mejora la longitud del tallo y raíz de *Medicago sativa*. En conclusión, en los tres puntos, al tercer corte se logra una disminución significativa de Cd y Pb ( $p < 0.05$ ), removiendo Cd por debajo del ECA para suelo de uso agrícola (1.4 mg/kg D.S N° 011-2017-MINAM) y más del 55 % de Pb; por lo que, *Medicago sativa* influye positivamente en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con estiércol de oveja.

**Palabra clave:** *Medicago sativa*, fitorremediación, suelos contaminados con Cd y Pb.

## **Abstract**

The objective of the work is to evaluate the influence of *Medicago sativa* in the phytoremediation of soils contaminated with Cd and Pb in the district of Chupuro, Huancayo - Junín. 432 kg of contaminated soil were extracted from the right bank of the Mantaro River according to the MINAM soil sampling guide. For an experimental design, 3 ponds were built with 144 kg each, which were treated with different amounts of sheep manure: 0 kg (point 03), 7 kg (point 02) and 14 kg (point 01). The results show a progressive reduction of Cd and Pb during the six months of evaluation. At month 6, at point 01, Cd was reduced to 0.74 mg/kg (83.84 %); at point 02: 0.89 mg/kg (80.57 %) and at point 03: 0.98 mg/kg (78.60 %); for Pb, in point 01: 217.79 mg/kg (58.30 %); at point 02: 287.52 mg/kg (55.88 %) and point 03: 284.85 mg/kg (56.29 %). Maximum metal removal at point 01 can be facilitated by sheep manure that improves the stem and root length of *Medicago sativa*. In conclusion, in the three points, at the third cut a significant decrease in Cd and Pb is achieved ( $p < 0.05$ ), removing Cd below the ECA for soil for agricultural use (1.4 mg/kg D.S N° 011-2017-MINAM) and more than 55 % Pb; Therefore, *Medicago sativa* positively influences the phytoremediation of soils contaminated with Cd and Pb, treated with sheep manure.

**Keyword:** *Medicago sativa*, phytoremediation, Cd and Pb.

## Introducción

En la actualidad, la contaminación del suelo con metales pesados es un problema ambiental significativo, resultado de actividades humanas como la descarga de desechos industriales, la minería, el procesamiento de minerales y las emisiones de vehículos, esta contaminación por metales pesados arruina el equilibrio del ecosistema, degrada las propiedades del suelo, afecta la productividad agrícola y daña la salud humana por exposición directa o al ingresar a la red alimentaria (1). En el Perú se han reportado suelos contaminados con metales pesados en la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú, estos han sido superados largamente en ECA para suelos de uso agrícola en algunos lugares en As (649 ppm), Cd (16.9 ppm) y Pb (2021 ppm). La dispersión de mercurio, plomo, cadmio y arsénico en los suelos está vinculada a la presencia de estos metales en las aguas del río Mantaro que proviene del norte, donde se encuentra la actividad minera polimetálica en La Oroya, esto comprende la existencia de sitios con pasivos ambientales. (2)

Por lo tanto, el objetivo de esta tesis es evaluar la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con el estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, 2023.

El primer capítulo de la tesis aborda la presentación y definición del problema, los objetivos, la justificación y la relevancia del estudio de investigación, la hipótesis y la explicación de variables. En el segundo capítulo se trabaja el marco teórico. El tercer capítulo se centra en la metodología utilizada. Por último, el cuarto capítulo se presentan los resultados y discusión; finalmente el capítulo cinco de las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el plomo es una de las sustancias químicas más peligrosas para la salud pública. Por lo tanto, se recomienda identificar y eliminar las fuentes de contaminación para personas con niveles de plomo en sangre mayores o iguales a 5  $\mu\text{g/dL}$  (3). El suelo es un recurso vital, y su contaminación puede modificar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, afectando la salud de los seres vivos y el ambiente. El cadmio (Cd) y el plomo (Pb) son metales pesados tóxicos que, con exposición prolongada, se acumulan en órganos vitales, causando daños renales y al sistema nervioso. Además, estos metales pueden encontrarse en agua potable, afectando la calidad del agua y, a largo plazo, la cadena alimentaria. Por ende, es fundamental implementar medidas de remediación de suelos contaminados para mitigar los efectos a largo plazo de esta contaminación. (4)

En Latinoamérica, la contaminación por Cd y Pb es un problema significativo debido a las actividades industriales, minería, vertederos y procesos agrícolas. En este sentido, la industria minera y metalúrgica es una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados, debido a la lixiviación de sus relaves. Asimismo, el uso indiscriminado de agroquímicos, fertilizantes y pesticidas con Cd y Pb contribuye a la contaminación del suelo y afecta la calidad de los alimentos cultivados (5). Por consiguiente, la mala gestión de residuos y vertederos también contribuye a la contaminación del suelo y el agua cercana. Esta situación resalta la necesidad de políticas ambientales, regulaciones efectivas, monitoreo constante y acciones de remediación para proteger la salud pública y la biodiversidad en la región. (6)

En Perú, la contaminación del suelo por metales pesados como Cd y Pb es un problema ambiental con múltiples fuentes y consecuencias. Las principales causas incluyen la actividad minera y metalúrgica, que libera metales pesados durante la extracción y procesamiento de minerales, y el uso indiscriminado de agroquímicos. Además, la mala gestión de residuos y vertederos contribuye significativamente a la contaminación. Esta problemática afecta la salud humana a través de diversas vías, como la inhalación de polvos contaminados (7). A nivel local, terrenos cerca de la cuenca del río Mantaro presentan concentraciones de Cd y Pb, afectando la agricultura y provocando enfermedades a través de alimentos contaminados y erosión del suelo (8). Por lo tanto, es imperativo implementar estrategias de remediación para proteger la salud y el medio ambiente en Perú. (9)

Resaltando la fitorremediación, una técnica biotecnológica que utiliza plantas para descontaminar suelos, aguas y sedimentos contaminados por metales pesados y otros

contaminantes. En este sentido, las plantas capaces de acumular, estabilizar y degradar contaminantes se emplean para reducir la concentración de sustancias tóxicas en el medio ambiente. Este método es considerado una alternativa ecológica y económica a los métodos físicos y químicos de remediación, ya que no solo elimina los contaminantes, sino que también mejora la calidad del suelo y promueve la biodiversidad. (10)

Donde el *Medicago sativa*, comúnmente conocida como alfalfa, es una planta leguminosa reconocida por su capacidad de acumular metales pesados, lo que la convierte en una candidata ideal para la fitorremediación. Investigaciones previas han demostrado su eficacia en la absorción de metales como Cd y Pb, mejorando la calidad del suelo contaminado (11). Por otro lado, el estiércol de oveja es un abono orgánico que mejora la estructura y fertilidad del suelo, favoreciendo el crecimiento de plantas utilizadas en fitorremediación. De esta manera, estudios han indicado que el uso de estiércol de oveja puede aumentar la capacidad de absorción de metales pesados por las plantas, potenciando el proceso de descontaminación. Por lo tanto, la combinación de *Medicago sativa* y estiércol de oveja representa una estrategia prometedora para la remediación de suelos contaminados. (11)

Por ende, la presente tesis aborda la problemática de la contaminación de suelos con Cd y Pb en el distrito de Chupuro, Junín, ofreciendo una solución mediante el uso de *Medicago sativa* y estiércol de oveja para la fitorremediación. En consecuencia, la investigación busca demostrar que esta combinación puede ser una estrategia efectiva y sostenible para reducir la concentración de metales pesados en suelos agrícolas, mejorando la calidad del suelo y mitigando los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Esta solución no solo es relevante a nivel local, sino que también puede ser aplicada en otras regiones afectadas por la contaminación de metales pesados. Por lo tanto, la implementación de esta estrategia puede contribuir significativamente a la mejora de la salud ambiental y la seguridad alimentaria en áreas contaminadas.

### **1.1.1 Problema general**

➤ ¿Cuál es la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, 2023?

### **1.1.2 Problemas específicos**

➤ ¿Cuál es la variación de los parámetros físico químicos en suelos sembrados con *Medicago sativa*, contaminados con Cd y Pb y tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg del estiércol de oveja?

➤ ¿Cuánto es el crecimiento semanal del tallo del *Medicago sativa* en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja?

➤ ¿Cuánto es el crecimiento mensual de la raíz del *Medicago sativa* en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

➤ Determinar la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con el estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, 2023.

### **1.2.2 Objetivo específico**

➤ Evaluar la variación de los parámetros físico químicos en suelos sembrados con *Medicago sativa*, contaminados con Cd y Pb y tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg del estiércol de oveja.

➤ Registrar el crecimiento semanal del tallo del *Medicago sativa* en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja.

➤ Describir el crecimiento mensual de la raíz del *Medicago sativa* en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja.

## **1.3 Justificación e importancia**

### **1.3.1 Justificación de la investigación**

#### **Justificación Teórica**

Teóricamente esta tesis tendrá un importante aporte a la literatura abierta proporcionando información sobre la técnica de fitorremediación de suelos contaminados con Cadmio y Plomo mediante *Medicago sativa*, tan importantes en el cultivo de los suelos para producción de alimentos)

#### **Justificación práctica**

Se justifica de manera práctica ya que permitirá recuperar con mayor asertividad a la evaluación de la fitorremediación de los suelos contaminados mediante la aplicación de la fitorremediación para mitigar los efectos perjudiciales de cadmio y plomo en suelos del distrito de Chupuro- Junín.

### **Justificación ambiental**

Busca la descontaminación de suelos con metales pesados como Cd y Pb, resaltando así soluciones sostenibles en abordar la contaminación ambiental ya que la fitorremediación al aprovechar el potencial de las plantas en este caso de la *Medicago sativa*, proporciona una opción más recomendada para el medio ambiente en contraste con otras estrategias de remediación que podrían ser más invasivas. (12)

### **1.3.2 Importancia de la investigación**

Ante la contaminación por metales pesados como el cadmio y el plomo es necesario reducir los efectos que se genera tanto en los seres humanos y en el suelo. Se utilizará la técnica de la fitorremediación para reducir la concentración de los metales pesados, mejorar la calidad del suelo y estar debajo de los niveles de los límites máximos permisibles. (13)

## **1.4 Delimitación del proyecto**

El estudio se realizó en el anexo de Carhuapaccha, distrito de Chupuro, Huancayo, del departamento de Junín.

## **1.5 Hipótesis y variables**

### **1.5.1 Hipótesis**

**Hi:** La fitorremediación con *Medicago sativa* mejora significativamente los suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, 2023.

**Ho:** El promedio de la concentración de Cd y Pb en el suelo tratado no tiene diferencia significativa en el valor inicial.

**Ha:** El promedio de la concentración de Cd y Pb en el suelo tratado tiene diferencia significativa en el valor inicial.

### **1.5.2 Variables**

#### **1.5.3 Independiente**

- Fitorremediación con *Medicago sativa* y estiércol de oveja.

#### **1.5.4 Dependiente**

- Suelos contaminados con Cd y Pb.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

El artículo científico que tuvo por objetivo de investigar la influencia de la inoculación de *Medicago sativa* con *P. indica* para remediar suelos contaminados con fenantreno (un tipo de HAP) y cadmio (un metal pesado), para ello contó con la siguiente metodología, tipo de investigación aplicada, de diseño experimental, de donde el autor obtuvo los siguientes resultados. La presencia del fenantreno evitó que la planta inoculada acumulara cadmio hasta cierto punto, mientras que la presencia de cadmio no impidió la degradación del fenantreno ni en la rizosfera ni en la no rizosfera después de la colonización por *P. indica* de los cuales concluyó que su trabajo proporcionó una base teórica para el uso de *P. indica* combinada con *M. Sativa*. Este estudio mostró que la inoculación de *Medicago sativa* con *Piriformospora indica* puede ser efectiva para la remediación de suelos contaminados con fenantreno y cadmio (14). Por esta razón, este antecedente es relevante para la presente tesis, ya que evidencia la capacidad de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados, alineándose con los objetivos de evaluar la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con estiércol de oveja.

El estudio que tuvo por objetivo investigar el potencial de la alfalfa para la fitorremediación de suelos contaminados artificialmente con diferentes de Pb y Cd y sus combinaciones, para ello contó con la siguiente metodología, las plantas cosechadas fueron divididas y utilizadas para dos propósitos: en primer lugar, la separación en raíces y brotes, que fueron digeridos para la determinación de las concentraciones de N, P, K, Pb y Cd. En este estudio, las plantas mostraron una acumulación significativa de estos metales, sugiriendo que la alfalfa puede ser una opción viable para la fitorremediación (15). Por esta razón, se eligió a *Medicago sativa* como la especie fitorremediadora en la presente investigación, ya que no solo tiene una alta capacidad de acumulación de metales pesados, sino que también es una planta de crecimiento rápido, con un sistema radicular profundo que permite la remediación de capas subsuperficiales del suelo que facilita su implementación en diferentes contextos agroecológicos.

El propósito era analizar la presencia de algunos metales pesados y su bioacumulación en el suelo, y la alfalfa regada con aguas residuales y subterráneas, para ello contó con la siguiente metodología las muestras de alfalfa y suelo, el autor recolectó de 20 fincas diferentes, incluidas 13 con riego con aguas residuales y siete fincas con riego subterráneo. Tras la

digestión ácida, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica para analizar las muestras. Los resultados mostraron que los niveles de Cd, Zn y Pb en los suelos de las explotaciones regadas con aguas residuales fueron superiores a los de las explotaciones regadas con aguas subterráneas. Se concluyó que estos resultados sugieren que el consumo de plantas de alfalfa contaminadas podría representar una amenaza potencial para la salud animal y humana (16). Este estudio es importante porque evidencia que el plomo y el cadmio en altas concentraciones reducen la biomasa y el crecimiento de la planta, lo que justifica la elección de *Medicago sativa* como especie fitorremediadora en este estudio.

La investigación, la cual tuvo por objetivo evaluar la cantidad de biomasa de la planta *Helianthus annuus L.* en suelos con presencia de plomo y cadmio, y realizar una comparación entre ellos, evaluando su eficacia para la eliminación de Pb y Cd, tuvo como metodología, investigación aplicada con enfoque cuantitativo, que tuvo los siguientes resultados, su aplicación de 200 mg.kg<sup>-1</sup> de plomo y cadmio en suelo disminuyó el peso fresco de los brotes y raíz, longitud de brote y raíz, además la concentración máxima de plomo y cadmio en el brote (40.1 y registró 65.7 mg.kg<sup>-1</sup> de peso muerto) y raíces (107.7 y 71.3 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente) en la planta cultivada en suelo modificado con una concentración de metal de 200 mg.kg<sup>-1</sup>. Se concluyó que a medida que la concentración de metales pesados en el suelo aumentaba, se producía una disminución gradual en los pesos frescos y secos de las plantas (17). Este estudio es relevante porque muestra cómo la presencia de metales pesados puede afectar negativamente el crecimiento de las plantas, lo que reafirma la necesidad de investigar la fitorremediación con *Medicago sativa* en suelos con presencia de diversos elementos.

Tuvo por objetivo estudiar los efectos fitoextractivos de la coplantación de *Ricinus communis* y/o leguminosas en suelos contaminados con cadmio y zinc, además tuvo como metodología un tipo de investigación aplicada con enfoque cuantitativo, el proyecto se estructuró en tres categorías de contaminación, clasificadas como baja, media y alta, luego de su aplicación el autor obtuvo los siguientes resultados, la incorporación de *Medicago sativa* provocó un incremento notable en la altura y la biomasa de *R. communis*. Además, se observó un efecto más pronunciado en la cantidad de clorofila de *R. communis* en condiciones de mayor contaminación. Se concluyó que la presencia de *M. sativa* aumentó la cantidad acumulada de cadmio y zinc en *R. communis* (18). Este estudio es importante porque demuestra que la coplantación con leguminosas puede mejorar la acumulación de metales pesados y la biomasa de plantas bajo condiciones de alta contaminación, lo que justifica la elección de *Medicago sativa* como especie fitorremediadora en este estudio.

La investigación, la cual tuvo como objetivo evaluar los efectos de los iones Pb (II) y Cu (II) en tres especies de plantas; a saber, *Medicago sativa L.*, *Triticum aestivum L.* y *Zea mays L.*, para lo cual contó con la metodología siguiente, tipo de investigación aplicada con enfoque cualitativo, de lo cual el autor obtuvo los siguientes resultados, Las evaluaciones exhaustivas de fitotoxicidad realizadas abarcaron un espectro de parámetros críticos, que abarcaron la inhibición de la germinación, desarrollo de plántulas y consideraciones más amplias con respecto a la salud de los ecosistemas. Las métricas clave bajo escrutinio incluyeron la tasa de germinación, el aumento proporcional de las longitudes de las raíces y los tallos, el índice de inhibición del crecimiento y el índice de tolerancia, de ello el autor pudo concluir que, en general, su estudio proporcionó información valiosa sobre las respuestas diversas y dinámicas de diferentes especies de plantas a Pb(II) y Cu(II), iones metálicos, arrojando luz sobre su adaptabilidad y resiliencia en entornos contaminados por metales, esto le permitió al autor diseñar estrategias de fitorremediación en ecosistemas contaminados (19). Por esta razón resalta la fitorremediación ya que se mostró que *Medicago sativa*, *Triticum aestivum* y *Zea mays* presentan distintas respuestas a la presencia de plomo y cobre, justificando la elección de *Medicago sativa* como especie fitorremediadora.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Según Huaura, contó con el objetivo de evaluar la eficacia de la fitorremediadora de *Medicago sativa* en suelos contaminados como plomo en diversas concentraciones en Végueta-Huaura, en periodo de crecimiento distintos (45 y 90 días) en suelos contaminados con plomo en diferentes concentraciones en Végueta-Huaura., para la metodología fue de tipo de investigación experimental, con enfoque descriptivo, además de correlacional donde se examinaron las variaciones ocurridas en la “alfalfa” cultivada en macetas como resultado de la aplicación de tres niveles de plomo: 70, 140 y 210 mg.kg<sup>-1</sup> y un testigo con 0 mg.kg<sup>-1</sup>, de la cual extrajo los siguientes resultados, el autor encontró que el plomo absorbido por la “alfalfa”, respecto a su extracción se observó que fue más pronunciada a través de las raíces y menos significativa en la parte aérea, tanto a los 45 como a los 90 días, particularmente en los tratamientos que recibieron 210 mg.kg<sup>-1</sup>. A partir de estos resultados, el autor concluyó que la “alfalfa” es una planta que excluye el Pb (20). La capacidad de *Medicago sativa* para excluir eficientemente el plomo del suelo, especialmente en concentraciones más altas, la destacó como una especie prometedora para la fitorremediación en este estudio.

La investigación tuvo como objetivo en examinar cómo la especie de planta *Medicago sativa*, comúnmente conocida como alfalfa, influye en la fitorremediación de suelos con diferentes niveles de contaminación por cobre. Se procedió a contaminar artificialmente un suelo franco arenoso con dos concentraciones de 0.53 g CuSO<sub>4</sub>/kg para el tratamiento 1 y 0.66

g CuSO<sub>4</sub>/kg para el tratamiento 2. Tras un período de 2 meses, se observó una reducción significativa en los niveles de cobre en el suelo plantado con alfalfa, disminuyendo de 278 ppm a 124 ppm para el tratamiento T1 y de 293 ppm a 143 ppm para el tratamiento T2, respectivamente. Se detectó una mayor acumulación de cobre en las raíces en comparación con los tallos, siendo el tratamiento T2 el que presentó la mayor acumulación con 78 ppm, en contraste con los 44 ppm del tratamiento T1. Respecto a los tallos, la acumulación de cobre fue superior en el tratamiento T2 con 21 ppm, seguido del tratamiento T1 con 18 ppm. Estos resultados sugieren que la *Medicago sativa* puede considerarse una planta fitorremediadora independientemente de los niveles de cobre presentes en el suelo. En conclusión, en suelos contaminados artificialmente con sulfato de cobre, *Medicago sativa* logró reducir significativamente los niveles de cobre, acumulando más en las raíces que en los tallos (21). Se observó que *Medicago sativa* tiene una capacidad innata para acumular distintos metales pesados en sus raíces, lo que la hace efectiva por ejemplo en la reducción de los niveles de cobre en el suelo, justificando su selección como especie fitorremediadora en este estudio.

### 2.1.3 Antecedentes locales

La tesis “Evaluación de la capacidad Fito extractora de la alfalfa (*Medicago sativa*) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro” El propósito del estudio fue analizar la capacidad de *Medicago sativa* como planta fitoextractora, con el fin de corregir la degradación de los suelos causada por el uso excesivo de fertilizantes sintéticos; se instalaron tres parcelas: P1 (baja), P2 (media) y P3 (alta). Tomando las muestras antes de la siembra y una vez cosechada el *Medicago sativa*. Los resultados que obtuvieron fue que el *Medicago sativa* logró extraer metales pesados del suelo en cantidades significativas, para muestra P1: los porcentajes de cadmio, plomo, níquel son de 26 %, 21 %, 24 % respectivamente. Para P2 los porcentajes de cadmio, plomo y níquel son de 11,5 %, 5,5 %, 13 % respectivamente, y finalmente para P3, los porcentajes de cadmio, plomo y níquel son 34 %, 26 % y 16.2 % de las cuales llegó a las siguientes conclusiones *Medicago sativa* demostró su capacidad para excluir y estabilizar metales pesados en sus raíces, debido a que el factor de bioconcentración o bioacumulacion en las tres parcelas fue menor que 1 (22). Este antecedente aporta a al presente estudio al demostrar la efectividad de *Medicago sativa* como planta fitoextractora en suelos degradados por fertilización sintética. La razón de elegir *Medicago sativa* se justifica por su capacidad para excluir y estabilizar metales pesados en sus raíces, como se evidencia en el estudio donde el factor de bioconcentración o bioacumulación fue menor que 1 en las tres parcelas evaluadas.

La investigación en Viques, tuvo como determinar la eficacia en la eliminación y la capacidad de extracción de plomo (Pb) del Ray Grass Híbrido (*Lolium hybridum Hausskn*), al

agregar dos biofertilizantes comerciales en suelos contaminados con plomo en el distrito de Viques, para ello contó con la siguiente metodología, el nivel de investigación fue explicativo y correlacional, de tipo aplicada, el diseño fue de un solo factor, el autor realizó dos tratamientos y un testigo de los cuales extrajo los siguientes resultados, obtuvo una mayor proporción de eliminación de plomo con el uso del biofertilizante comercial de valor 69.88 %, el cual fitoremedió las parcelas trabajadas con la enmienda ya que bajaron el promedio de plomo por debajo del nivel inicial del ECA, con valor de 57.57 ppm, de las cuales llegó a las siguientes conclusiones, la especie de ray gras híbrido muestra un potencial significativo para la fitoestabilización de suelos contaminados con plomo en Viques. Resalta este estudio ya que, utilizando biofertilizantes comerciales, *Lolium hybridum* demostró una alta capacidad para reducir los niveles de plomo en suelos contaminados. (23). Aunque *Lolium hybridum* demostró un potencial significativo para la fitoestabilización de suelos contaminados con plomo, se seleccionó a *Medicago sativa* como la especie fitorremediadora en este estudio debido a su capacidad demostrada para extraer y estabilizar metales pesados en condiciones similares. Este hecho subraya la eficacia de *Medicago sativa* como una opción efectiva para la fitorremediación en comparación con otras especies evaluadas.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Contaminación del suelo**

Se define la contaminación del suelo como el resultado de una situación en la cual la concentración de una sustancia supera los niveles naturales sin necesariamente causar un daño. (24)

La contaminación del suelo es producida por los agentes químicos, sustancias y los componentes minerales que se encuentra en altas concentraciones generando efectos negativos, la mayoría de los contaminantes del suelo son de origen antropogénico, aunque algunos de ellos pueden encontrarse naturalmente en los suelos, perjudicando a los seres vivos y produciendo las diversas enfermedades cancerígenas, renales y hepáticas en los seres humanos. La contaminación del suelo no detectable a simple vista, lo que la convierte en una amenaza oculta. (25)

### **2.2.2 Tipos de contaminación del suelo**

#### **2.2.2.1 Contaminación puntual**

Se presenta cuando una variedad de actividades humanas libera contaminantes en un área específica, dando lugar a la acumulación de sustancias tóxicas. Esta contaminación,

generalmente localizada y fácilmente identificable, tiene efectos perjudiciales tanto en la salud como el ambiente. (26)

### **2.2.2.2 Contaminación difusa**

Contaminación que se extiende a espacios amplias, no tiene una fuente única y es difícil de identificar. Esta contaminación involucra la dispersión de los contaminantes a través de sistemas de aire, suelo y agua. Para poder identificar qué contaminantes son, se debe realizar los análisis complejos. (26)

## **2.2.3 Fuentes de contaminación del suelo**

### **2.2.3.1 Fuentes geogénicas naturales**

Es crucial distinguir entre los niveles de referencia y los niveles iniciales al evaluar la contaminación en áreas sin regulaciones ambientales establecidas. Las fuentes naturales de metales pesados pueden representar un riesgo para la salud y el medio ambiente, ya que se encuentran en minerales primarios y secundarios presentes en las rocas y formados por procesos de descomposición, respectivamente. (26)

### **2.2.3.2 Fuentes antropogénicas**

Es una vía directa de contaminar el suelo mediante diversos procesos. En la técnica de flotación de minerales es causante de la contaminación del suelo ya que se utilizan reactivos químicos variados generando desechos que contienen concentraciones de metales tóxicos. Las principales fuentes antropogénicas son las operaciones industriales que liberan sustancias contaminantes al aire, agua y tierra, desechos domésticos y municipales. Los químicos se liberan en el medio ambiente de manera accidental, como sucede en los derrames de petróleo, plaguicidas en las cuales afectan al suelo. (27)

#### **a) Actividades industriales**

El desarrollo industrial juega un papel crucial en la sociedad, pero estas industrias emiten emisiones contaminantes afectando al ecosistema de nuestro planeta ya que los patrones más inusuales son las contaminaciones antropogénicas. Este sector de la industria ha dejado suelos contaminados ya que las industrias generan desechos líquidos y sólidos, donde esta contaminación es causado por las antiguas fábricas, vertederos no controlados, derrames entre otros. (27)

## **b) Actividad minera**

En la minería se produce sustancias y desechos tóxicos que contaminan el suelo como por ejemplo los relaves mineros que contienen metales pesados y agua ácida que son dispersas por la erosión hídrica y eólica alcanzando los suelos agrícolas y con respecto a las emisiones gaseosas estas producen las lluvias ácidas que afecta el suelo y la vegetación. (28)

Al realizar la excavación a cielo abierto en la minería se ha producido una pérdida irreversible de suelo y se acumula residuos mineros, escombreras que drenan aguas ácidas y aportan metales pesados al suelo. El riesgo es especialmente en los suelos agrícolas ya que los metales móviles biodisponibles y transferirse a la cadena trófica. (28)

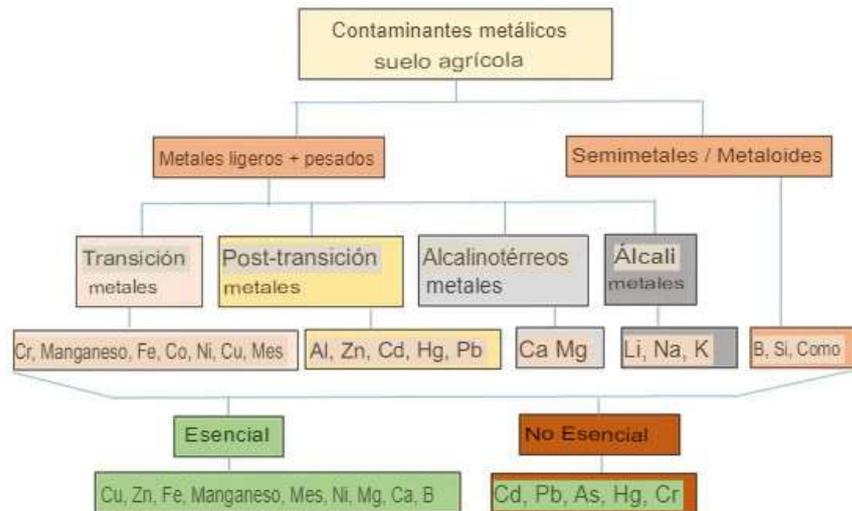
## **c) Actividades agrícolas y ganaderas**

La actividad agrícola ha suscitado inquietud debido a la aplicación de productos químicos, lo cual resulta contaminación ambiental en áreas donde los agricultores carecen de asesoramiento técnico y recurren al uso de pesticidas por la obligación de preservar sus cultivos, sin considerar que están contaminando los cultivos y esta repercute en el suelo, agua y aire. Al utilizar en exceso los agroquímicos como Cd y Pb perjudica el metabolismo de las plantas y la alimentación a los ganados y la salud humana ya que ingresan en la cadena alimentaria. (25)

## **d) Contaminación por metales pesados en el suelo**

### **Metales pesados**

Componentes de elevada densidad atómica, como el arsénico, cadmio, plomo, entre otros. Aunque esenciales en pequeñas cantidades para procesos biológicos, su liberación por actividades industriales puede tener consecuencias nocivas para el medio ambiente y salud de las personas. Estos metales pueden contaminar el suelo, el agua y el aire, afectando tanto a la vida terrestre como acuática. Es fundamental regular su uso y gestionar adecuadamente sus desechos para minimizar su impacto negativo en los ecosistemas (29). En la siguiente figura se visualiza la clasificación de metales esenciales y no esenciales en el suelo.



**Figura 1.** Clasificación de elementos metálicos y no metálicos que se encuentran frecuentemente en suelos agrícolas. Tomado de RASHID ET AL. (30) “Contaminación por metales pesados en suelos agrícolas”.

## Suelo

Es la capa superior de la superficie terrestre que sustenta el crecimiento de las plantas al proporcionarles nutrientes y soporte físico. Se compone de una mezcla diversa de materiales minerales y orgánicos, junto con agua y aire, cuya formación está influenciada por factores climáticos, topográficos, biológicos y geológicos. El suelo se caracteriza por su estructura en capas, denominadas horizontes, que se desarrollan con el tiempo debido a procesos de meteorización y transformación de los materiales subyacentes. Es un componente crucial del ecosistema terrestre, proporcionando hábitat para una amplia gama de organismos y sirviendo como base para la producción de alimentos y otros recursos naturales. (29)

## Cadmio

El cadmio, un metal de tonalidad blanca plateada presente en la naturaleza en pequeñas proporciones, ha experimentado un aumento significativo en su presencia ambiental debido a la actividad humana como la minería, la industria y la quema de combustibles fósiles. Este metal es altamente perjudicial, con efectos adversos severos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Se acumula en suelos, agua y alimentos, y puede ingresar al cuerpo humano por inhalación, ingestión o absorción cutánea, provocando daños renales, osteoporosis, trastornos respiratorios y reproductivos.

La lucha contra la contaminación por cadmio es un desafío global que requiere medidas de mitigación y control rigurosas. Se necesitan regulaciones ambientales más estrictas y prácticas industriales responsables para reducir las emisiones de cadmio y prevenir su contaminación en suelos, agua y aire. La concienciación sobre los riesgos del cadmio y la promoción de prácticas de gestión de residuos seguras son esenciales para minimizar la exposición humana y proteger el entorno natural. (31)

### **Plomo**

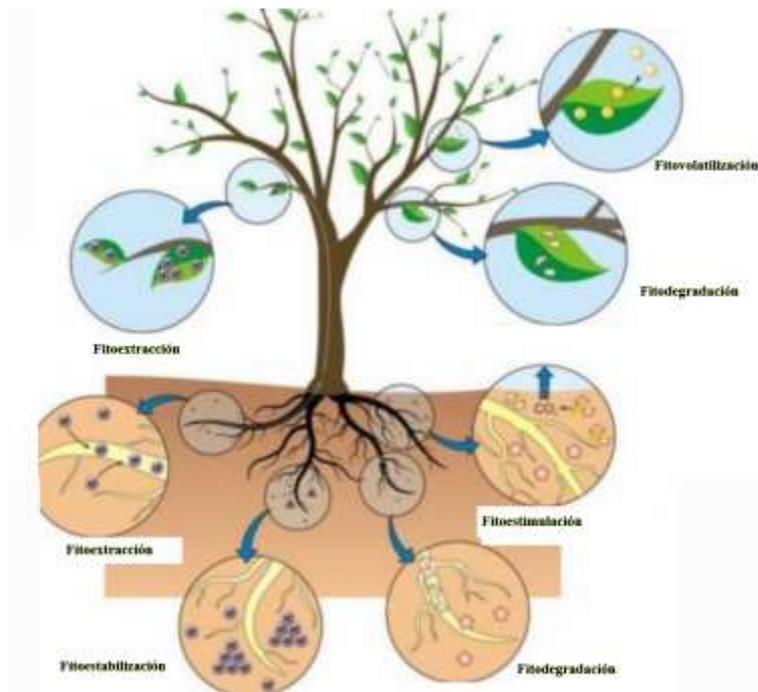
Es un metal de color gris, se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y desempeña un papel relevante en la contaminación ambiental, su alta presencia en el medio ambiente representa un peligro para la salud tanto de los seres humanos como de las plantas. Se ha encontrado que el plomo está presente en cultivos como fresas, papas, yucas, así como en varios jugos industriales como piña, toronja y caña, estas frutas han sido regadas con aguas contaminadas por metales o han sido tratadas con numerosos agroquímicos, lo que resulta en altas concentraciones de plomo en las cosechas de los agricultores. (32)

### **2.2.4 Fitorremediación**

Es un método utilizado para tratar suelos que han sido contaminados por metales pesados, además es de bajo costo y con beneficios económicos, en esta técnica se pueden emplear plantas con características de absorción en las raíces y las partes aéreas como por ejemplo de la planta del *Medicago sativa*. La ventaja es emplear diversas estrategias, como la fitoextracción, fitoestabilización y fitovolatilización, las cuales permiten la eliminación permanente de los metales del suelo sin afectar su calidad. (10)

#### **2.2.4.1 Mecanismos de fitorremediación**

Las plantas utilizan varios mecanismos para remediar la contaminación, como la absorción y almacenamiento en las raíces, la translocación de contaminantes a través de los tejidos y la volatilización de contaminantes gaseosos. (33)



**Figura 2.** Mecanismo de fitorremediación por las plantas. Tomado de DURICKOVIC I. (33) “Diferentes mecanismos de fitorremediación por acción de plantas, 2019”.

### 2.2.5 Plantas biorremediadores

Las plantas fitorremediadoras son aquellas que poseen en absorber, acumular o descomponer los contaminantes presentes en el suelo, el agua o el aire. Estas plantas son utilizadas en procesos de fitorremediación, una técnica ambientalmente amigable para remediar suelos y aguas contaminados, algunas de las plantas fitorremediadoras más conocidas son: Ciertas plantas, denominadas hiperacumuladoras, tienen la capacidad de absorber muchas cantidades de metales pesados y otros contaminantes. Ejemplos incluyen la albahaca, girasol, sauce y el alpiste, estas plantas pueden utilizarse en procesos de fitorremediación, fitoextracción o fitoestabilización. (34)

#### 2.2.5.1 Medicago sativa

Es una especie que tiene la capacidad de fijar fósforo y nitrógeno en los suelos, es una planta capaz de soportar temperaturas que oscilan entre los 10 y 15 grados Celsius bajo cero. Este un cultivo forrajero que se usa en el mundo para la alimentación del ganado combate enfermedades de los riñones, la vejiga y la próstata. Se utiliza para los tratamientos de colesterol alto, asma, reuma, diabetes, infección al estómago entre otros debido a su valor nutricional la *Medicago sativa* es una de las plantas que absorbe los metales del suelo reduciendo considerablemente la salud de los cultivos ya que mediante la fitorremediación esta planta absorbe mediante las raíces y las hojas. (35)

La mayoría de los abonos de origen animal, contienen varios elementos que son favorables para el suelo, los fertilizantes pueden ser sustituidos por los abonos orgánicos ya que no afecta en el rendimiento del fruto, la biomasa de raíz y aumento en el crecimiento de las plantas. (35)

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Método, tipo o alcance de la investigación

#### 3.1.1 Método

Fue hipotético - deductivo aborda procesos donde formula hipótesis para solucionar el problema planteado, contrastando experimentalmente mediante la deducción que pueden llegar a cumplir o no las hipótesis planteadas en la realidad. Donde la contaminación de metales pesados es la visión global y la fitorremediación de metales pesados en el suelo contaminado es el detalle específico. (36)

#### 3.1.2 Nivel de la investigación

Fue de nivel explicativo porque se demostrará la eficacia de *Medicago sativa* utilizando tres medidas diferentes de estiércol de oveja para establecer su influencia en el crecimiento óptimo de los suelos contaminados con Cd y Pb. (37)

#### 3.1.3 Tipo de investigación

El proyecto fue de tipo aplicada porque se empeló conocimientos que ya existen (37) en la rama de Ingeniería Ambiental y afines a fin de aplicarlas en la evaluación de Cd y Pb en los suelos agrícolas del distrito de Chupuro – Junín, 2023 utilizando la fitorremediación con la planta *Medicago sativa*.

#### 3.1.4 Enfoque de la investigación

En esta investigación fue cuantitativo por el empleo de métodos y técnicas cuantitativas (37), basados en el estudio del suelo agrícola del distrito de Chupuro, donde se analizará la cantidad de Cd y Pb que absorbe el *Medicago sativa*.

#### 3.1.5 Diseño de la investigación

Es experimental puro con grupo control, se realizará 3 tratamientos donde se incluye un grupo de control o testigo, de acuerdo al siguiente esquema:

Para la aplicación del tratamiento de la parcela 1 se utilizó 144 kg de suelos y 14 kg de estiércol de oveja de Chupuro, de manera experimental.

Para la aplicación del tratamiento de la parcela 2 se utilizó 144 kg de suelo y 7 kg de estiércol de oveja de Chupuro, de manera experimental.

Para la aplicación del tratamiento de la parcela 3 se utilizó 144 kg de suelo y 0 kg de estiércol de oveja de Chupuro, de manera experimental.

	A	B
RG1	O1 X1	O2
RG2	O3 X2	O4
RG3	O5 X3	O6

Dónde:

RG1 = Suelo contaminado (con mucho estiércol de oveja).

RG2 = Suelo contaminado (con regular estiércol de oveja).

RG3 = Suelo contaminado (con poco estiércol de oveja).

O1, O2, O3, O4, O5 y O6: Suelo con estiércol de oveja.

X1, X2 y X3: *Medicago/sativa*.

A = Pozas con suelo contaminado, donde la concentración de plomo y cadmio sobrepasa el ECA de suelo.

B = Pozas con suelo contaminado, donde la concentración de plomo y cadmio disminuyó significativamente el ECA de suelo.

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

Suelos agrícolas contaminados de la margen derecha del río Mantaro del anexo de Carhuapaccha.

### 3.2.2 Muestra

Área de 581m<sup>2</sup> donde se recolectaron 5 muestras según la guía para el Muestreo de suelos del MINAM. (38)

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.3.1 Técnicas**

Se empleó la técnica de la observación, ya que tiene como objetivo visualizar detalladamente los hechos, sitio o lugar a investigar, recaudando información basándose en las herramientas empleadas en el estudio. (36)

#### **3.3.2 Instrumentos**

El instrumento permite recopilar datos de todos los sucesos que se tiene en la investigación. (37)

Para este estudio se empleó el cuaderno de campo que permitió anotar todos los sucesos en cada etapa de la investigación y se consideró los informes de laboratorio para las evaluaciones.

### **3.4 Materiales y métodos**

Se localizó un área en el anexo de Carhuapaccha, distrito de Chupuro, provincia de Huancayo, con suelos contaminados con Cadmio y Plomo.

Se obtuvo aproximadamente 432 kg de suelo en total, lo cual fue debidamente mezclado, homogenizado uniformemente después mediante el método de cuarteo se alcanzó aproximadamente un 1 kg de suelo, se etiquetó la muestra. Para después ser enviado al Laboratorio de Análisis de suelo, aguas y foliares - LABSAF Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) para ejecutar el análisis de los parámetros de pH, textura, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible, potasio disponible, cadmio y plomo.

#### **a. Equipo de protección personal**

- Guantes

#### **b. Materiales**

- Etiqueta para rotulado de muestras
- Cuaderno de campo
- Lapicero y plumón
- Cinta adhesiva (de embalaje).
- bolsas de plástico (capacidad 2 kg)
- Pala
- Regla

- Pico
- Huincha
- Yeso
- Romana
- Rastrillo

### 3.5 Procedimiento de la investigación

En la figura 3 se muestra el área de extracción de las muestras, en el distrito de Chupuro, provincia de Huancayo, región Junín.



**Figura 3.** Ubicación del lugar del estudio

### a. Etapa inicial

- Se desarrolló una ficha de registro para la recopilación de datos
- Se seleccionó la variedad vegetal empleada en el estudio (*Medicago sativa*)
- Se determinaron los gastos de laboratorio para llevar a cabo el análisis de las muestras de suelo.
- Se compraron las semillas de *Medicago sativa*
- Se llevó a cabo la exploración del área de muestreo



Figura 4. Ubicación del área de extracción de muestreo. Obtenido de google earth.

### b. Etapa de campo

- **Ubicación política y geográfica:**

Departamento: Junín

Provincia: Huancayo

Distrito: Chupuro

Anexo: Carhuapaccha

- **Situación geográfica:**

Latitud Sur: 12° 10' 30.73"

Longitud Oeste: 75° 14' 33.71"

- **Extracción de suelo**

Del área de extracción se obtuvo 432 kg de suelo contaminado donde se trasladó al área del experimento, se realizaron 3 pozas.

De la muestra del suelo contaminado se realizó el método del cuarteo obteniendo 1 kg aproximadamente en la cual la muestra se llevó al laboratorio con su debido rótulo.



**Figura 5.** Extracción de la muestra del suelo

Se recolectó 1 kg de suelo aproximadamente, enviando al laboratorio de Análisis de Suelo, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) para ejecutar los análisis de suelo. ver anexo “4”

**Tabla 1.** *Parámetros evaluados en el análisis del suelo inicial*

Parámetro	Valores iniciales
pH	6.5 unid. pH
Textura	Arena Franca
Conductividad Eléctrica	11.3 mS/m
Materia Orgánica	0.50%
Nitrógeno	0.03%
Fosforo Disponible	4 mg/Kg
Potasio Disponible	38.2 mg/Kg
Cadmio	4.58 mg/Kg
Plomo	651.75 mg/Kg

Nota. Tomada del Laboratorio de Análisis de suelo, aguas y foliars - LABSAF Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Elaboración propia

- **Elaboración de pozas**

Para realizar las pozas se delimitó un área de un 1 m<sup>2</sup> con el yeso. Las excavaciones fueron de las 3 pozas (P1, P2 y P3) cada un tuvo una profundidad de 50 cm.





**Figura 6.** Excavación de las pozas experimentales

- **Sembrado**

- **Punto 01**

En la Punto 01 se utilizó 144 kg de suelo contaminado, 14 kg de guano homogeneizando estos dos componentes para después sembrar 2.5 gramos de *Medicago sativa*, para cubrir la semilla se utilizando el rastrillo.

- **Punto 02**

En la Punto 02 se utilizó 144 kg de suelo contaminado, 07 kg de guano homogeneizando estos dos componentes para después sembrar 2.5 gramos de *Medicago sativa*, para cubrir la semilla se utilizando el rastrillo.

- **Punto 03**

En la Punto 03 se utilizó 144 kg de suelo contaminado, 0 kg de guano homogeneizando estos dos componentes para después sembrar 2.5 gramos de *Medicago sativa*, para cubrir la semilla se utilizando el rastrillo.

- **Análisis**

- A. Mes 01**

En el primer mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta y después de 4 semanas se midió la raíz. Esto en

el punto 1 (figura 4), punto 2 (figura 5) y punto 3 (figura 6). El riego se realizo una vez a la semana.



**Figura 7.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 1, el mes 1.



**Figura 8.** Mediciones de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 2, mes 1



**Figura 9.** Mediciones de altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 3, el mes 1

Se extrajo 1 kg de suelo después de 4 semanas del sembrado de cada punto con su respectivo rotulado, con una profundidad de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 10.** Obtención de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 1



**Figura 11.** Obtención de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 1



**Figura 12.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 1

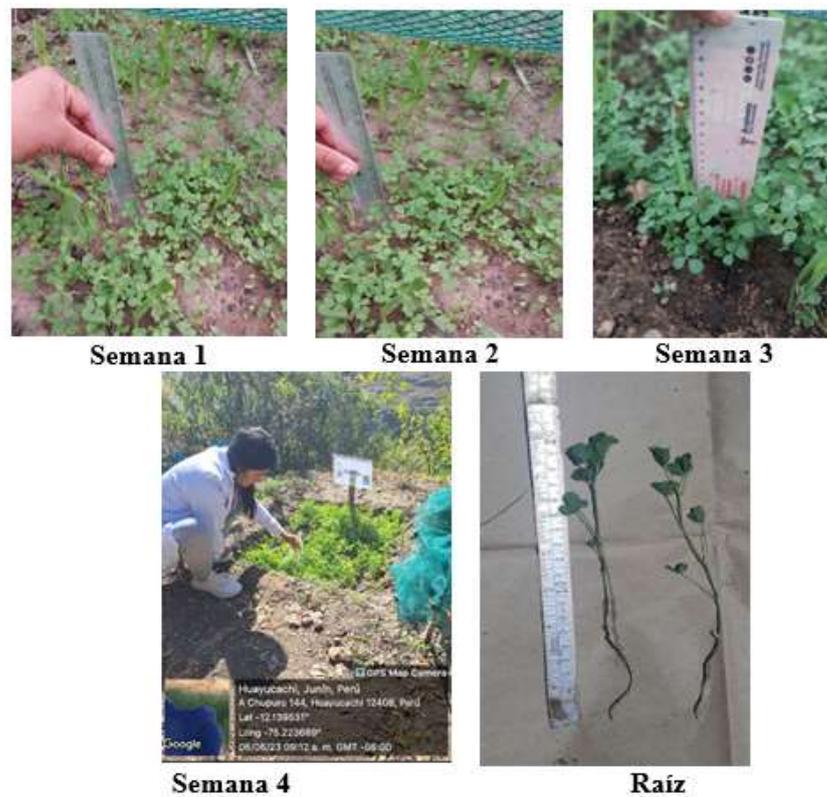
## B. Mes 02

Para el segundo mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta y después de cada 4 semanas se midió la raíz. El riego se realiza una vez a la semana.

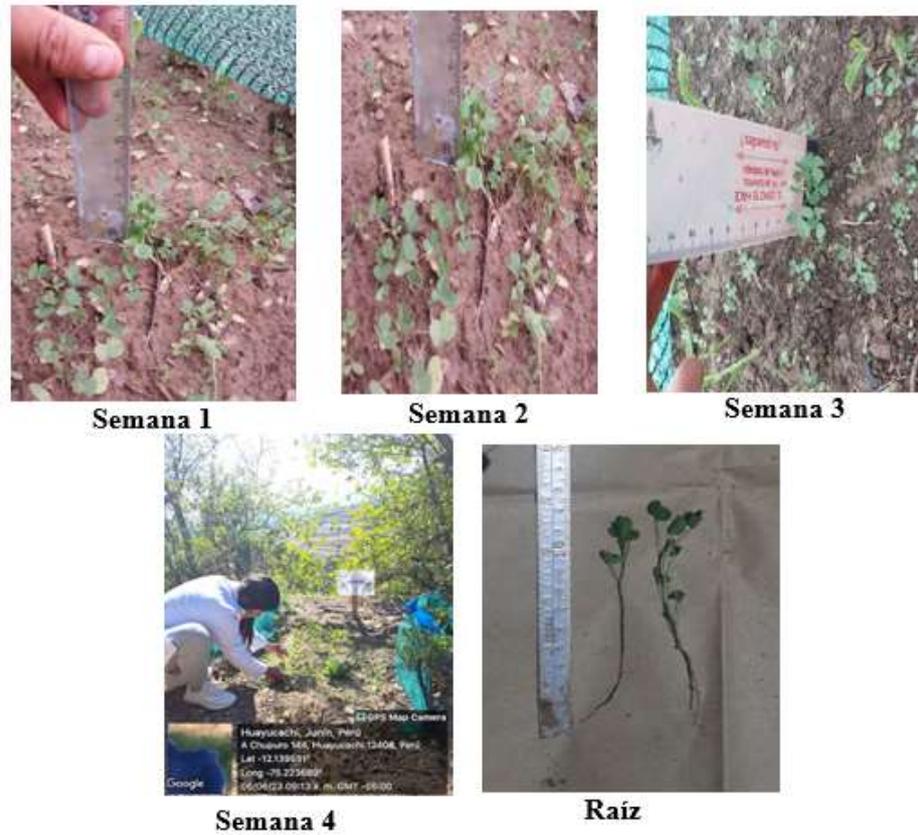
El primer corte se realizó en el segundo mes, ya que los cortes se realizaron cada 8 semanas.



**Figura 13.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el área 1, el mes 2



**Figura 14.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el área 2, el mes 2

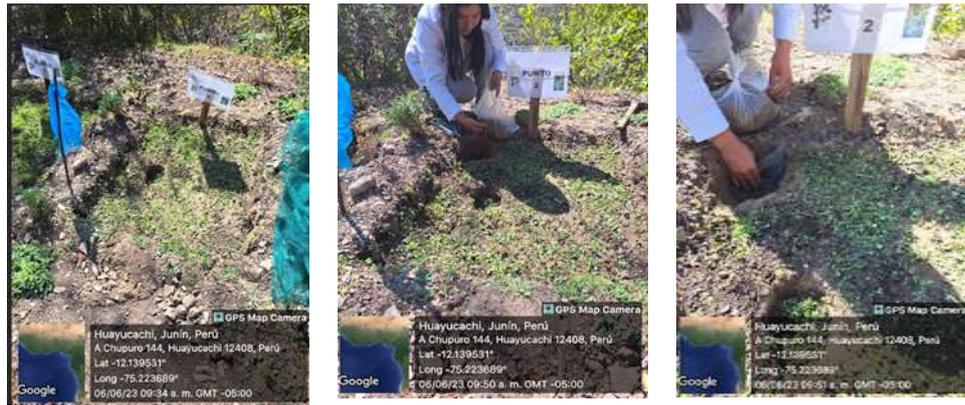


**Figura 15.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el área 3, el mes 2

Se extrajo 1 kg de suelo de cada punto con su respectivo rotulado, con una altura de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 16.** Extracción de la prueba del suelo en el área 1, mes 2



**Figura 17.** Extracción de la prueba del suelo en el área 2, mes 2



**Figura 18.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 2

### C. Mes 03

Para el segundo mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta y después de cada 4 semanas se midió la raíz. El riego se realiza una vez a la semana.

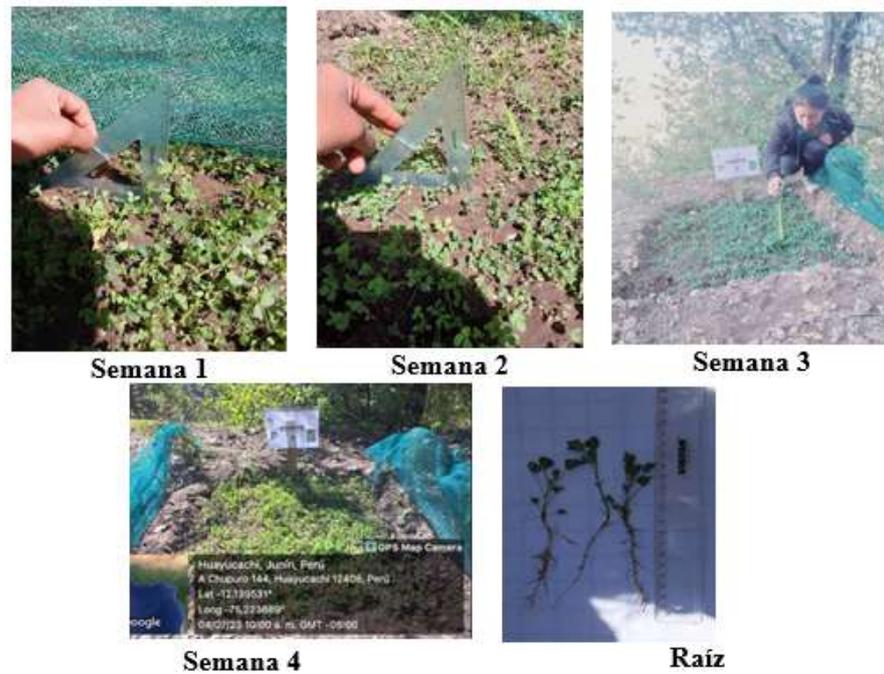
El primer corte se realizó en el segundo mes, ya que los cortes se realizaron cada 8 semanas.



**Figura 19.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en la ubicación 1, el mes 3



**Figura 20.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en 2, el mes 3



**Figura 21.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 3, el mes 3

Se extrajo 1 kg de suelo de cada punto con su respectivo rotulado, con una altura de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 22.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 3.



**Figura 23.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 3.



Figura 24. Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 3, mes 3.

#### D. Mes 04

En el cuarto mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta y después de 4 semanas se midió la raíz. El riego se realiza una vez a la semana.

El segundo corte se realizó en el segundo mes, ya que los cortes se realizaron cada 8 semanas.

#### – Punto 1



Figura 25. Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en la ubicación 1, el mes

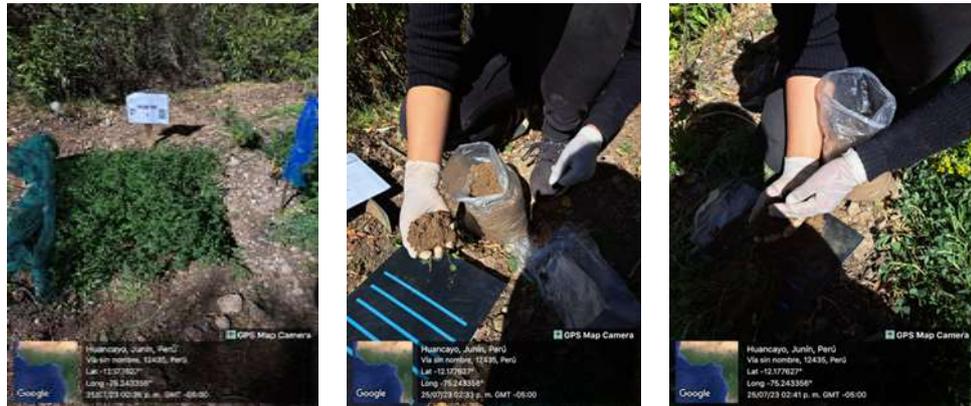


**Figura 26.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en la ubicación 2, el mes 4



**Figura 27.** Evaluación de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 3, el mes 4.

Se extrajo 1 kg de suelo de cada punto con su respectivo rotulado, con una altura de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 28.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 4



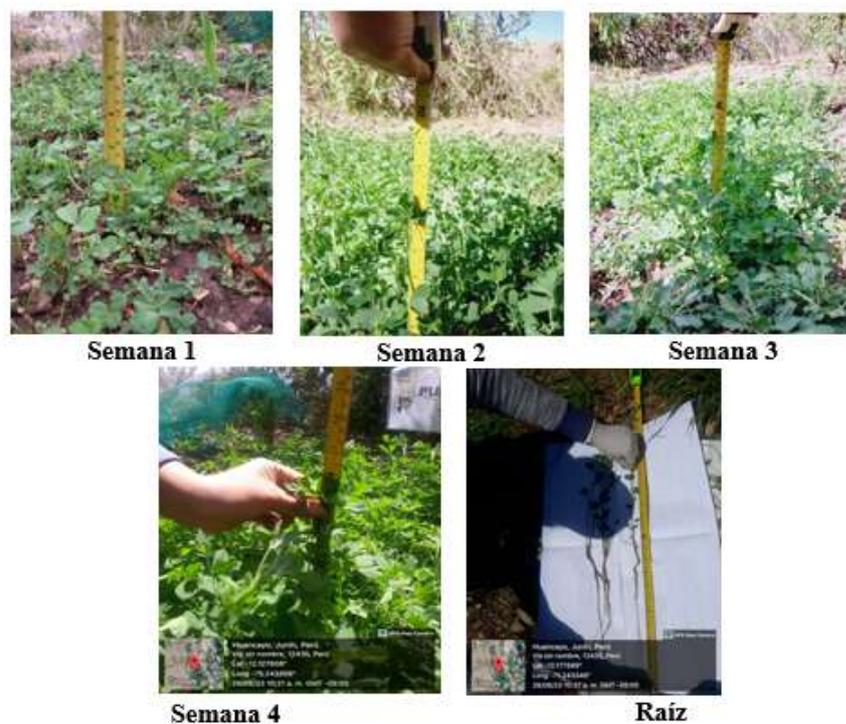
**Figura 29.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 4



**Figura 30.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 4

## E. Mes 05

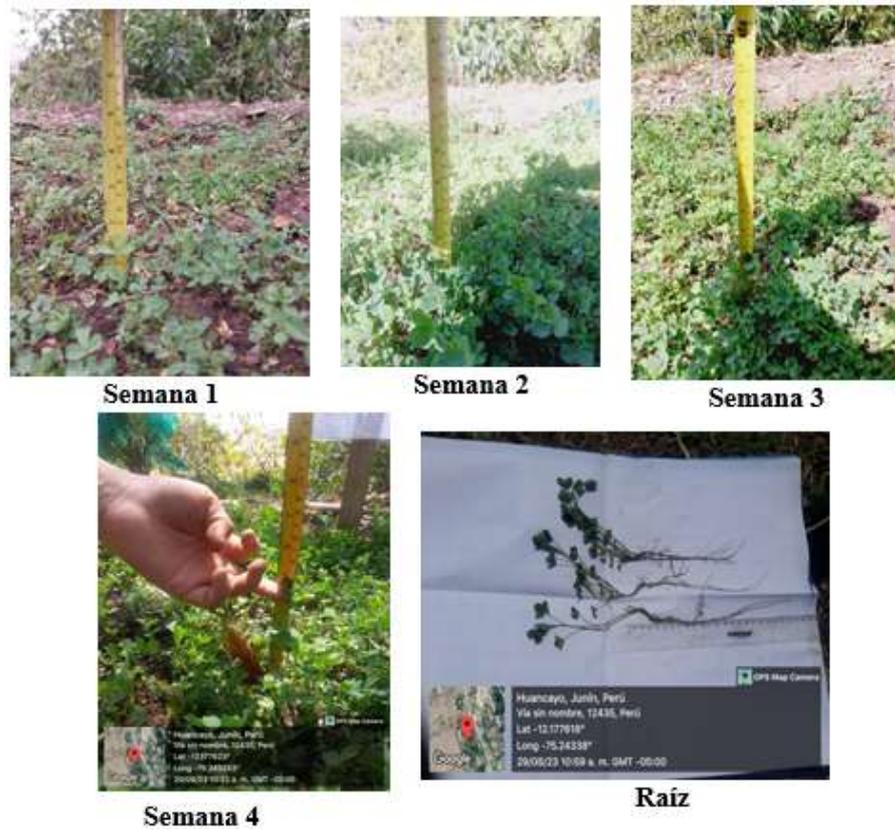
Para el quinto mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta después del segundo corte y después de cada 4 semanas se midió la raíz. El riego se realiza una vez a la semana.



**Figura 31.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 1, el mes 5



**Figura 32.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 2, el mes 5



**Figura 33.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 3, el mes 5

Se extrajo 1 kg de suelo de cada punto con su respectivo rotulado, con una altura de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 34.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 5



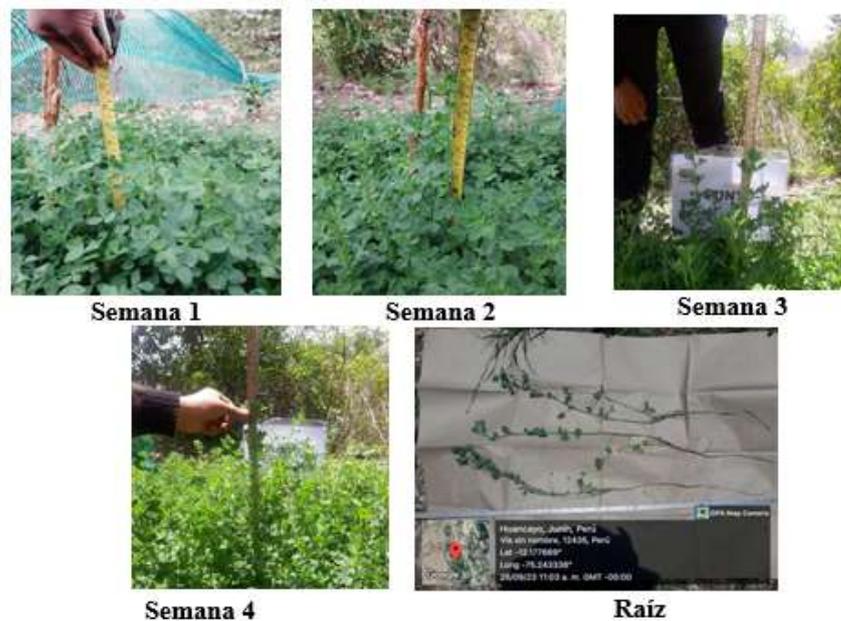
**Figura 35.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 5



**Figura 36.** Extracción de la muestra del suelo en el punto 3, mes 5.

## F. Mes 06

En el sexto mes se realizó la medición del *Medicago sativa*, por semana se realizó mediciones de la parte superficial de la planta y después de 4 semanas se midió la raíz. El riego se realiza una vez a la semana.



**Figura 37.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 1, el mes 6.



**Figura 38.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 2, el mes 6



**Figura 39.** Medición de la altura del *Medicago sativa* y la raíz en el punto 3, el mes 6.

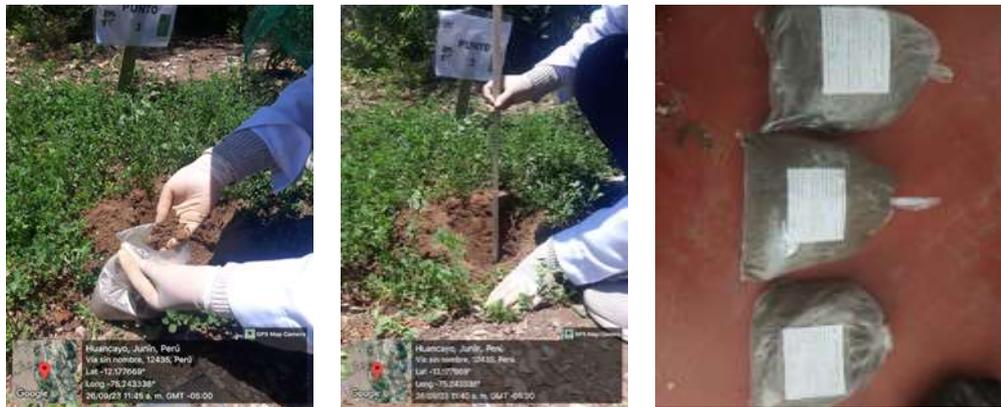
Se extrajo 1 kg de suelo de cada punto con su respectivo rotulado, con una altura de 20 cm para ser examinadas en el laboratorio y determinar el nivel de Cd y Pb.



**Figura 40.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 1, mes 6.



**Figura 41.** Extracción de la prueba del suelo en la ubicación 2, mes 6.



**Figura 42.** Extracción de la muestra del suelo en el punto 31, mes 6.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Presentación de resultados

#### 4.1.1 Caracterización físico-química del suelo

Los análisis realizados sobre la textura del suelo en el laboratorio de Análisis de Suelo, Aguas y Foliarens - LABSAF Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria, detallada en la tabla 2, nos señala que al inicio del tratamiento el porcentaje de Arena es del 80 %, Limo 17 % y Arcilla 3 %. Al final del tratamiento los resultados en los puntos fueron Arena 79 %, Limo 18 %, Arcilla 3 %.

**Tabla 2.** Análisis de la textura del suelo inicial y final

Parámetros	Inicial	Final		
		Punto 01	Punto 02	Punto 03
Arena	80 %	79 %	79 %	79 %
Limo	17 %	18 %	18 %	18 %
Arcilla	3 %	3 %	3 %	3 %
Clase de textura	Arena franca	Arene francoso	Arene francoso	Arene francoso

Los análisis realizados sobre la fertilidad del suelo, detalladas en la tabla 3, nos señala que al inicio del tratamiento el fósforo es bajo con 4 mg/kg, el potasio es bajo con 38.2 mg/kg, el pH es moderadamente ácido con 6.5, la conductividad eléctrica es normal con 11.3 mS/m, la materia orgánica está clasificada en el nivel muy bajo con 0.50 %, El nitrógeno es bajo con 0.03 %.

Los resultados al final del tratamiento fueron:

- Punto 01 el fósforo fue alto con 19.6 mg/kg, el potasio fue medio con 145.6 mg/kg, el pH es medianamente alcalino con 7.7, la conductividad eléctrica es normal con 11.1 mS/m, la materia orgánica está clasificada en el nivel medio con 3.50 %, el nitrógeno es alto con 0.18 %.
- Punto 02 el fósforo es alto con 11.5 mg/kg, el potasio es bajo con 82.1 mg/kg, el pH es medianamente alcalino con 7.8, la conductividad eléctrica es normal con 9.1 mS/m, la materia orgánica está clasificada en el nivel medio con 2.20 %, el nitrógeno es medio con 0.11 %.
- Punto 03 el fósforo es bajo con 2.8 mg/kg, el potasio fue bajo con 63.6 mg/kg, el pH es medianamente alcalino con 8, la conductividad eléctrica es normal con 9.3

mS/m, la materia orgánica está clasificada en el nivel bajo con 1.30 %, el nitrógeno es bajo con 0.07 %.

**Tabla 3.** Análisis de la fertilidad del suelo inicial y final

Parámetros	Inicial	Final		
		Punto 01	Punto 02	Punto 03
pH	6.5 unid. pH	7.7 unid. pH	7.8 unid. pH	8 unid. pH
Conductividad Eléctrica	11.3 mS/m	11.1 mS/m	9.1 mS/m	9.3 mS/m
Materia Orgánica	0.50%	3.50%	2.20%	1.30%
Nitrógeno	0.03%	0.18%	0.11%	0.07%
Fosforo Disponible	4 mg/Kg	19.6 mg/Kg	11.5 mg/Kg	2.8 mg/Kg
Potasio Disponible	38.2 mg/Kg	145.6 mg/Kg	82.1 mg/Kg	63.6 mg/Kg

#### 4.1.2 Características físicas del *Medicago Sativa*

- **Altura del *Medicago sativa***

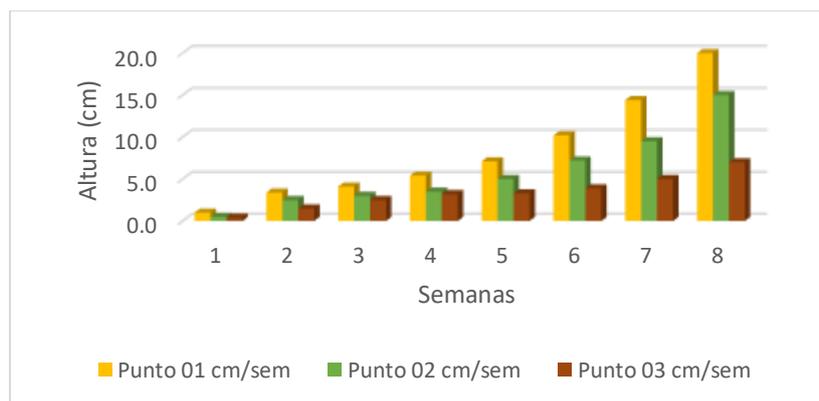
- **Primer corte**

En el primer corte del *Medicago sativa* que consta de la semana 1 hasta la semana 8 (2 meses), presentó las siguientes medidas biométricas (tabla 4 y figura 44). En la primera semana la altura máxima fue en el punto 01 con 1.0 cm y la mínima fue en el punto 03 con 0.4 cm. En la octava semana la altura máxima fue en el punto 01 con 20 cm y la altura mínima fue en el punto 03 con 7 cm. La altura máxima siempre fue en la ubicación 01 a diferencia de la ubicación 02 y ubicación 03. En todos los puntos se presentó un color de hoja verde.

**Tabla 4.** Altura del *Medicago sativa* en el primer corte

Semana	Punto 01 cm/sem	Punto 02 cm/sem	Punto 03 cm/sem
1	1.0	0.5	0.4
2	3.4	2.5	1.5
3	4.1	3	2.5
4	5.4	3.5	3.2
5	7.1	5	3.3
6	10.2	7.2	3.9
7	14.4	9.5	5
8	20	15	7

Por otro lado, en el punto 01, a la semana 8 se tuvo un crecimiento del 95.0 % en comparación de la primera semana; en el punto 02 el 96.67 % y punto 03 de 94.29 %.



**Figura 43.** Altura en cm del *Medicago sativa* en el primer corte.

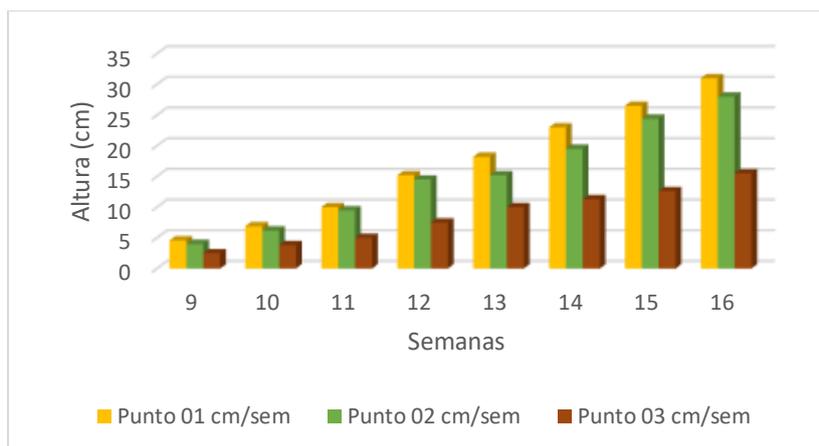
– **Segundo corte**

En el segundo corte del *Medicago sativa* que consta de la semana 9 hasta la semana 16 (4 meses), presentó las siguientes medidas biométricas (tabla 5 y figura 45). En la novena semana la altura máxima fue en el punto 01 con 4.6 cm y la mínima fue en el punto 03 con 2.5 cm. En la décimo sexta semana la altura máxima fue en el punto 01 con 31 cm y la altura mínima fue en el punto 03 con 15.5 cm. La altura máxima siempre fue en la ubicación 01 a diferencia de la ubicación 02 y ubicación 03. En todos los puntos se presentó un color de hoja verde.

**Tabla 5.** Altura del *Medicago sativa* en el segundo corte

Semana	Punto 01 cm/sem	Punto 02 cm/sem	Punto 03 cm/sem
9	4.6	4	2.5
10	6.9	6.2	3.8
11	10	9.5	5
12	15.2	14.5	7.5
13	18.2	15.2	10
14	23	19.5	11.3
15	26.5	24.4	12.6
16	31	28	15,5

Por otro lado, en el punto 01, a la semana 16 tuvo un crecimiento del 85.16 % en comparación de la semana 9; en el punto 02 el 85.71 % y punto 03 de 83.87 %.



**Figura 44.** Altura del *Medicago sativa* en el segundo corte.

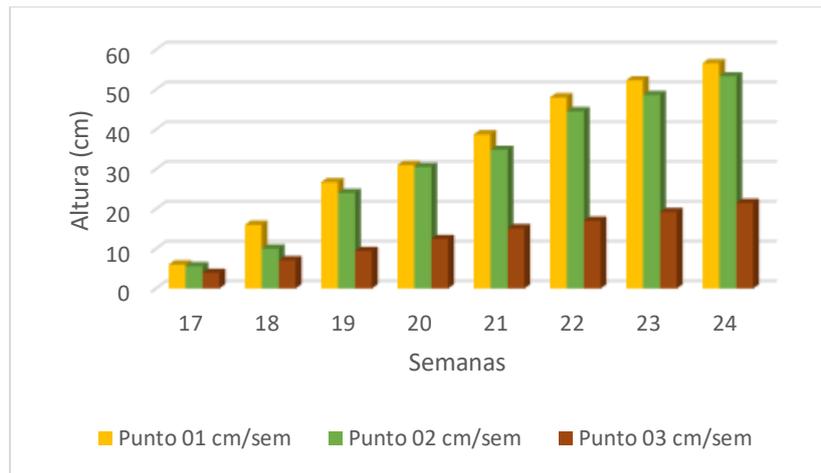
– **Tercer corte**

En el tercer corte del *Medicago sativa* que consta de la semana 17 hasta la semana 24 (6 meses), presentó las siguientes medidas biométricas (tabla 6 y figura 46). En la décimo séptima semana la altura máxima fue en el punto 01 con 6 cm y la mínima fue en el punto 03 con 3.9 cm. En la vigésimo cuarta semana la altura máxima fue en el punto 01 con 56.6 cm y la altura mínima fue en el punto 03 con 21.5 cm. La altura máxima siempre fue en la ubicación 01 a diferencia de la ubicación 02 y ubicación 03. En todos los puntos se presentó un color de hoja verde.

**Tabla 6.** Altura del *Medicago sativa* en el tercer corte

Semana	Punto 01 cm/sem	Punto 02 cm/sem	Punto 03 cm/sem
17	6	5.6	3.9
18	16	10	7.1
19	26.7	24	9.4
20	31	30.5	12.4
21	38.7	34.8	15.1
22	48	44.5	17
23	52.3	48.6	19.2
24	56.6	53.3	21.5

Por otro lado, en el punto 01, a la semana 24 se tuvo un crecimiento del 89.40 % en comparación de la semana 17; en el punto 02 el 89.49 % y punto 03 de 81.86 %.



**Figura 45.** Altura del *Medicago sativa* en el tercer corte

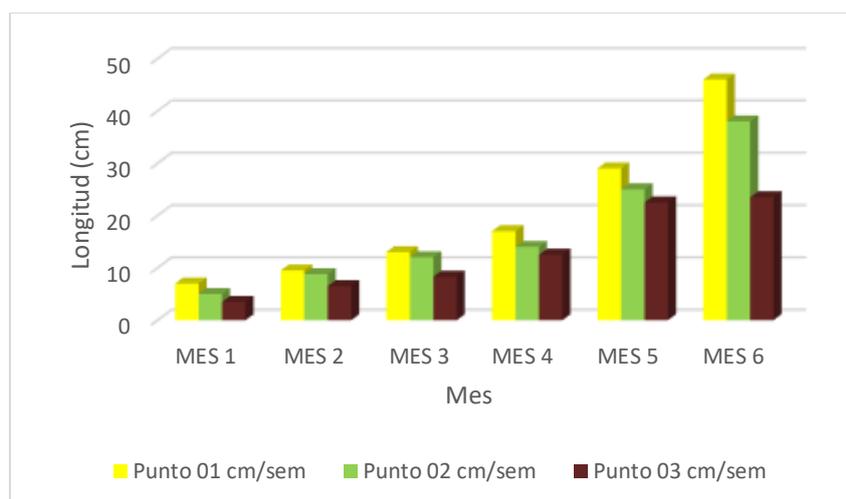
- **Longitud de la raíz del *Medicago sativa***

Consta del mes uno hasta el mes seis presentó las siguientes medidas (Tabla 7 y Figura 47). En el primer mes la máxima longitud de la raíz fue en el punto 01 con de 7 cm y la mínima longitud de la raíz fue en el punto 3 con 3.5 cm. En el sexto mes la máxima longitud de la raíz fue en el punto 01 fue de 46 cm y la mínima longitud de la raíz fue en el punto 03 con 23.5 cm. La longitud de la raíz en el punto 01 es mayor que en el punto 03, en todos los meses.

**Tabla 7.** Longitud de la raíz del *Medicago sativa*.

Mes	Punto 01 cm/sem	Punto 02 cm/sem	Punto 03 cm/sem
Mes 1	7	5	3.5
Mes 2	9.5	8.8	6.5
Mes 3	13	12	8.3
Mes 4	17	14	12.5
Mes 5	29	25	22.5
Mes 6	46	38	23.5

Por otro lado, en el punto 01, al mes 6 se tuvo un crecimiento del 84.78 % en comparación del primer mes; en el punto 02 el 86.84 % y punto 03 de 85.11 %.



**Figura 46.** Longitud de la raíz del *Medicago sativa*

#### 4.1.3 Remoción de Cd y Pb

En la siguiente tabla se muestra la concentración final de cadmio; al finalizar el mes 6, en el punto 01, se logró reducir el Cd a una concentración de 0.74 mg/kg; inferior al tratamiento en el punto 02 (0.89 mg/kg) y el tratamiento del punto 03 estiércol (0.98 mg/kg).

**Tabla 8.** Concentración final de Cd en tratamiento de suelo con *Medicago sativa*

<b>Cadmio (mg/kg)</b>	<b>Punto 01</b>	<b>Punto 02</b>	<b>Punto 03</b>
<b>Estiércol de oveja (kg)</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
<b>ECA</b>	1,4	1.4	1.4
<b>Inicio</b>	4.58	4.58	4.58
<b>Mes 01</b>	4.39	4.25	4.49
<b>Mes 02*</b>	4.402	4.248	4.701
<b>Mes 03</b>	4.079	3.602	3.621
<b>Mes 04**</b>	2.98	2.44	1.31
<b>Mes 05</b>	1.539	1.624	1.105
<b>Mes 06***</b>	0.74	0.89	0.98

Nota: \* indica el primer corte, \*\* segundo corte, \*\*\* el tercer corte

En la siguiente tabla, se visualiza el porcentaje de remoción de Cd en cada tratamiento en los distintos tiempos, el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{Co - Ct}{Co} \times 100$$

Donde Co y Ct representan las concentraciones del metal en la solución (mg/kg) al inicio y al tiempo t, respectivamente. Se logró la máxima remoción de 83.84 % de Cd en el tratamiento número 01 al mes 6 de evaluación, 80.57 % en el punto 02 y 78.60 % en punto 03.

**Tabla 9.** Eficiencia de la remoción de Cd

<b>Cadmio</b>	<b>Punto 01 (%)</b>	<b>Punto 02 (%)</b>	<b>Punto 03 (%)</b>
<b>Mes 01</b>	4.15	7.21	1.97
<b>Mes 02*</b>	3.89	7.25	-2.64
<b>Mes 03</b>	10.94	21.35	20.94
<b>Mes 04**</b>	34.93	46.72	71.40
<b>Mes 05</b>	66.40	64.54	75.87
<b>Mes 06***</b>	83.84	80.57	78.60

En la siguiente tabla se presenta la concentración definitiva de plomo cada mes; al finalizar el mes 6, en el punto 01 se tuvo 217.79 mg/kg; inferior al punto 02 (287.52 mg/kg) y el punto 03 de control (284.85 mg/kg).

**Tabla 10.** Concentración final de Pb en tratamiento de suelo con *Medicago sativa*

<b>Plomo (mg/kg)</b>	<b>Punto 01</b>	<b>Punto 02</b>	<b>Punto 03</b>
<b>Estiércol de oveja (kg)</b>	14	7	0
<b>ECA</b>	70	70	70
<b>Inicio</b>	651.75	651.75	651.75
<b>Mes 01</b>	378.86	378.57	422.92
<b>Mes 02*</b>	414.641	417.851	436.943
<b>Mes 03</b>	395.876	375.179	419.982
<b>Mes 04**</b>	384.67	373.24	374.76
<b>Mes 05</b>	291.308	300.749	290.519
<b>Mes 06***</b>	271.79	287.52	284.85

Nota: \* indica el primer corte, \*\* segundo corte, \*\*\* el tercer corte

En la tabla 11, se observa el porcentaje de remoción de plomo en cada punto. Se logró la máxima remoción de 58.30 % de Pb en el tratamiento punto 01, en el mes 6 de evaluación, ligeramente superior al punto 02 (55.88 %) y punto 03 (56.29 %).

**Tabla 11.** Eficiencia de la remoción de Pb

<b>Plomo</b>	<b>Punto 01 (%)</b>	<b>Punto 02 (%)</b>	<b>Punto 03 (%)</b>
<b>Mes 01</b>	41.87	41.91	35.11
<b>Mes 02*</b>	36.38	35.89	32.96
<b>Mes 03</b>	39.26	42.44	35.56
<b>Mes 04**</b>	40.98	42.73	42.50
<b>Mes 05</b>	55.30	53.86	55.42
<b>Mes 06***</b>	58.30	55.88	56.29

Nota: \* indica el primer corte, \*\* segundo corte, \*\*\* el tercer corte

En la siguiente tabla se observa la comparación de los valores obtenidos con el ECA de suelo. Al final de la fitorremediación el valor de Cd en los tres puntos es inferior al 1.4 del ECA

de suelo. Para Pb en los tres puntos no llegó al valor permitido del ECA de suelo, pero si tuvo una reducción significativa.

**Tabla 12.** Comparación de ECA de suelo y los metales de Cd y Pb

METALES PESADOS	ECA DE SUELO (mg/kg)	Punto 01 – valor final (mg/kg)	Punto 02 – valor final (mg/kg)	Punto 03 – valor final (mg/kg)
Cd	1.4	0.74	0.89	0.98
Pb	70	271.79	287.52	284.85

#### 4.2 Prueba de hipótesis

Se llevó a cabo el análisis inferencial de los datos mediante el análisis de varianza – ANOVA, teniendo en cuenta que, se acepta  $H_0$ , si el p – valor es mayor a la significancia (0.05) y se rechaza  $H_0$ , si el p – valor es menor a la significancia (0.05)

##### Para la remoción de Cd en cada corte y punto

$H_0$ : La concentración final de Cd es igual en los distintos cortes (del punto 01, 02 y 03)

$H_1$ : La concentración final de Cd es diferente en los distintos cortes (del punto 01, 02 y 03)

La tabla 12 muestra el análisis de varianza ANOVA de un factor para la concentración final de Cd en cada corte para cada punto.

**Tabla 13.** ANOVA para concentración de Cd en cada corte y post-hoc de Tukey

	Cadmio (mg/kg)	Punto 01	$\bar{x}$	p-valor	Punto 02	$\bar{x}$	p-valor	Punto 03	$\bar{x}$	p-valor
Primer corte	Mes 01	4.39	4.396 <sup>a</sup>	0.021	4.25	4.249 <sup>a</sup>	0.029	4.49	4.595 <sup>a</sup>	0.073
	Mes 02*	4.402			4.248			4.701		
Segundo corte	Mes 03	4.079	3.529 <sup>a</sup>		3.602	3.021 <sup>ab</sup>		3.621	2.466 <sup>a</sup>	
	Mes 04**	2.98			2.44			1.31		
Tercer corte	Mes 05	1.539	1.1395 <sup>b</sup>		1.624	1.257 <sup>b</sup>		1.105		
	Mes 06***	0.74			0.89			0.98	1.043 <sup>a</sup>	

Nota: concentración inicial de Cd = 4.58 mg/kg

Acorde al valor p donde este es menor a 0.05 en el punto 01 y punto 02, se concluye que la concentración de Cd en cada corte es diferente en estos dos puntos; mientras que, la concentración de Cd en cada corte en el punto 03, no son significativamente diferentes (p=0.073). Asimismo, se observa la concentración de Cd en el tercer corte (mes 5 y 6) del punto

01 (1.1395 mg/kg) y punto 02 (1.257 mg/kg) son significativamente diferentes a su primer y según corte; mientras que, el punto 03 aunque no indica diferencias, se logró reducir a un valor mínimo de 1.043 mg/kg en el tercer corte.

#### Para la remoción de Pb en cada corte y punto

Ho: La concentración final de Pb es igual en los distintos cortes (del punto 01, 02 y 03)

H1: La concentración final de Pb es diferente en los distintos cortes (del punto 01, 02 y 03)

La tabla 13 muestra el análisis de varianza ANOVA de un factor para la concentración final de Pb en cada corte para cada punto.

**Tabla 14.** ANOVA para concentración de Pb en cada corte y post-hoc de Tukey

	Plomo (mg/kg)	Punto 01	$\bar{x}$	p-valor	Punto 02	$\bar{x}$	p-valor	Punto 03	$\bar{x}$	p-valor
<b>Primer corte</b>	<b>Mes 01</b>	378.86	396.75 <sup>a</sup>	0,011	378.57	398.21 <sup>a</sup>	0,018	422.92	429.93 <sup>a</sup>	0.011
	<b>Mes 02*</b>	414.641			417.851			436.943		
<b>Segundo corte</b>	<b>Mes 03</b>	395.876	390.27 <sup>a</sup>		375.179	374.21 <sup>a</sup>		419.982		
	<b>Mes 04**</b>	384.67			373.24			374.76		
<b>Tercer corte</b>	<b>Mes 05</b>	291.308	281.55 <sup>b</sup>		300.749	249.13 <sup>b</sup>		290.519		
	<b>Mes 06***</b>	271.79			287.52			284.85	287.68 <sup>b</sup>	

Acorde al valor p donde este es menor a 0.05 en los 3 puntos, se tiene como conclusión que la concentración de plomo en cada corte es significativamente diferente en el punto 01, punto 02 y punto 03. La concentración de Pb en el tercer corte (mes 5 y 6) difiere significativamente del primer y segundo corte en los tres puntos. Lográndose en el punto 02 una concentración mínima de Pb (249.13 mg/kg) en el tercer corte.

#### Comprobación de reducción de concentración de Cd y Pb en suelo

Finalmente, para determinar la influencia de *Medicago sativa* en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con el estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, se comparó la concentración de Cd y Pb de los dos últimos meses (mes 5 y mes 6) con la concentración inicial en el suelo. Para tal fin, se plantea las siguientes hipótesis:

**H<sub>0</sub>:** El promedio de la concentración de Cd y Pb no tiene diferencia significativa al valor inicial.

**H<sub>a</sub>:** El promedio de la concentración de Cd y Pb tiene diferencia significativa al valor inicial.

En la siguiente tabla, presenta un resumen de los resultados obtenidos a partir de la prueba t de Student para evaluar las concentraciones de cadmio y plomo después del tratamiento con el valor inicial en cada punto (tratamiento)

**Tabla 15.** Análisis factorial para la remoción de Cd y Pb

Punto	Parámetro	Promedio	Valor prueba (mg/kg)	t	gl	Valor p
1	Cd	1.1309	4.58	-8.612	1	0.074
	Pb	281.549	651.75	-37.934	1	0.017
2	Cd	1.257	4.58	-9.054	1	0.070
	Pb	249.134	651.75	54.065	1	0.012
3	Cd	1.042	4.58	-56.60	1	<b>0.011</b>
	Pb	287.684	651.75	-128.441	1	<b>0.005</b>

Para la concentración promedio final de Cd del mes 5 y 6, en los tres puntos fue inferior al valor inicial de Cd, pero solo el punto 3 fue significativamente inferior ( $p < 0.05$ ). En cuanto, la concentración promedio final de Pb del mes 5 y 6, en los tres puntos fue inferior al valor inicial de Pb, en todos los puntos se presentan un  $p$ -valor  $< 0.05$ ; por ende, se acepta la hipótesis alterna: El promedio de la concentración de cadmio y plomo tiene diferencia significativa al valor inicial en el tercer punto.

### 4.3 Discusión de resultados

1. En cuanto a la variación de los parámetros fisicoquímicos en suelos sembrados con *Medicago sativa*, el pH inicial de 6.5 incrementó en los distintos puntos de 7.7, 7.8 y 8 del punto 01, 02 y 03, respectivamente. Como indicó Mendoza (20) en la fitorremediación de Pb con *Medicago sativa* evidenció un pH de variable de 7.8 a 7.6. Este aumento del pH puede deberse a la capacidad de *Medicago sativa*, para modificar las propiedades del suelo a través de procesos como la absorción y acumulación de metales pesados, la liberación de compuestos orgánicos y la modificación de la actividad microbiana, lo que puede influir en la alcalinización del suelo. Además, fue evidente el aumento de materia orgánica, N, P y K disponible en los tres puntos, pero con el incremento al doble a medida que se empleaba el estiércol de oveja de 7 kg y 14 kg. En este contexto, se ha demostrado que las plantas, como *Medicago sativa*, pueden

incrementar el contenido de nitrógeno en el suelo al fijarlo biológicamente a través de simbiosis con bacterias nodulíferas presentes en sus raíces (35). Huaura (20) destacó la eficacia significativa de *Medicago sativa* para la extracción de plomo en suelos contaminados, sugiriendo así su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo mediante la acumulación de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fundamental para la síntesis de proteínas biológicas, ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados. (18)

2. En cuanto al crecimiento del tallo del *Medicago sativa* en suelos contaminados con cadmio y plomo, tratados con 0 kg (punto 3), 7 kg (punto 2) y 14 kg (punto 1) de estiércol de oveja en el distrito de Chupuro. La longitud de *Medicago sativa* fue siempre mayor en el punto 1, influenciada por el estiércol, llegando a medir 56.6 cm (punto 1) a los 6 meses, 53.3 cm en el punto 2 y solo 21.5 cm en el punto 3. Resultado similar tuvo Mendoza (20), al analizar la altura de las plantas tanto a los 45 días (que variaron de 48.00 a 50.33 cm) como a los 90 días (entre 57.6 y 63.0 cm), no se observaron diferencias estadísticamente significativas, aunque sí hubo discrepancias numéricas, esto sugiere que las concentraciones de plomo y Cd podrían haber afectado la altura de las plantas., mejorando su crecimiento con estiércol de oveja. En ese sentido, los datos relacionados con la influencia de Pb(II) y Cu(II) en el crecimiento y desarrollo de *Medicago sativa* revelan ideas interesantes sobre el impacto de las concentraciones de Cd y Pb en el crecimiento de *Medicago sativa*, donde la longitud del tallo exhibe una mejora ligera en el porcentaje de remoción en el punto 01, como señala Vasilachi et al. (19), el menor impacto del Pb(II) implica que *Medicago sativa* podría potencialmente resistir una contaminación moderada por Pb(II) sin una inhibición severa del crecimiento

3. En cuanto al crecimiento de la raíz del *Medicago sativa* en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg (punto 3), 7 kg (punto 2) y 14 kg (punto 1) de estiércol de oveja en el distrito de Chupuro. En el mes 6 la longitud de la raíz en el Punto-01 fue de 46 cm, en el Punto-02 fue de 38 cm y el Punto-03 fue de 23.5 cm, es evidente la mayor longitud de la raíz en el punto 1 con estiércol, pero se reduce a la mitad en el punto 3. Por lo que, al examinar los efectos de la concentración de Cd y Pb en *Medicago sativa*, es evidente una disminución de la longitud de la raíz con la concentración de Pb y Cd, el cual mejora con la aplicación del estiércol que además mejora la remoción de Cd y Pb; la longitud de la raíz puede variar desde 2.6 cm a 25 mg Pb(II)/L hasta un apenas 0,12 cm a 300 mg Pb(II)/L, seguido de una disminución constante más allá de 150 mg Pb(II)/L (19); similar caso puede suceder con la influencia de los iones Cu(II), donde *Medicago sativa L.* experimenta una reducción significativa tanto en el desarrollo radicular como aéreo a medida que aumentaron las concentraciones de Cu. La longitud de la raíz varió desde 1.45 cm con 25 mg Cu(II)/L hasta apenas 0.12 cm con 300 mg Cu(II)/L. Por último, se observó un mejor desarrollo bajo el estrés inducido por Pb(II), se hace

evidente que los iones metálicos Pb(II) tienden a tener un impacto menos perjudicial, lo que permite un mejor desarrollo general de la planta en comparación con otros metales, como el Cu. Esta observación subraya los distintos niveles de toxicidad asociados con diferentes iones metálicos y sus importantes implicaciones para el crecimiento de las plantas. (19)

4. Tras la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb con *Medicago sativa*, tratado con el estiércol de oveja en el distrito de Chupuro. La reducción de los niveles del Cd fue progresiva en cada mes de evaluación (mes 1 al mes 6). Al finalizar el mes 6, en el punto 01 (14 kg de estiércol de oveja), se logró reducir el Cd a una concentración de 0.74 mg/kg; inferior al punto 02 (7 kg de estiércol de oveja) de 0.89 mg/kg y el punto 03 (sin estiércol) de 0.98 mg/kg. Con una remoción máxima de 83.84 % de Cd en el punto 01, 80.57 % en el punto 02 y 78.60 % en el punto 03. Como se evidencia, la remoción de Cd al finalizar el sexto mes, no difiere en gran medida en cada punto, pero fue mayor en el punto 1 con la mayor dosificación del estiércol de oveja debido a la mejora en desarrollo del crecimiento tallo y raíz de *Medicago sativa*. Asimismo, se ha identificado en el tercer corte de *Medicago sativa*, correspondiente al mes 5 y 6 la concentración final de Cd fue significativamente inferior ( $p < 0.05$ ) a la concentración inicial y al ECA para suelo de uso agrícola. En cuanto a la reducción de los niveles del Pb, de manera similar a la reducción de Cd fue progresiva en cada mes de evaluación. Al finaliza el mes 6, en el punto 01 (14 kg de estiércol de oveja), se logró reducir el Pb a una concentración mínima final de 217.79 mg/kg; inferior al tratamiento en el punto 02 (7 kg de estiércol de oveja) de 287.52 mg/kg mg/kg y el punto 03 (sin estiércol) de 284.85 mg/kg. Mientras que la remoción máxima alcanzada en el sexto mes fue de 58.30 % de Pb en el punto 01, 55.88 % en el punto 02 y 56.29 % en el punto 03. Asimismo, en los tres puntos, se ha identificado en el tercer corte de *Medicago sativa*, que la concentración final de Pb fue significativamente inferior ( $p < 0.05$ ) a la concentración inicial.

Estos resultados son consistentes, ya que *Medicago sativa* es un acumulador eficaz para la fitorremediación de suelos contaminados con Pb y Cd (15); como señala Giraldez (22), *Medicago sativa* ya que logró retirar metales pesados del suelo en volúmenes significativos, demostrando ser una planta exclusora y estabilizadora de los metales pesados en sus raíces a una mayor densidad. Además de demostrarse que a medida transcurre el tiempo aumenta positivamente la absorción metales pesados de a los 45 días a los 90 días (3 meses) (20) y con los contenidos de Cd, Pb y Zn en alfalfas más elevados después de haber crecido durante 80 días (11).

En ese sentido, los resultados demuestran el poder de fitorremediación de *Medicago sativa*, como reportó Solgi et al. (16), la presencia de concentraciones de Cu, Cd y Pb en la

alfalfa superaban los niveles permitidos sugeridos, lo que indica el poder absorbente de *Medicago sativa*; de este modo, el cadmio puede acumularse en 1.1257 mg con *M. sativa* en cuanto al zinc, de 71.1968 mg (18); además, se ha determinado en las pruebas de fitotoxicidad la influencia de los iones metálicos Pb(II) y Cu(II) en el grado de germinación de las semillas de *Medicago sativa L.*, dentro del rango de concentración analizado, presentó un efecto pequeño en comparación con el control. En particular, a una concentración de 300 mg Pb/L, surgió un fenómeno sorprendente: se registró una tasa de germinación del 100 %. Esta observación subraya la notable adaptabilidad de *Medicago sativa L.* para prosperar incluso bajo el estrés impuesto por los iones metálicos Pb(II) y Cu(II). Los metales pueden ser absorbidos dentro de sus tejidos de *M. Sativa*, desde la acumulación en la raíz, la absorción a través de las hojas y la acumulación en las hojas (16), con mayor la absorción del plomo por las raíces que por la parte aérea de la alfalfa. (20)

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

1. La variación de los parámetros físicos químicos bajo el tratamiento de estiércol de oveja en la fitorremediación ha llevado a un aumento del pH hasta alcanzar rangos ligeramente básicos, y ha elevado el contenido de materia orgánica y los niveles de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos cambios contribuyen a prevenir la absorción de iones pesados por las plantas, mejorando la eficacia del proceso de remediación.

2. Respecto al crecimiento de la planta, se destacó que el tallo de *Medicago sativa* muestra un mayor desarrollo en el punto 01 durante todos los meses de evaluación, probablemente debido a la mayor dosis de estiércol aplicada. En contraste, en el punto 03, donde no se utiliza estiércol, el crecimiento se redujo a menos de la mitad, efecto que pudo ser influenciado por la presencia de Cd y Pb que inhiben el desarrollo óptimo de la planta.

3. En lo que concierne al desarrollo de la raíz en el mes 6, el punto 01, con una mayor cantidad de estiércol, muestra un crecimiento superior. La raíz, que desempeña un papel crucial en la absorción de Cd y Pb, se beneficia de la presencia del estiércol, facilitando así la remoción efectiva de ambos metales.

4. El *Medicago sativa* influye positivamente en la fitorremediación de suelos contaminados bajo el tratamiento del estiércol de oveja, al concluir el mes 6 en el punto 01, se observa una notable disminución en los niveles de Cd, posiblemente favorecida por una mayor dosificación de estiércol de oveja. Adicionalmente, durante el tercer corte, que corresponde a los meses 5 y 6, la concentración de Cd fue significativamente más baja ( $p < 0.05$ ) tanto respecto a la concentración inicial como en comparación con el valor del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola (1.4 mg/kg según el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM). Por otro lado, los niveles de Pb en los tres puntos evaluados fueron significativamente menores ( $p < 0.05$ ) que los valores iniciales, aunque no se alcanzaron los estándares del ECA.

### 5.2 Recomendaciones

1. Para el Ministerio de Agricultura y Riego, promover la educación entre los agricultores sobre la importancia de prácticas agrícolas sostenibles, evaluación del suelo contaminado, la gestión adecuada del suelo y los recursos naturales. Esto puede ayudar a fomentar una cultura de cuidado del medio ambiente y la adopción de prácticas que beneficien tanto a los agricultores como al ecosistema local.

2. Para agricultores de la localidad, observar regularmente el crecimiento y salud de sus cultivos de papa, maíz u otros. Si nota signos de estrés o desarrollo anormal, considerar la posibilidad de contacto con algún profesional experto que pueda brindar orientación sobre prácticas agrícolas adecuadas para una calidad óptima del suelo y disminuir la contaminación por metales pesados.

3. Para investigadores, evaluar el factor de bioconcentración a través de la comparación entre el factor de bioconcentración de la parte aérea y de la parte radicular de *Medicago Sativa*

4. Para investigadores, dado que los suelos estudiados exhiben un pH ligeramente básico, con niveles medios de materia orgánica y una textura gruesa predominante de arena con baja presencia de arcilla, se sugiere que investigaciones similares consideren suelos con pH ácido, mayor contenido de materia orgánica y textura fina o arcillosa.

5. Para investigadores, ya que, no se observó una correlación clara entre la longitud de la raíz y la remoción de Cd y Pb, se recomienda realizar investigaciones adicionales para comprender mejor el papel de la raíz en la absorción y remoción de metales pesados en la fitorremediación.

## Referencias bibliográficas

1. SHAH, Vijendra and DAVEREY, Achlesh. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation*. 2020. Vol. 18, p. 100774. DOI 10.1016/j.eti.2020.100774.
2. CHIRA FERNÁNDEZ, Jorge Eduardo. Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*. 2021. Vol. 24, no. 47, p. 47–56. DOI 10.15381/iigeo.v24i47.20643.
3. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Intoxicación por plomo y salud. Online. 2022. Available from: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
4. HUARANGA, Félix, MÉNDEZ, Eduardo, QUILCAT, Vito, BERNUI, Feliciano, COSTILLA, Noé and HUARANGA, Félix. Cuantificación de Cu, Pb, As y Cd absorbidos por el “girasol” *Helianthus annuus* L. (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros. *Arnaldoa*. 2022. Vol. 29, no. 1, p. 119–136. 0000000235570
5. ORTIZ PÁEZ, Stephanie. *Estudio de la aplicación de los procesos fotocatalíticos para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales industriales*. Tesis. Bogotá: Universidad Nacional abierta y a distancia UNAD Escuela, 2021.
6. CALDERÓN SUÁREZ, Gustavo and ROZO CORREA, Ciro. Análisis de la movilidad de cadmio y plomo en suelos, hojas, frutos y lixiviados en plantaciones de cacao. *Universidad Santo Tomás, Bucaramanga*,. 2023. P. 1–28.
7. ORTIZ JAHN, César. *Métodos de electrorremediación y fitorremediación para descontaminar los suelos por metales pesados en la Planta Metalúrgica de Yauris – UNCP - 2022*. Tesis (Doctor en Ingeniería Química y Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2022.
8. HINOSTROZA ZÁRATE, Siderlin Camila. *Fitoestabilización de Cadmio por Lupinus Mutabilis en un suelo contaminado del distrito El Mantaro, Jauja 2016*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2018.
9. CANALES FARAH, Jesús. *Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2021.

10. MUBEEN, Samavia, NI, Wenjuan, HE, Chuntao and YANG, Zhongyi. Agricultural Strategies to Reduce Cadmium Accumulation in Crops for Food Safety. *Agriculture (Switzerland)*. 2023. Vol. 13, no. 2, p. 1–31. DOI 10.3390/agriculture13020471.
11. WANG, Fu-Qiang, LI, Yu-Juan, ZHANG, Qian and QU, Jiao. *Phytoremediation of cadmium, lead and zinc by Medicago sativa L. (alfalfa): A study of different period*. 2015.
12. ZAMBRANO INTRIAGO, Helen Abigail. *Diseño de un Biofiltro utilizando Lemna Minor (Lenteja de agua) y Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) para la captación de metales pesados (CD, CR Y PB) del Ramal B del estero salado Guayaquil-Ecuador*. Tesis (Título de Ingeniería en Biotecnología). Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2023.
13. PAPUICO MANRIQUE, Rosario Del Pilar. *Fitorremediación de un suelo contaminado con cadmio, utilizando Lupinus mutabilis y estiércol de lombriz*. Huancaní, Jauja. 2019. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Huncayo. Universidad Continental, 2020.
14. LI, Liang, ZHU, Pengyue, WANG, Xiaoyang and ZHANG, Zhenhua. Phytoremediation effect of Medicago sativa colonized by Piriformospora indica in the phenanthrene and cadmium co-contaminated soil. *BMC Biotechnology*. 2020. Vol. 20, no. 1, p. 1–14. DOI 10.1186/s12896-020-00613-2.
15. MORSY, Manar, NOSSIER, Mona, ELSEBAAY, Abd Ellatif and ABD-ELRAHMAN, Shaimaa. Phytoremediation of Pb and Cd by Alfalfa (Medicago sativa L.): An Applied Study in the Presence of Lettuce Plants (Lactuca sativa L.). *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 30, no. 1, p. 163–174. DOI 10.21608/ajs.2022.121642.1467.
16. SOLGI, E, NICK, M Shahverdi and SOLGI, M. Threat of copper, zinc, lead, and cadmium in alfalfa (Medicago scutellata) as livestock forage and medicinal plant. *Ecopersia*. 2017. Vol. 5, no. 4, p. 1981–1990.
17. ALABOUDI, Khalid A., AHMED, Berhan and BRODIE, Graham. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (Helianthus annuus) plant. *Annals of Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 63, no. 1, p. 123–127. DOI 10.1016/j.aos.2018.05.007.
18. XIONG, Peng peng, HE, Chi quan, OH, Kokyo, CHEN, Xueping, LIANG, Xia, LIU, Xiaoyan, CHENG, Xue, WU, Chang lu and SHI, Zheng chi. Medicago sativa L. enhances the phytoextraction of cadmium and zinc by Ricinus communis L. on contaminated land in situ. *Ecological Engineering*. 2018. Vol. 116, no. August 2017, p. 61–66. DOI 10.1016/j.ecoleng.2018.02.004.

19. VASILACHI MITOSERU, Ionela, STOLERU, Vasile and GAVRILESCU, Maria. Integrated Assessment of Pb ( II ) and Cu ( II ) Metal Ion. *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 21, p. 1–26.
20. MENDOZA SEGURA, María Engracia. *Capacidad fitorremediadora de la “alfalfa” Medicago sativa L. en suelos contaminados con plomo evaluada en dos etapas de crecimiento, Végueta, Huaura*. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Huaura: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2020.
21. GONZALES VALDIVIA, Janet, PILAR APONTE, María, BUSTAMANTE, Eva and CHOMBA, Juleisy. Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa “Medicago sativa.” *SEARCHING-SCIENCE*. 2018. Vol. 1, no. 1, p. 1–10.
22. GIRALDEZ SOLANO, Lucy Marisol. *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*. Tesis (Magister de Ingeniería Química). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
23. ANCCO SOTO, Frank. *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Ray – Grass híbrido (lolium hybridum hausskn) utilizando humus comercial y compost en el distrito de Viques – provincia de Huancayo – departamento de Junín*. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Alas Peruanas, 2018.
24. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. . 9251316392. 2019.
25. SALAMANCA-RIVERA, Angela Patricia, SILVA, Diego Alejandro, CARDOZO-MUÑOZ, Juan, ROJAS-SÁNCHEZ, Fabián, MELÉNDEZ-MAZABEL, Juan Camilo and BORDA-CHINGATE, Luis Santiago. Fitorremediación con Brassicaceae y Apiaceae en suelos contaminados con metales pesados. *Revista de Biología Tropical*. 2023. Vol. 71, no. 1, p. e51493. DOI 10.15517/rev.biol.trop..v71i1.51493. 0000000194181
26. ALTONAR-GÓMEZ, Ximena Aurora, XIMENATZINTZUN-PEDRAZA, Karen, OSUNA-VALLEJO, Verónica and LINDIG-CISNEROS, Roberto. Response of young plants of four conifer species to mercury exposure. *Madera y Bosques*. 2021. Vol. 27, no. 3, p. 1–12. DOI 10.21829/myb.2021.2732160.

27. SÁNCHEZ, Maritza, MESTANZA, Carlos and SÁNCHEZ, Itaty. Perspectiva de conservación del suelo en la Amazonía ecuatoriana Perspective of soil conservation in the Ecuadorian Amazon. 2020. Vol. 3, p. 1–12.
28. VELÁSQUEZ RAMÍREZ, Manuel Gabriel, GUERRERO BARRANTES, Juan Antonio, THOMAS, Evert, GAMARRA MIRANDA, Luis Alfredo, PILLACA, Martin, TELLO PERAMAS, Lily Denise and BAZÁN TAPIA, Luis Rubén. Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. *Catena*. 2020. Vol. 189, no. January, p. 104454. DOI 10.1016/j.catena.2020.104454.
29. VELÁZQUEZ-CHÁVEZ, Leticia De Jesús, ORTIZ-SÁNCHEZ, Ixchel Abby, CHÁVEZ-SIMENTAL, Jorge Armando, PÁMANES-CARRASCO, Gerardo Antonio, CARRILLO-PARRA, Artemio and PEREDA-SOLÍS, Martín Emilio. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 2022. Vol. 25, p. 1–13. DOI 10.22201/fesz.23958723e.2022.482.
30. RASHID, Abdur, SCHUTTE, Brian J., ULERY, April, DEYHOLOS, Michael K., SANOGO, Soum, LEHNHOFF, Erik A. and BECK, Leslie. Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, no. 6, p. 1–30. DOI 10.3390/agronomy13061521.
31. HUARACA-FERNANDEZ, Jhon N., PÉREZ-SOSA, Lourdes, BUSTINZA-CABALA, Leonor S. and PAMPA-QUISPE, Noé B. Organic amendments in the immobilization of cadmium in contaminated agricultural soils: A review. *Informacion Tecnologica*. 2020. Vol. 31, no. 4, p. 139–152. DOI 10.4067/S0718-07642020000400139.
32. SALAS, Cindy, GARDUÑO, María A and MENDIOLA, Paulina. Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Argentina de Endocrinología y Metabolismo*. 2019. Vol. 8, no. 5, p. 1–89.
33. DURICKOVIC, Ivana. NaCl Material for Winter Maintenance and Its Environmental Effect. *Salt in the Earth*. 2019.
34. ROCHA DE FRANÇA, Roberta Sorhaia Samayara Sousa, VASCO DE MIRANDA, Elka Élice and WILLKOMM PAIM, Guilherme. Potencial de espécies arbóreas nativas para fitorremediação sob solos de cerrado: revisão bibliográfica. *Revista Cerrados*. 2023. Vol. 21, no. 01, p. 377–398. DOI 10.46551/rc24482692202315.

35. MARTÍNEZ-MANCHEGO, Luis, SARMIENTO-SARMIENTO, Guido and BOCARDO-DELGADO, Edwin. Native plant species with potential for phytoremediation of high-andean soils contaminated by residues from mining activity. *Bioagro*. 2021. Vol. 33, no. 3, p. 161–170. DOI 10.51372/bioagro333.2.
36. ÑAUPAS, Humberto, VALDIVIA, Raúl Marcelino, PALACIOS, Jesús Josefa and ROMERO, Hugo Eusebio. *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. 5. Ediciones de la U, 2018. ISBN 9788578110796. 9788578110796
37. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto and MENDOZA, Christian. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Mc Graw Hill*. 2018. Vol. 1, no. Mexico, p. 714. 978-1-4562-6096-5
38. MINISTERIO DEL AMBIENTE. DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD AMBIENTAL. - LIMA: MINAM. *Guía para el muestreo de suelos*. 2014.

## Anexos

### Anexo 1. Instrumentos de recolección de datos.

<u>FECHA DEL MEDICAGO SATIVA POR SEMANAS</u>				
CORTE 01	MES 01	Sembrado	00	11 - 04 - 2023
		Semana	01	12 - 04 - 2023
		Semana	02	15 - 04 - 2023
		Semana	03	02 - 05 - 2023
		Semana	04	09 - 05 - 2023
	MES 02	Semana	05	16 - 05 - 2023
		Semana	06	23 - 05 - 2023
		Semana	07	30 - 05 - 2023
		Semana	08	06 - 06 - 2023
		Semana	09	13 - 06 - 2023
CORTE 02	MES 03	Semana	10	20 - 06 - 2023
		Semana	11	27 - 06 - 2023
		Semana	12	04 - 07 - 2023
		Semana	13	11 - 07 - 2023
		Semana	14	18 - 07 - 2023
	MES 04	Semana	15	25 - 07 - 2023
		Semana	16	01 - 08 - 2023
		Semana	17	08 - 08 - 2023
		Semana	18	15 - 08 - 2023
		Semana	19	22 - 08 - 2023
CORTE 03	MES 05	Semana	20	29 - 08 - 2023
		Semana	21	05 - 09 - 2023
		Semana	22	12 - 09 - 2023
	MES 06	Semana	23	19 - 09 - 2023
		Semana	24	26 - 09 - 2023
		Semana	25	03 - 10 - 2023

### Altura de la planta por cortes

	Semana	Punto 01 (cm/sem)	Punto 02 (cm/sem)	Punto 03 (cm/sem)
Primer Corte	1	1.0	0.5	0.4
	2	3.4	2.5	1.5
	3	4.1	3	2.5
	4	5.4	3.5	3.2
Corte	5	7.1	5	3.3
	6	10.2	7.2	3.9
	7	14.4	9.5	5
	8	20	15	7

	Semana	Punto 01 (cm/sem)	Punto 02 (cm/sem)	Punto 03 (cm/sem)
Segundo Corte	9	4.6	4	2.5
	10	6.9	6.2	3.8
	11	10	9.5	5
	12	15.2	14.5	7.5
Corte	13	18.2	15.2	10
	14	23	19.5	11.3
	15	26.5	24.4	12.6
	16	31	28	15.5

	Semana	Punto 01 (cm/sem)	Punto 02 (cm/sem)	Punto 03 (cm/sem)
Tercer Corte	17	6	5.6	3.9
	18	16	10	7.1
	19	26.7	24	9.4
	20	31	30.5	12.4
Corte	21	38.7	34.8	15.7
	22	48	44.5	17
	23	52.3	48.6	19.2
	24	56.6	53.6	21.5

## Longitud máxima de la Raíz

	Punto 01 (cm/mes)	Punto 02 (cm/mes)	Punto 03 (cm/mes)
Mes 01	7	5	3.5
Mes 02	9.5	8.8	6.5
Mes 03	13	12	8.3
Mes 04	17	14	12.5
Mes 05	29	25	22.5
Mes 06	46	38	23.5

**Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN		
					INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
<p><b><u>Independiente</u></b></p> <p>Fitorremediación con <i>Medicago sativa</i> y estiércol de oveja</p>	<p>La alfalfa (<b>Medicago sativa</b>), Es una leguminosa de crecimiento estival con alto potencial de rendimiento de forraje, siendo capaz de crecer en los suelos contaminados por metales pesados, debido a que se encuentra en el grupo de plantas hiperacumuladoras.</p>	<p>La variable se medirá a través del crecimiento de la planta hasta alcanzar el tamaño ideal para el corte convencionalmente a las 24 semanas se analizará la concentración de plomo y cadmio que adsorbieron y la longitud del tallo y raíz del <i>Medicago sativa</i>.</p>	<p>Suelo Sembrado con <b>Medicago sativa</b> y tratado con diferentes porcentajes de estiércol de oveja con las semillas del <i>Medicago sativa</i> 2.5 gramos/0.3m3</p>	<p><b>Semillas de Medicago sativa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5 gramos/0.3m3</li> </ul> <p><b>Estiércol de oveja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 kg.</li> </ul> <hr/> <p><b>Semillas de Medicago sativa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5 gramos/0.3m3</li> </ul> <p><b>Estiércol de oveja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 kg.</li> </ul> <hr/> <p><b>Semillas de Medicago sativa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.5 gramos/0.3m3</li> </ul> <p><b>Estiércol de oveja</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 kg.</li> </ul>	<p>Crecimiento de la planta en centímetros.</p>	<p>Numérica</p>	<p>Cuantitativa</p>
<p><b><u>Dependiente</u></b></p> <p>Suelos contaminados con Cd y Pb.</p>	<p>Los suelos contaminados son considerados muy tóxicos y en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad.</p>	<p>Mediante el decreto supremo 011-2017 MINAM se aprobó los estándares de calidad para los suelos agrícolas contaminados por metales pesados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plomo: 70 mg/kg PS(2).</li> <li>• Cadmio: 1,4 mg/kg PS(2).</li> </ul>	<p>Parámetros fisicoquímicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Textura</li> <li>➤ pH</li> <li>➤ Conductividad Eléctrica</li> <li>➤ Materia orgánica</li> <li>➤ Fósforo disponible</li> <li>➤ Potasio disponible</li> <li>➤ Nitrógeno</li> <li>➤ Plomo</li> <li>➤ Cadmio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Clase de textura</li> <li>➤ Unidad pH</li> <li>➤ mS/m</li> <li>➤ %</li> <li>➤ ppm</li> <li>➤ ppm</li> <li>➤ %</li> <li>➤ mg/kg</li> <li>➤ mg/kg</li> </ul>	<p>Numérica</p>	<p>Cuantitativa</p>

Anexo 3. Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p><b><u>Problema General</u></b></p> <p>¿Cuál es la influencia de <i>Medicago sativa</i> en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con estiércol de oveja en el distrito de Chupuro – Junín, 2023?</p> <p><b><u>Problemas Específicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál es la variación de los parámetros físico químicos en suelos sembrados con <i>Medicago sativa</i>, contaminados con Cd y Pb y tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg del estiércol de oveja?</li> <li>2. ¿Cuánto es el crecimiento semanal del tallo del <i>Medicago sativa</i> en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja?</li> <li>3. ¿Cuánto es el crecimiento mensual de la raíz del <i>Medicago sativa</i> en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja?</li> </ol>	<p><b><u>Objetivo general</u></b></p> <p>Determinar la influencia de <i>Medicago sativa</i> en la fitorremediación de suelos contaminados con Cd y Pb, tratado con el estiércol de oveja en el distrito de Chupuro- Junín, 2023.</p> <p><b><u>Objetivos específicos</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluar la variación de los parámetros físico químicos en suelos sembrados con <i>Medicago sativa</i>, contaminados con Cd y Pb y tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg del estiércol de oveja.</li> <li>2. Registrar el crecimiento semanal del tallo del <i>Medicago sativa</i> en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja.</li> <li>3. Describir el crecimiento mensual de la raíz del <i>Medicago sativa</i> en suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con 0 kg, 7 kg y 14 kg de estiércol de oveja.</li> </ol>	<p><b><u>Hipótesis</u></b></p> <p><b><u>Hipótesis de Investigación</u></b> La fitorremediación con <i>Medicago sativa</i> mejora significativamente los suelos contaminados con Cd y Pb, tratados con estiércol de oveja en el distrito de Chupuro - Junín, 2023.</p> <p><b><u>Hipótesis Nula</u></b> Ho: El promedio de la concentración de Cd y Pb en el suelo tratado no tiene diferencia significativa al valor inicial.</p> <p><b><u>Hipótesis Alterna</u></b> Ha: El promedio de la concentración de Cd y Pb en el suelo tratado tiene diferencia significativa al valor inicial.</p>	<p><b><u>Variable Independiente</u></b></p> <p>Fitorremediación con <i>Medicago sativa</i> y estiércol de oveja.</p> <p><b><u>Indicadores:</u></b> Crecimiento de la planta hasta las 24 semanas: Si/No</p> <p><b><u>Variable Dependiente</u></b></p> <p>Suelos contaminados con Cd y Pb</p> <p><b><u>Indicadores:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Clase de textura</li> <li>✓ Unidad pH</li> <li>✓ mS/m</li> <li>✓ %</li> <li>✓ ppm</li> <li>✓ mg/kg</li> <li>✓ cmol.kg-1</li> </ul>	<p><b><u>Método</u></b></p> <p>Hipotético-deductivo</p> <p><b><u>Tipo (FINALIDAD Y ALCANCE)</u></b></p> <p>Aplicada de nivel explicativo</p> <p><b><u>Enfoque</u></b></p> <p>Cuantitativo</p> <p><b><u>Diseño</u></b></p> <p>Experimental puro con grupo control</p>	<p><b><u>Población</u></b></p> <p>Suelos agrícolas contaminados de la margen derecha del río Mantaro del anexo de Carhuapaccha.</p> <p><b><u>Muestra</u></b></p> <p>Polígono de 581 m2 y las 5 muestras según la guía para el Muestreo de suelos del MINAM.</p> <p><b><u>Técnicas</u></b></p> <p>Observación</p> <p><b><u>Instrumentos</u></b></p> <p>Informe de laboratorio y cuaderno de campo</p>


**INFORME DE ENSAYO  
N° 031484-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA**
**I. INFORMACIÓN GENERAL**

Cliente	:	Guatarra Cunyas Yubithza Medalith
Propietario / Productor	:	Guatarra Cunyas Yubithza Medalith
Dirección del cliente	:	Calle Progreso N° 490-Sicaya
Solicitado por	:	Guatarra Cunyas Yubithza Medalith
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	01 muestra
Producto declarado	:	Suelo (Suelo Agrícola)
Presentación de las muestras(s)	:	Bolsas de plástico
Referencia del muestreo	:	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Chupuro-Huancayo-junín
Fecha(s) de muestreo	:	2023-03-24 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	2023-03-24
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	:	2023-04-11
Cotización del servicio	:	079-23-SA
Fecha de emisión	:	2023-04-16

**II. RESULTADO DE ANÁLISIS**

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1484-SA-23	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-03-24	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	9:58:00	-	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	A1	-	-	-	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>			
pH	unid. pH	0.1	6.5	-	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	0.1	11.3	-	-	-
Materia Orgánica	%	0.2	0.5	-	-	-
Nitrógeno (**)	%	--	0.03	-	-	-
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	--	4.0	-	-	-
Potasio Disponible (**)	mg/Kg	--	38.2	-	-	-
Cadmio, Cd	mg/Kg	--	4.58	-	-	-
Plomo, Pb	mg/Kg	--	651.75	-	-	-
Arena (**)	%	--	80	-	-	-
Limo (**)	%	--	17	-	-	-
Arcilla (**)	%	--	3	-	-	-
Clase Textural (**)	---	---	Arena Franca	-	-	-



**INFORME DE ENSAYO**  
N° 031484-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

**III. METODOLOGÍA DE ENSAYO**

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-09. 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.10, AS-10. 2000. Fosforo extraíble, en suelos de neutros a alcalinos (Procedimiento de Olsen y colaboradores). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11. 2000. Fosforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.12, 2000. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo, con acetato de amonio.

**IV. CONSIDERACIONES**

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

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

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

**V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO**

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



Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 071947-23/AO/ LABSAF - SANTA ANA

### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	Salvador Salazar Julisa
Propietario / Productor	Salvador Salazar Julisa
Dirección del cliente	Plaza Principal S/N - Chupuro - Huancayo
Solicitado por	Salvador Salazar Julisa
Muestreado por	Cliente
Número de muestra(s)	01 muestra
Producto declarado	Abono
Presentación de las muestras(s)	Frasco de plástico
Referencia del muestreo	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	Chupuro-Huancayo-Junín
Fecha(s) de muestreo	2023-07-25 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	2023-07-26
Lugar de ensayo	Laboratorio de Suelos: Aguas y Foliaves - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	2023-08-16
Cotización del servicio	217-23-SA
Fecha de emisión	2023-08-16

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5
Código de Laboratorio	AO3139-SA-23	-	-	-	-
Matriz Analizada	Abono	-	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-07-25	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:10:00	-	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	Guano	-	-	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>		
Cadmio, Cd	mg/Kg	-	0.02	-	-
Plomo, Pb	mg/Kg	-	4.19	-	-





Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 071947-23/AO/ LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales	EPA Method 3050B Revision 2 December 1996 Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido solo para el producto mencionado anteriormente
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 051665-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Gutarra Cunyas Yubithza Medallith  
Propietario / Productor : Salvador Salazar Julisa  
Dirección del cliente : Calle Progreso N° 490 - Sicaya - Huancayo  
Solicitado por : Gutarra Cunyas Yubithza Medallith  
Muestreado por : Cliente  
Número de muestra(s) : 03 muestras  
Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)  
Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
Procedencia de muestra(s) : Huancayo-Huancayo-Junín  
Fecha(s) de muestreo : 2023-05-10 (\*)  
Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-05-15  
Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Santa Ana  
Fecha(s) de análisis : 2023-05-22  
Cotización del servicio : 129-23-SA  
Fecha de emisión : 2023-06-10

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU2191-SA-23	SU2192-SA-23	SU2193-SA-23	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-	-
Fecha de Muestreo	2023-05-10	2023-05-10	2023-06-10	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:45:00	10:43:00	10:37:00	-	-	-
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1	P2	P3	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
Cadmio, Cd	mg/Kg	-	4.39	4.25	4.49	-
Plomo, Cd	mg/Kg	-	378.86	378.57	422.92	-



## INFORME DE ENSAYO

### N° 051665-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales Totales	EPA Method 3050B, Revision 2, December 1996. Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que Ingresó la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



Firma  
Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



## INFORME DE ENSAYO

### N° 061729-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Salvador Salazar Julisa  
 Propietario / Productor : Salvador Salazar Julisa  
 Dirección del cliente : Paza Principal Chupuro-Huancayo-Junin  
 Solicitado por : Salvador Salazar Julisa  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 01 muestra  
 Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
 Procedencia de muestra(s) : Chupuro-Huancayo-Junin  
 Fecha(s) de muestreo : 2023-06-06 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-06-06  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Santa Ana  
 Fecha(s) de análisis : 2023-06-22  
 Cotización del servicio : 165-23-SA  
 Fecha de emisión : 2023-06-27

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5
Código de Laboratorio	SU2552-SA-23	SU2553-SA-23	SU2554-SA-23	-	-
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-
Fecha de Muestreo	2023-06-06	2023-06-06	2023-06-06	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h)	9:52:00	9:50:00	9:48:00	-	-
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1	P2	P3	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>		
Cadmio, Cd	mg/Kg	-	4.402	4.248	4.701
Plomo, Pb	mg/Kg	-	414.641	417.851	436.943



## INFORME DE ENSAYO

### N° 061729-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales Totales	EPA Method 3050B, Revision 2, December 1996. Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresó la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 071893-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Propietario / Productor : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Dirección del cliente : Calle Progreso N°114 Sicaya  
Solicitado por : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Muestreado por : Cliente  
Número de muestra(s) : 03 muestras  
Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)  
Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
Procedencia de muestra(s) : Chupuro-Huancayo-Junin  
Fecha(s) de muestreo : 2023-07-04 (\*)  
Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-07-04  
Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Santa Ana  
Fecha(s) de análisis : 2023-08-01  
Cotización del servicio : 185-23-SA  
Fecha de emisión : 2023-07-25

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU2736-SA-23	SU2737-SA-23	SU2738-SA-23	-	-		
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-		
Fecha de Muestreo	2023-07-04	2023-07-04	2023-07-04	-	-		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:20:00	10:28:00	10:36:00	-	-		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1	P2	P3	-	-		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
Cadmio, Cd	mg/Kg	-	4.079	3.602	3.621	-	-
Plomo, Pb	mg/Kg	-	395.876	375.179	419.982	-	-





Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 071893-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales	EPA Method 3050B, Revision 2, December 1996, Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este Informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



*[Handwritten Signature]*  
Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO

### N° 072110-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

#### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Salvador Salazar Julisa  
 Propietario / Productor : Salvador Salazar Julisa  
 Dirección del cliente : Plaza Principal S/N - Chupuro - Huancayo  
 Solicitado por : Salvador Salazar Julisa  
 Muestreado por : Cliente  
 Número de muestra(s) : 03 muestras  
 Producto declarado : Suelo (Suelo Agrícola)  
 Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
 Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
 Procedencia de muestra(s) : Chupuro-Huancayo-Junín  
 Fecha(s) de muestreo : 2023-07-25 (\*)  
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-07-26  
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Santa Ana  
 Fecha(s) de análisis : 2023-08-16  
 Cotización del servicio : 217-23-SA  
 Fecha de emisión : 2023-10-02

#### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
<b>Código de Laboratorio</b>	SU3136-SA-23	SU3137-SA-23	SU3138-SA-23	-	-	-
<b>Matriz Analizada</b>	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-	-
<b>Fecha de Muestreo</b>	2023-07-25	2023-07-25	2023-07-25	-	-	-
<b>Hora de Inicio de Muestreo (h)</b>	14:33:00	14:41:00	14:47:00	-	-	-
<b>Condición de la muestra</b>	Conservada	Conservada	Conservada	-	-	-
<b>Código/Identificación de la Muestra por el Cliente</b>	P1	P2	P3	-	-	-
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>			
Cadmio, Cd	mg/Kg	-	2.98	2.44	1.31	-
Plomo, Pb	mg/Kg	-	384.67	373.24	374.76	-





Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 072110-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales	EPA Method 3050B, Revision 2, December 1996. Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Ing. Lidiana Alejandro Méndez - Responsable del laboratorio LABSAF Santa Ana.
- El presente Informe de Ensayo reemplaza al informe N° 071946-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA, emitido el 16/08/2023.



  
Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO



Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 082092-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Propietario / Productor : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Dirección del cliente : Call. Progreso N° 490 - Sicaya  
Solicitado por : Gutarra Cunyas Yubithza Medalith  
Muestreado por : Cliente  
Número de muestra(s) : 03 muestras  
Producto declarado : Arcilla  
Presentación de las muestras(s) : Bolsas de plástico  
Referencia del muestreo : Reservado por el cliente  
Procedencia de muestra(s) : Chupuro-Huancayo-Junín  
Fecha(s) de muestreo : 2023-08-29 (\*)  
Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-08-31  
Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliáres - LABSAF Santa Ana  
Fecha(s) de análisis : 2023-09-04  
Cotización del servicio : 269-23-SA  
Fecha de emisión : 2023-09-28

### II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU3839-SA-23	SU3840-SA-23	SU3841-SA-23	-	-		
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-		
Fecha de Muestreo	2023-08-29	2023-08-29	2023-08-29	-	-		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	10:52:00	10:30:00	10:56:00	-	-		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1	P2	P3	-	-		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
Cadmio, Cd	%	-	1.539	1.624	1.105	-	-
Plomo, Pb	%	-	291.308	300.749	290.519	-	-





Instituto Nacional de Innovación Agraria

## INFORME DE ENSAYO N° 082092-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Metales	EPA Method 3050B, Revision 2, December 1996. Acid digestion of Sediments, sludges and soils by Inductively Microwave Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

### IV. CONSIDERACIONES

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

### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



*[Handwritten Signature]*  
Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO

## INFORME DE ENSAYO

### N° 092200-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

**I. INFORMACIÓN GENERAL**

Cliente	:	Salvador Salazar Julisa
Propietario / Productor	:	Salvador Salazar Julisa
Dirección del cliente	:	Plaza Principal S/N Chupuro - Huancayo
Solicitado por	:	Salvador Salazar Julisa
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	03 muestras
Producto declarado	:	Suelo (Suelo Agrícola)
Presentación de las muestras(s)	:	Bolsas de plástico
Referencia del muestreo	:	Reservado por el cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Chupuro - Huancayo - Junín
Fecha(s) de muestreo	:	2023-09-26 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	:	2023-09-26
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare - LABSAF Santa Ana
Fecha(s) de análisis	:	2023-10-11
Cotización del servicio	:	320-23-SA
Fecha de emisión	:	2023-10-17

**II. RESULTADO DE ANÁLISIS**

ITEM	1	2	3	4	5		
Código de Laboratorio	SU4135-SA-23	SU4136-SA-23	SU4137-SA-23	-	-		
Matriz Analizada	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	Suelo (Suelo Agrícola)	-	-		
Fecha de Muestreo	2023-09-26	2023-09-26	2023-09-26	-	-		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	11:05:00	11:32:00	11:45:00	-	-		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	-	-		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	P1	P2	P3	-	-		
<b>Ensayo</b>	<b>Unidad</b>	<b>LC</b>	<b>Resultados</b>				
pH	unid. pH	0,1	7.7	7.8	8.0	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	0,1	11.1	9.1	9.3	-	-
Materia Orgánica	%	0,2	3.5	2.2	1.3	-	-
Nitrógeno (**)	%	-	0.18	0.11	0.07	-	-
Fósforo Disponible (**)	mg/Kg	0.5	19.6	11.5	2.8	-	-
Potasio Disponible (**)	mg/Kg	3.0	145.6	82.1	63.6	-	-
Cadmio, Cd (**)	mg/Kg	-	0.74	0.89	0.98	-	-
Plomo, Pb (**)	mg/Kg	-	271.79	287.52	284.85	-	-
Arena (**)	%	-	79	79	79	-	-
Limo (**)	%	-	18	18	18	-	-
Arcilla (**)	%	-	3	3	3	-	-
Clase Textural (**)	-	-	Areno Francoso	Areno Francoso	Areno Francoso	-	-





Instituto Nacional de Innovación Agraria

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



Registro N° LE - 200

### INFORME DE ENSAYO N° 092200-23/SU/ LABSAF - SANTA ANA

#### III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994, First Edition/Cor1 1996. Soil Quality - Determination of the Specific Electrical Conductivity - Technical Corrigendum 1
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-09, 2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.7, AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black).
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.11, AS-11, 2000. Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros (Procedimiento de Bray y Kurtz 1).
	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.10, AS-10, 2000. Fósforo extraíble, en suelos de neutros a alcalinos (Procedimiento de Olsen y colaboradores).
Potasio Disponible	Potasio disponible: MET-18 (Basado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.12, AS-12 // EPA 8010 D. Revisión 5, 2023). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance). Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

#### IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingresó la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
  - Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
  - Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
  - Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
  - Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
  - El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
  - Medición de pH realizada a 25 °C
  - Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C
- (\*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.  
 (\*\*) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

#### V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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



*[Handwritten Signature]*

Firma

Ing. Ivana Cortéz Juro  
Directora EEA Santa Ana

FIN DE INFORME DE ENSAYO

## Anexo 5. Glosario

**Fitorremediación:** Proceso de limpieza o descontaminación de suelos mediante el uso de plantas para absorber, degradar o estabilizar contaminantes.

***Medicago sativa*:** Especie de planta conocida comúnmente como alfalfa, utilizada en la fitorremediación debido a su capacidad para acumular metales pesados en sus tejidos.

**Cd y Pb:** Símbolos químicos para el cadmio y el plomo, respectivamente, dos metales pesados comunes que pueden ser tóxicos para los organismos vivos en altas concentraciones (MORSY et al, 2022)

**Estiércol de oveja:** Material orgánico compuesto por excrementos de oveja, utilizado como fertilizante natural y mejora del suelo debido a su contenido de nutrientes y materia orgánica.

**Parámetros físico-químicos del suelo:** Características del suelo que incluyen pH, textura, contenido de materia orgánica, concentración de nutrientes, entre otros, que influyen en su capacidad para soportar el crecimiento de plantas y en la disponibilidad de contaminantes.

**ECA (Estándar de Calidad Ambiental):** Límites establecidos por las autoridades ambientales para la concentración máxima permitida de contaminantes en el suelo, el agua u otros medios ambientales, con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente (D.S N° 011-2017-MINAM).

**Nutrientes (N, P, K):** Elementos químicos esenciales para el crecimiento de las plantas, como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), que pueden provenir tanto de la materia orgánica como de fertilizantes químicos.

**Remoción de metales:** Proceso mediante el cual los metales pesados son extraídos del suelo y absorbidos por las raíces de las plantas, lo que reduce su concentración en el suelo y potencialmente previene su dispersión y contaminación ambiental.