

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOEXTRACTORA EN
Medicago sativa L. PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE
PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS CON RELAVES MINEROS
UBICADOS EN EL DISTRITO DE COAYLLO, CAÑETE - LIMA,
PERÚ”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

MONTES CHOQUEÑA, JUAN DAVID

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis colegas, quienes con sus investigaciones en temas relacionados a tecnologías ambientales contribuyen a mitigar y controlar los impactos ambientales que son generados día tras día por las actividades productivas de nuestra especie.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad, a través de mis padres, de estar hoy presente y poder presentar mi trabajo de tesis.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres, Juan Carlos Montes Lizana y María Choqueña Chacolla, por apoyarme siempre en mis estudios, en mis iniciativas, en mis derrotas y victorias. Para ellos el más grande reconocimiento de mi trabajo y el hombre de buenos valores que han formado.

En tercer lugar, quiero agradecer al Magister Willy Andrés Aduato Medina, Diego Gonzales Lopez y José Crisóstomo Alata, quienes, en mi etapa universitaria, me enseñaron a ser autocrítico, reflexivo con la información académica y científica, apasionarme en la investigación y ayudarme a formar, de manera indirecta, en mi desarrollo profesional. Para ellos, mi agradecimiento puesto que, parte del grupo de investigación formada en épocas de universidad fue la base para decidirme a tomar como tema de investigación lo que ahora se presenta como mi tesis de pregrado.

Finalmente, quiero agradecer a las personas que con su apoyo hicieron posible que pueda desarrollar mi trabajo de tesis, tales como el Doctor Marco Tulio Sánchez Calle, Magister Willy Andres Aduato Medina, Víctor Andrés Montes Choqueña, Carlos Alonzo Montes Choqueña, Milagros Montes Choqueña, familiares cercanos y amigos que siempre estuvieron dispuestos a revisar constantemente mi tesis y dar comentarios acertados para mejorar la redacción final del mismo.

RESUMEN

La presente investigación abarca un tema acuciante para la humanidad: “la contaminación ambiental” y, en específico, la contaminación generada en épocas de antaño que presenta un serio problema para la población y el medio ambiente. El Ministerio de Energía y Minas es el organismo estatal responsable de realizar las gestiones para el tratamiento de los más de 8000 pasivos ambientales mineros que se encuentran inventariados en la actualidad.

Los pasivos ambientales mineros, en su mayoría, no cuentan con gestiones otorgadas por el Ministerio de Energía y Minas. Un caso en particular son los pasivos ambientales mineros ubicados en el distrito de Coayllo, provincia de Cañete, departamento de Lima. Este pasivo ambiental minero tiene una alta concentración de plomo, variando entre los 500 mg/Kg y los cerca de 3.500 mg/Kg. El presente estudio buscó dar respuesta a como varía la capacidad fitoextractora en la especie *Medicago sativa* L. en relación a la concentración de plomo presente en el medio donde se desarrolla. Para ello se planteó un experimento puro con post prueba y grupo controlado, es decir, mediante 30 macetas, de las cuales 24 contuvieron muestras de pasivos ambientales mineros con diferentes concentraciones de plomo y 6 macetas las cuales contuvieron suelo orgánico sin presencia de plomo, se hizo crecer plántulas de *Medicago sativa* L. por un periodo de 3 meses. Transcurrido los 3 meses se evaluó la concentración de plomo en los maceteros y las plantas que se emplearon para el experimento.

Las plantas de *Medicago sativa* L. lograron almacenar concentraciones de plomo en sus raíces y hojas que variaron de 0,0 a 5,93 mg/Kg y de 0,0 a 10,80 mg/Kg respectivamente. Por otro lado la concentraciones de plomo en el suelo lograron disminuir hasta en un 3,22 %.

Posteriormente, se realizó el cálculo del factor de traslocación por cada especie analizada en el laboratorio acreditado por el INACAL, el cual presentó resultados de factor de traslocación que variaron entre 0% y 9,42%.

Finalmente, se llegó a la conclusión que la capacidad fitoextractora de *Medicago sativa* L. aumenta a medida de que la concentración de plomo aumenta en el suelo. No obstante, se advierte que a concentraciones mayores a 3.000 mg/Kg se podrían presentar problemas para el desarrollo de la planta, pudiendo mermar su crecimiento. Por otro lado, se obtuvo que *Medicago sativa* L. es una especie con alto potencial fitoextractor y puede ser empleado para el tratamiento de suelos contaminados con plomo cuya concentración debe variar entre 500 mg/Kg y 3.500 mg/Kg. Asimismo, se recomienda emplear mayor cantidad número de especies durante la fase de remediación para generar mayor área foliar y radicular.

ABSTRACT

This research covers a pressing issue for humanity: "environmental pollution" and, specifically, the pollution generated in times of old that presents a serious problem for the population and the environment. The Ministry of Energy and Mines is the state agency responsible for carrying out the procedures for the treatment of the more than 8.000 mining environmental liabilities that are currently inventoried.

Mining environmental liabilities, for the most part, do not have procedures granted by the Ministry of Energy and Mines. A particular case is the mining environmental liability located in the district of Coayllo, province of Cañete, department of Lima. This mining environmental responsibility has a high concentration of lead, which varies between 500 mg / kg and approximately 3.500 mg / kg. The present study sought to respond to how the phytoextractor capacity in the species *Medicago sativa* L. changes in relation to the concentration of lead present in the environment where it develops. For this, a pure experiment was proposed with a subsequent test and a controlled group, that is, through 30 pots, of which 24 contained samples of mining environmental liabilities with different lead chemicals and 6 pots containing organic soil without the presence of lead seedlings of *Medicago sativa* L. for a period of 3 months. After 3 months, the concentration of lead in the planters and the plants used for the experiment was evaluated.

Medicago sativa L. plants reached lead concentrations in their roots and leaves ranging from 0.0 to 5,93 mg / kg and 0,0 to 10,80 mg / kg respectively. On the other hand, the variation of lead in the soil managed to decrease by up to 3,22%.

Subsequently, the calculation of the translocation factor was performed for each species analyzed in the laboratory accredited by INACAL, which performed results of the translocation factor that varied between 0% and 9,42%.

Finally, he concluded that the extraction capacity of *Medicago sativa* L. increases as the concentration of lead in the soil increases. However, it warns

that at concentrations higher than 3.000 mg / Kg it can present problems for the development of the plant, and may decrease its growth. On the other hand, it is obtained that *Medicago sativa* L. is a species with high phytoextractor potential and can be used for the treatment of lead contaminated soils whose concentration should vary between 500 mg / Kg and 3.500 mg / Kg. It is also recommended to use a higher number of species during the remediation phase to generate more foliar and root area.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Formulación del problema.....	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	6
1.5. Alcances de la investigación	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	7
CAPÍTULO II :MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	13
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Suelo	15
2.2.2. Propiedades del suelo.....	16
2.2.2.1.Propiedades físicas.....	16
2.2.2.2.Propiedades químicas.....	18
2.2.2.3.Propiedades biológicas.....	19
2.2.3. Suelo contaminado.....	19
2.2.4. Presencia de metales pesados en el medio ambiente	20
2.2.5. Efectos de los metales pesados en el suelo	22
2.2.6. Movilización de los metales pesados en el suelo	24

2.2.7. Plomo	27
2.2.8. Efectos del plomo en el medio ambiente.....	28
2.2.9. Actividad minera.....	31
2.2.9.1.Etapas de la actividad minera	31
2.2.10. Pasivo ambientales mineros	33
2.2.11. Tecnologías de remediación de suelos contaminados.....	35
2.2.12. Fitorremediación	37
2.2.13. Tipos de fitorremediación.....	38
2.2.14. Plantas hiperacumuladoras.....	41
2.2.15. Procesos bioquímicos en la planta durante el proceso de fitorremediación	44
2.2.16. Rol del suelo en el proceso de fitorremediación.....	45
2.2.17. Interacción de los metales pesados en las plantas	46
2.2.17.1.Absorción, transporte y almacenamiento	46
2.2.17.2.Toxicidad de los metales pesados en plantas	48
2.2.18. Mecanismos de defensa en la planta.....	49
2.2.19. Normativa ambiental peruana	50
2.2.20. Técnicas de cuantificación de plomo en muestras de suelo	52
2.2.21. Cuantificación de plomo en muestras de plantas mediante absorción atómica.....	53
2.2.21.1.Muestreo	53
2.2.21.2.Preparación de la muestra	53
2.2.21.3.Análisis por absorción atómica con llama.....	54
2.2.22. Descripción del distrito de coayllo	55
2.2.22.1.Ubicación y vías de acceso	55
2.2.22.2.Descripción del medio ambiente físico	55

2.2.22.3. Contaminación de suelos de pasivos ambientales mineros por plomo.....	57
CAPÍTULO III : HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	60
3.1. Hipótesis general	60
3.2. Hipótesis específicas	60
3.3. Identificación de variables.....	60
3.3.1.Variable independiente	60
3.3.2.Variable dependiente.....	60
3.4. Matriz de consistencia.....	61
CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA	62
4.1. Metodología de la investigación.....	62
4.1.1. Unidad de análisis	62
4.1.2. Población de estudio	62
4.1.3. Tamaño de muestra.....	62
4.1.4. Selección de la muestra	63
4.1.5. Materiales, insumos y equipos.....	63
4.1.6. Diseño de la investigación	63
4.1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	65
4.1.8. Plan de análisis estadísticos de los datos	65
4.1.8.1. Hipótesis específica 1	65
4.1.8.2. Hipótesis específica 2	66
4.1.8.3. Hipótesis específica 3	67
4.1.8.4. Hipótesis general	69
4.2. Procedimiento metodológico	70
4.2.1. Actividades de planificación	70
4.2.2. Construcción de semilleros y germinación de plántulas.....	72
4.2.3. Construcción de macetas para el proceso de fitoextracción	73

4.2.4. Cuantificación del factor de traslocación	79
4.2.5. Actividades post-muestreo	80
CAPÍTULO V : RESULTADOS	81
5.1. Resultados de la concentración de plomo en muestras de suelos antes del proceso de fitoextracción	81
5.2. Resultados de la concentración de plomo en hojas y raíces de muestras de <i>Medicago sativa</i> L.	82
5.3. Resultados de la cuantificación del factor de traslocación	85
5.4. Resultados de la concentración de plomo en muestras de suelos después del proceso de fitoextracción.....	89
5.5. Resultados de análisis estadístico	90
5.5.1. Hipótesis específica 1	90
5.5.2. Hipótesis específica 2	94
5.5.3. Hipótesis específica 3	98
5.5.4. Hipótesis general.....	100
CAPÍTULO VI : DISCUSIÓN DE RESULTADOS	102
CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES	105
CAPÍTULO VIII : RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de la porosidad</i>	17
Tabla 2 <i>Estimación de la emisión antropogénica de plomo hacia la atmósfera</i>	29
Tabla 3 <i>Estándares de calidad ambiental para suelos</i>	30
Tabla 4 <i>Tipos y subtipos de pasivos ambientales mineros</i>	33
Tabla 5 <i>Evolución del inventario de pasivos ambientales mineros en el Perú</i>	34
Tabla 6 <i>Principales técnicas de recuperación de suelos</i>	36
Tabla 7 <i>Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación in situ y ex situ</i>	37
Tabla 8 <i>Taxonomía de la alfalfa</i>	41
Tabla 9 <i>Accesibilidad al distrito de Coaylo</i>	55
Tabla 10 <i>Ubicación del pasivo ambiental minero N° 12622</i>	57
Tabla 11 <i>Codificaciones y coordenadas de los puntos de muestreo de identificación</i>	59
Tabla 12 <i>Matriz de consistencia</i>	61
Tabla 13 <i>Resultados de concentración de plomo en muestras de suelos antes del proceso de fitoextracción</i>	81
Tabla 14 <i>Resultados de concentración de plomo en hojas y raíces de muestras de Medicago sativa L.</i>	82
Tabla 15 <i>Resultados del factor de traslocación de muestras de Medicago sativa L.</i>	86
Tabla 16 <i>Resultados de concentración de plomo en muestras de suelos después del proceso de fitoextracción</i>	89
Tabla 17 <i>Resultados de variables de la hipótesis específica 1</i>	91

Tabla 18 <i>Resultados de la hipótesis específica 2</i>	94
Tabla 19 <i>Resultados de la hipótesis específica 3</i>	99

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Formación y horizontes del suelo.....	16
<i>Figura 2.</i> Movilización de los metales pesados en el agua, aire y suelo.....	22
<i>Figura 3.</i> Dinámica de metales pesados en el suelo.	25
<i>Figura 4.</i> Mecanismos de remoción de contaminantes en la fitorremediación.....	40
<i>Figura 5.</i> Procesos de quelación, conjugación y compartimentación en las hojas y raíces para contaminantes orgánicos e inorgánicos.....	45
<i>Figura 6.</i> Vías apoplástica, simplástica y transcelular de transporte radial de solutos en la raíz.	48
<i>Figura 7.</i> Esquema de equipo de absorción atómica.....	54
<i>Figura 8.</i> Puntos de muestreo en el área de interés.....	58
<i>Figura 9.</i> Diseño de investigación científica.	64
<i>Figura 10.</i> Representación gráfica del diseño de investigación.....	64
<i>Figura 11.</i> Semilleros de capacidad para 200 unidades.....	70
<i>Figura 12.</i> Semillas de <i>Medicago sativa</i> L.....	71
<i>Figura 13.</i> Sustrato orgánico para la germinación y crecimiento de semillas y plántulas.....	71
<i>Figura 14.</i> Proceso de construcción de semilleros.	72
<i>Figura 15.</i> Ubicación de semilleros en espacios adecuados para el experimento.	72
<i>Figura 16.</i> Germinación de semillas en los semilleros.....	73
<i>Figura 17.</i> Desarrollo y crecimiento de plántulas.....	73
<i>Figura 18.</i> Proceso de construcción de maceteros.....	74
<i>Figura 19.</i> Maceteros con muestras de pasivos ambientales-mineros.	74

<i>Figura 20.</i> Toma de muestras de suelo en bolsas herméticas.	75
<i>Figura 21.</i> Recolección de 24 muestras de suelos.	75
<i>Figura 22.</i> Muestras de suelo recolectadas para ser enviadas al laboratorio.	76
<i>Figura 23.</i> Organización de elementos para el proceso de trasplante.	76
<i>Figura 24.</i> Realización de hoyos para el trasplante de especies.	77
<i>Figura 25.</i> Trasplante de especies de <i>Medicago sativa</i> L. a maceteros	77
<i>Figura 26.</i> Vista aérea de trasplante de especies de <i>Medicago sativa</i> L. a maceteros.	78
<i>Figura 27.</i> Actividades finalizadas de trasplante desde el semillero hasta maceteros.	78
<i>Figura 28.</i> Especies <i>Medicago sativa</i> L. al culminar la experimentación.	79
<i>Figura 29.</i> Resultados de concentración de plomo en maceteros antes y después.	90
<i>Figura 30.</i> Grafica de criterio de aceptación de hipótesis nula – hipótesis específica 2.	98
<i>Figura 31.</i> Grafica de criterio de rechazo de hipótesis nula – hipótesis específica 3.	100
<i>Figura 32.</i> Dispersión de datos – correlación de Pearson.	101

INTRODUCCIÓN

Los pasivos ambientales mineros en el Perú representan un peligro latente para la población y el medio ambiente, bajo este contexto el Ministerio de Energía y Minas (MEM) tiene la función de realizar el inventariado a nivel nacional de los pasivos ambientales mineros. Posteriormente, destinar o encargar las gestiones adecuadas para disminuir su peligrosidad, y, en el mejor de los casos eliminar dicho peligro. Este periplo cuya responsabilidad recae sobre el MEM es un proceso largo y difícil de llevar, debido a que los recursos económicos que son destinados al mismo fin son pocos. Asimismo, cada año se descubren más pasivos ambientales mineros, sumado a ello, las actividades de proyectos mineros que se encuentran en operación también generan pasivos ambientales, obviamente estos últimos son mejores gestionados, puesto que su aparición así como su manejo es predicho cuando se elabora su instrumento de gestión ambiental.

Una de las soluciones que se presenta frente a esta realidad, es la fitorremediación como tecnología de remediación para mitigar los impactos ambientales que devienen de los pasivos ambientales mineros. Desde la década de los 90 hasta la actualidad se han realizado diferentes estudios para identificar especies con la capacidad de almacenar metales pesados en su fisiología y en los últimos años se han realizado investigaciones dirigidas a evaluar la capacidad de diferentes especies a través de mecanismos de fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración, entre otras, las cuales demuestran que optar por estos métodos de remediación, en un futuro próximo y contando con todas las variables que devienen de la implementación de los mismos, sea la mejor opción.

Un caso en específico de pasivos ambientales mineros son los que se encuentran ubicados en el pueblo de Santa Rosa de Cata, distrito de Coayllo, provincia de Cañete, departamento de Lima (Perú). En la actualidad, sólo se pueden observar montículos y aglomerados de la antigua cancha donde se depositaban los relaves.

El autor de la presente investigación, en 2017, planteó y ejecutó el muestreo de identificación de sitios contaminados en el área donde antiguamente se encontraba ubicada la cancha de relaves. Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio GreenLab Perú S.A.C. se identificó que existe una alta concentración de plomo en el área de estudio, por lo cual estas muestras de suelo fueron empleadas, 2 años después, para evaluar la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L., tratando de determinar la relación y causalidad en la concentración de plomo y el factor de traslocación en la especie *Medicago sativa* L.

Los apartados desarrollados en el presente estudio se dividen en ocho capítulos:

- El capítulo I, aborda temas relacionados al planteamiento del problema, los objetivos de investigación, asimismo, la justificación, alcance y limitación del estudio.
- El capítulo II, establece las bases teóricas que brindan un sustento a la investigación desarrollada, puesto que consiste en exponer la teoría en la cual se fundamenta el estudio. Abordando desde estudios preliminares desarrollados a nivel nacional e internacional que tienen relación con la investigación, definición de términos relacionados al suelo, propiedades, contaminación por metales pesados, plomo, desarrollo de las actividades mineras en el Perú, normativa en calidad del suelo, fitorremediación, *Medicago sativa* L, mecanismos de remoción de contaminantes, entre otros.
- El capítulo III, desarrolla la hipótesis general e hipótesis específicas del estudio. Asimismo, establece la variable dependiente, independiente y la matriz de consistencia.
- El capítulo IV, desarrolla la metodología de la investigación, abordando desde la población, muestra, diseño de investigación, procesos de ejecución de la fase experimental, plazos, materiales e insumos a emplear, procesamiento estadístico, entre otros.

- Finalmente, los capítulos V, VI, VII, VIII y presentan los resultados, discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones del trabajo de estudio acorde a los objetivos planteados.

CAPÍTULO I :

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En el Perú existen 8.854 pasivos ambientales mineros de los cuales 693 se encuentran ubicados en el departamento de Lima (Ministerio de Energía y Minas, 2016). Del total de los pasivos ambientales mineros, a 2.071 pasivos ambientales mineros (23,39%) se les ha asignado gestiones de remediación y reaprovechamiento, mientras que 6.783 pasivos ambientales mineros (76,61%) no se les ha asignado alguna gestión para disminuir su riesgo hacia la salud de la población y el medio ambiente.

El daño que generan los pasivos ambientales mineros al medio ambiente es en ocasiones irreversible. Es por ello que es necesario plantear soluciones de acuerdo a la realidad de cada pasivo ambiental minero, por lo cual existen diferentes alternativas de fitorremediación, una de las cuales es la fitoextracción, tecnología que emplea especies para acumular metales pesados en la fisiología de la planta. Para el caso de este estudio, se empleó la especie *Medicago sativa* L., la cual es endémica del lugar de donde se extrajeron muestras de suelos de relaves mineros con alto contenido en plomo (pasivos ambiental minero). A través de la evaluación de factor de traslocación se evaluó el potencial fitoextractor de la especie *Medicago sativa* L.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera las diferentes concentraciones de plomo en el suelo afectan a la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. al ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la concentración de plomo presente en raíces y hojas de la especie *Medicago sativa* L. luego de ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros?
- ¿Cuál será la capacidad fitoextractora de plomo en la especie *Medicago sativa* L. cultivados en suelos contaminados con plomo a diferentes concentraciones?
- ¿Cuál será la concentración de plomo en las muestras de suelos al finalizar el proceso de fitoextracción?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las variaciones en la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. cultivados en suelos contaminados con diferentes concentraciones de plomo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de plomo presentes en raíces y hojas de la especie *Medicago sativa* L. luego de ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros.
- Determinar la capacidad fitoextractora de plomo en la especie *Medicago sativa* L. cultivados en suelos contaminados con plomo a diferentes concentraciones.
- Determinar la concentración de plomo en las muestras de suelos al finalizar el proceso de fitoextracción.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

La presente tesis se enfocó en estudiar la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L.

Para ello se sometió a esta especie en diferentes muestras de suelos de relaves mineros con alto contenido en plomo, las cuales fueron extraídas en 2017 del distrito de Coayllo y está considerado como residuo minero según el Ministerio de Energía y Minas.

Así, el presente trabajo permitió demostrar si es viable emplear la especie *Medicago sativa* L. para la remediación de suelos que contengan alto contenido en plomo cada vez que se genere esta situación por actividades antropogénicas.

Establecer la relación entre la capacidad fitoextractora de *Medicago sativa* L. en muestras con diferentes concentraciones de plomo permitirá conocer en que rango de concentración de plomo es viable aplicar esta especie para que sea incorporada dentro del abanico de tecnologías de remediación de suelos, y, dar solución a una numerable cantidad de pasivos ambientales mineros de todo el Perú, puesto que en la actualidad 6.684,00 pasivos no han recibido gestión alguna por parte del Ministerio de Energía y Minas y representan un riesgo potencial y latente para la salud de la población y el medio ambiente.

1.5. Alcances de la investigación

La presente tesis se centró en evaluar la variación de la capacidad fitoextractora de las unidades muestrales de *Medicago sativa* L., las cuales fueron sometidas a muestras de relaves mineros ubicados en el distrito de Coayllo con alta concentración de plomo.

El estudio abarca exclusivamente como el índice del factor de traslocación de las especies de *Medicago sativa* L. podrá permitir si a medida de que la concentración de plomo varía, este factor, se sigue manteniendo por encima de la unidad. Logrando de esta manera que todas las especies estudiadas sean catalogadas con alto potencial fitoextractor, y, por ende aprobar la viabilidad de

esta tecnología para descontaminar suelos que se ven afectados por la generación de pasivos ambientales mineros.

1.6. Limitaciones de la investigación

La única limitación para el desarrollo de la tesis radica principalmente en la falta de información concerniente a los procesos y actividades de la antigua actividad minera que se desarrollaba en el distrito de Coayllo. Esta situación dificulta tener un mejor concepto sobre la verdadera extensión que ocupaba el depósito de relaves.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

El desarrollo de la minería en el Perú está presente desde la época pre-inca. En diversas culturas como Chavín de Huantar, Paracas, Nasca, Tiahuanaco, Wari, Chimú y Moche se desarrollaron actividades de minería artesanal para la creación de diversos objetos. Desde entonces, pasando por la época inca, colonial, republicana y hasta la actualidad, la principal actividad económica del Perú es, y fue, la minera. Este desarrollo ha permitido a la industria minera posicionarse como la principal fuente de generación de divisas en el país, concentrando entre 50% y 60% de las exportaciones totales del mismo. En Latinoamérica, el Perú figura dentro de los países más atractivos desde el punto de vista minero por encima de Chile, México, Brasil, Argentina, Ecuador, Colombia, Bolivia y Venezuela (McMahon & Melhem, 2007). Entre los principales metales que se extraen se encuentran el oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag), plomo (Pb), zinc (Zn) y estaño (Sn) (Larrian, 2012).

A pesar de la gran importancia de la minería, esta actividad causa daños colaterales, principalmente representados en los pasivos ambientales.

Estos pasivos ambientales están constituidos en mayor proporción por pirita, cuarzo y en menor cantidad sulfuros en forma de esfalerita, calcopirita, novelita, galena y sulfatos de hierro.

En el Perú existen 8.794,00 pasivos ambientales mineros y los principales impactos al ambiente que estos pasivos generan son en el suelo (cambios morfológicos, pérdida de comunidades vegetales y de suelo fértil), en el agua (alteración de la red de drenaje natural y contaminación de aguas superficiales) y en el aire (cambios temporales en la calidad).

Frente a esta situación, a través de los años se han desarrollado diversas técnicas de remediación de suelos de tipo físico, químico y biológico. Algunas de estas son la biodegradación, degradación química, lavado, aireación, solidificación, vitrificación, fitoenmienda, confinamiento, compostaje, entre otros.

Por otro lado, la concepción de la palabra fitorremediación, enmarcada en las tecnologías de biorremediación, tiene sus inicios en el siglo XVIII, cuando Joseph Priestley, Karl Scheele y Antoine Lavoisier demostraron que en presencia de luz las plantas son capaces de descontaminar la atmósfera. Posteriormente, el botánico alemán Baumann encontró altas concentraciones de zinc en las hojas de algunas plantas que crecían en lugares con altas concentraciones de metales. No obstante, fue hasta la década de los 70 que se reconoció la habilidad de las plantas para descontaminar las aguas y suelos, naciendo de esta manera, en la década de los 90, el concepto de fitorremediación. Desde entonces, se han realizado diversas investigaciones cuantificando y evaluando la capacidad de fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración, etc. en diferentes especies a nivel del mundo. En la actualidad se siguen realizando estas investigaciones con la finalidad de dar soluciones específicas a cada problema que existe desde la época pre inca con los pasivos ambientales que se han generado en el Perú (Instituto Ingenieros de Minas del Perú, 2010).

Para la realización de la presente tesis; se encontraron con las siguientes investigaciones, trabajos de grado y tesis; que tienen relación y aproximación con el tema de fitorremediación de pasivos ambientales mineros.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Lombi *et al.* (2001) realiza el estudio de "Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: hiperacumulación natural frente fitoextracción mejorado químicamente" en el cual evalúa la capacidad de fitoextracción de diferentes especies vegetativas en suelos contaminados por actividades industriales y agrícolas, llegando a la conclusión de que una alta concentración de cobre (Cu), 1.245,00 mg/Kg, en los suelos a tratar inhibe el crecimiento de las especies utilizadas para la fitorremediación. De este estudio se escogieron elementos como la necesidad de conocer la composición de los suelos a tratar, ya que las condiciones en la que se encuentren los diferentes metales pesados actúan de manera simultánea en el proceso de fitorremediación.

Ortiz *et al.* (2009) en el estudio "Fitoextracción de plomo y cadmio quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas" evaluó la capacidad extractora de plomo (Pb) y cadmio (Cd) del quelite (*Amaranthus hybridus* L.) al adicionar una mezcla de micorrizas arbusculares (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Glomus clarum*) al sustrato contaminado con Pb y Cd. Dos experimentos, uno por cada metal, con diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones fueron desarrollados. En el primero se adicionaron tres cantidades de micorrizas (0; 2,5 y 5 g/kg) en suelos con 300 mg/kg de Pb. En el segundo experimento, las mismas cantidades de micorrizas fueron probadas en suelos contaminados con 15 mg/kg de Cd. Las concentraciones de Pb y Cd en raíz, hoja y tallo a los 65, 95 y 125 días de edad de la planta se determinaron con un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados indican que la adición de micorrizas incrementó significativamente ($P < 0.05$) la concentración de Pb y Cd en raíz, tallo y hoja de quelite. Las concentraciones de estos metales se incrementaron significativamente conforme la edad de la planta.

Por otro lado, Bonilla (2013) realiza un estudio intensivo y exhausto sobre la capacidad de bioacumulación de tres diferentes tipos de plántulas sobre muestras de suelo acondicionadas con diferentes concentraciones de plomo.

Además, llega a la conclusión de que la alfalfa es una plántula con una alta capacidad de bioacumulación de metales pesados dentro de su fisiología vegetal. De este estudio se escogieron elementos como el acondicionamiento de muestras en la fase de experimentación y los resultados que sustentan la capacidad bioacumuladora de la alfalfa.

Bernald *et al.* (2014) realiza el estudio en "Remediación de suelos contaminados con plomo (II) por fitotecnologías correctivas - *Medicago sativa* L. (alfalfa)", en el cual evalúa la capacidad hiperacumuladora de la alfalfa expuesta a suelos con diferentes concentraciones de plomo. Asimismo, para el desarrollo de su investigación realiza la manipulación de la concentración del potencial hidrógeno (pH) a tres niveles, los cuales fueron 4,5; 5,5 y 6,5 unidades de pH. Los resultados indicaron que la alfalfa presenta rangos de acumulación de plomo en hojas y raíces que oscilan entre los valores de 10 mg/Kg y 80 mg/Kg, y 1 mg/Kg y 65 mg/Kg respectivamente. El estudio llega a la conclusión que, la fitorremediación no es una solución para todos los suelos contaminados, por ello y antes de ser usada de manera técnica, eficiente y económicamente en procesos de descontaminación-saneamiento, se requiere superar; principalmente, claridad de los mecanismos moleculares, bioquímicos y fisiológicos de las plantas "prospectos" fitorremediadoras. Por otro lado, el plomo puede ser estabilizado en los tejidos de alfalfa, principalmente en las hojas. Para su disposición final esta especie se debe cosechar y confinar y/o buscar alternativas tales como la briquetación, evitando así que el plomo se encuentre expuesto a los factores ambientales como precipitaciones y viento, evitando que el mismo se disperse en áreas que puedan afectar de forma directa a indirecta a la población.

Por su lado, Cogayo y Bonilla (2016) en la "Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano" evalúa la capacidad de absorción de plomo de tres especies vegetativas, llegando a la conclusión de que la fitorremediación de es una opción económicamente viable para remediar suelos contaminados por plomo. De este estudio se escogieron elementos como la capacidad de hiperacumulación de la alfalfa en diferentes concentraciones de muestras de suelo con plomo.

Sarwar *et al.* (2016) en el estudio “Estrategias de fitorremediación para suelos contaminados con metales pesados: modificaciones y perspectivas futuras” informa de manera acertada sobre el mundo de la fitorremediación, entre ellos el origen de los suelos contaminados con metales pesados, mecanismos de remoción de metales pesados en las plantas y evaluación económica de la fitorremediación. El estudio llega a la conclusión de que Las técnicas de fitorremediación pueden ser una herramienta importante para abordar el problema de suelos contaminados puesto que enfoques de tratamientos físicos y químicos para descontaminar los suelos contaminados parece económicamente inviable y consume mucho tiempo con resultados menos efectivos. Además, Las plantas hiperacumuladoras son eficaces para extraer y recoger grandes concentraciones de metales pesados, así como otros contaminantes inorgánicos y orgánicos del suelo. Sin embargo, los enfoques tradicionales de fitorremediación son menos económicos a aplicar en grandes escalas, ya que los hiperacumuladores de origen natural son de crecimiento lento y producen relativamente menos producción de biomasa por encima del suelo.

Finalmente, León (2016) en la “Evaluación de la *Medicago sativa* L (alfalfa), *Cecropia peltata* L. (guarumo) y *Arachis pintoi* W.C (maní forrajero) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río nambija, barrio puente azul, cantón zamora” evalúa la capacidad hiperacumuladora de tres especies las cuales son sometidas a diferentes muestras de suelo recolectados en el Barrio Puente Azul el cual se encuentra contaminado por metales pesados provenientes de las actividades de la minera aurífera que se desarrolla en la zona. Posteriormente, planteó un diseño de investigación experimental con pos prueba y grupo controlado, se emplearon seis maceteros por cada especie a evaluar, y, en cada macetero se colocaron 10 plántulas, previamente germinadas, para iniciar el proceso de fitorremediación. Asimismo, se tuvo un macetero de control por cada especie a evaluar.

Finalmente, al culminar el tiempo establecido para el proceso de fitorremediación por especie, se procedió a mandar muestras a un laboratorio para realizar el análisis de mercurio en hojas y raíces de la planta. El estudio

llega a la conclusión que el tratamiento empleando la especie *Medicago sativa* L. (alfalfa) provenientes del semillero con sustrato y sin sustrato no obtuvieron resultados de adaptación y desarrollo de esta especie ya que las condiciones del suelo no son aptas para esta especie. Esto se debe principalmente a que el mercurio es mucho más contaminante que otros metales pesados, siendo difícil el proceso de osmosis en la fisiología de la planta. De este estudio se está tomando en consideración la información concerniente al capítulo de la metodología, puesto que el autor establece de manera idónea el diseño piloto de su sistema de fitorremediación.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jara *et al.* (2014) evalúan la capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados, llegando a la conclusión de que las cinco especies altoandinas evaluadas poseen la estrategia de acumular metales en las raíces, independientemente del nivel de contaminación del sustrato, esta estrategia es realizada por aquellas plantas denominadas fitoestabilizadoras. De este estudio se escogieron elementos como las diferentes gráficas que muestran la variación de capacidad de acumulación de metales pesados en las plantas con la concentración de los diferentes parámetros en la parte radicular de su fisiología.

Por otro lado, en octubre del 2017, el autor de la presente tesis realizó el muestreo de identificación en el pasivo ambiental minero N° 12622, ubicado en el distrito de Coayllo, provincia de Cañete y departamento de Lima. En dicho estudio se delimitó el área de potencial interés el cual fue de 4 hectáreas y se determinaron 21 puntos de muestreo de acuerdo a lo establecido en la R.M. N° 085-2014-MINAM mediante un muestreo aleatorio simple. Las muestras fueron recolectadas en sacos, los cuales fueron posteriormente homogeneizados y enviados al laboratorio Greenlab Perú E.I.R.L. para su respectivo análisis de plomo, textura y potencial hidrógeno. De los resultados se puede apreciar que el área evaluada presenta altas concentraciones de plomo, superando en 23 puntos de monitoreo los 800 mg/Kg establecido en el ECA para suelo extractivo. Asimismo, la textura del suelo es arenosa con un pH ácido.

León (2017) en el estudio “Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna S.A.C., en condiciones de invernadero, 2015-2016”. El estudio busca evaluar el potencial fitorremediador de cuatro especies altoandinas las cuales son endémicas del área de estudio. El autor, desarrolla su investigación en un invernadero, donde evalúa la concentración de cinco metales pesados como el plomo, zinc, cadmio, cobre y níquel. Posteriormente las especies son sometidas a diferentes tiempos para finalmente analizar la concentración de los mismos metales pesados en sus raíces, tallo y hojas. Con estos resultados evalúa la capacidad fitorremediadora de cada especie, a través del factor de biorremediación y traslocación. De este estudio se rescata el elemento factor de traslocación, el cual es el principal indicador para determinar si una especie cuenta con un alto potencial fitoextractor o de fitoestabilización.

Peixoto (2018) en el estudio de “Rizofiltración de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y Coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*), para Tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo, en San José de Parác (Huarochiri – Lima) 2018-1” orientado a la aplicación del método de Rizofiltración que trata del uso de raíces para absorción de metales pesados, este método en el presente es utilizado para reducir niveles de contaminación de plomo (Pb) y cadmio (Cd) presente en suelos, para lo cual se seleccionó las especies alfalfa y coliflor con el fin de poder generar con el proceso fenológico la absorción de los mencionados metales, cuya fase experimental tuvo un tiempo de 2 a 3 meses, en los cuales se realizaron tomas de muestra y análisis de laboratorio, alcanzándose valores de reducción en plomo de hasta un 78% en alfalfa y en coliflor un 85%, para el cadmio se obtuvo un 49% con la alfalfa y con la coliflor un 47%, con dichos valores se ha logrado demostrar que la utilización de estas dos especies si logra generar niveles de reducción muy positivos en suelos contaminados con los ya mencionados metales. Se concluyó que en comparación con otras especies como el girasol y otras más, la alfalfa y la coliflor llegan a tener más eficiencia, la que lograron rebajar los niveles contaminantes hasta por muy debajo de los ECA's (estándares de calidad ambiental).

Gonzales *et al.* (2018) en el estudio "Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)", el cual tuvo el objetivo de determinar el efecto de la especie *Medicago sativa* L. "alfalfa" como fitorremediadora en un suelo contaminado con dos niveles de cobre. Para tal fin se decidió contaminar de manera artificial un suelo franco arenoso con 0,53 gr CuSO₄/kg de suelo (tratamiento 1) y 0,66 gr CuSO₄/kg de suelo (tratamiento 2). Después de 2 meses los niveles de cobre disminuyeron notablemente en el suelo sembrado con alfalfa de 278 ppm a 124 ppm y de 293 ppm a 143 ppm respectivamente en el tratamiento T1 y T2. Hubo mayor acumulación de cobre en la raíz que en el tallo, el tratamiento T2 acumulo 78 ppm, valor mayor que el T1 con 44 ppm. La acumulación de cobre en los tallos fue mayor en el T2 con 21 ppm seguido del T1 con 18 ppm. Se considera a *Medicago sativa* L. como una planta fitorremediadora indiferente de los niveles de cobre utilizados.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo

El suelo, la capa más superficial de la corteza terrestre, constituye uno de los recursos naturales más importantes con el que contamos al ser el substrato que sustenta la vida en el planeta. Desde el punto de vista edáfico, un suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física, química y biológica de un material original o roca madre a lo largo del tiempo, bajo unas condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos. A lo largo de su evolución o edafogénesis, en el suelo se van diferenciando capas verticales de material generalmente no consolidado llamados horizontes, formados por constituyentes minerales y orgánicos, agua y gases, y caracterizados por propiedades físicas (estructura, textura, porosidad, capacidad de retención de agua, densidad aparente), químicas y físico-químicas (pH, potencial redox, capacidad de intercambio catiónico) que los diferencian entre sí y del material original. El conjunto de horizontes constituye el perfil del suelo y su estudio permite dilucidar los procesos de formación sufridos durante su evolución y llevar a cabo su clasificación dentro de las distintas unidades de suelos (Ortiz *et al.*, 2007).

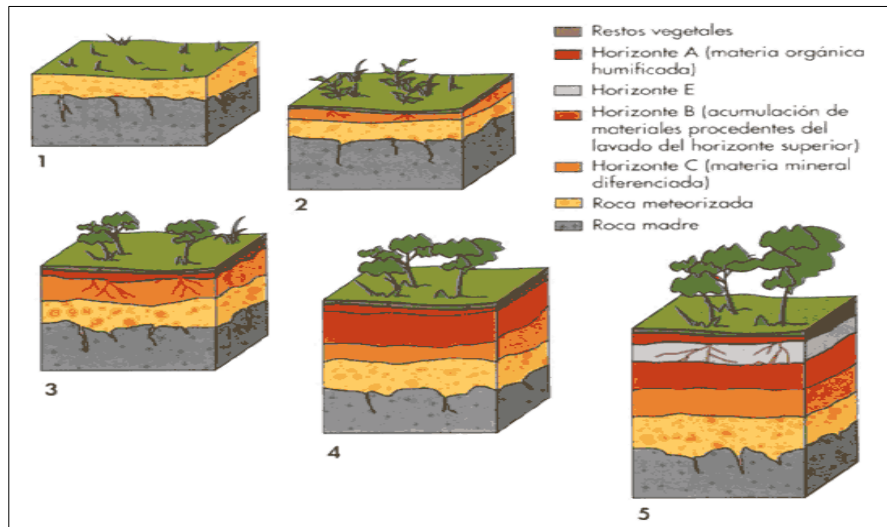


Figura 1. Formación y horizontes del suelo.

Fuente. Costa (2014).

2.2.2. Propiedades del suelo

2.2.2.1. Propiedades físicas

Algunas propiedades físicas del suelo son:

a) Textura

Considerada como una de las propiedades físicas más importante del suelo, puesto que expresa la distribución de las partículas sólidas (< 2 m.m.) que componen al suelo. La textura del suelo la componen tres principales partículas sólidas las cuales son: arena, limo y arcilla. Además, esta propiedad es determinante en atributos del suelo como su capacidad productiva, capacidad de retención del agua, velocidad de infiltración, entre otros (Maycotte, 2011).

Con respecto a las partículas de arena y limo, su gran tamaño y baja carga generan bajas fuerzas superficiales en relación a la arcilla. Por lo tanto, las partículas de arcillas son consideradas el mejor agente para la formación de la estructura del suelo, puesto que son las causantes principales de la aparición de fuerzas eléctricas entre los materiales constitutivos del suelo y, de esta forma presentan mayor resistencia al colapso de la estructura (Miralles, 2006).

b) Porosidad

La porosidad del suelo está formada por los espacios de agua y aire. Los espacios de agua se denominan microporos, y los espacios de aire, macroporos.

Por otro lado, la porosidad nos indica los posibles fenómenos de encharcamiento, y por lo tanto de asfixia radicular, pérdida de nutrientes por lavado, etc. Además, los suelos arenosos favorecen a la porosidad, mientras que los suelos arcillosos suelen ser asfixiantes e impermeables (Miralles, 2006).

En la tabla 1 se observa las cinco clases de porosidad en los suelos.

Tabla 1
Clasificación de la porosidad

Clase	% Poros ocupados
Muy débilmente poroso	< 0,5
Débilmente poroso	5,0 – 9,9
Moderadamente poroso	10,0 – 14,9
Muy Poroso	15,0 – 20,0
Extremadamente Poroso	> 20,0

Fuente. Maycotte, p. 49 (2011).

c) Permeabilidad

Esta propiedad se refiere a la capacidad del suelo para dejar fluir agua o aire a través de él. Es muy importante determinar la velocidad del paso de fluidos, puesto que un suelo con alta permeabilidad (arenoso) facilita el transporte de contaminantes a las napas freáticas, mientras que un suelo con permeabilidad baja (arcilloso) dificulta el transporte o movimiento vertical del agua a través del suelo (Maycotte, 2011).

2.2.2.2. Propiedades químicas

a) Potencial hidrógeno (pH)

El potencial hidrógeno (pH) indica el grado de acidez y basicidad de la solución del suelo. En los suelos, los hidrogeniones se encuentran tanto en la solución como en el complejo de cambio. Esto da origen a los dos tipos de acidez conocidas como la activa o real (en solución) y la acidez de cambio o de reserva (para los adsorbidos). Ambas están en equilibrio dinámico. Si se eliminan iones de hidrógeno (H^+) de la solución se liberan otros tantos iones de hidrógeno adsorbidos. Como consecuencia el suelo muestra una fuerte resistencia a cualquier modificación de su pH (Maycotte, 2011, p. 53).

b) Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Son procesos por los cuales las partículas sólidas del suelo absorben iones de la fase acuosa liberando de manera simultánea otros iones en las mismas cantidades. Esto genera un equilibrio entre las salidas y entradas. La importancia de la capacidad de intercambio catiónico son las siguientes: controla la disponibilidad de los nutrientes para las plantas (potasio, magnesio, calcio, etc.), interviene en los procesos de floculación - dispersión de arcilla, interviene en el desarrollo de la estructura y estabilidad de agregados, y determina el papel del suelo como depurador natural al incorporar y retener contaminantes en el suelo (Maycotte, 2011, p. 53).

c) Materia orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, que se obtiene de la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas en

el mismo, incluyendo la microflora y la fauna (Bornemisza, 1982 citado por León, 2016, p. 12).

2.2.2.3. Propiedades biológicas

La propiedad biológica del suelo es referida a la vida que se desarrolla en él. La función principal de los organismos vivos en los suelos es precisamente el enriquecimiento del mismo a través de la transformación de la materia orgánica y modificación de algunas propiedades físicas como la porosidad, aireación, drenaje, etc. (Maycotte, 2011, p. 56).

2.2.3. Suelo contaminado

La contaminación del suelo, componente del medio ambiente, se da por la introducción de cualquier sustancia o forma de energía que presenta cambios adversos en este. Las fuentes de contaminación del suelo son por las actividades antropogénicas así como por procesos naturales, es decir, las actividades mineras, petroleras e industriales alteran e impactan el medio ambiente de manera negativa así como sucede en procesos naturales como el ciclo de los elementos (plomo, Hg, cobre, etc.). Los suelos se pueden contaminar de diversas maneras; en primer lugar de manera superficial vertiendo residuos sólidos o líquidos de forma accidental o voluntaria sobre el suelo; en segundo lugar de manera subterránea enterrando residuos debido al aprovechamiento de escombreras, zanjas, canteras abandonadas entre otras; después de manera difusa utilizando concentraciones bajas pero grandes volúmenes que contienen al contaminante, así como por ejemplo áreas agrarias; finalmente de manera puntual, es decir, con un núcleo emisor del cual pueden mobilizarse los contaminantes a otros elementos del medio ambiente (Bonilla, 2013).

Otras maneras de cómo se pueden contaminar los suelos son por lluvias ácidas, metales pesados, salinización, fitosanitarios, explotaciones mineras u otras actividades industriales y extractivas y por contaminantes orgánicos (Ortiz *et al.* 2007).

2.2.4. Presencia de metales pesados en el medio ambiente

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que tienen un peso atómico comprendido entre los valores de 63,55 como el cobre (Cu) y 200,59 como el mercurio (Hg), estos presentan características específicas como un peso específico mayor a 4 g/cm³, como el plomo, mercurio, cobre, plata, arsénico y su presencia en el suelo en altas concentraciones impiden el desarrollo de la vida en este y por ende presentan un riesgo para la salud de los seres vivos (Bonilla, 2013).

Estos contaminantes (metales pesados) pueden alcanzar niveles de concentración tan altos que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, alteración del potencial hidrogeno (pH) generando acidificación de suelos, alteración en los procesos biológicos y diversidad de los microorganismos presentes en el suelo; en consecuencia a lo anterior mencionado aumenta la vulnerabilidad de las plantas presentes en estos suelos por el ataque de insectos, plagas y enfermedades, dificultando su óptimo desarrollo. La fuente principal de metales pesados se da mediante procesos naturales, como degradación de cerros y volcanes que constituyen una fuente más que relevante de metales pesados en el suelo; asimismo, la variación de metales pesados en las diferentes componentes del medio ambiente se da por los ciclos naturales de los elementos. Finalmente, las actividades humanas como la minería, es la mayor actividad humana que genera metales pesados debido a la gran cantidad de minerales no deseados que se encuentran en las rocas que son procesadas en la planta de beneficio (Sierra, 2006).

Por otro lado, la presencia de metales pesados en el suelo se distribuyen de la siguiente manera: como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos (Pineda, 2004).

Citando a Nedelkoska & Doran, 2000; Maqueda, 2003 y Bautista, 2000 citados por Bonilla en 2013:

Los metales pesados se clasifican en:

a) Oligoelementos o micronutrientes

Requeridos en pequeñas cantidades o trazas por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, convirtiéndose en tóxicos cuando pasan cierto umbral; dentro de este grupo se encuentran el arsénico, bromo, cobalto, cromo, molibdeno, manganeso, níquel, selenio y zinc.

b) Metales pesados sin función biológica conocida

La presencia de metales pesados en seres vivos en determinadas cantidades lleva a disfunciones en los organismos, y en concentraciones altas resultan altamente tóxicos, presentando la propiedad de acumularse en los organismos vivos; dentro de este grupo se encuentran el cadmio, mercurio, plomo, cobre, antimonio y bismuto. Asimismo, los metales pesados y en general todas las sustancias químicas no presentan toxicidad completa, esta característica está definida por la concentración en la que se presenta en un medio determinado y el tipo de compuestos que forman.

Una sustancia se convierte en un contaminante cuando se encuentra en concentraciones mayores de las normales y en general tienen un efecto adverso sobre algunos organismos; estas sustancias pueden ser transformadas por los seres vivos, es decir, biodegradarse o pueden permanecer de forma indefinida y no biodegradarse.

Los contaminantes del suelo tienen un tiempo de residencia alto, y los contaminantes del aire y agua contribuyen al incremento de la concentración en éste. En la figura 2 podemos observar la movilización de los metales pesados en el medio ambiente.

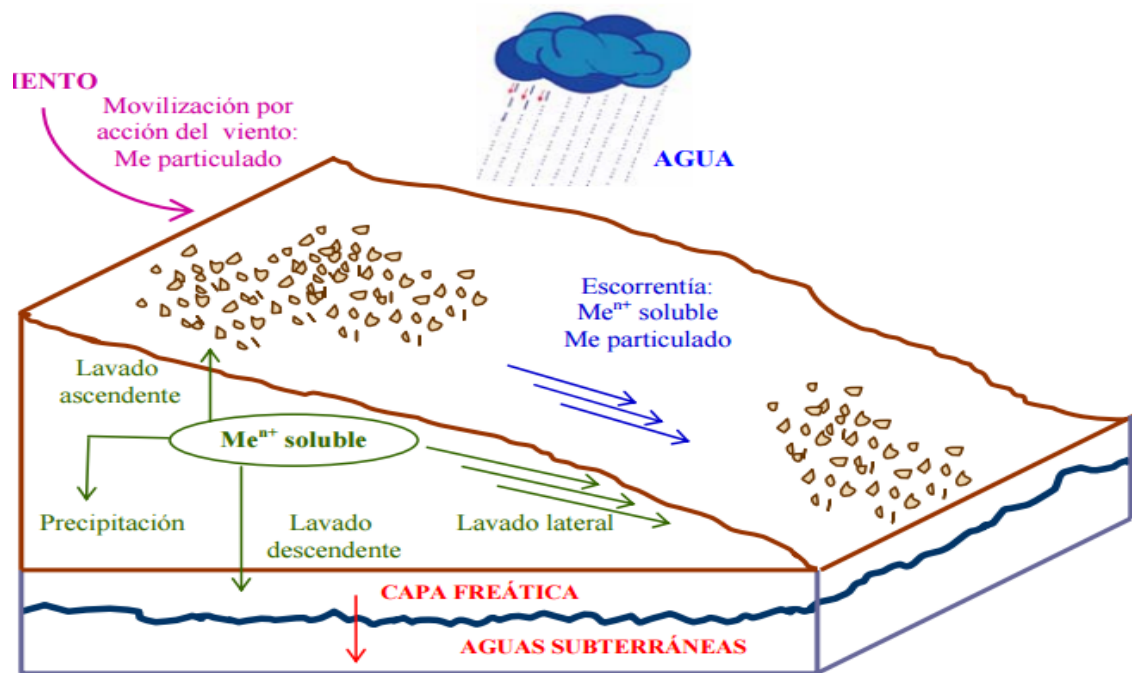


Figura 2. Movilización de los metales pesados en el agua, aire y suelo.

Fuente. Solano (2008).

2.2.5. Efectos de los metales pesados en el suelo

El suelo, el agua y el aire así como otros componentes del medio ambiente son quienes de manera directa sufren los estragos de la contaminación, y, al igual que la cadena alimenticia estos son el primer eslabón en un círculo constante de contaminación. Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que superan los estándares nacionales de calidad ambiental para suelos, causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en las plantas y disturbios funcionales en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo; este tipo de contaminación se conoce como "polución de suelos" (Martín, 2000).

En el suelo la presencia de metales pesados son como:

- Iones libres
- Compuestos metálicos solubles
- Compuestos insolubles como óxidos

- Carbonatos
- Hidróxidos

La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales de parques industriales, municipales sin el adecuado tratamiento. Los daños directos de la contaminación de los metales pesados en el suelo son la inactivación enzimática la cual da paso a la formación de enlaces entre el metal y los grupos -SH (sulfhidrilos) de las proteínas, provocando daños irreversibles en los organismos y microorganismos presentes en el suelo. Un factor esencial en la disponibilidad de los metales pesados es el pH (potencial hidrógeno) debido a que gran parte de los metales tienden a estar más disponibles en un medio ácido ($\text{pH} < 7$) a excepción del arsénico, molibdeno, selenio y cromo, los cuales están disponibles en medios alcalinos ($\text{pH} > 7$). En consecuencia la adsorción de los metales pesados esta netamente ligado y condicionado por el pH (potencial hidrógeno) del suelo (Bonilla, 2013).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el cobre (Cu), que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Pineda, 2004 citado por Sierra, 2006).

2.2.6. Movilización de los metales pesados en el suelo

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas como ya se han mencionado anteriormente. Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004 citado por Solano, 2008).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida (Solano, 2008). Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*, 2003 citados por Solano, 2008).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt *et al.*, 2003).

Según Cruz & Guzman, 2007 citados por Bonilla en 2013; las formas de distribución de los metales pesados incorporados en el suelo son:

- Retención en el suelo debido a la disolución o fijación por procesos de adsorción, formación de complejos o precipitación.
- Absorción por las plantas e incorporación de las cadenas tróficas.
- Volatilización y paso a la atmosfera.
- Movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas

En la Figura 3 se aprecia la dinámica de los metales pesados presente en el suelo.

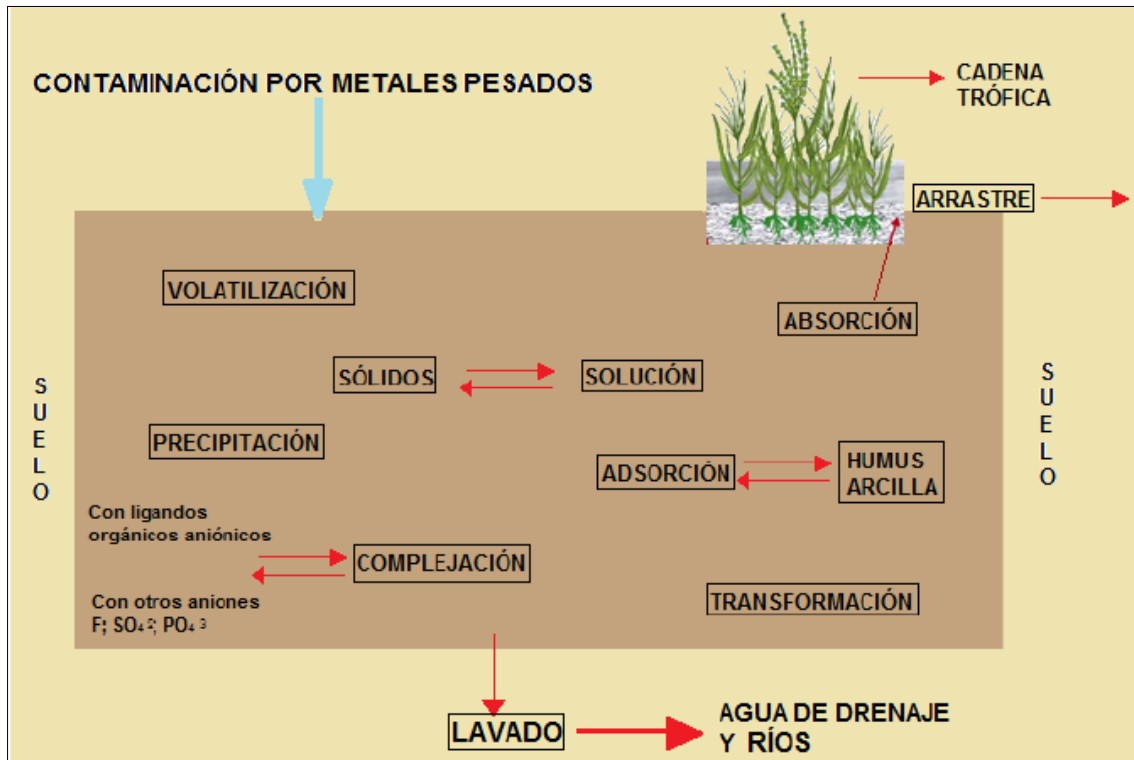


Figura 3. Dinámica de metales pesados en el suelo.

Fuente. Bonilla (2013).

Al respecto, Sauquillos *et al.*, 2003 citado por Solano en 2008 añade; los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son:

- Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura y otras propiedades de este.
- Naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición.
- Condiciones ambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad, etc.

Según Alloway, 1995 citado por Solano en 2008; los mecanismos por los cuales los elementos traza de los suelos contaminados pueden ser movilizados son:

a) Acidificación

Resultado de la oxidación de sulfuros minerales y precipitados y de fertilizantes de NH_4^+ , por la fijación biológica de nitrógeno, por precipitación atmosférica ácida (SO_2 y NO_2) sobre los suelos, por descomposición de materia orgánica, por agotamiento de bases por lixiviación y por vertidos de contaminantes ácidos.

b) Cambios en las condiciones redox

Condiciones oxidantes pueden causar la oxidación y disolución de sulfuros insolubles. A la inversa, condiciones reductoras pueden conducir a la disolución de óxidos y la liberación de sus elementos traza coprecipitados en la solución. Fortísimas condiciones reductoras también darán lugar a la precipitación de sulfuros insolubles de elementos traza.

c) Complejación de especies metálicas con ligandos orgánicos

Los ligandos son constituyentes químicos que se combinan con los metales en un complejo químico.

d) Cambios en la composición iónica de la solución del suelo

Pueden tener un marcado efecto en la adsorción de elementos traza y su incorporación en complejos inorgánicos solubles e insolubles. Hay cuatro tipos de efectos: competición por los sitios de adsorción (por ejemplo, Ca^{2+} y Zn^{2+} inhibiendo la adsorción de Cd^{2+}); formación de complejos solubles (con aniones como Cl^- y $\text{SO}_4^{=}$); formación de compuestos insolubles como $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$; efectos de fuerza iónica, de manera que incrementos en la fuerza iónica de la solución del suelo como resultado de la contaminación, aplicación de fertilizantes o salinidad puede conducir a una adsorción reducida y a la desorción de metales de lugares de la superficie.

e) Metilación

Metales como el arsénico, mercurio, antimonio, selenio y estaño pueden ser transformados en metilpecies, como CH_3Hg^+ (metilmercurio). La metilación puede afectar al movimiento y pérdida de ciertos elementos traza y también su

toxicidad para organismos vivos; así las especies metilarsénico son menos tóxicas que las formas inorgánicas, mientras que las especies metilmercurio son más tóxicas. Las metilespecies pueden volatilizarse y perderse a la atmósfera y pueden también acumularse en la materia orgánica del suelo o en tejidos ricos en lípidos de raíces de plantas y fauna del suelo.

2.2.7. Plomo

El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16 °C), no tiene olor ni sabor especial, de color grisáceo, con aspecto brillante cuando se corta, al ser expuesto al aire se oxida rápidamente lo cual se denota a través del tono mate que adquiere. Muy dúctil, maleable y resistente a la corrosión, y pobre conductor de la electricidad, son características que lo hacen un elemento de amplia aplicación en metalurgia y electricidad. Número atómico 82, masa atómica 207,19 g/mg, densidad 11,4 g/ml, funde a 327 °C y hierve a 1.725,00 °C. Aunque resiste la acción del ácido sulfúrico y clorhídrico, se disuelve con facilidad en ácido nítrico concentrado caliente y ácidos orgánicos (cítrico, acético), originándose sales solubles (Bonilla, 2013).

Además, es 11 veces más denso que el agua, se obtiene de la galena (sulfuro de plomo) que es la forma más abundante de este elemento en la naturaleza y se encuentra generalmente asociada a diversos minerales de zinc y en pequeñas cantidades, con cobre, cadmio y fierro, entre otros (MMARP, 2006; citado por Del Pilar Espinoza, 2014).

El Plomo, en el suelo, se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación +4. Algunos de los compuestos insolubles son $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbS , $PbSO_4$. La velocidad de oxidación depende de factores como la humedad, la temperatura, el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica o la roturación de los suelos (Guitart, 2005 citado por Sierra, 2006).

Industrialmente, el plomo se utiliza tanto en forma sólida como líquida siendo las aleaciones con Sn, Cu, As, Sb, Bi, Cd y Na las más utilizadas; el uso de estos productos generan polvo, humos o vapores y sus compuestos más

importantes son los óxidos de plomo y el tetra-etilo de plomo. Asimismo, el material particulado fino de plomo (10-100 μm) puede ser extremadamente peligroso por su fuerte adhesión a la piel, solubilidad en el tracto gastrointestinal y por su facilidad de ser absorbido a través del sistema respiratorio (Bonilla, 2013, p.9).

Las actividades de explotación minera, tanto de mediana y gran minería así como pequeños mineros artesanales y pequeño productor minero, son quienes alteran el proceso natural del ciclo del plomo en el medio ambiente, liberando hacia el medio ambiente gran cantidad de plomo en el proceso de fundición, y también aquellos pasivos ambientales mineros que se generan producto de material inservible que no contiene el mineral deseado para ser procesado y comercializado.

2.2.8. Efectos del plomo en el medio ambiente

El plomo se encuentra en pequeñas cantidades en el medio ambiente, pero las mayores concentraciones son el resultado de las actividades humanas: como combustión del petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, entre otros (Bonilla, 2013).

Más del 90% de la contaminación ambiental producida es retenida en las partículas de suelo y cerca del 9% es interceptada en los sedimentos acuáticos. Particularmente, la contaminación de un suelo contaminado con plomo es de preocupación ya que éste presenta un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrósfera, atmósfera y biosfera, y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano (Huang, 1999). En el tabla 2 se muestra la estimación de las emisiones antropogénicas de plomo hacia la atmósfera.

Tabla 2*Estimación de la emisión antropogénica de plomo hacia la atmósfera*

FUENTE	EMISIÓN
Combustión de carbón	Emisión (toneladas/ año)
Plantas de energía eléctrica	780 – 4.650
Industrial y doméstico	990 – 9.900
Combustión de petróleo	
Plantas de energía eléctrica	230 – 1.740
Industrial y doméstico	720 – 2.150
Producción de plomo	
Minería	1.700 – 3.400
Producción de plomo	11.700 – 31.200
Producción de Cobre – Níquel	11.000 – 22.100
Producción de cadmio – Zinc	5.520 – 11.500
Otros	
Producción de acero	1.070 – 14.200
Fuentes móviles	248.030

Fuente. Almazán et al., p. 6 (2006)

En virtud de que los elementos contaminantes pueden estar presentes en el suelo de manera natural y en ocasiones en altas concentraciones. Es importante establecer medidas y criterios que permitan determinar la cuantificación de la contaminación antropogénica en el suelo.

En el año de 2017 el Ministerio del Ambiente aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelos mediante D.S. N° 011-2017-MINAM, 2017,

derogando el antiguo ECA para suelo aprobado en 2013 mediante D.S. N°002-2013-MINAM, 2013.

Tabla 3
Estándares de calidad ambiental para suelos

PARÁMETROS	Uso del Suelo			Método de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno (mg/kg MS)	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 / EPA 8021
Tolueno (mg/kg MS)	0.37	0.37	0.37	EPA 8260 / EPA 8021
Etilbenceno (mg/kg MS)	0.082	0.082	0.082	EPA 8260 / EPA 8021
Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260 / EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno (mg/kg MS)	0.1	0.6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno (mg/kg MS)	0.1	0.7	0.7	EPA 8270
Hidrocarburos de petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 (C6-C10) (mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 (>C10-C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 (>C28-C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB (mg/kg MS)	0.5	1.3	33	EPA 8082 / EPA 8270
Tetracloroetileno (mg/kg MS)	0.1	0.2	0.5	EPA 8260
Tricloroetileno (mg/kg MS)	0.01	0.01	0.01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050 / EPA 3051
Bario total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050 / EPA 3051
Cadmio (mg/kg MS)	1.4	10	22	EPA 3050 / EPA 3051
Cromo total (mg/kg MS)	**	400	1000	EPA 3050 / EPA 3051
Cromo VI (mg/kg MS)	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192
Mercurio total (mg/kg MS)	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo total (mg/kg MS)	70	140	800	EPA 3050 / EPA 3051
Cianuro libre (mg/kg MS)	0.9	0.9	8	EPA 9013- SEMWW- AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente. D.S. N°011-2017-MINAM (2017).

2.2.9. Actividad minera

2.2.9.1. Etapas de la actividad minera

La mediana y gran minería a diferencia de la minería informal e ilegal, es quien actúa bajo un procedimiento legal con la finalidad de evitar sanciones y multas por las entidades fiscalizadoras ambientales, como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Bajo este concepto, el procedimiento general que se sigue para iniciar y consolidar un proyecto minero son los siguientes:

a) Cateo

Esta es la etapa inicial de todo proyecto minero, el titular o proponente del proyecto dirige a un grupo de geólogos al área de interés con la finalidad de caracterizar la composición del suelo mediante el recojo de muestras de suelo y análisis bastante rudimentarios debido a que las muestras que se obtienen no son a una profundidad muy significativa.

b) Prospección

La etapa de prospección es la acción que realizan los geólogos de delimitar mediante el cateo el área de interés del futuro proyecto minero, para esta etapa y la anterior no hay una base legal que impida realizar estos estudios previos por el titular o proponente del proyecto.

c) Exploración

La etapa de exploración minera es la acción legal que realiza el titular o proponente del proyecto minero con la autoridad competente (Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros) para hacerse dueño de una concesión de exploración minera, el cual es un área delimitada otorgada al titular con la finalidad de que realice estudios más detallados al respecto de la cantidad exacta de los minerales presentes en el suelo para su futura explotación, procesamiento y producción. Además en esta etapa se suele utilizar gran maquinaria para realizar la exploración, como por ejemplo para realizar las plataformas de perforación.

d) Explotación

La explotación minera, paso siguiente y legal a la exploración minera, cuenta con diferentes componentes principales y auxiliares, como por ejemplo: el tajo, labor subterránea, pad de lixiviación y depósito de relaves con sus instalaciones conexas, la planta de procesamiento y los almacenes de concentrados de minerales en zona portuaria, depósito de desmonte, sistema de transporte de relaves, canteras de piedra, ductos (mineroductos y acueductos), campamentos, almacenes, polvorines, grifos, canales de coronación, carreteras o trochas y líneas de transmisión eléctrica (Ministerio de Energía y Minas, 2014). En la explotación minera se realiza la extracción del mineral para su futuro procesamiento; mediante la aplicación de dinamita y estudios detallados sobre la adecuada manipulación y disposición de estos en el área del tajo, se comienza a destruir dicha zona para retirar las grandes rocas que en su interior almacenan el mineral deseado (así como otros indeseados que pasarán a formar parte de la cancha de relaves) para su procesamiento en la planta de beneficio.

e) Planta de Beneficio

La planta de beneficio otorga a su titular el derecho a extraer o concentrar la parte valiosa de un agregado de minerales desarraigados del yacimiento del cual provienen, mediante un conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico - químicos que comprende la preparación mecánica y/o la metalurgia. La refinación da a su titular el derecho a purificar los metales de los productos obtenidos en los procedimientos metalúrgicos anteriores.

f) Comercialización

La comercialización es la etapa en simultáneo a la explotación y procesamiento, el titular brinda el producto primario obtenido tras la explotación y procesamiento (Cu, Au, Zn, Ag, etc) o con un valor agregado dependiendo del mercado.

g) Cierre

Finalmente el cierre que es de índole de todo proyecto inversión privada, pública y de capital mixto, es la etapa en la cual se cierran todos los componentes

principales y auxiliares del proyecto con la finalidad de dar estabilidad física, química y biológica al área que ha sido disturbada en todo el ciclo de vida del proyecto minero. Además se busca dejar el área afectada lo más parecido posible a como se encontró en un inicio (antes de realizar las actividades), es decir, cuando se realizó la línea de base del proyecto (levantamiento de información ambiental y socioeconómica y cultural).

2.2.10. Pasivo ambientales mineros

Son pasivos ambientales mineros aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Ministerio de Energía y Minas, 2005).

El Ministerio de Energía y Minas considera tres tipos de pasivos ambientales mineros y más de diez subtipos, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4
Tipos y subtipos de pasivos ambientales mineros

Tipo	Subtipo
Labor Minera	Bocaminas, chimeneas, piques, tajeos comunicados, trincheras y tajos abiertos
Residuo Minero	Relaves, desmontes de mina, botaderos de lixiviación.
Infraestructura	Campamentos, oficinas, talleres, plantas de procesamiento y otras instalaciones relacionadas con el proyecto minero.

Fuente. Chávez (2015).

Cabe precisar el término depósito de relave o relavera, el cual está relacionado con el objeto de estudio, y está definido como el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto de los procesos de concentración de minerales, estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos.

Por otro lado, el inventario de pasivos ambientales mineros desde el año 2006 viene siendo actualizando por el Ministerio de Energía y Minas. A la fecha se han emitido 21 Resoluciones Ministeriales sobre la evolución del inventario de los pasivos ambientales mineros, tal como se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5
Evolución del inventario de pasivos ambientales mineros en el Perú

Año	N° de Pasivos ambientales mineros	Resolución Ministerial
2006	850	R.M. N° 290-2006-MEM/DM
2007	1.253	R.M. N° 487-2007-MEM/DM
2008	4	R.M. N° 079-2008-MEM/DM
	22	R.M. N° 591-2008-MEM/DM
2009	4	R.M. N° 243-2009-MEM/DM
	57	R.M. N° 246-2009-MEM/DM
2010	5.551	R.M. N° 096-2010-MEM-DM
	2	R.M. N° 371-2010-MEM-DM
	6	R.M. N° 471-2010-MEM-DM
2011	7.576	R.M. N° 393-2012-MEM/DM
	6.847	R.M. N° 267-2011-MEM/DM
	8	R.M. N° 531-2011-MEM/DM
2012	2	R.M. N° 355-2012-MEM/DM
	1	R.M. N° 374-2012-MEM/DM
	4	R.M. N° 375-2012-MEM/DM
	7.576	R.M. N° 393-2012-MEM/DM
2013	8.206	R.M. N° 430-2013-MEM/DM
2014	8.571	R.M. N° 234-2014-MEM/DM
2015	8.616	R.M. N° 102-2015-MEM/DM
2016	8.854	R.M. N° 535-2016-MEM/DM
2018	8.794	R.M. N° 224-2018-MEM/DM

Fuente. Elaboración propia.

2.2.11. Tecnologías de remediación de suelos contaminados

El término «tecnología de tratamiento» implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado (Volke *et al.*, 2002).

Además, en la actualidad se dispone gran cantidad de tecnologías de recuperación de suelos contaminados, algunas de aplicación habitual y otras todavía en fase experimental, diseñadas para aislar o destruir las sustancias contaminantes alterando su estructura química mediante procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos (Ortiz *et al.*, 2007), tal como se puede observar en la tabla 6 y en la tabla 7 que se muestran cuáles son las ventajas y desventajas de un sistema de tratamiento de suelos in situ (en el mismo lugar) y ex situ (fuera del lugar).

Tabla 6

Principales técnicas de recuperación de suelos

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

Fuente. Ortiz et al. (2007).

Tabla 7*Ventajas y desventajas de las tecnologías de remediación in situ y ex situ*

	In situ	Ex situ
Ventajas	Permiten tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar	Menor tiempo de tratamiento
	Potencial disminución en costos	Más seguros en cuanto a uniformidad: es posible homogeneizar y muestrear periódicamente
Desventajas	Mayores tiempos de tratamiento	Necesidad de excavar el suelo
	Pueden ser inseguros en cuanto a uniformidad: heterogeneidad en las características del suelo	Aumento en costos e ingeniería para equipos
	Dificultad para verificar la eficacia del proceso	Debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante

*Fuente. Volke et al. (2002).***2.2.12. Fitorremediación**

Es un término definido en 1991 por lo cual se puede considerar relativamente nuevo, se deriva de fito que en griego significa vegetal o planta y remediare que en latín significa poner remedio al daño o enmendar algo; en este sentido, fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales (Agudelo *et al.*, 2005; citado por Bernal, 2014).

La fitorremediación, consiste en el uso de plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar de manera adecuada la matriz suelo o también estabilizar al contaminante por los diferentes mecanismos de fitorremediación de las plantas. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido un auge por ser un procedimiento pasivo, es decir, dejar que la naturaleza propiamente realice

las actividades de extracción, además de ser estéticamente agradable, y útil para remediar simultáneamente una gran amalgama de contaminantes presentes en la matriz suelo. Además, la fitorremediación es una tecnología alternativa y sustentable, que surge potencialmente para la limpieza eficaz y barata de una amplia gama de contaminantes.

Para realizar la fitorremediación se requiere establecer una cobertura vegetal abundante; sin embargo, la alta concentración del contaminante será el principal limitante para el crecimiento de las planta, también de la tolerancia de estas al contaminante conocido como hiperacumulación (Bonilla, 2013).

2.2.13. Tipos de fitorremediación

La fitorremediación como ya se ha definido en el uso de plantas para la remoción de contaminantes presentes en el suelo, cuenta con diferentes mecanismos para la remoción de estos, entre los cuales se enlistan a continuación:

a) Fitoextracción

La fitoextracción consiste en el mecanismo de extracción que realizan las plantas mediante la absorción de contaminantes presentes en el suelo, principalmente metales, y acumularlo en sus raíces, tallos y hojas. Una vez terminado el proceso, las plantas son retiradas junto con el contaminante y son destruidas o recicladas. Además, la absorción no altera el desarrollo normal de las plantas (Ortiz *et al.*, 2007).

Se debe tener las siguientes consideraciones al momento de selección como el tamaño de las raíces, tiempo de crecimiento, acumulación de contaminantes (plantas hiper-acumuladoras), biomasa y potencial de evapotranspiración (cantidad de agua que vuelve a la atmósfera) (Bonilla, 2013).

b) Fitoestabilización

Consiste en la reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la revegetación con especies vegetales tolerantes a la toxicidad que inactiven los contaminantes para reducir el riesgo para el medio ambiente y la

salud humana e implica una mejora mecánica de las propiedades físicas del suelo y su protección frente a la erosión y el transporte de contaminantes (Ortiz *et al.*, 2007).

c) Fitoinmovilización

La fitoinmovilización provoca la inmovilización y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz que inactiven las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción/adsorción o precipitación. En resumen, es el uso de raíces de las plantas con la finalidad de fijar e inmovilizar los contaminantes presentes en el suelo.

d) Fitovolatilización

Es el uso de plantas para eliminar los contaminantes del lugar mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire. Se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles, a raíz de esto los contaminantes llegan a las hojas y consecuentemente se evaporan o volatilizan a la atmósfera (Bonilla, 2013).

e) Fitodegradación

Éste consiste en la degradación de los contaminantes por la acción de las plantas y de los microorganismos asociados a ellas. Los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas, como la deshalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación (Ortiz *et al.*, 2007). Bonilla en 2013 agrega al respecto: En determinadas ocasiones, los productos de la degradación le sirven a la planta para acelerar su crecimiento, en otros casos los contaminantes son biotransformados.

f) Rizofiltración

Consiste en el mecanismo que tienen las raíces de las plantas para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Para lograr una adecuada y eficiente rizofiltración, se prefieren raíces de plantas

terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar contaminantes (Bonilla, 2013).

g) Fitoestimulación

También llamada Rizodegradación o Rizorrecuperación; la degradación tiene lugar alrededor de las raíces de las plantas en contribución con las poblaciones rizomicrobianas (microorganismos presentes en el suelo). Las raíces liberan sustancias naturales que suministran nutrientes a los microorganismos asociados como bacterias, levaduras y hongos, estimulando su actividad biológica (Ortiz *et al.*, 2007).

En la figura 4 se muestra los diferentes mecanismos de remoción mediante el cual las plantas extraen los metales pesados del suelo.

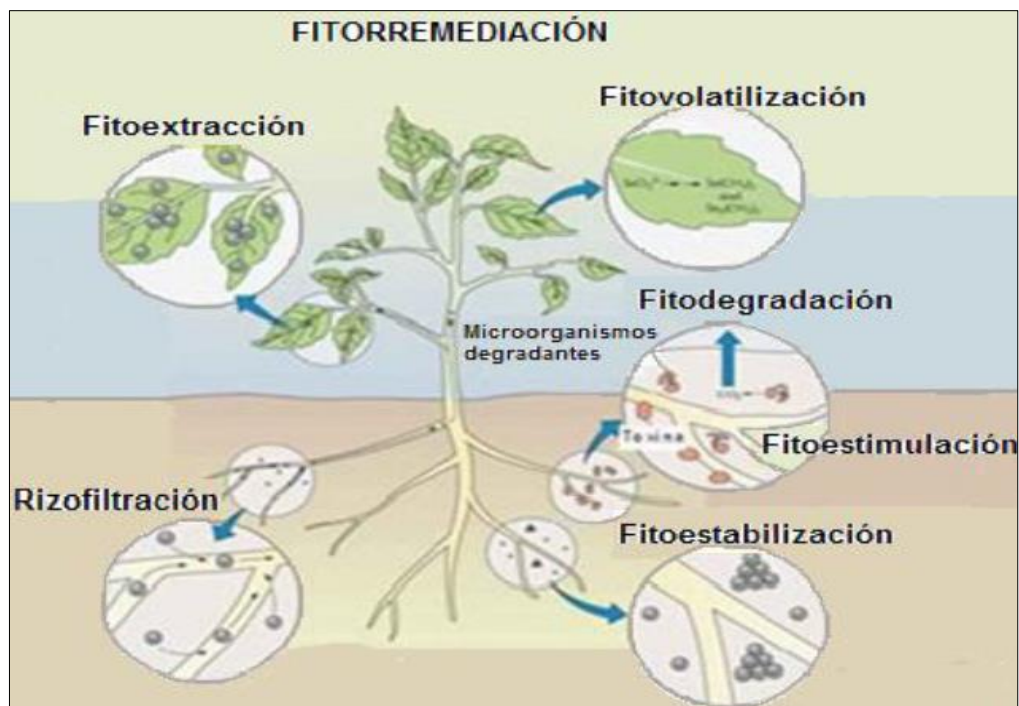


Figura 4. Mecanismos de remoción de contaminantes en la fitorremediación.

Fuente. Bonilla (2013).

2.2.14. Plantas hiperacumuladoras

La mayoría de las plantas capaces de crecer en tierras ricas en metales lo hacen excluyendo iones potencialmente tóxicos de sus sistemas de raíces; en otras plantas, los metales son utilizados como microsustrato, sin embargo concentraciones mínimas saturan a la planta. La habilidad de tolerar la presencia de metales pesados está determinada por el nivel de variación genética del individuo. (Lombi, 2001, p.13).

a) Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Pertenciente al reino: Plantae, división: Magnoliophyta, clase: Magnoliopsida, orden: Fabales, familia: Fabaceae, subfamilia: Faboideae, género: *Medicago*, especie: *Sativa*, y, nombre científico: *Medicago Sativa* L.

La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas, cuyo nombre científico es *Medicago sativa*. Se trata de una planta perenne, vivaz y de porte erecto. La taxonomía de la alfalfa se presenta en la tabla 8.

Tabla 8
Taxonomía de la alfalfa

Información taxonómica de la alfalfa		
Reino	:	Vegetal
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Orden	:	Fabales
Familia	:	Leguminosae
Subfamilia	:	Papilionoides
Tribu	:	Trifolieae
Género	:	<i>Medicago</i>
Especie	:	<i>sativa</i>

Fuente. Rosado (2011).

Huamachay (2013) describe las características generales de la fisiología de la alfalfa:

- **Raíz.** La raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5 m. de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos.
- **Tallos.** Son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto es una planta muy adecuada para la siega.
- **Hojas.** Son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados.
- **Flores.** La flor característica de esta familia es la de la subfamilia Papilionoidea. Son de color azul o púrpura, con inflorescencias en racimos que nacen en las axilas de las hojas.
- **Fruto.** indehiscente sin espinas que contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm de longitud.

Por otro lado, Perdomo (2008) y Huamachay (2013) acotan que los factores que determinan el rendimiento de la especie *Medicago Sativa* L. (alfalfa) son los siguientes:

- **Radiación solar.** Es un factor muy importante que influye positivamente en el cultivo de la alfalfa, pues el número de horas de radiación solar aumenta a medida que disminuye la latitud de la región.
- **Temperatura.** La semilla germina a temperaturas de 2-3^o C, siempre que las demás condiciones ambientales lo permitan. A medida que se incrementa la temperatura la germinación es más rápida hasta alcanzar un óptimo a los 28-30^o C. Temperaturas superiores a 38^o C resultan letales para las plántulas. Al comenzar el invierno detienen su crecimiento hasta la llegada de la primavera cuando comienzan a rebrotar. Existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas (-10^o C). La temperatura media anual para la producción forrajera está en torno a los

15° C. Siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades de 18-28° C.

- **pH.** El factor limitante en el cultivo de la alfalfa es la acidez, excepto en la germinación, pudiéndose ser de hasta 4. El pH óptimo del cultivo es de 7,2, recurriendo a encalados siempre que el pH baje de 6,8, además los encalados contribuyen a incrementar la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducir la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa. Existe una relación directa entre la formación de nódulos y el efecto del pH sobre la alfalfa. La bacteria nodulante de la alfalfa es *Rhizobium meliloti*, esta especie es neutrófila y deja de reproducirse por debajo de pH 5. Por tanto si falla la asimilación de nitrógeno la alfalfa lo acusa.
- **Salinidad.** La alfalfa es muy sensible a la salinidad, cuyos síntomas comienzan con la palidez de algunos tejidos, la disminución del tamaño de las hojas y finalmente la parada vegetativa con el consiguiente achaparrado. El incremento de la salinidad induce desequilibrios entre la raíz y la parte aérea.
- **Tipo de suelos.** La alfalfa requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se cultiva en una amplia variabilidad de suelos. Los suelos con menos de 60 cm. de profundidad no son aconsejables para la alfalfa.
- **Necesidades de agua y riego.** La alfalfa presenta una fuerte resistencia ante épocas de sequía, puesto que posee un sistema radicular muy profundo. Además, la limitación del agua disminuye la producción de la alfalfa, sin embargo no detiene su crecimiento salvo casos muy extremos. los intervalos de riego que necesita la alfalfa depende de la temporada; es decir, mientras que en épocas de invierno el riego se realiza cada 20 días, en épocas de primavera y verano se realiza de dos a tres veces por mes.
- **Plagas y enfermedades.** Las enfermedades y plagas que atacan a la alfalfa provocan disminución en el rendimiento y calidad del forraje. Las plagas más frecuentes en esta especie son el pulgón negro, pulgón

verde, gusano verde de la alfalfa, gusano soldado, diabrotica y chicharritas.

Con respecto a las enfermedades de la alfalfa, estas se clasifican según la zona en la cual se presenten. Entre ellas se distinguen las de raíz y foliares. En ambos casos, las enfermedades son causadas por hongos y bacterias como por ejemplo: *Peronospora trifoliorum* (el hongo mildiú que afecta la zona aérea), *Ditylenchus dipsaci* (nematodo del tallo), *Fusarium oxysporum* (pudrición de la corona), *Verticillium alboatrum* (pudrición de la raíz).

2.2.15. Procesos bioquímicos en la planta durante el proceso de fitorremediación

En las plantas hiperacumuladoras se presentan dos procesos de fitorremediación, los cuales ocurren en la rizósfera, mediante el proceso de remediación, y, en las hojas y raíces mediante el proceso de incorporación (León, 2017, p. 16).

El proceso de remediación ocurre en la rizósfera, donde los microorganismos asociados al área radicular pueden actuar sobre los contaminantes, no obstante esto no implica la incorporación a las hojas y raíces. Además, la rizósfera vierte una gran cantidad de exudados que propician los fenómenos de fitoestabilización y fitoestimulación por medio de los microorganismos. Asimismo, estimulan el crecimiento de las raíces de la planta, mejorando la absorción del agua y minerales e inhibiendo el crecimiento de otros microorganismos del suelo no patógenos.

Los exudados generados por la raíz tiene un efecto directo e indirecto sobre el proceso de remediación, el primero ocurre a través de la secreción de enzimas que afectan la biodisponibilidad del contaminante y la producción de compuestos con actividad quelante (sideróforos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos); mientras que el segundo promueve la actividad bacteriana.

Por otro lado, el proceso de incorporación en las hojas y raíces se da en tres procesos. El primero implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y después al interior de la célula mediante difusión. La segunda fase

ocurre dentro de la planta, donde las especies metálicas, son secuestradas o acomplexadas y transportadas por el xilema. Finalmente, la tercera fase involucra la compartimentación y decodificación, proceso mediante el cual el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola, pared celular, epidermis y tricomas de la planta (Delgadillo *et al.*, 2011 citado por León, 2017, p.17).

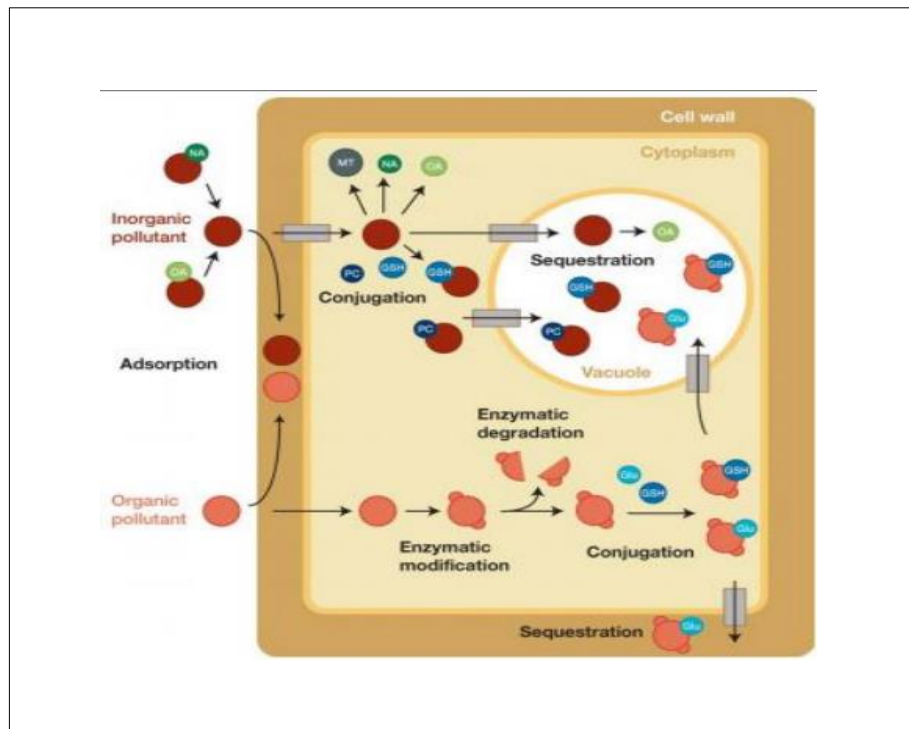


Figura 5. Procesos de quelación, conjugación y compartimentación en las hojas y raíces para contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Fuente. León (2017).

2.2.16. Rol del suelo en el proceso de fitorremediación

La acción de aplicar tecnologías de fitorremediación en suelos contaminados implica considerar la biodisponibilidad del contaminante, puesto que la biodisponibilidad del mismo depende de factores tales como:

- Las características químicas del contaminante, es decir, si son orgánicos (volatilidad, hidrofobicidad) o inorgánicos (especiación).
- Las características físico-químicas del medio en que se encuentra (suelo, agua, atmósfera).

- Las condiciones climatológicas que se presentan en el lugar: temperatura y humedad relativa.
- La actividad biológica: interacción, plantas, microorganismos, incorporación, transporte, acumulación y degradación.

La biodisponibilidad de los contaminantes en suelos de edad, tienden a ser menos biodisponibles y más resistentes a diferencia de los suelos recién contaminados (Volke *et al.*, 2002, citado por León, 2017, p.18).

Los contaminantes inorgánicos en el suelo están generalmente presentes como cationes o aniones cargados, y por lo tanto son hidrófilas (Hazrat, *et al.*, 2013, citado por León, 2017, p.19).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, si la capacidad de intercambio catiónico (CEC) en el suelo es alta, la biodisponibilidad de los cationes es baja. Si el pH es bajo, o se baja con algún tratamiento, la biodisponibilidad es mayor para una misma CEC, debido a la sustitución de los cationes en los sitios CEC del suelo por iones de hidrógeno (H^+). Las condiciones del suelo suelen ser oxidante por lo que los metales suelen estar en su mayor estado de oxidación. Las condiciones físicas como son la temperatura y la humedad afectan la migración de contaminantes y su biodisponibilidad. Las temperaturas más altas aceleran los procesos biológicos en general físicos y químicos. La precipitación estimula el crecimiento general de la planta, y una mayor humedad del suelo aumentará la migración de los contaminantes solubles en agua. La forma química en la que encontramos un metal es su “especiación”, también depende del pH. La especiación es determinante porque afecta la biodisponibilidad, la incorporación a la planta y la toxicidad (León, 2017).

2.2.17. Interacción de los metales pesados en las plantas

2.2.17.1. Absorción, transporte y almacenamiento

Las plantas están expuestas a los metales pesados a través de la fase acuosa del suelo y tienen tendencia a absorberlos, pero la efectividad de la absorción depende principalmente de su biodisponibilidad. La fracción

biodisponible de un metal se define como la proporción del metal en forma iónica contenida en la solución del suelo y depende de factores tales como el pH, potencial redox, arcillas, contenido de materia orgánica y otros (Azadpour *et al.*, 1996; citado por Sánchez, 2015, p.11).

Asimismo, las raíces de las plantas modifican el pH del suelo y exudan compuestos que ligan metales, conocidos como fitometalóforo, los cuales facilitan su solubilidad y absorción (Dong *et al.*, 2007; Maestri *et al.* 2010; citados por Sánchez, 2015, p.11).

Los metales disponibles en la solución del suelo son absorbidos por las raíces y transportados a través del cortex vía extracelular o vía intracelular. Los solutos también pueden ser intercambiados entre ambas vías a través de la membrana plasmática de las células, constituyendo la vía transcelular. La absorción selectiva transporta un amplio rango de cationes al interior de las células de la raíz y los metales pesados compiten de manera eficiente por los mismos transportadores que utilizan los elementos esenciales (Sarwar *et al.*, 2010; Maestri *et al.*, 2010; Conn *et al.*, 2010; citados por Sánchez, 2015, p.12).

Los metales pesados son almacenados en los tejidos de las raíces o traslocados a la parte aérea. Para traslocar los metales a la parte aérea, han de ser transportados a través del citoplasma de las células de la endodermis, para superar la banda de Caspary, la cual bloquea el apoplasto y llegar al xilema, donde son transportados hasta la parte aérea en la savia bruta (Lux *et al.*, 2011; citado por Sánchez, 2015, p.12).

Tanto en la raíz como en la parte aérea de la planta, los metales pueden quedar ligados a diferentes tejidos o secuestrados en las vacuolas (Maestri *et al.* 2010; citado por Sánchez, 2015, p.12).

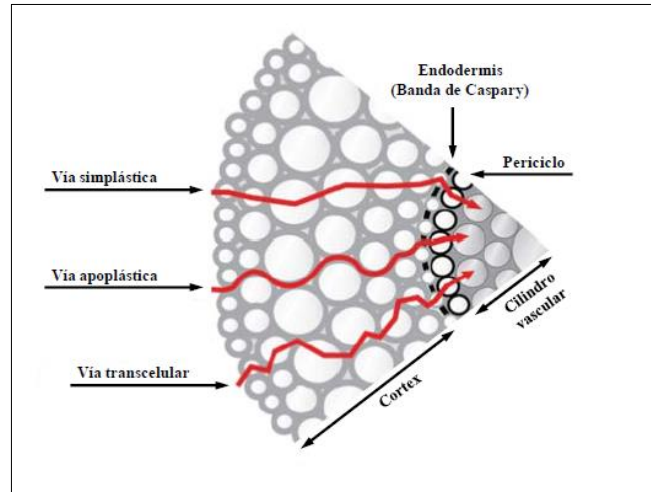


Figura 6. Vías apoplástica, simplástica y transcelular de transporte radial de solutos en la raíz.

Fuente. Sánchez (2015).

2.2.17.2. Toxicidad de los metales pesados en plantas

Como consecuencia de la toxicidad de los metales pesados, la exposición de las plantas a los mismos provoca reducción en su crecimiento, deficiencias nutricionales, afecta a la movilización de reservas durante la germinación, conduce a la alteración de procesos fisiológicos de vital importancia como la fotosíntesis, la respiración o transpiración (Benavides *et al.*, 2005; Clemens, 2006; Sarwar *et al.*, 2010; Rahoui *et al.*, 2010; Gallego *et al.*, 2012; DalCorso *et al.*, 2013; citados por Sánchez, 2015, p.13), siendo la inhibición de la elongación de la raíz el efecto inducido más rápido de detectar a nivel morfológico (Sandalo *et al.*, 2001; Ortega-Villasante *et al.*, 2005; Sabreen *et al.*, 2008; citados por Sánchez, 2015, p.13).

Las plantas responden a la presencia de metales con rápidas modificaciones metabólicas, lo que se conoce como “aclimatación” (Pastori *et al.*, 2002; Mittler, 2006; citados por Sánchez, 2015, p.13). Si el estrés prevalece, se desencadena una cascada de señalización secundaria mediada por moléculas como hormonas, la cual se conoce como respuesta de “adaptación” (Pastori *et al.*, 2002; Mithöfer *et al.*, 2004; citados por Sánchez, 2015, p.13). Estas adaptaciones implican cambios a nivel morfológico, fisiológico y

bioquímico, e implican regulación génica (Sanita di Toppi *et al.*, 1999; citados por Sánchez, 2015, p.13).

A pesar de estas respuestas, la intensidad del estrés puede superar el umbral de tolerancia de la planta, alterando el metabolismo y provocando daño oxidativo y muerte celular.

2.2.18. Mecanismos de defensa en la planta

La respuesta de las plantas al estrés por metales no esenciales es compleja e implica muchos cambios fisiológicos, bioquímicos y genéticos para minimizar los daños derivados de la exposición a los metales (DalCorso *et al.*, 2008; citado por Sánchez, 2015, p.14). Las plantas despliegan estrategias activas y pasivas para evitar la entrada de los metales en el organismo. En primer lugar, exudan ácidos orgánicos (malato o citrato) que ligan los metales a la matriz del suelo, evitando su absorción por las raíces (Dong *et al.*, 2007; citado por Sánchez, 2015, p.14). En segundo lugar, la pared celular (con grupos histidina) y los carbohidratos celulares (mucílago y calosa) inmovilizan los iones tóxicos previniendo su entrada en el citosol (Sanita di Toppi *et al.*, 1999; citado por Sánchez, 2015, p.14).

Tan pronto como los elementos tóxicos superan estas barreras y penetran en el organismo elevando su concentración, se activan los mecanismos para controlar los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) y detoxificar los metales pesados. Las células vegetales poseen diversos mecanismos de defensa antioxidante, que eliminan o previenen la formación de ROS, favoreciendo el equilibrio redox celular y evitando o aliviando el estrés oxidativo (Sánchez, 2015, p.15).

Estos mecanismos implican el incremento de los niveles basales de enzimas y compuestos antioxidantes (Noctor *et al.*, 1998; Mittler, 2002; Yadav, 2010; Cuypers *et al.*, 2010; citado por Sánchez, 2015, p.15). Además, las plantas han desarrollado mecanismos de detoxificación que retiran o secuestran los metales del organismo, reduciendo la estimulación del estrés oxidativo (Patra *et*

al., 2000; Cobbett *et al.*, 2002; Hall, 2002; Cobbett, 2003; citado por Sánchez, 2015, p.15).

2.2.19. Normativa ambiental peruana

En el Perú se implementaron medidas legales en la mitigación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo a mediados del 2013, con la aprobación de los estándares de calidad ambiental de suelo (D.S. N° 002-2013-MINAM), posteriormente se implementó el Plan de descontaminación de suelos (PDS) para evaluar la contaminación de suelos en el área efectiva de proyectos de inversión y finalmente con D.S. N° 002-2014-MINAM se aprobaron las disposiciones complementarias para la aplicación de los estándares de calidad ambiental para suelos en la cual se pueden distinguir tres fases para la aplicación de estos.

a) Fase de identificación

Tiene por objeto establecer si un sitio supera o no los ECA para Suelo o niveles de fondo, y comprende el desarrollo de la investigación histórica, el levantamiento técnico del sitio y el muestreo de identificación. Los parámetros que se analicen serán aquellas sustancias químicas de interés toxicológico o ecotoxicológico generados por la actividad presente o pasada, en el sitio de estudio.

b) Fase de caracterización

La fase de caracterización procede cuando los resultados de la fase de identificación determinan que se supera los ECA para Suelo o los niveles de fondo. Tiene por objeto determinar la extensión y profundidad de la contaminación del sitio y se expresa en el Plan de Descontaminación de Suelos (PDS), que incorpora la propuesta de acciones de remediación y que debe ser presentado a la autoridad competente para su evaluación y aprobación.

c) Fase de remediación

La fase de remediación tiene por objeto ejecutar las acciones de remediación consignadas en el Plan de Descontaminación de Suelos aprobado por la autoridad competente, para eliminar los riesgos a la salud y el ambiente o reducirlos a niveles aceptables. Esta fase comprende además el muestreo de comprobación de la remediación efectuada.

Además, en el año 2014 se aprobó la guía nacional para muestreo de suelo (R.M. N° 085-2014, 2014). La resolución ministerial establece especificaciones para: i) determinar la existencia de contaminación en el suelo, ii) determinar la dimensión (extensión horizontal y vertical) de la contaminación, iii) determinar las concentraciones de nivel de fondo, y/o iv) determinar si las acciones de remediación lograron reducir la concentración de los contaminantes en el suelo, de acuerdo a las metas planteadas.

En función al objetivo del muestreo de suelos, la guía establece los siguientes tipos de muestreo: muestreo de identificación, muestreo de detalle, muestreo de nivel fondo, y muestreo de comprobación de la remediación. En la guía se especifica además, diferentes técnicas de muestreo, criterios para la determinación del número de muestras, así como medidas de calidad para la toma y el manejo de muestras de suelos.

Cuatro después de haberse aprobado los estándares nacionales de calidad ambiental para suelo mediante D.S. N°002-2013-MINAM, éste fue derogado en el 2017 por el D.S. N°011-2017-MINAM. Asimismo, esta normativa de 2017 también derogó el D.S. N°002-2014-MINAM.

Los nuevos estándares de calidad ambiental para suelo presentaron cambios como en la integración de la concentración de los parámetros orgánicos e inorgánicos de los ECA y los lineamientos para su aplicación. Asimismo, algunos parámetros del anexo I del ECA para suelo de 2013 fueron eliminados en el nuevo ECA de 2017 como el aldrín, endrin, DDT y heptacordo. Se añadieron parámetros como el cromo total, tetracloroetileno y tricloroetileno. Finalmente, se presentó un cambio importante en el nuevo ECA para suelo relacionado con el presente trabajo, puesto que se redujo la concentración de

plomo para suelo comercial, industrial y extractivo de 1200 mg/Kg (D.S. N°002-2013-MINAM, 2013) a 800 mg/Kg (D.S. N°011-2017-MINAM, 2017).

Por otro lado, se aprobó los criterios para la gestión de sitios contaminados (D.S. N° 012-2017, 2017). Los criterios establecidos son de aplicación a las autoridades sectoriales que tienen competencias para regular la normatividad de alcance nacional respecto de las actividades productivas, extractivas o de servicios, bajo el ámbito de su competencia, cuyo desarrollo puede generar sitios contaminados.

Finalmente, se aprobó el Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, el cual es utilizado en la actualidad para determinar el tipo de suelo con el cual es comparado los valores de los parámetros del ECA para suelo (D.S. N°017-2009-AG, 2009).

2.2.20. Técnicas de cuantificación de plomo en muestras de suelo

La técnica de cuantificación de plomo más usada por los laboratorios es el método EPA 3050B.

En el apartado 6.0 y 7.5 de la metodología EPA 3050B (EPA 3050B, 1996, p.3-7) se establece el siguiente procedimiento para obtener los valores cuantificables de concentración de plomo para una muestra de suelo:

- Para la preservación, todas las muestras deben ser colectadas según un plan de muestreo que avale que haya un control de calidad sobre el mismo. Además, se debe demostrar que los contenedores de las muestras están libres de contaminación.
- Para el procedimiento de análisis, se agregará 2,5 mL de concentrado de HNO_3 y 10 mL de concentrado HCL a la muestra durante 15 minutos. Luego se filtra el digestato a través de un papel filtro. El papel filtro es lavado con HCL a 95°C y luego con agua a 95°C. A continuación, el filtro y restos de embudo son colocados en un recipiente donde se añade 5 mL de HCL, el recipiente se pone en una fuente de calor hasta que se disuelva el papel filtro. Finalmente, se retira el recipiente de la fuente de calor y se añade agua para pasar a un filtrado y colocarlo en un matraz volumétrico de 100 mL. La muestra contenida en el matraz volumétrico es analizado

por absorción atómica de llama (FLAA) ó espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES).

Los cálculos se realizan para determinar la concentración total de la muestra inicial, es decir, luego de pasar por los procedimientos descritos anteriormente se obtiene una concentración para una respectiva cantidad de volumen, esta concentración se debe extrapolar para la cantidad de la muestra total.

2.2.21. Cuantificación de plomo en muestras de plantas mediante absorción atómica

2.2.21.1. Muestreo

Para el muestreo se debe tener en cuenta la especie de la planta a analizar, su edad, la parte de la planta muestreada y el tiempo de muestreo, puesto que todos estos factores pueden afectar la interpretación de resultados.

Para el análisis no se muestrea toda la planta sino una parte de esta. La precisión que se necesita determina el número de hojas y el número de plantas a seleccionar, es decir, se toma una muestra compuesta para reflejar la mejor variabilidad entre plantas (McKean, 1993).

2.2.21.2. Preparación de la muestra

La muestra debe ser trasladada al laboratorio en el menor tiempo posible para evitar cambios químicos en la muestra. La preparación aborda la descontaminación y/o limpieza de la muestra para eliminar contaminaciones de suelo, polvo o químicos. Si es necesario se lavan las muestras frescas con agua desionizada o con una solución del 0,1% de detergente con bajo contenido de fosforo y se enjuaga con agua. Después de la limpieza se seca en un horno a 70°C en bolsas de papel. La muestra se muele con un molino y se seca por congelación para finalmente ser colocado en un recipiente para su respectivo análisis (McKean, 1993).

2.2.21.3. Análisis por absorción atómica con llama

Para analizar los elementos presentes en el tejido de la planta hay que destruir la materia orgánica por medio de una digestión acida o una calcinación. Esto convierte a los elementos a una forma más fácil de analizar mediante absorción atómica (Mckean, 1993).

El análisis mediante absorción atómica se basa en que cada elemento tiene un número de electrones asociado con su núcleo. El estado normal y más estable de la configuración orbital de un átomo es conocido como el estado fundamental. Si se aplica energía a un átomo, la energía será absorbida y un electrón será promovido a un estado menos estable conocido como estado excitado. Desde este estado inestable el átomo volverá a su estado fundamental, liberando energía luminosa.

En el estado fundamental un átomo absorbe energía luminosa a una longitud de onda específica para pasar al estado excitado. Si el número de átomos en el paso de luz se incrementa, la cantidad de luz absorbida también se incrementa. Por la medición de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una determinación cuantitativa de la cantidad de analito.

La función de la llama consiste en convertir el aerosol de la muestra en un vapor atómico el cual luego puede absorber la luz de la fuente primaria (lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga de electrones).

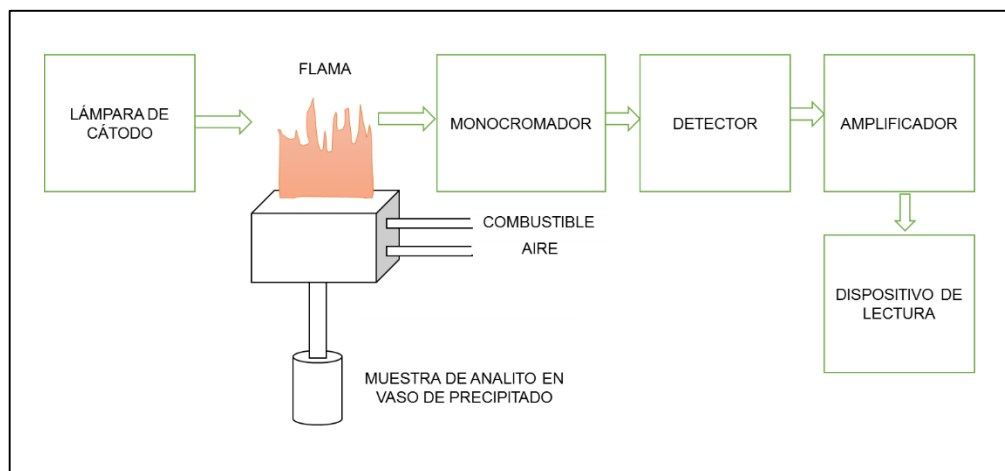


Figura 7. Esquema de equipo de absorción atómica.

Fuente. Elaboración propia.

2.2.22. Descripción del distrito de coayllo

2.2.22.1. Ubicación y vías de acceso

San Pedro de Coayllo es la capital del distrito de Coayllo, está situado en la margen derecha del río Omas, altura del km 22 de la carretera longitudinal de empalme que une la parte litoral con la parte alta de la cuenca, a una altitud de 225 msnm, cuenta además con tres anexos principales, que son: San Juan de Quisque, Santa Rosa de Cata y Uqira. Las coordenadas geográficas WGS84, de Coayllo, son las siguientes: Latitud Oeste 12° 27` 30” y Longitud Sur 76° 27`30”.

Uqira se encuentra en el cono de deyección de una pequeña quebrada en la margen izquierda del valle de Asia, a 400 metros sobre el nivel del mar y ocupa un área de 2,4 hectáreas (24.000 m²). Esto incluye el espacio en el que están las estructuras o sectores en la quebrada.

El acceso al área de interés desde Lima, es por la Carretera Panamericana Sur, hasta la altura del distrito de Asia a la altura del Km 105 donde existe un desvío de carretera asfaltada el que nos conduce al distrito de Coayllo y desde ahí a la zona de estudio el cual se detalla en la tabla 9.

Tabla 9

Accesibilidad al distrito de Coayllo

Tramo	Tipo de carretera	Longitud (Km)	Tiempo
Lima – Asia (Km 105)	Asfaltada	105	1 hora con 10 minutos
Asia (Km 105) – Coayllo	Asfaltada	17,5	30 minutos

Fuente. Elaboración propia.

2.2.22.2. Descripción del medio ambiente físico

La información que se presenta a continuación se basa netamente en la declaración de impacto ambiental para exploración minera presentada al ministerio de energía y minas en 2008 para su evaluación y revisión, dicho instrumento de gestión ambiental propone realizar sus actividades en el distrito

de Uquira, distrito contiguo al distrito de Coayllo, es decir, nuestra área de estudio. En tal sentido dicha información se presenta a continuación.

a) Geomorfología

Depósitos Aluviales: Ocupa el valle aluvial del río Omas y Quebradas. Los depósitos aluviales consisten en horizontales de limo, arena, arcilla y grava arenosa depositadas por el río Omas. El grosor de estos depósitos puede variar de pocos metros a 60 m. Son acumulaciones de clásticos, conformados por arenas, arcillas, limos, gravas y cantos con inclusiones de bloques, entremezclados en diferentes proporciones debido a que han sido depositados bajo condiciones muy variables. Estos depósitos constituyen el área agrícola del valle.

Zonas de montaña: El área del distrito de Uquira-Coayllo se encuentra la geomorfología del área se encuentra rodeada por montañas, cuyas laderas presentan pendientes moderadas a fuertes.

b) Geología

La zona de estudio presenta la siguiente secuencia de columnas estratigráficas: Formación Asia (JsKi-a), Grupo Morro Solar (Ki-ms), Formación Pamplona (Ki-pa), Grupo Quilmana (Kis-q), Formación Pocoto (Ts-p) y Depósitos Aluviales (Qr-al).

c) Climatología y meteorología

Temperatura: La temperatura es la variable meteorológica relacionada a las variaciones altitudinales. De acuerdo a la estación meteorológica en los últimos cinco años la temperatura máxima promedio mensual fue de 31.11 °C registrándose en los meses de Marzo, la temperatura mínima promedio mensual alcanzó un valor de 13 °C en el mes de agosto.

Precipitación: El registro de precipitaciones de la estación meteorológica, muestra que las precipitaciones en la zona del distrito de Uquira-Coayllo han sido mínimas. Presentando precipitaciones nulas en los meses de Mayo, Julio, Setiembre y Noviembre. La precipitación máxima promedio es registrada en los meses de enero con 0.11 mm.

Humedad Relativa: El mes de junio fue el mes más húmedo alcanzando un valor promedio de 98.52%; mientras que el mes diciembre se registró la humedad promedio más baja 64.89%.

d) Velocidad y dirección del viento

La dirección del viento proviene del Nor - Nor Oeste (NNO) hacia el Sur - Sur Este (SSE), presenta intensidades de vientos que en su mayoría oscilan entre 0,5 a 2,1 m/s.

2.2.22.3. Contaminación de suelos de pasivos ambientales mineros por plomo

El distrito de Coayllo cuenta con trece pasivos ambientales mineros identificados, entre ellos se encuentran de labor minera, residuo minero e infraestructura.

El pasivo ambiental minero con número de registro N° 12622, según la R.M. N° 224-2018-MEM/DM, se encuentra ubicado en el distrito de coayllo, provincia de cañete y departamento de Lima. Sin gestiones asignadas aun por el Ministerio de Energía y Minas cuenta con tipología de residuo minero y subtipología de relaves.

Tabla 10

Ubicación del pasivo ambiental minero N° 12622

ID	Tipo de componente	Sub tipo de componente	Cuenca principal	Este WGS84	Norte WGS84	Altitud
12622	Residuo Minero	Relaves	Omas	0 353 844	8 606 011	952

Fuente. Ministerio de Energía y Minas (2018)

Los suelos donde se encuentran ubicados los relaves cuentan con alto contenido de plomo variando desde los 524,74 mg/Kg hasta 51860,13 mg/Kg. Esto fue corroborado en octubre del 2017, mediante un muestreo de identificación se recolectaron muestras de suelos en 21 puntos de monitoreo (ver figura 8 y tabla 11) para ser posteriormente homogeneizados y distribuidos en 24 muestras para ser analizados en laboratorio.

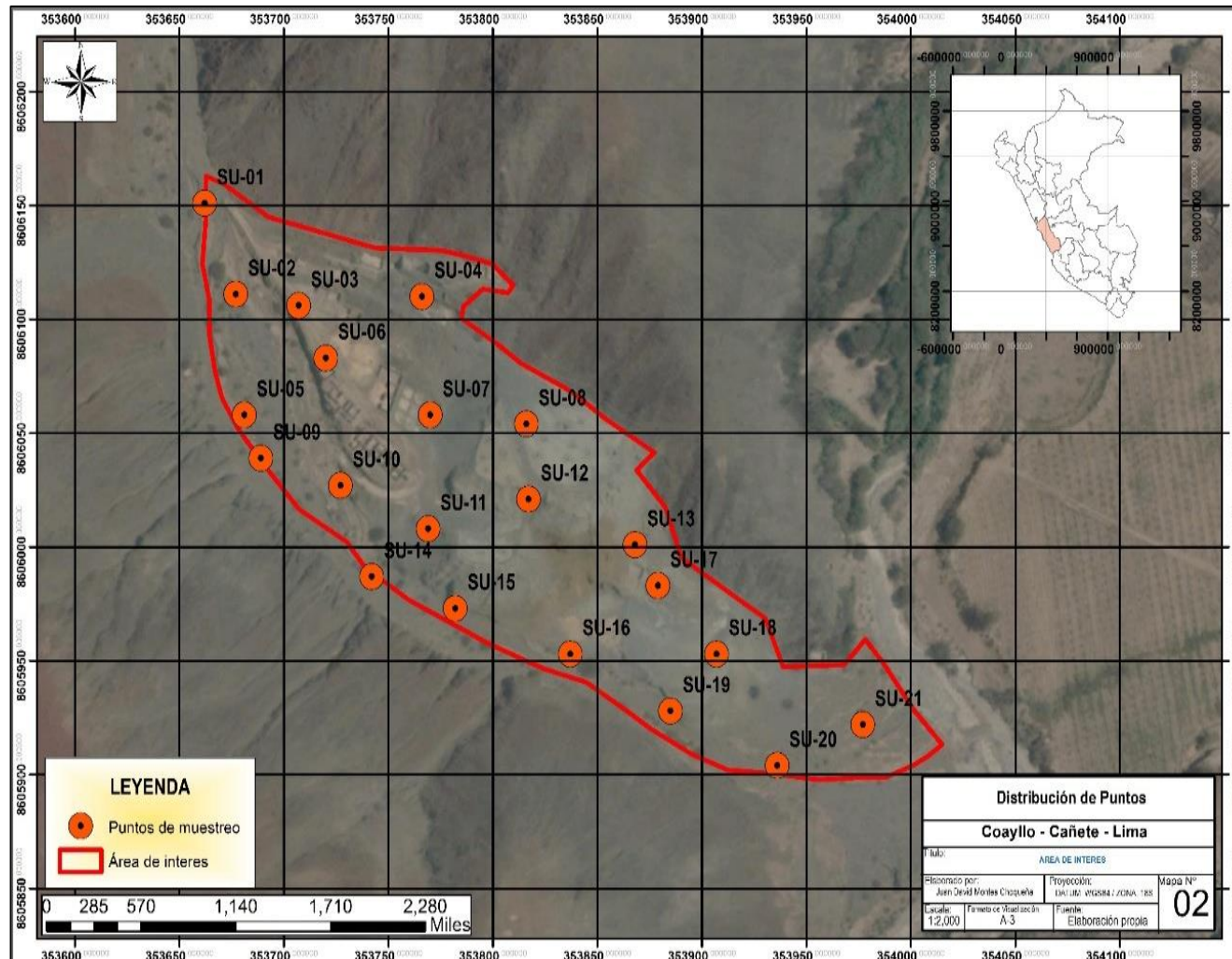


Figura 8. Puntos de muestreo en el área de interés.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11*Codificaciones y coordenadas de los puntos de muestreo de identificación*

Codificación	Coordenadas	
	Este	Norte
SU-01	353662	8606151
SU-02	353677	8606111
SU-03	353707	8606106
SU-04	353766	8606110
SU-05	353681	8606058
SU-06	353720	8606083
SU-07	353770	8606058
SU-08	353816	8606054
SU-09	353689	8606039
SU-10	353727	8606027
SU-11	353769	8606008
SU-12	353817	8606021
SU-13	353868	8606001
SU-14	353742	8605987
SU-15	353782	8605973
SU-16	353837	8605953
SU-17	353879	8605983
SU-18	353907	8605953
SU-19	353885	8605928
SU-20	353936	8605904
SU-21	353977	8605922

Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO III : HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general

La capacidad fitoextractora en la especie *Medicago sativa* L. aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelos contaminados con relaves mineros es mayor.

3.2. Hipótesis específicas

- La concentración de plomo en la zona aérea de la planta es mayor a la concentración de plomo en la zona radicular.
- La especie *Medicago sativa* L. presenta un alto potencial fitoextractor.
- La concentración de plomo en las muestras de suelo al terminar el proceso de fitoextracción es menor al ECA para suelo extractivo.

3.3. Identificación de variables

3.3.1. Variable independiente

- Concentración de plomo en las muestras de suelo

3.3.2. Variable dependiente

- Capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L.

3.4. Matriz de consistencia

Tabla 12
Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	MÉTODO
¿De qué manera las diferentes concentraciones de plomo en el suelo afectan a la capacidad fitoextractora de la especie <i>Medicago sativa</i> L. al ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros?	Evaluar las variaciones en la capacidad fitoextractora de la especie <i>Medicago sativa</i> L. cultivados en suelos contaminados con diferentes concentraciones de plomo.	La capacidad fitoextractora en la especie <i>Medicago sativa</i> L. aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelos contaminados con relaves mineros es mayor.	Y ₁ : Capacidad fitoextractora de la especie <i>Medicago sativa</i> L.	I _{Y1,1} : Concentración de plomo en hojas y raíces I _{Y1,2} : Factor de traslocación	M _{Y1,2} : Espectroscopia de masas acoplada inductivamente a plasma (ICP-MS) M _{Y1,2} : cálculo del factor de traslocación
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	MÉTODO
¿Cuál será la concentración de plomo presente en raíces, y hojas de la especie <i>Medicago sativa</i> L. luego de ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros?	Determinar la concentración de plomo presentes en raíces y hojas de la especie <i>Medicago sativa</i> L. luego de ser cultivados en suelos contaminados con relaves mineros.	La concentración de plomo en la zona aérea de la planta es mayor a la concentración de plomo en la zona radicular.			
¿Cuál será la capacidad fitoextractora de plomo en la especie <i>Medicago sativa</i> L. cultivados en suelos contaminados con plomo a diferentes concentraciones?	Determinar la capacidad fitoextractora de plomo en la especie <i>Medicago sativa</i> L. cultivados en suelos contaminados con plomo a diferentes concentraciones.	La especie <i>Medicago sativa</i> L. presenta un alto potencial fitoextractor.	X ₁ : Concentración de plomo en las muestras de suelo	I _{X1} : Concentración de plomo en las muestras de relaves mineros al inicio y final el proceso de fitoextracción	M _{X1} : Espectroscopia de masas acoplada inductivamente a plasma (ICP-MS)
¿Cuál será la concentración de plomo en las muestras de suelos al finalizar el proceso de fitoextracción?	Determinar la concentración de plomo en las muestras de suelos al finalizar el proceso de fitoextracción.	La concentración de plomo en las muestras de suelo al terminar el proceso de fitoextracción es menor al ECA para suelo extractivo.			

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO IV : METODOLOGÍA

4.1. Metodología de la investigación

4.1.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis del estudio fueron 180 muestras de especie de *Medicago sativa* L. cultivadas en muestras de pasivos ambientales mineros del distrito de Coayllo con diferentes concentraciones de plomo.

4.1.2. Población de estudio

Para el presente estudio, donde se evaluó como varía la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L., la población fue de 180 unidades de *Medicago sativa* L.

4.1.3. Tamaño de muestra

Para el cálculo de la muestra se empleó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\frac{Z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{Z^2 \times p(1-p)}{e^2 \times N}}$$

Donde:

Z: es la puntuación z, para el estudio se está considerando un nivel de confianza del 95% para lo cual el valor z es 1,96.

p: representa el porcentaje estimado de la muestra, para el estudio se está considerando el 50%.

e: representa el margen de error asignado, para este caso corresponde al 5%.

N: representa la población, es decir, 180 unidades de *Medicago sativa* L. (RG₁ y RG₂).

Por lo tanto, el tamaño de la muestra fue 123 unidades de *Medicago sativa* L.

4.1.4. Selección de la muestra

La selección de las 123 muestras de *Medicago sativa* L. se realizó mediante un muestreo aleatorio simple. Esto permitió que todas las muestras tengan la misma posibilidad de ser escogidas.

4.1.5. Materiales, insumos y equipos

Los materiales empleados para el desarrollo de la tesis fueron los que se describen a continuación:

- Semilleros.
- Sustrato para la germinación de semillas.
- semillas de alfalfa.
- Regadero.
- Agua para el regado de semilleros.
- Maceteros.
- Agua para el regado de maceteros.
- Análisis de plomo en muestras de suelo.
- Análisis de plomo en muestras de plantas (raíz y hojas).
- Transporte y disposición final hacia un relleno de seguridad.

4.1.6. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es de tipo experimental, clasificado dentro de experimentos puros con posprueba y grupo controlado. El nivel de control de la variable independiente fue por presencia y ausencia de la misma.

Asimismo, teniendo en cuenta la premisa de la hipótesis principal del estudio se comprobó lo indicado en la figura 9.

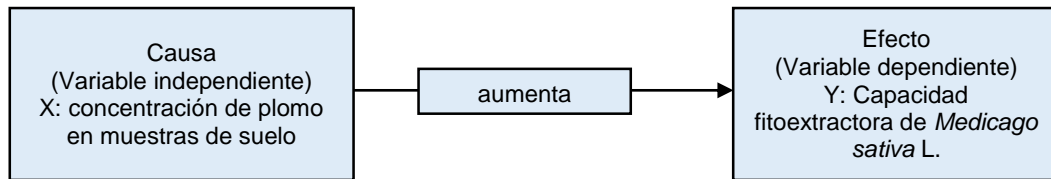


Figura 9. Diseño de investigación científica.

Fuente. Elaboración propia

Gráficamente, el estudio se plantea de la siguiente forma:

RG₁	X₁	O₁
RG₂	-	O₂

Figura 10. Representación gráfica del diseño de investigación.

Fuente. Elaboración propia

Donde:

RG₁ representa al grupo de plantas número 1, siendo estas la especie *Medicago sativa* L.;

X₁ represente el estímulo al cual será sometido RG₁, el cual será someter a muestras de suelo con diferentes concentraciones de plomo;

O₁ representa la pos prueba que se le hará a la especie *Medicago sativa* L. luego de ser expuesta a diferentes concentraciones de plomo. Las pruebas a realizar son el análisis de plomo en hojas y raíces para obtener el índice del factor de traslocación.

RG₂ representa al grupo de control de plantas número 2, siendo estas la especie *Medicago sativa* L.;

— Representa que el grupo RG₂ no será sometido a ningún estímulo, es decir, el grupo RG₂ será expuesto a muestras de suelo sin presencia de concentraciones de plomo.

O₂ representa la pos prueba que se le hará a la especie *Medicago sativa* L. luego de ser expuesta a muestras de suelo sin concentración de plomo. Las pruebas a realizar son el análisis de plomo en hojas y raíces para obtener el índice del factor de traslocación.

4.1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos fueron las siguientes:

- Primero, se realizó la construcción semilleros, compra de semillas de *Medicago sativa* L., y abono orgánico para el proceso de germinación.
- Segundo, se realizó la compra de maceteros para colocar muestras de suelos a diferentes concentraciones de plomo y también muestras de suelo sin concentraciones de plomo. Asimismo, se realizó el análisis inicial de plomo en las muestras de suelo de los pasivos ambientales mineros en un laboratorio mediante espectrofotometría por absorción atómica.
- Tercero, se seleccionó 123 muestras de la población para realizar el análisis de plomo en raíces y hojas en un laboratorio mediante espectrofotometría de absorción atómica.
- Cuarto, se realizó el análisis del factor de traslocación y análisis final de plomo en muestras de suelo de pasivos ambientales mineros en un laboratorio mediante espectrofotometría de absorción atómica.

4.1.8. Plan de análisis estadísticos de los datos

Para demostrar la hipótesis general y las tres específicas se emplearon los siguientes cálculos estadísticos.

4.1.8.1. Hipótesis específica 1

“La concentración de plomo en la zona aérea de la planta es mayor a la concentración de plomo en la zona radicular.”

Para esta hipótesis se aplicó la técnica estadística t de student para grupos independientes. Contando con los resultados del laboratorio de las 123 muestras correspondientes a la concentración de plomo en las hojas y raíces de la especie *Medicago sativa* L., se sometió la hipótesis de estudio teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

Establecimiento de la hipótesis nula (H_0), y la hipótesis alternativa (H_1).

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (La concentración de plomo en la zona aérea de la planta es igual a la concentración de plomo en la zona radicular)

$H_1: \mu_1 > \mu_2$ (La concentración de plomo en la zona aérea de la planta es mayor a la concentración de plomo en la zona radicular).

Luego, se calculó el parámetro estimado mediante la diferencia de las medias aritméticas de ambos grupos muestrales ($\bar{X}_1 - \bar{X}_2$).

Debido a que la hipótesis alternativa emplea “>” se empleó el test de una cola a un nivel de confianza del 5% donde p teórico es 0.05.

Posteriormente, se realizó el cálculo de p -value a través de t calculada mediante:

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{SS_1 + SS_2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Finalmente, p -value fue comparado con el p teórico, donde el criterio para que la hipótesis alternativa sea aprobada es siempre y cuando p -value sea menor a 0.05.

4.1.8.2. Hipótesis específica 2

“La especie *Medicago sativa* L. presenta un alto potencial fitoextractor”

Para esta hipótesis se aplicó la técnica estadística t de student. Contando con los resultados del laboratorio de las 123 muestras correspondientes a la concentración de plomo en hojas y raíces de la especie *Medicago sativa* L. se calculó el factor de traslocación de cada especie para poder someter la hipótesis a la prueba t de student. Previo a ello, se tuvo las siguientes consideraciones:

Establecimiento de la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).

$H_0: \mu \geq 1$, es el valor mínimo considera para indicar que la especie *Medicago sativa* L posee un alto potencial fitoextractor.

$H_1: \mu < 1$, valores menores a 1 indica que la especie *Medicago sativa* L no posee un alto potencial fitoextractor. Por lo cual se plantea una prueba unilateral izquierda o de una cola.

Para ello se calculó los grados de libertad de las 123 observaciones:

$$gl = n - 1 = 123 - 1 = 122$$

Posteriormente, se determinó el valor de t (t de student) bajo las siguientes condiciones:

- Nivel de confianza al 95%
- Prueba de unilateral izquierda o de una cola
- Para un grado de libertad de 122, se tiene un valor t (z_1) de -1.658

La decisión para aprobar la hipótesis nula es si el valor de z_2 es mayor que el valor de z_1 (-1.658).

Finalmente, para realizar el cálculo de z_2 se siguió los siguientes pasos:

- Calcular el valor de la desviación estándar (s) con los valores de concentración de plomo en hojas y raíces de las 123 muestras.
- El valor de la desviación estándar (s) se expresa matemáticamente de la siguiente manera: $s = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{(n-1)}}$
- Con el valor de la desviación estándar se calcula el valor de z_2 o t calculada, la cual se expresa matemáticamente de la siguiente manera: $z_2 = \frac{(\bar{X}-\mu)}{s/\sqrt{n}}$

4.1.8.3. Hipótesis específica 3

“La concentración de plomo en las muestras de suelo al terminar el proceso de fitoextracción es menor al ECA para suelo extractivo”

Para esta hipótesis se aplicó la técnica estadística t de student. Teniendo los resultados del laboratorio concernientes a las 24 muestras de suelo con plomo luego del proceso de fitoextracción, es que se sometió a la hipótesis a la

prueba t de student. No obstante, previo a ello se tuvo las siguientes consideraciones:

Establecimiento de la hipótesis nula (H_0), y la hipótesis alternativa (H_1).

$H_0: \mu \leq 800.00$, si la concentración de plomo no supera este valor significa que está por debajo de ECA para suelo extractivo.

$H_1: \mu > 800.00$, si la concentración de plomo supera este valor significa que existe una alta concentración indicando la mala calidad de este; por lo que se plantea una prueba unilateral derecha o de una cola

Con las 24 observaciones se tiene 23 grados de libertad (gl) obtenido de:

$$gl = n - 1 = 24 - 1 = 23$$

Posteriormente, se determinó el valor de t (t calculada) bajo las siguientes condiciones:

- Nivel de confianza al 95%
- Prueba de unilateral izquierda o de una cola
- Para un grado de libertad de 23, se tiene un valor t (z_1) de 1.71

La decisión para aceptar la hipótesis nula es si el valor de z_2 es menor que el valor de z_1 (1.71).

Finalmente, para realizar el cálculo de z_2 se siguió los siguientes pasos:

- Calcular el valor de la desviación estándar (s) con los valores de concentración de plomo después de la fitoextracción de las 24 muestras.
- El valor de la desviación estándar (s) se expresa matemáticamente

de la siguiente manera: $s = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{(n-1)}}$

- Con el valor de la desviación estándar se calcula el valor de z_2 o t calculada, la cual se expresa matemáticamente de la siguiente

manera: $z_2 = \frac{(\bar{X}-\mu)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$

4.1.8.4. Hipótesis general

“La capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelo es mayor”

Para la hipótesis general se aplicó la técnica estadística Correlación de Pearson. Con los resultados iniciales de plomo de las 24 muestras de suelo de pasivos ambientales mineros y las 6 muestras de control que contienen suelo sin plomo, y, los resultados de factor de traslocación calculado por especie analizada en laboratorio de *Medicago sativa* L. se realizó la prueba correlacional de Pearson.

Para ello se estableció la hipótesis nula (H_0), y la hipótesis alternativa (H_1).

H_0 : La capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. no aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelo es mayor.

H_1 : La capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelo es mayor.

Luego, se construyó el gráfico de dispersión de datos con los resultados de la concentración inicial de plomo y el factor de traslocación.

Con los valores obtenidos se calculó las siguientes variables:

- Media muestral de ambas muestras \bar{X} e \bar{Y}
- La sumatoria de ambas muestras, la de sus cuadrados y la sumatoria del producto de ambas muestras.
- Cálculo del valor r mediante la siguiente fórmula:

$$r_{x,y} = \frac{n \times \sum xy - \sum x \times \sum y}{\sqrt{(n \times \sum x^2 - (\sum x)^2) \times (n \times \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Para este análisis se requiere que el valor de r se aproxime a +1 (r varía entre -1 y +1). Siendo este valor la correlación positiva perfecta. No obstante, dependiendo del valor de r se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- 0.90 = Correlación negativa muy fuerte.
- 0.75 = Correlación negativa considerable.
- 0.50 = Correlación negativa media.
- 0.25 = Correlación negativa débil.
- 0.10 = Correlación negativa muy débil.
- 0.00 = No existe correlación alguna entre las variables.
- +0.10 = Correlación positiva muy débil.
- +0.25 = Correlación positiva débil.
- +0.50 = Correlación positiva media.
- +0.75 = Correlación positiva considerable.
- +0.90 = Correlación positiva muy fuerte.
- +1.00 = Correlación positiva perfecta.

4.2. Procedimiento metodológico

4.2.1. Actividades de planificación

Se solicitó la cotización de análisis de concentración de plomo en muestras de suelo y plantas al laboratorio GreenLab Perú S.A.C. (ver anexo 1).

Por otro lado, se realizó la compra de dos semilleros de capacidad de 200 celdas, sustrato de alta calidad para el crecimiento de plántulas y semillas de *Medicago sativa* L. para el proceso de fitoextracción.



Figura 11. Semilleros de capacidad para 200 unidades.

Fuente. Elaboración propia



Figura 12. Semillas de *Medicago sativa* L.
Fuente. Elaboración propia



Figura 13. Sustrato orgánico para la germinación y crecimiento de semillas y plántulas.
Fuente. Elaboración propia

4.2.2. Construcción de semilleros y germinación de plántulas

Se procedió a realizar la construcción de los semilleros con el sustrato orgánico adquirido. Luego, se colocaron las semillas a una profundidad del doble de su diámetro para que pueda germinar sin dificultad.



Figura 14. Proceso de construcción de semilleros.

Fuente. Elaboración propia.

Los semilleros, fueron colocados en un ambiente libre donde la radiación solar incida sobre su superficie y el regado se realizó con frecuencia interdiaria.

Finalmente, al culminar la germinación de las semillas se esperó un plazo de dos semanas para que estas alcancen la madurez suficiente y continuar con la siguiente fase del experimento.



Figura 15. Ubicación de semilleros en espacios adecuados para el experimento.

Fuente. Elaboración propia.

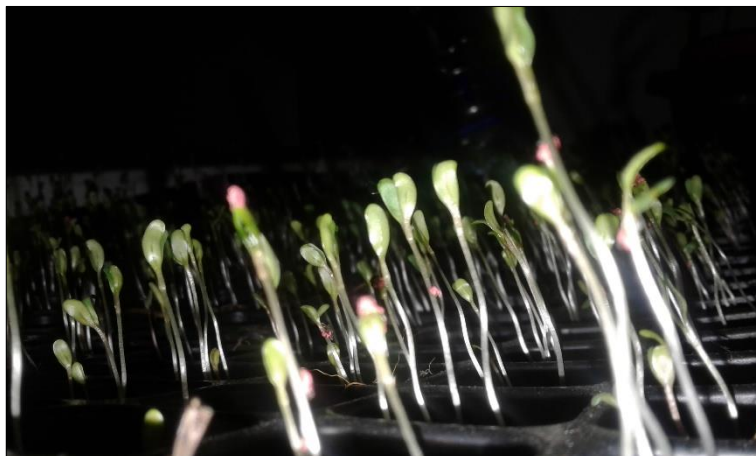


Figura 16. Germinación de semillas en los semilleros.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 17. Desarrollo y crecimiento de plántulas.

Fuente. Elaboración propia.

4.2.3. Construcción de macetas para el proceso de fitoextracción

Se realizó la compra de envases plásticos para emplearlos como maceteros. Luego, se procedió a codificar cada maceta para finalmente añadir 1.3 Kg de muestra de pasivos ambientales mineros del distrito de Coayllo extraídos en 2017.



Figura 18. Proceso de construcción de maceteros.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 19. Maceteros con muestras de pasivos ambientales mineros.

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo al diseño de investigación se construyeron 30 macetas, de las cuales 24 contienen muestras de pasivos ambientales mineros con plomo y seis contienen suelo orgánico sin presencia de plomo.

Posteriormente, se realizó el muestreo de suelos en las 24 macetas que contenían a los pasivos ambientales mineros con la finalidad de analizar la concentración inicial de plomo. Cada muestra contuvo 300 gramos de muestra

de pasivos ambientales mineros. Los análisis de plomo en las muestras de suelo estuvieron a cargo del laboratorio GreenLab Perú S.A.C. empleando el método "EPA 200.7, Revised 4.4, May 1994.; Determinación de metales y elementos de rastreo en aguas y residuos por espectrometría de emisión plasma- atómica inactivamente acoplada".



Figura 20. Toma de muestras de suelo en bolsas herméticas.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 21. Recolección de 24 muestras de suelos.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 22. Muestras de suelo recolectadas para ser enviadas al laboratorio.

Fuente. Elaboración propia.

Luego de que las plántulas de *Medicago sativa* L. se hayan desarrollado en los semilleros por un periodo de dos semanas posterior a su germinación, se realizó el trasplante de las especies hacia los 30 maceteros para la fase de fitoextracción.



Figura 23. Organización de elementos para el proceso de trasplante.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 24. Realización de hoyos para el trasplante de especies.

Fuente. Elaboración propia.



Figura 25. Trasplante de especies de *Medicago sativa* L. a maceteros

Fuente. Elaboración propia.



Figura 26. Vista aérea de trasplante de especies de *Medicago sativa* L. a maceteros.

Fuente. Elaboración propia.

En cada macetero se trasplantaron seis unidades de *Medicago sativa* L., haciendo un total de 180 unidades en los 30 maceteros.



Figura 27. Actividades finalizadas de trasplante desde el semillero hasta maceteros.

Fuente. Elaboración propia

Las especies de *Medicago sativa* L. estuvieron durante tres meses en el proceso de fitoextracción y fueron regadas con una frecuencia diaria.

Al finalizar el proceso de fitoextracción, se escogieron 123 unidades de *Medicago sativa* L. mediante un muestreo aleatorio simple empleando una tabla de valores aleatorios, permitiendo que todas las unidades muestrales tengan la misma posibilidad de ser escogidas.



Figura 28. Especies *Medicago sativa* L. al culminar la experimentación.

Fuente. Elaboración propia.

Las muestras seleccionadas fueron enviadas al laboratorio GreenLab Perú S.A.C. para analizar las concentraciones de plomo en sus hojas y raíces.

4.2.4. Cuantificación del factor de traslocación

Al culminar el proceso de fitoextracción y enviar las muestras al laboratorio para el análisis de plomo en raíces y hojas de las 123 unidades muestrales, el laboratorio remitió los informes de ensayos de ensayos correspondientes. Con estos resultados se realizó la cuantificación del factor de traslocación o factor de transporte mediante:

$$\mathbf{FT} = \frac{\text{Concentración en la parte aérea de la planta}}{\text{Concentración en la raíz de la planta}}$$

Donde:

FT: es el factor de traslocación

El factor de traslocación se puede expresar con respecto a 1 o en porcentaje si se multiplica por 100 (Hazrat *et al.* 2013).

Según (Baker *et al.*, 1989), la planta se clasifica como alto potencial fitoextractor si TF es mayor a 1; mientras que, si TF es menor a 1 se clasifica como alto potencial fitoestabilizador.

4.2.5. Actividades post-muestreo

Luego de culminar las actividades de experimentación, se enviaron las 24 muestras de suelo con pasivos ambientales mineros para analizar cuanto había disminuido la concentración de plomo. Cada muestra de suelo enviado a laboratorio tuvo una cantidad de 1 kg para que el laboratorio se haga cargo de los residuos peligrosos.

CAPÍTULO V : RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados de la metodología establecida en el capítulo IV.

5.1. Resultados de la concentración de plomo en muestras de suelos antes del proceso de fitoextracción

Los resultados de las muestras de los 24 maceteros que contuvieron pasivos ambientales mineros y los 6 maceteros que contuvieron muestras de suelo sin presencia de plomo se muestran a continuación.

Tabla 13

Resultados de concentración de plomo en muestras de suelos antes del proceso de fitoextracción

Codificación de maceteros	Unidades	Concentración inicial de plomo	Estándar de calidad ambiental para suelo industrial
Muestras enviadas al laboratorio para análisis			
CSU-01		2112,23	
CSU-02		2558,30	
CSU-03		2881,01	
CSU-04		2426,61	
CSU-05		1903,65	
CSU-06		1758,48	
CSU-07		524,74	
CSU-08	mg/Kg PS	951,87	800
CSU-09		1637,58	
CSU-10		1555,13	
CSU-11		1452,82	
CSU-12		3339,57	
CSU-13		2991,94	
CSU-14		2105,49	
CSU-15		2108,67	

CSU-16		1682,77	
CSU-17		3026,14	
CSU-18		2437,48	
CSU-19		2050,13	
CSU-20	mg/Kg PS	1745,65	800
CSU-21		2648,69	
CSU-22		2495,39	
CSU-23		3080,56	
CSU-24		2385,23	
Muestras de control que no fueron enviadas al laboratorio			
CSU-25		0,0	
CSU-26		0,0	
CSU-27	mg/Kg PS	0,0	800
CSU-28		0,0	
CSU-29		0,0	
CSU-30		0,0	

Fuente. Elaboración propia.

5.2. Resultados de la concentración de plomo en hojas y raíces de muestras de *Medicago sativa* L.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la concentración de plomo en hojas y raíces de las muestras de plantas que fueron seleccionadas y enviadas al laboratorio GreenLab Perú S.A.C.

Tabla 14

*Resultados de concentración de plomo en hojas y raíces de muestras de *Medicago sativa* L.*

Codificación de maceteros	Codificación e plantas enviadas al laboratorio	Resultado	
		Raíz (mg/Kg)	Hoja (mg/Kg)
CSU-01	PL-01	4,31	8,36
	PL-02	4,40	8,35
	PL-03	4,34	8,45
	PL-04	4,37	8,34
	PL-05	4,27	8,43
CSU-02	PL-06	4,62	10,73
	PL-07	4,64	10,72
	PL-08	4,57	10,76
	PL-09	4,58	10,80
CSU-03	PL-10	0,73	2,15
	PL-11	0,72	2,16
	PL-12	0,71	2,16

	PL-13	0,73	2.16
	PL-14	0,72	2.16
CSU-04	PL-15	4,37	10,19
	PL-16	4,34	10,23
	PL-17	4,35	10,19
	PL-18	4,38	10,22
	PL-19	4,37	10,21
		PL-20	4,85
CSU-05	PL-21	4,86	9,43
	PL-22	4,86	9,39
	PL-23	4,83	9,49
		PL-24	5,06
CSU-06	PL-25	5,07	9,01
	PL-26	5,08	8,96
	PL-27	5,09	9,02
		PL-28	2,83
CSU-07	PL-29	2,84	3,48
	PL-30	2,79	3,46
	PL-31	2,91	3,48
		PL-32	4,09
CSU-08	PL-33	4,12	5,42
	PL-34	4,09	5,39
	PL-35	4,12	5,46
		PL-36	5,62
CSU-09	PL-37	5,61	9,15
	PL-38	5,63	9,07
	PL-39	5,62	9,17
		PL-40	5,18
CSU-10	PL-41	5,19	8,83
	PL-42	5,22	8,74
	PL-43	5,20	8,85
		PL-44	4,58
CSU-11	PL-45	4,60	8,50
	PL-46	4,60	8,45
	PL-47	4,59	8,53
		PL-48	0,33
CSU-12	PL-49	0,33	1,34
	PL-50	0,34	1,33
	PL-51	0,33	1,34
		PL-52	1,94
CSU-13	PL-53	1,95	5,84
	PL-54	1,95	5,82
	PL-55	1,97	5,82
CSU-14	PL-56	4,63	9,06

	PL-57	4,67	9,03
	PL-58	4,64	9,02
	PL-59	4,67	9,06
CSU-15	PL-60	4,59	9,11
	PL-61	4,61	9,11
	PL-62	4,57	9,11
	PL-63	4,63	9,11
CSU-16	PL-64	5,91	9,24
	PL-65	5,88	9,28
	PL-66	5,91	9,23
	PL-67	5,93	9,27
CSU-17	PL-68	0,76	2,27
	PL-69	0,76	2,27
	PL-70	0,75	2,27
	PL-71	0,76	2,27
CSU-18	PL-72	4,39	1,71
	PL-73	4,39	1,71
	PL-74	0,73	6,83
	PL-75	2,93	3,42
CSU-19	PL-76	4,89	9,46
	PL-77	4,91	9,45
	PL-78	4,87	9,45
	PL-79	4,89	9,50
CSU-20	PL-80	5,52	8,45
	PL-81	5,52	8,46
	PL-82	5,55	8,39
	PL-83	5,52	8,49
CSU-21	PL-84	3,85	9,39
	PL-85	3,84	9,41
	PL-86	3,86	9,36
	PL-87	3,85	9,42
CSU-22	PL-88	4,25	9,47
	PL-89	4,30	9,44
	PL-90	4,25	9,46
	PL-91	4,28	9,48
CSU-23	PL-92	0,62	2,46
	PL-93	0,61	2,47
	PL-94	0,62	2,46
	PL-95	0,62	2,47
CSU-24	PL-96	4,58	9,73
	PL-97	4,58	9,74
	PL-98	4,60	9,69
	PL-99	4,59	9,75
CSU-25	PL-100	0,00	0,00

	PL-101	0,00	0,00
	PL-102	0,00	0,00
	PL-103	0,00	0,00
CSU-26	PL-104	0,00	0,00
	PL-105	0,00	0,00
	PL-106	0,00	0,00
	PL-107	0,00	0,00
CSU-27	PL-108	0,00	0,00
	PL-109	0,00	0,00
	PL-110	0,00	0,00
	PL-111	0,00	0,00
CSU-28	PL-112	0,00	0,00
	PL-113	0,00	0,00
	PL-114	0,00	0,00
	PL-115	0,00	0,00
CSU-29	PL-116	0,00	0,00
	PL-117	0,00	0,00
	PL-118	0,00	0,00
	PL-119	0,00	0,00
CSU-30	PL-120	0,00	0,00
	PL-121	0,00	0,00
	PL-122	0,00	0,00
	PL-123	0,00	0,00

Fuente. Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 14 indican que todas muestras de *Medicago sativa* L. enviadas al laboratorio, han logrado acumular concentraciones de plomo en sus hojas y raíces. Los resultados de la concentración de plomo en la raíces varían entre 0,00 y 5,93 mg/Kg, mientras que, la concentración de plomo en las hojas varían entre 0,00 y 10,80 mg/Kg.

5.3. Resultados de la cuantificación del factor de traslocación

En la tabla 15 se puede apreciar los resultados del factor de traslocación de las 123 muestras de *Medicago sativa* L., que fueron escogidas para la fase de experimentación. Como se puede observar, el factor de traslocación varía entre 0,00 y 9,42 unidades.

Tabla 15*Resultados del factor de traslocación de muestras de Medicago sativa L.*

Codificación de maceteros	Codificación e plantas enviadas al laboratorio	Resultado
		Factor de traslocación
CSU-01	PL-01	1,94
	PL-02	1,90
	PL-03	1,95
	PL-04	1,91
	PL-05	1,98
CSU-02	PL-06	2,32
	PL-07	2,31
	PL-08	2,36
	PL-09	2,36
CSU-03	PL-10	2,92
	PL-11	2,98
	PL-12	3,03
	PL-13	2,95
CSU-04	PL-14	3,00
	PL-15	2,33
	PL-16	2,36
	PL-17	2,34
	PL-18	2,33
CSU-05	PL-19	2,33
	PL-20	1,94
	PL-21	1,94
	PL-22	1,93
CSU-06	PL-23	1,97
	PL-24	1,78
	PL-25	1,78
	PL-26	1,76
	PL-27	1,77
CSU-07	PL-28	1,22
	PL-29	1,22
	PL-30	1,24
CSU-08	PL-31	1,20
	PL-32	1,33
	PL-33	1,31
	PL-34	1,32
CSU-09	PL-35	1,33
	PL-36	1,62
	PL-37	1,63
	PL-38	1,61
	PL-39	1,63

CSU-10	PL-40	1,70
	PL-41	1,70
	PL-42	1,67
	PL-43	1,70
CSU-11	PL-44	1,86
	PL-45	1,85
	PL-46	1,84
	PL-47	1,86
CSU-12	PL-48	4,03
	PL-49	4,00
	PL-50	3,98
	PL-51	4,00
CSU-13	PL-52	3,00
	PL-53	3,00
	PL-54	2,98
	PL-55	2,95
CSU-14	PL-56	1,96
	PL-57	1,93
	PL-58	1,94
	PL-59	1,94
CSU-15	PL-60	1,99
	PL-61	1,98
	PL-62	1,99
	PL-63	1,97
CSU-16	PL-64	1,56
	PL-65	1,58
	PL-66	1,56
	PL-67	1,56
CSU-17	PL-68	2,98
	PL-69	3,00
	PL-70	3,02
	PL-71	3,00
CSU-18	PL-72	0,39
	PL-73	0,39
	PL-74	9,42
	PL-75	1,17
CSU-19	PL-76	1,93
	PL-77	1,92
	PL-78	1,94
	PL-79	1,94
CSU-20	PL-80	1,53
	PL-81	1,53
	PL-82	1,51
	PL-83	1,54

CSU-21	PL-84	2,44
	PL-85	2,45
	PL-86	2,42
	PL-87	2,45
CSU-22	PL-88	2,23
	PL-89	2,19
	PL-90	2,23
	PL-91	2,22
CSU-23	PL-92	4,00
	PL-93	4,05
	PL-94	4,00
	PL-95	3,98
CSU-24	PL-96	2,13
	PL-97	2,13
	PL-98	2,11
	PL-99	2,13
CSU-25	PL-100	0,00
	PL-101	0,00
	PL-102	0,00
	PL-103	0,00
CSU-26	PL-104	0,00
	PL-105	0,00
	PL-106	0,00
	PL-107	0,00
CSU-27	PL-108	0,00
	PL-109	0,00
	PL-110	0,00
	PL-111	0,00
CSU-28	PL-112	0,00
	PL-113	0,00
	PL-114	0,00
	PL-115	0,00
CSU-29	PL-116	0,00
	PL-117	0,00
	PL-118	0,00
	PL-119	0,00
CSU-30	PL-120	0,00
	PL-121	0,00
	PL-122	0,00
	PL-123	0,00

Fuente. Elaboración propia.

5.4. Resultados de la concentración de plomo en muestras de suelos después del proceso de fitoextracción

En la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos de los 30 maceteros al culminar el proceso de fitoextracción. Se aprecia que las 24 muestras de suelos con pasivos ambientales mineros presentan resultados que varían entre 507,85 y 3338,87 mg/Kg. Asimismo, podemos indicar que los porcentajes de remoción varían entre 0,02 y 3,22 %.

Tabla 16

Resultados de concentración de plomo en muestras de suelos después del proceso de fitoextracción

Codificación de maceteros	Concentración final de plomo (mg/Kg)	Porcentaje de remoción (%)	Estándar de calidad ambiental para suelo industrial (mg/Kg)
Muestras enviadas al laboratorio para análisis			
CSU-01	2103,26	0,42	
CSU-02	2554,48	0,15	
CSU-03	2879,94	0,04	
CSU-04	2421,80	0,20	
CSU-05	1892,04	0,61	
CSU-06	1746,80	0,66	
CSU-07	507,85	3,22	
CSU-08	938,78	1,37	
CSU-09	1627,91	0,59	
CSU-10	1544,98	0,65	
CSU-11	1443,51	0,641	
CSU-12	3338,87	0,02	
CSU-13	2989,97	0,07	800
CSU-14	2097,57	0,38	
CSU-15	2099,91	0,42	
CSU-16	1673,02	0,58	
CSU-17	3025,06	0,04	
CSU-18	2434,18	0,14	
CSU-19	2042,49	0,37	
CSU-20	1736,15	0,54	
CSU-21	2645,10	0,14	
CSU-22	2491,59	0,15	
CSU-23	3079,48	0,04	
CSU-24	2381,52	0,16	
Muestras de control que no fueron enviadas al laboratorio			
CSU-25	0,0	0,0	800

CSU-26	0,0	0,0
CSU-27	0,0	0,0
CSU-28	0,0	0,0
CSU-29	0,0	0,0
CSU-30	0,0	0,0

Fuente. Elaboración propia.

En la figura 29 se presenta gráficamente los resultados de la variación de la concentración de plomo en los 30 maceteros antes y después del proceso de fitoextracción.

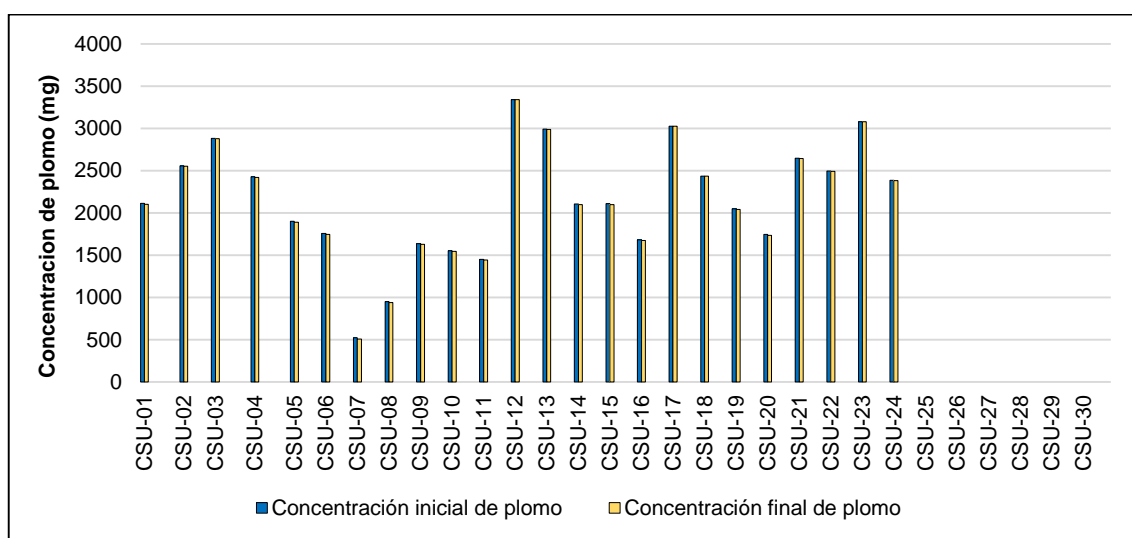


Figura 29. Resultados de concentración de plomo en maceteros antes y después.

Fuente. Elaboración propia.

5.5. Resultados de análisis estadístico

5.5.1. Hipótesis específica 1

Para el análisis estadístico se emplearon los resultados de las 123 muestras correspondientes a la concentración de plomo en las hojas y raíces de la especie *Medicago sativa* L. Asimismo, se realizó el cálculo de variables tales como medias aritméticas de grupos muestrales, sumatorias de cuadrados, grados de libertad y tamaño de muestra. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 17*Resultados de variables de la hipótesis específica 1*

Prueba	Grupo 1 (Hojas)		Grupo 2 (Raíces)	
	X ₁	X ₁ ²	X ₂	X ₂ ²
1	8,36	69,96	4,31	18,57
2	8,35	69,67	4,40	19,38
3	8,45	71,41	4,34	18,83
4	8,34	69,49	4,37	19,11
5	8,43	71,05	4,27	18,19
6	10,73	115,12	4,62	21,35
7	10,72	114,97	4,64	21,52
8	10,76	115,77	4,57	20,86
9	10,80	116,62	4,58	21,02
10	2,15	4,61	0,73	0,54
11	2,16	4,66	0,72	0,52
12	2,16	4,68	0,71	0,51
13	2,16	4,65	0,73	0,53
14	2,16	4,68	0,72	0,52
15	10,19	103,84	4,37	19,09
16	10,23	104,64	4,34	18,86
17	10,19	103,84	4,35	18,89
18	10,22	104,35	4,38	19,17
19	10,21	104,17	4,37	19,13
20	9,42	88,79	4,85	23,56
21	9,43	88,98	4,86	23,61
22	9,39	88,17	4,86	23,61
23	9,49	90,13	4,83	23,29
24	9,00	81,06	5,06	25,65
25	9,01	81,25	5,07	25,71
26	8,96	80,21	5,08	25,82
27	9,02	81,32	5,09	25,96
28	3,46	11,99	2,83	8,03
29	3,48	12,09	2,84	8,09
30	3,46	11,99	2,79	7,77
31	3,48	12,12	2,91	8,46
32	5,43	29,44	4,09	16,75
33	5,42	29,35	4,12	16,98
34	5,39	29,10	4,09	16,70
35	5,46	29,79	4,12	16,95
36	9,12	83,23	5,62	31,53
37	9,15	83,70	5,61	31,44
38	9,07	82,31	5,63	31,72
39	9,17	84,07	5,62	31,58
40	8,82	77,75	5,18	26,82

41	8,83	77,95	5,19	26,89
42	8,74	76,39	5,22	27,27
43	8,85	78,31	5,20	27,01
44	8,50	72,23	4,58	20,94
45	8,50	72,21	4,60	21,12
46	8,45	71,41	4,60	21,19
47	8,53	72,79	4,59	21,11
48	1,34	1,79	0,33	0,11
49	1,34	1,79	0,33	0,11
50	1,33	1,78	0,34	0,11
51	1,34	1,79	0,33	0,11
52	5,83	34,04	1,94	3,78
53	5,84	34,08	1,95	3,79
54	5,82	33,86	1,95	3,80
55	5,82	33,89	1,97	3,89
56	9,06	82,08	4,63	21,40
57	9,03	81,49	4,67	21,82
58	9,02	81,29	4,64	21,57
59	9,06	82,02	4,67	21,77
60	9,11	83,08	4,59	21,08
61	9,11	82,99	4,61	21,25
62	9,11	83,03	4,57	20,88
63	9,11	83,02	4,63	21,45
64	9,24	85,35	5,91	34,89
65	9,28	86,11	5,88	34,61
66	9,23	85,24	5,91	34,91
67	9,27	85,92	5,93	35,12
68	2,27	5,14	0,76	0,58
69	2,27	5,16	0,76	0,57
70	2,27	5,15	0,75	0,57
71	2,27	5,17	0,76	0,57
72	1,71	2,91	4,39	19,25
73	1,71	2,92	4,39	19,28
74	6,83	46,70	0,73	0,53
75	3,42	11,70	2,93	8,59
76	9,46	89,44	4,89	23,95
77	9,45	89,34	4,91	24,14
78	9,45	89,38	4,87	23,72
79	9,50	90,20	4,89	23,94
80	8,45	71,38	5,52	30,43
81	8,46	71,55	5,52	30,50
82	8,39	70,37	5,55	30,76
83	8,49	72,08	5,52	30,47
84	9,39	88,16	3,85	14,85

85	9,41	88,55	3,84	14,77
86	9,36	87,66	3,86	14,91
87	9,42	88,79	3,85	14,81
88	9,47	89,68	4,25	18,10
89	9,44	89,05	4,30	18,48
90	9,46	89,41	4,25	18,05
91	9,48	89,82	4,28	18,30
92	2,46	6,07	0,62	0,38
93	2,47	6,11	0,61	0,37
94	2,46	6,06	0,62	0,38
95	2,47	6,08	0,62	0,38
96	9,73	94,71	4,58	20,97
97	9,74	94,87	4,58	21,01
98	9,69	93,85	4,60	21,17
99	9,75	95,15	4,59	21,07
100	0,00	0,00	0,00	0,00
101	0,00	0,00	0,00	0,00
102	0,00	0,00	0,00	0,00
103	0,00	0,00	0,00	0,00
104	0,00	0,00	0,00	0,00
105	0,00	0,00	0,00	0,00
106	0,00	0,00	0,00	0,00
107	0,00	0,00	0,00	0,00
108	0,00	0,00	0,00	0,00
109	0,00	0,00	0,00	0,00
110	0,00	0,00	0,00	0,00
111	0,00	0,00	0,00	0,00
112	0,00	0,00	0,00	0,00
113	0,00	0,00	0,00	0,00
114	0,00	0,00	0,00	0,00
115	0,00	0,00	0,00	0,00
116	0,00	0,00	0,00	0,00
117	0,00	0,00	0,00	0,00
118	0,00	0,00	0,00	0,00
119	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00
121	0,00	0,00	0,00	0,00
122	0,00	0,00	0,00	0,00
123	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	718,68	6123,60	374,88	1704,45
\bar{X}	5,84	49,79	3,05	13,86
SS	-	1924,38	-	561,88
GL			244	

Fuente. Elaboración propia.

Con las variables obtenidas de la tabla 17 se realizó el cálculo de T con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{SS_1 + SS_2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$T = \frac{(5,84 - 3,05)}{\sqrt{\frac{1924,38 + 561,88}{(123 - 1) + (123 - 1)} \times \left(\frac{1}{123} + \frac{1}{123}\right)}}$$

T = 6,86

Finalmente, se realizó el cálculo de *p*-value empleando la tabla de distribución t. Se obtuvo un valor de *p*-value de $2,7 \times 10^{-11}$, es decir, se aprobó la hipótesis alternativa, puesto que el valor de aceptación de la misma está condicionada si el valor de *p*-value ($2,7 \times 10^{-11}$) es menor a *p* teórico (0,05).

Finalmente, afirmamos que, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% las concentraciones de plomo en la zona aérea de la planta son mayor a las concentraciones de plomo en la zona radicular.

5.5.2. Hipótesis específica 2

Para la comprobación de la hipótesis específica 2 se aplicó la técnica estadística T de student, considerando un nivel de confianza del 95%, 122 grados de libertad, margen de error del 5%, z_1 teórico de -1,658, y, realizar la prueba unilateral izquierda. En la siguiente tabla se presenta el cálculo de las variables tales como desviación estándar, promedios aritméticos y t calculada o Z_2 .

Tabla 18
Resultados de la hipótesis específica 2

Prueba	Factor de traslocación (Xi)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	1,94	0,14	0,02
2	1,90	0,09	0,01
3	1,95	0,15	0,02
4	1,91	0,11	0,01
5	1,98	0,17	0,03
6	2,32	0,52	0,27
7	2,31	0,51	0,26

8	2,36	0,55	0,31
9	2,36	0,55	0,31
10	2,92	1,12	1,25
11	2,98	1,18	1,40
12	3,03	1,23	1,52
13	2,95	1,15	1,33
14	3,00	1,20	1,44
15	2,33	0,53	0,28
16	2,36	0,55	0,31
17	2,34	0,54	0,29
18	2,33	0,53	0,28
19	2,33	0,53	0,28
20	1,94	0,14	0,02
21	1,94	0,14	0,02
22	1,93	0,13	0,02
23	1,97	0,17	0,03
24	1,78	-0,02	0,00
25	1,78	-0,02	0,00
26	1,76	-0,04	0,00
27	1,77	-0,03	0,00
28	1,22	-0,58	0,34
29	1,22	-0,58	0,34
30	1,24	-0,56	0,31
31	1,20	-0,60	0,37
32	1,33	-0,48	0,23
33	1,31	-0,49	0,24
34	1,32	-0,48	0,23
35	1,33	-0,48	0,23
36	1,62	-0,18	0,03
37	1,63	-0,17	0,03
38	1,61	-0,19	0,04
39	1,63	-0,17	0,03
40	1,70	-0,10	0,01
41	1,70	-0,10	0,01
42	1,67	-0,13	0,02
43	1,70	-0,10	0,01
44	1,86	0,06	0,00
45	1,85	0,05	0,00
46	1,84	0,03	0,00
47	1,86	0,06	0,00
48	4,03	2,22	4,95
49	4,00	2,20	4,83
50	3,98	2,17	4,73
51	4,00	2,20	4,83

52	3,00	1,20	1,44
53	3,00	1,20	1,44
54	2,98	1,18	1,40
55	2,95	1,15	1,33
56	1,96	0,16	0,02
57	1,93	0,13	0,02
58	1,94	0,14	0,02
59	1,94	0,14	0,02
60	1,99	0,18	0,03
61	1,98	0,17	0,03
62	1,99	0,19	0,04
63	1,97	0,17	0,03
64	1,56	-0,24	0,06
65	1,58	-0,22	0,05
66	1,56	-0,24	0,06
67	1,56	-0,24	0,06
68	2,98	1,18	1,40
69	3,00	1,20	1,44
70	3,02	1,21	1,48
71	3,00	1,20	1,44
72	0,39	-1,41	2,00
73	0,39	-1,41	2,00
74	9,42	7,62	58,09
75	1,17	-0,63	0,40
76	1,93	0,13	0,02
77	1,92	0,12	0,02
78	1,94	0,14	0,02
79	1,94	0,14	0,02
80	1,53	-0,27	0,07
81	1,53	-0,27	0,07
82	1,51	-0,29	0,08
83	1,54	-0,26	0,07
84	2,44	0,64	0,40
85	2,45	0,65	0,42
86	2,42	0,62	0,39
87	2,45	0,65	0,42
88	2,23	0,42	0,18
89	2,19	0,39	0,15
90	2,23	0,42	0,18
91	2,22	0,41	0,17
92	4,00	2,20	4,83
93	4,05	2,25	5,06
94	4,00	2,20	4,83
95	3,98	2,17	4,73

96	2,13	0,32	0,10
97	2,13	0,32	0,10
98	2,11	0,30	0,09
99	2,13	0,32	0,10
100	0,00	-1,80	3,24
101	0,00	-1,80	3,24
102	0,00	-1,80	3,24
103	0,00	-1,80	3,24
104	0,00	-1,80	3,24
105	0,00	-1,80	3,24
106	0,00	-1,80	3,24
107	0,00	-1,80	3,24
108	0,00	-1,80	3,24
109	0,00	-1,80	3,24
110	0,00	-1,80	3,24
111	0,00	-1,80	3,24
112	0,00	-1,80	3,24
113	0,00	-1,80	3,24
114	0,00	-1,80	3,24
115	0,00	-1,80	3,24
116	0,00	-1,80	3,24
117	0,00	-1,80	3,24
118	0,00	-1,80	3,24
119	0,00	-1,80	3,24
120	0,00	-1,80	3,24
121	0,00	-1,80	3,24
122	0,00	-1,80	3,24
123	0,00	-1,80	3,24
Σ	221,57	0,00	206,17
\bar{X}		1,80	
S		1,30	
T calculado (z₂)		6,84	

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 18, la t calculada o z₂ fue de 6,84, es decir, el resultado se encuentra dentro de la zona de aceptación de la hipótesis nula por ser mayor que el valor de t teórico o z₁. En la siguiente figura se representa el criterio de aceptación de la hipótesis específica 2.

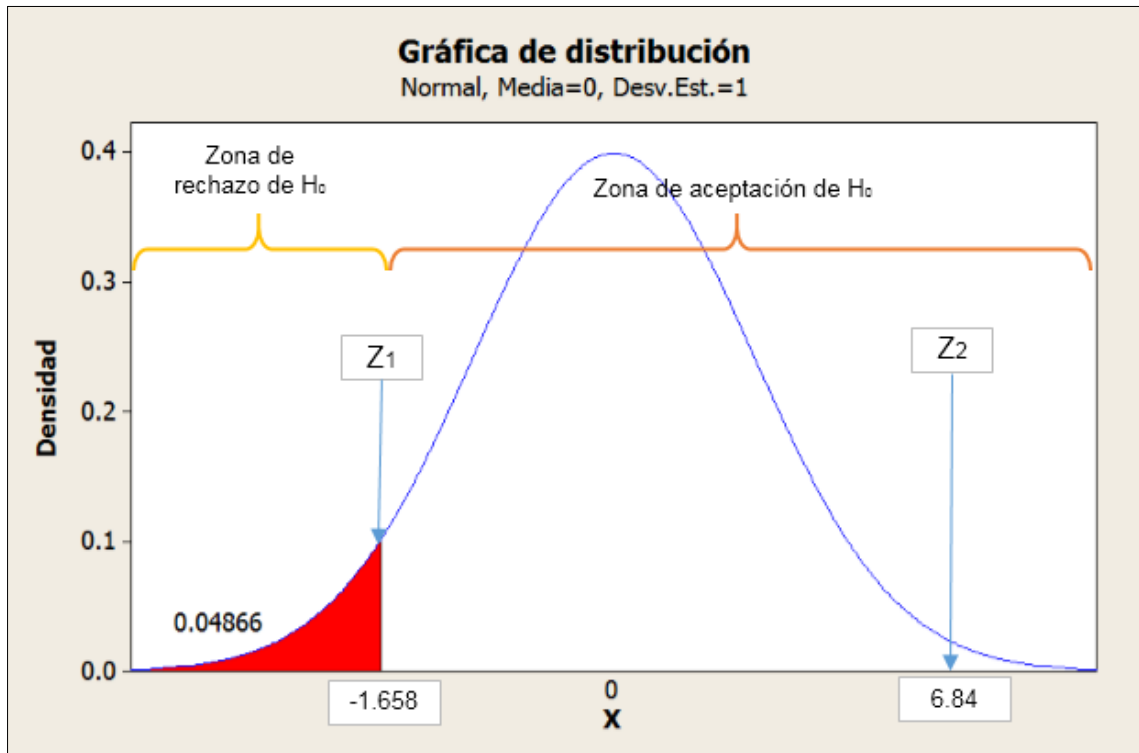


Figura 30. Grafica de criterio de aceptación de hipótesis nula – hipótesis específica 2.

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, afirmamos que, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% la especie *Medicago sativa* L. presenta un alto potencial fitoextractor.

5.5.3. Hipótesis específica 3

Para la comprobación de la hipótesis específica 3 se aplicó la técnica estadística T de student, considerando un nivel de confianza del 95%, 23 grados de libertad, margen de error del 5%, z_1 teórico de 1,71, y, realizar la prueba unilateral derecha. En la siguiente tabla se muestra el cálculo de las variables tales como desviación estándar, promedios aritméticos y t calculada o z_2 .

Tabla 19*Resultados de la hipótesis específica 3*

Prueba	Factor de traslocación (X_i)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	2.103,26	2.575,65	2.575,65
2	2.554,48	16.0375,55	160.375,55
3	2.879,94	526.973,16	526.973,16
4	2.421,80	71.711,04	71.711,04
5	1.892,04	68.628,72	68.628,72
6	1.746,80	165.820,66	165.820,66
7	507,85	2.709.845,49	2.709.845,49
8	938,78	1.476.785,98	1.476.785,98
9	1.627,91	276.782,09	276.782,09
10	1.544,98	370.918,56	370.918,56
11	1.443,51	504.811,43	504.811,43
12	3.338,87	1.403.891,24	1.403.891,24
13	2.989,97	698.827,73	698.827,73
14	2.097,57	3.185,57	3.185,57
15	2.099,91	2.926,90	2.926,90
16	1.673,02	231.352,18	231.352,18
17	3.025,06	758.726,65	758.726,65
18	2.434,18	78.494,76	78.494,76
19	2.042,49	12.436,90	12.436,90
20	1.736,15	174.607,68	174.607,68
21	2.645,10	241.168,57	241.168,57
22	2.491,59	113.959,69	113.959,69
23	3.079,48	856.493,18	856.493,18
24	2.381,52	51.760,42	51.760,42
Σ	51.696,26	10.963.059,79	10.963.059,79
\bar{X}		2.154,01	
S		690,40	
T calculado (z_2)		9,41	

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 19, la t calculada o z_2 fue de 9,41, es decir, el resultado se encuentra dentro de la zona de rechazo de la hipótesis nula por ser mayor que el valor de t teórico o z_1 . En la siguiente figura se representa el criterio de rechazo de la hipótesis específica 3.

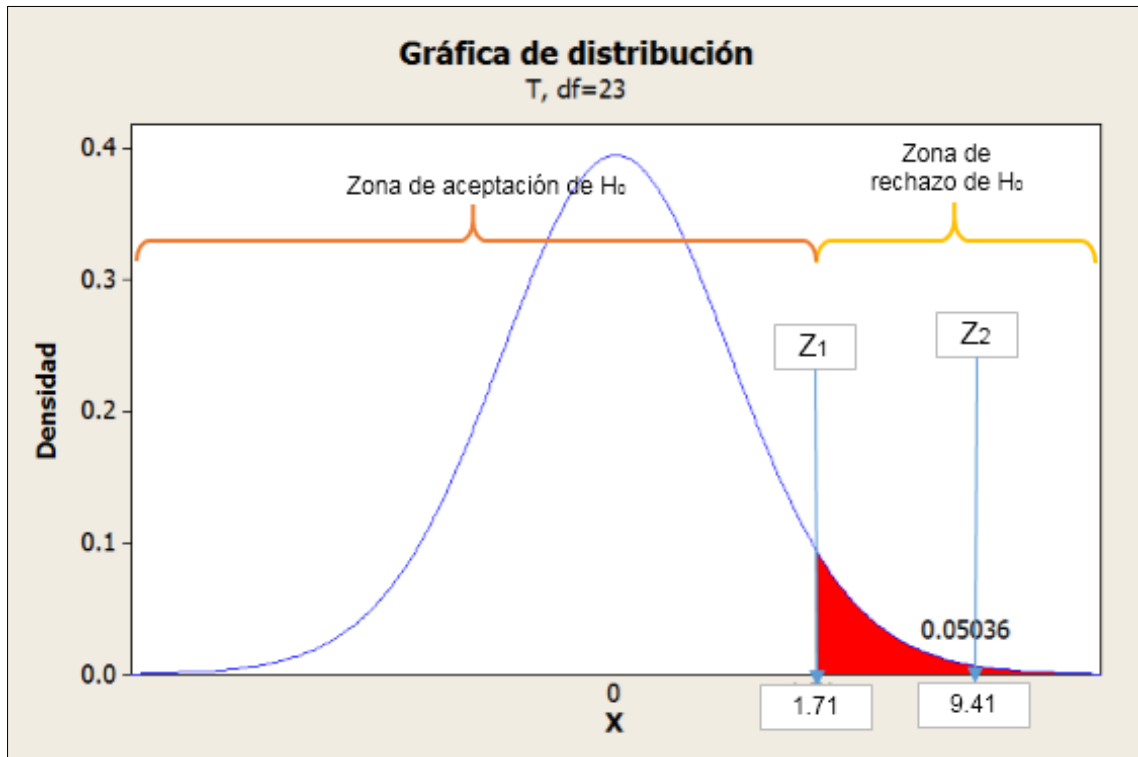


Figura 31. Gráfica de criterio de rechazo de hipótesis nula – hipótesis específica 3.

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, afirmamos que, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% la concentración de plomo en las muestras de suelo al terminar el proceso de fitoextracción es mayor al ECA para suelo extractivo.

5.5.4. Hipótesis general

Para la demostración de la hipótesis general se aplicó la técnica estadística Correlación de Pearson. Para ello se empleó los resultados iniciales de plomo de las 24 muestras de suelo de pasivos ambientales mineros y las 6 muestras de control que contienen suelo sin plomo, y, los resultados de factor de traslocación calculado por especie analizada en laboratorio de *Medicago sativa* L.

Posteriormente, se construyó el gráfico de dispersión de datos.

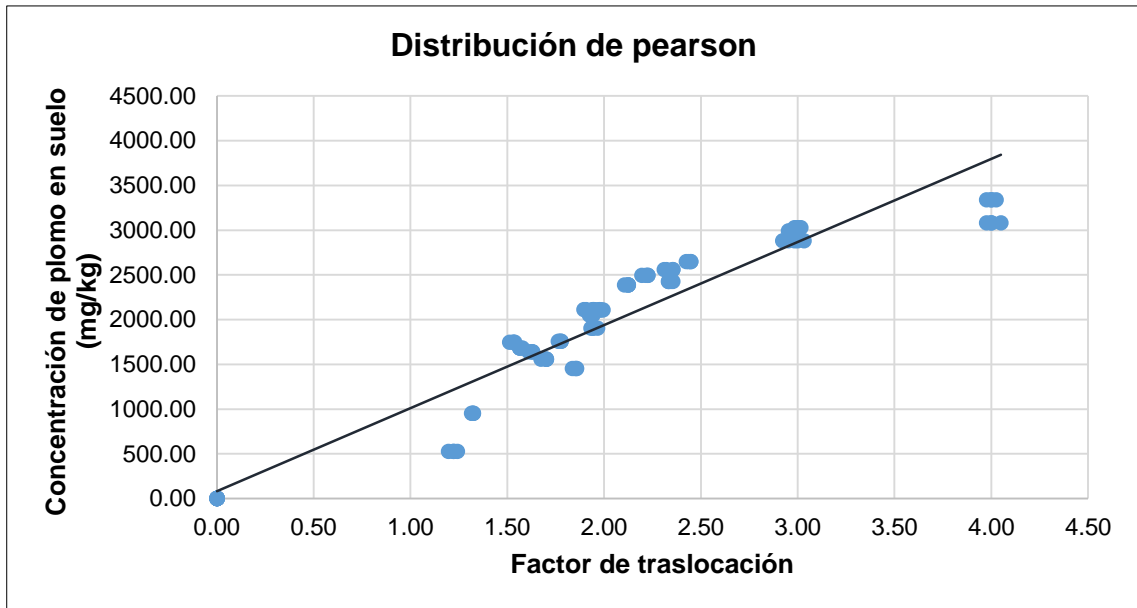


Figura 32. Dispersión de datos – correlación de Pearson.

Fuente. Elaboración propia.

Luego, se realizó el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson ($r_{x,y}$) para determinar la relación entre las variables “factor de traslocación” y “concentración de plomo en el suelo” como se muestra a continuación.

$$r_{x,y} = \frac{n \times \sum xy - \sum x \times \sum y}{\sqrt{(n \times \sum x^2 - (\sum x)^2) \times (n \times \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

$$r_{x,y} = \frac{119 \times 495.605,10 - 210,20 \times 205.110,45}{\sqrt{(119 \times 514.84 - (210,20)^2) \times (119 \times 486.444.865,09 - (205.110,45)^2)}}$$

$$r_{x,y} = 0,97$$

El coeficiente de relación de Pearson fue de 0,97, es decir, la relación entre las variables estudiadas tienen una correlación positiva muy fuerte, aproximándose a una correlación positiva perfecta, lo cual indica que la hipótesis alternativa se aprueba.

Finalmente, afirmamos que, con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, la capacidad fitoextractora de la especie *Medicago sativa* L. aumenta a medida que la concentración de plomo en las muestras de suelo es mayor.

CAPÍTULO VI :

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se discuten los resultados obtenidos de la investigación.

Se pudo apreciar que, el análisis de las 24 muestras de suelo enviadas al laboratorio para su análisis de plomo obtuvo resultados esperados de acuerdo a la investigación histórica y técnica del pasivo ambiental minero del distrito de Coayllo. Por consiguiente, se obtuvieron concentraciones que superaron el estándar de calidad ambiental para suelo en el parámetro plomo. Las concentraciones muestran valores que oscilan entre 951,87 mg/Kg y 3.339,57 mg/Kg. No obstante, es preciso indicar que una muestra (CSU-07) obtuvo resultados de concentración de plomo de 524,74 mg/Kg, lo cual indica que está por debajo del estándar de calidad ambiental para suelo en el parámetro plomo (800 mg/Kg). Esta situación se presenta, debido a que el proceso de homogenización y partición de las muestras tomadas en campo presentan concentraciones variables en toda su extensión, es decir, siempre habrá zonas donde la contaminación por plomo sea mayor y en otras menor. Por lo cual se reafirma que el pasivo ambiental minero del distrito de Coayllo inventariado por el Ministerio de Energía y Minas corresponde a la clasificación de residuo minero, puesto que hay una alta concentración de plomo y posiblemente de otros metales pesados.

Por otro lado, podemos apreciar que las muestras de *Medicago sativa* L. lograron almacenar una gran cantidad de plomo en su área foliar a comparación del área radicular. Esto se presenta debido a que, la biodisponibilidad del plomo presente en el suelo fue alto, contando con un pH ácido. Estas situaciones propiciaron que la absorción por parte de la alfalfa en su fisiología sea óptima en relación a la alta concentración del medio donde se desarrollaron. No obstante, es preciso indicar que en algunas muestras la concentración de plomo en la zona radicular fue mayor a la de la zona aérea. Esta situación se pudo dar debido a la alta biodisponibilidad del plomo en la maceta donde creció, propiciando que en un inicio se activaran los mecanismos de fitoextracción, transportando el plomo hasta su zona aérea y que posterior a ello, la planta inicie sus mecanismos de bloqueo, inhibiendo el paso de contaminantes a su fisiología y reteniéndolos en su zona radicular evitando mayores consecuencias en su desarrollo por la toxicidad (Sánchez, 2015).

Respecto al factor de traslocación de las muestras de *Medicago sativa* L., podemos indicar que presenta un alto factor de traslocación, lo que indica, una alta capacidad fitoextractora de la planta para retener la concentración de plomo en su fisiología (raíz, tallo y hoja) siendo mayor en la zona aérea de la planta. Se conoce que la distribución de los metales pesados en las plantas tiene un carácter selectivo, usualmente en la secuencia de raíz, tallo, hojas, frutos y semillas (Giraldez, 2019, p.52). Por otro lado, es preciso indicar que se dieron pocos casos en los cuales el factor de traslocación fue menor a 1. Díez (2008), encontró valores muy bajos de factor de traslocación en evaluaciones con *Zea mays*. Estos estudios indican que hay especies de plantas que toleran las concentraciones elevadas de metales en el suelo porque restringen su absorción, es decir poseen un $FT < 1$. Por otro lado, algunos elementos pueden tener efectos sinérgicos o antagónicos que influyen tanto en su absorción como en su translocación. Los efectos conjuntos son complejos y dependen entre otros factores de las concentraciones y de la disponibilidad de los elementos en el suelo, así como de propiedades de las raíces, por lo que requieren un estudio específico que se encuentra fuera de los alcances de este trabajo.

Finalmente, al culminar el proceso de fitoextracción, se obtuvieron resultados de concentraciones de plomo igual de altas que en la fase inicial del experimento, es decir, se encontró que la concentración de plomo superaba el estándar de calidad ambiental del suelo para plomo. Si bien es cierto que, en el experimento se esperaba que las muestras de *Medicago sativa* L. generasen un área foliar grande en relación a la concentración de plomo, esta situación no se dio. No obstante, para paliar la concentración de plomo en un mayor porcentaje se debe sembrar mayor cantidad de especies en el área de estudio para generar mayor biomasa aérea y disminuir mayor concentración de plomo (Giraldez, 2019; Bonilla, 2013).

CAPÍTULO VII : CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación se concluye que:

1. La variación de la capacidad fitoextractora en las muestras de *Medicago sativa* L. oscilan entre 0 y 3 unidades. Esta variación sigue un patrón de crecimiento a razón de 1/1.000 (1 unidad de factor de traslocación cada vez que la concentración de plomo aumenta en 1.000 mg/Kg) teniendo un crecimiento típico hasta alcanzar los 3.000 mg/Kg de plomo en el suelo, posterior a ello el factor de traslocación se mantienen relativamente constante debido a que se activan mecanismos de exclusión en la planta. Usualmente se presentan variaciones de 0,01; 0,02; 0,0; 0,04 y 0,05 entre cada muestra, no obstante todas poseen un alto potencial fitoextractor debido a que el factor de traslocación de cada uno de estos es mayor a la unidad.
2. Luego del proceso de fitoextracción, la concentración de plomo almacenada en las hojas y raíces de las muestras de *Medicago sativa* L. oscilan entre 0,33 mg/Kg y 10,80 mg/Kg. Lo cual indica el alto potencial fitoextractor de esta especie.
3. El factor de traslocación en las muestras de *Medicago sativa* L. se encuentran por encima del 100% ($FT = \frac{\text{Concentración zona aérea}}{\text{Concentración en la zona radicular}}$), indicando la alta capacidad fitoextractora de la especie debido a su capacidad para almacenar mayor concentración de plomo en su zona aérea en relación con su zona radicular.

4. El porcentaje de remoción de plomo en las macetas al finalizar el proceso de fitoextracción es mínimo en relación a la concentración inicial de los mismos. Encontrándose valores mínimos y máximos de remoción del 0,02% y 3,22% respectivamente. Esta situación está relacionada directamente a la poca biomasa aérea generada por las muestras estudiadas y, a la falta de acondicionamiento de otros factores que intervienen en su óptimo desarrollo.

CAPÍTULO VIII : RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se desarrollan las recomendaciones de la investigación, las cuales son:

1. Realizar estudios longitudinales que evalúen la curva de crecimiento del factor de traslocación en *Medicago sativa* L. a fin de establecer el punto de inflexión de la misma. Esto permitirá saber cuál es la concentración máxima de plomo a la cual puede estar expuesta sin activar mecanismos de exclusión, evitando de esta forma que el factor de traslocación sea menor a 1.
2. Emplear la especie *Medicago sativa* L. para la remediación de suelos contaminados con plomo y donde se den las condiciones geoclimáticas para su óptimo desarrollo.
3. Estudiar los efectos de las interacciones entre planta-bacteria, que pueden afectar la absorción de metales pesados y su traslocación a la parte aérea de la planta.
4. Para futuras investigaciones se recomienda controlar otros factores determinantes en el crecimiento de *Medicago sativa* L., tales como el porcentaje de materia orgánica y el potencial hidrógeno. Esto permitirá tener factores de traslocación más altos y mayor eficiencia en la remoción de plomo en el medio donde son cultivados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, L., Macías, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de investigación*, 5-60.
- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils* (2da ed.). New York: Springer Science & Business Media.
- Almazán, S., García Segura, P., Hernández Cruz, E., Boreiko, C., Wilson, B., Álvarez Martínez, L., . . . Rodríguez Morales, E. (2006). *Manual para el Manejo Ambientalmente Responsable del Plomo*. México.
- Azadpour A, Matthews J. (1996). Remediation of metal-contaminated sites using plants. *Remediation* 6, 1–18.
- Baca Neglia, M. F. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona*. Tesis Doctoral: Universidad del Callao.
- Baker, A., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, pp.81-83.
- Bautista, F. (2000). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Benavides M, Gallego SM, Tormaro M. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17, 21–34.
- Bernald, C. y Boshell, L. (2014). Remedición de suelos contaminados con plomo (II) por fitotecnologías correctivas - *Medicago sativa* L. (Alfalfa). Recuperado el 30 de 5 de 2019 del Centro de bioprospeccion e ingeniería química aplicada al estudio de biomoléculas:
<http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/767/3/COL0046961-2014-2-IQ.pdf>.

- Bernald Figueroa, A. A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, V(2), 245-258.
- Bonilla Valencia, S. (2013). *Estudio para tratamientos de Biorremediación de Suelos Contaminados con Plomo, utilizando el Método de Fitorremediación* (Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Campus Sur ed.). Quito, Ecuador.
- Bornemisza E., 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José , Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Monografía no. 25 p. 21-47.
- Burt, R., Wilson, M. A., Keck, T. J., Dougherty, B. D., Strom, D. E., & Lindahl, J. A. (2003). Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, 51-67. doi:10.1016/S1093-0191(02)00140-5.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and cuasiexperimental design for research*. Chicago: Rand McNally .
- Clemens S. (2006). Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* 88, 1707–19.
- Cobbett C. 2003. Heavy metals and plants – model systems and hyperaccumulators. *New Phytol.* 159, 289–293.
- Cobbett C, Goldsbrough P. (2002). Phytochelatins and metallothioneins: Roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53, 159–82.
- Conn S, Gilliham M. (2010). Comparative physiology of elemental distributions in plants. *Ann. Bot.* 105, 1081–102.
- Costa, J. (12 de 1 de 2014). *Ciencias Naturales*. Obtenido de El suelo : <https://jblamarck.wordpress.com/2014/01/12/el-suelo/>

- Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 35-46. doi:10.17163/lgr.n23.2016.04
- Cruz, M., & Guzmán, A. (2007). *La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales*. Universidad de Sevilla.
- Cuypers A, Plusquin M, Remans T, Jozefczak M, Keunen E, Gielen H, Opdenakker K, Nair AR, Munters E, Artois TJ, Nawrot T, Vangronsveld J, Smeets K. (2010). Cadmium stress: An oxidative challenge. *Biometals* 23, 927–940.
- DalCorso G, Manara A, Furini A. (2013). An overview of heavy metal challenge in plants: From roots to shoots. *Metallomics* 5, 1117–1132.
- DalCorso G, Farinati S, Maistri S, Furini A. (2008). How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression. *J. Integr. Plant Biol.* 50, 1268–80.
- Del Pilar Espinoza Laus, V. (2014). *Eficiencia de bioacumulación de plomo por *Spyrogira* sp. a escala de laboratorio en la universidad nacional agraria de la selva*. Tesis de Pregrado: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Delgadillo, A.; González, C.; Prieto, F.; Villagómez, J.; y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Diez Lázaro, F. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Universidad Santiago de Compostela.
- Dong J, Mao WH, Zhang GP, Wu FB, Cai Y. (2007). Root excretion and plant tolerance to cadmium toxicity – a review. *Plant Soil Environ.* 53, 193–200.
- EPA. (1996). *“Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils”, Revision 2.*

- Gallego SM, Pena LB, Barcia R, Azpilicueta CE, Iannone MF, Rosales EP, Zawoznik MS, Groppa MD, Benavides MP. (2012). Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environ. Exp. Bot.* 83, 33–46.
- Giraldez Solano, L. (2019). Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro, Perú. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Gonzales, J.; Del Pilar, M.; Bustamante, E. y Chomba, J. (2018). Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa “*Medicago sativa*”. Recuperado el 30 de 5 de 2019 de:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aD3yvDg9GfQJ:revista.uct.edu.pe/index.php/SCIENCE/article/download/31/18/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe>.
- Guitart, R., & Vernon G, T. (2005). *Revista española de Salud Pública.* 79(6).
- Hall JL. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.* 53, 1–11.
- Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S. J., Ding, W.X., 2003. New approach to studies of heavy metal redistribution in soil. *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 113-120.
- Hazrat, A., Ezzat, K., & Muhammad, A. (2013). Phytoremediation of heavy metal. Concepts and applications. *ELSERVIER*, pp.870-878.
- Huamachay Rodriguez, W. (18 de Mayo de 2013). *manuales de todo 2013*. Recuperado el 12 de 2 de 2016, de Cultivo de la Alfalfa: http://manualesdetodo2013.blogspot.pe/2013/05/cultivo-de-alfalfa_18.html
- Huang, C. P. (1999). *Environmental Soil Chemistry and Human Welfare*. Temuco. Chile.: Sociedad Chilena de la ciencia del suelo.

- Jara Peña, E., Gómez, J., Chanco, M., Montoya, H., Mariano, M., & Cano, N. (Octubre de 2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2): 145 - 154.
- doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Larrain, V. (2012). Minería en el Perú: Realidad y perspectivas. Lima: Larrain Vial Sociedad Agente de Bolsa S.A.
- León, G. (2016). Evaluación de la *Medicago sativa* L (alfalfa), *Cecropia peltata* L (guarumo) y *Arachis pintoi* W.C (maní forrajero) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río nambija, barrio Puente Azul, Cantón Zamora. Tesis de pre grado. Universidad Nacional de Loja.
- León, V. (2017). Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna S.A.C., en condiciones de invernadero, 2015-2016. Tesis de pre grado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Lombi, E., Zhao, F. J., Dunham S. J., & McGrath S. P. (2001). Phytoremediation of Heavy Metal–Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation versus Chemically Enhanced Phytoextraction. *Journals Environmental Quality*. 30:1919–1926
- Lomborg, B. (2013). *El Ecologista Escéptico* (13 ed.). Estados Unidos: Espasa.
- Lux A, Martinka M, Vaculík M, White PJ. (2011). Root responses to cadmium in the rhizosphere: A review. *J. Exp. Bot.* 62, 21–37.
- Maestri E, Marmioli M, Visioli G, Marmioli N. (2010). Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environ. Exp. Bot.* 68, 1–13.
- Maqueda, A. P. (2003). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tesis de Opción a Maestría en Biotecnología. Departamento de Química y Biología. Cholupa, Puebla, Mexico: Universidad de las Américas.

- Martín, C. W. (28 de Febrero de 2000). Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. *ELSEVIER*, 39(1), 53-68. doi:[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00080-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00080-6)
- Maycotte Morales, Carlos Cesar (2011). Edafología. Recuperado de: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>.
- McKean, S. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Centro internacional de agricultura tropical.
- McMahon, F., & Melhem, A. (2007). The Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies. Vancouver: The Fraser Institute.
- MMARP (Manual para el Manejo Ambiental Responsable del Plomo). 2006. [Enlínea]: Cámara Minera de México: (<http://www.ilmc.org/spanish/Manual%20para%20ei%20Manejo%20Ambientalmente%20Responsable%20dei%20Piomo.pdf>, documentos, 28 abr. 2013).
- Minera CRONOS S.A.C. (2008). *Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de Exploración "Uquira"*. Lima: Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). R.M. N° 224-2018-MEM/DM. *Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros*. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). R.M. N° 535-2016-MEM/DM. *Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros, aprobado mediante R.M. N° 290-2006-MEM/DM*. Perú.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2005). Ley N° 28271. *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. Perú.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2001). Ley N° 27506. *Ley del Canon*. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2001). Ley N° 28090. *Ley General de Plan de Cierre de Minas*. Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2013). D.S. N° 002-2013-MINAM. *Aprueban los estándares de calidad ambiental para suelo*. Perú

- Ministerio del Ambiente. (2014). D.S. N° 002-2014-MINAM. *Aprueban disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo*. Perú
- Ministerio del Ambiente. (2014). R.M. N° 085-2014-MINAM. *Aprobar la Guía para el Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos*. Perú
- Ministerio del Ambiente. (2017). D.S. N° 011-2017-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Perú
- Ministerio del Ambiente. (2017). D.S. N° 012-2017-MINAM. *Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados*. Perú
- Miralles, I. (2006). *Calidad de Suelos en Ambientes Calizos Mediterráneos: Parque Natural de Sierra María-Los Vélez*. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.
- Mittler R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Sci.* 11, 15–9.
- Mittler R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7, 405 – 410.
- Mithöfer A, Schulze B, Boland W. (2004). Biotic and heavy metal stress response in plants: Evidence for common signals. *FEBS Lett.* 566, 1–5.
- Nedelkoska, T., & Doran, P. M. (2000). Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potencial for phytoremediation and phytomining. *Minerals Enginer*, 13(5): 549-561
- Noctor G, Foyer CH. 1998. Ascorbate and glutathione: Keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 249–279.
- Ortega-Villasante C, Rellán-álvarez R, Del Campo F, Carpena-Ruiz R, Hernández L. (2005). Cellular damage induced by cadmium and mercury in *Medicago sativa*. *J. Exp. Bot.* 56, 2239–2251.
- Ortiz, H.; Trejo, R.; Valdez, R.; Arreola, J; Flores, A. y López B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite

(*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. Recuperado el 30 de 5 de 2019 de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n2/v15n2a9.pdf>.

Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de Recuperación de Suelos*. Fundación para el conocimiento madri+d.

Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V., & Toro, L. (2004). Sequential extraction of heavy metals in river sediments of an abandoned pyrite mining area: Pollution detection and affinity series. *Environmental pollution*, 132, 189-201.

doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.002>

Patra M, Sharma A. (2000). Mercury Toxicity in Plants. *Bot. Rev.* 66, 379-422.

Pastori GM, Foyer CH. 2002. Update on stress tolerance common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of “redox” and abscisic acid mediated controls. *Plant Physiol.* 129, 460–468.

Perdomo Gómez, R. (2008). *Comportamiento productivo de 65 genotipos de alfalfa (Medicago Sativa L.) en Chapingo, México*. Tesis de Pregrado: Universidad Autónoma de Chapingo.

Peixoto, E. (2018). Rizofiltración de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y Coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*), para Tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo, en San José de Pará (Huarochiri – Lima) 2018-1. Recuperado el 30 de 5 de 2019 de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18362/Peixoto_PEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Pineda, R. H. (2004). Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de *Glomus* Intradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. *Tesis Doctoral sin publicar*, Universidad de Colima.


Quiroz, A. (2013). *Historia de la corrupción del Perú*. Lima: IEP.

- Rahoui S, Chaoui A, El Ferjani E. (2010). Reserve mobilization disorder in germinating seeds of *Vicia Faba* L. exposed to cadmium. *J. Plant Nutr.* 33, 809–817.
- Sabreen S, Sugiyama S. (2008). Trade-off between cadmium tolerance and relative growth rate in 10 grass species. *Environ. Exp. Bot.* 63, 327–332.
- Sánchez García de la Torre, V. (2015). *Tolerancia al estrés por cadmio y mercurio en Medicago spp. Análisis de los mecanismos implicados y potencial aplicación en fitorremediación, España*. Tesis de doctorado: Universidad Autónoma del Perú.
- Sandalio LM, Dalurzo HC, Gomez M, Del Rio L. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp. Bot.* 52, 2115–2126.
- Sanita di Toppi L, Gabbrielli R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *Environ. Exp. Bot.* 41, 105–130.
- Sauquillo, A., Rigol, A., & Rauret, G. (2003). Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, 152-159. doi:[https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)00303-0](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)00303-0)
- Sarwar, N., Imran, M., Rashid Shaheen, M., Ishaq, W., Kamran, A., Matloob, A., . . . Hussain, S. (2016). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere*. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.12.116
- Sarwar N, Malhi SS, Zia H, Naeem A, Farid G, Zia MH, Bibi S. (2010). Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90, 925–937.
- Sierra Villagrana, R. (2006). *Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial* (Universidad Autónoma Agraria ed.). Buenavista, México.

- Solano Marín, A. M. (7 de Marzo de 2008). *Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc*. Tesis Doctoral: Universidad de Murcia.
- Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación de suelos contaminados*. México: Raúl Marcó del Pont Lalli.
- Yadav SK. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *S. Afr. J. Bot.* 76, 167–179.

ANEXOS

ANEXO 1: Cotización de GreenLab Perú S.A.C. para el análisis de plomo en muestras de suelo y plantas.


FMAR 002

COTIZACIÓN DE SERVICIO													
COTIZACIÓN N°:	COT-1910-01	Versión:	V0	Fecha de elaboración:	01/02/2017								
Somos un Laboratorio que brinda Servicios Ambientales de Monitoreo y Análisis en Matriz Aire, Emisiones, Aguas, Salud Ocupacional incluye plaqueo ambiental, superficies vivas e inertes, Suelos y Sedimentos, entre otros servicios ambientales que se coordinen. Estamos acreditados con NTP-ISO/IEC 17025:2006. Presentamos nuestra Cotización:													
INFORMACIÓN DEL CLIENTE													
Razón social: MONTES CHOQUEÑA JUAN DAVID													
Dirección: CAL.4 MZA. E LOTE. 51 A.H. REPUBLICA FEDERAL ALEMANA LIMA - LIMA - SAN JUAN DE MIRAFLORES													
Contacto: JUAN DAVID MONTES CHOQUEÑA					Teléfono/Celular: 980207896								
Factura a: JUAN DAVID MONTES CHOQUEÑA					R.U.C.: 10756874026								
Referencia/procedencia:					E-mail: juandavidmontes@outlook.com								
Detalles del servicio:													
Matriz	Ensayo	Metodología	L.C.M.	Unidad	N° de muestras	Servicios	Condición	Precio unitario (Soles)	Precio (Soles)				
Suelo	Metales	EPA 6010-B			48	Análisis	No acreditado	35	1680				
Planta	Metales	EPA 200.7			123	Análisis	No acreditado	60	7380				
								Total 1 (Soles):	9060				
Gastos operativos													
Descripción							Cantidad	Precio unitario (Soles)	Precio (Soles)				
								Total 2 (Soles):	0				
Gastos Administrativos													
Descripción							Cantidad	Precio unitario (Soles)	Precio (Soles)				
Gastos Administrativos							1	20	20				
								Total 3 (Soles):	20				
Observaciones o comentarios:													
Por favor indicar la cantidad de los insumos que necesitara (bolsas herméticas, coolers, cadenas de custodia para el análisis)													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Realizado por:</td> <td>Juan Ramirez Martínez</td> </tr> <tr> <td>Aprobado por:</td> <td>Walter Simon</td> </tr> </table>										Realizado por:	Juan Ramirez Martínez	Aprobado por:	Walter Simon
Realizado por:	Juan Ramirez Martínez												
Aprobado por:	Walter Simon												
								Total 1,2,3 SIN IGV (Soles):	9080				
								IGV (Soles):	18%				
								Total CON IGV (Soles):	10,710.40				

L.C.M.: Límite de cuantificación de Método
(*) Métodos subcontratados

Las condiciones del servicio están especificados en los anexos A (Adjunto)

Anexo A:**I. CONDICIONES DEL SERVICIO:**

1. Por razones ajenas a responsabilidad de GREEN LAB PERÚ S.A.C. que involucre :

- a). Días adicionales de medición,
- b). Postergación y/o cancelación,
- c). Ocurrencia de imprevistos,

Se informará al Cliente y se considerará en la Facturación Final los montos correspondientes por los gastos adicionales incurridos no contemplados en la presente.

2. Para la Recepción e Ingreso de las Muestras, el contratante debe presentar :

- a). Orden de Servicio, y
- b). Cadena de Custodia, con el adecuado registro de los respectivos Datos Requeridos.

3. Los resultados de los análisis serán reportados al cliente en un Informe preliminar para confirmación de Datos Administrativos, Vía Digital por e-mail a la persona solicitante y/o contacto que autorice. El tiempo de Reporte desde la recepción o ingreso de las muestras al Laboratorio es: Matriz Aire, Ruido, Agua es de 07 a 10 días útiles, para Suelos 10 días útiles, salvo alguna excepción la cual será oportunamente comunicada.

4. El cliente es responsable de ingresar tantas Muestras como Material solicitado y entregado: Envases o frascos, Cooler, Ice pack, etc.

Para material faltante de entrega/devolución pasado de hasta 15 días calendarios y según estado de devolución, será considerado en Facturación a los costos correspondientes. Consultar a Administración-Ventas.

5. No se aceptan devoluciones de materiales en mal estado o fuera de tiempo de preservación de: Filtros, Soluciones Absorbedoras.

6. La toma de muestras Dirimientes se realizará según aplique y previo solicitud específica del contratante o entidad solicitante.

El tiempo de custodia será de acuerdo a las características de la muestra, análisis y/o perecibilidad de la misma.

II. CONDICIONES DE PAGO:

1. Los precios unitarios no incluyen IGV. Todo pago en Dólares Americanos, se realizará con el tipo de cambio de acuerdo a lo establecido por la SUNAT, el día de emitida la factura.

2. Los precios corresponden al acuerdo previamente especificado, que puede incluir Muestreo o toma de muestra, Mediciones en campo, Transporte del personal, alimentación, alojamiento, seguridad de equipos en campo, Transporte de muestras, Análisis en el Laboratorio, entre otros Gastos Operativos. Ver ítem 1 Condiciones del Servicio.

3. Forma de pago: 50% de adelanto antes del servicio y 50% después del servicio.

El pago podrá realizarlo a través de:

BANCO CONTINENTAL al Número de cuenta en soles: 0011-0141-0100038649-98

BANCO DE LA NACIÓN (Cuenta de DETRACCIONES) Número de cuenta en soles: 00-012023502

a) Cheque a nombre de GREEN LAB PERÚ S.A.C.

b) Transferencia o Depósito a nuestras cuentas bancarias, adicionalmente de enviar el voucher de pago escaneado, indicando la Orden de Compra correspondiente, por e-mail a: w_simon@greenlabperu.com

III. ACEPTACIÓN DE LA COTIZACIÓN

1. Aceptada la cotización, le solicitamos su confirmación mediante comunicación afirmativa vía e-mail, para inicio de coordinaciones del servicio, a: w_simon@greenlabperu.com

2. Cotización Válida por 30 días Calendarios desde su emisión, excepto relación contractual.

Atentamente:

RONALD RAMIREZ MARTINEZ
GERENTE GENERAL

GREEN LAB PERÚ S.A.C.

ANEXO 2: Informes de ensayo del Laboratorio GreenLab Perú S.A.C. de análisis de concentración de plomo en muestras de suelo y plantas.



INFORME DE ENSAYO

N° (1902-10)

Nombre del Cliente : Juan David Montes Choqueña
Dirección : Mz. E, Lote 51, calle 4, República Federal Alemana, San Juan de Miraflores
Solicitado Por : Juan David Montes Choqueña
Referencia : OS
Proyecto : Muestreo de suelo antes del tratamiento
Procedencia : Coayllo - Cañete - Lima
Muestreo Realizado Por : GREENLAB PERU S.A.C.
Cantidad de Muestra : 24
Producto : Suelo
Procedimiento de Muestreo :
Plan de muestreo : PM
Fecha de Recepción : 04/03/2019
Fecha de Ensayo : Del 05/03/2019 al 19/03/2019
Fecha de Emisión : 20/03/2019

Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Perú S.A.C. Póngase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen al este informe.

Informe Autorizado por

Karin Loayza O.
Jefe de Laboratorio

Walter Simón E.
Jefe de Calidad
C.I.P. N° 185715

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

GREENLAB PERÚ S.A.C., Calle Santa Angélica N° 285 Urb. Santa Luisa - Sam Martín de Porres - Lima.
Telf. 511-492 9497- Cel 948948266/993554361 E-mail: jramirez@greenlabperu.com

1 de 5

INFORME DE ENSAYO
N° (1902-10)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-1	1902-10-2	1902-10-3	1902-10-4
Descripción de la muestra	:	CSU-01	CSU-02	CSU-03	CSU-04
Fecha de muestreo	:	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
Hora de muestreo	:	07:00	07:05	07:15	07:20
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2112.23	2558.30	2881.01	2426.61

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-5	1902-10-6	1902-10-7	1902-10-8
Descripción de la muestra	:	CSU-05	CSU-06	CSU-07	CSU-08
Fecha de muestreo	:	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
Hora de muestreo	:	07:25	07:30	07:35	07:40
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1903.65	1758.48	524.74	951.87

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO

N° (1902-10)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-9	1902-10-10	1902-10-11	1902-10-12
Descripción de la muestra	:	CSU-09	CSU-10	CSU-11	CSU-12
Fecha de muestreo	:	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
Hora de muestreo	:	07:45	07:50	07:55	08:00
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808	E: 0353808	E: 0353808	E: 0353808
		N: 8606047	N: 8606047	N: 8606047	N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1637.58	1555.13	1452.82	3339.57

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-13	1902-10-14	1902-10-15	1902-10-16
Descripción de la muestra	:	CSU-13	CSU-14	CSU-15	CSU-16
Fecha de muestreo	:	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019	05/03/2019
Hora de muestreo	:	08:05	08:10	08:15	08:20
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808	E: 0353808	E: 0353808	E: 0353808
		N: 8606047	N: 8606047	N: 8606047	N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2991.94	2105.49	2108.67	1682.77

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1902-10)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-17	1902-10-18	1902-10-19	1902-10-20
Descripción de la muestra	:	CSU-17	CSU-18	CSU-19	CSU-20
Fecha de muestreo	:	19/02/2019	19/02/2019	19/02/2019	19/02/2019
Hora de muestreo	:	08:25	08:30	08:35	08:40
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	3026.14	2437.48	2050.13	1745.65

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1902-10-21	1902-10-22	1902-10-23	1902-10-24
Descripción de la muestra	:	CSU-21	CSU-22	CSU-23	CSU-24
Fecha de muestreo	:	19/02/2019	19/02/2019	19/02/2019	19/02/2019
Hora de muestreo	:	08:45	08:50	08:55	08:58
Fecha de Recepción	:	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019	19/03/2019
Hora de Recepción	:	16:00	16:00	16:00	16:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047	E: 0353808 N: 8606047

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2648.69	2495.39	3080.56	2385.23

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO

N° (1902-10)

MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TITULO
-Determinación de Plomo	EPA 200.7, Revised 4.4, May 1994.	Determinación de metales y elementos de rastreo en aguas y residuos por espectrometría de emisión plasma- atómica inactivamente acoplada.

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
- El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra y dependiendo del parámetro a ser analizado.

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán de acuerdo serán conservadas al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO

N° (1906-26)

Nombre del Cliente : Juan David Montes Choqueña
Dirección : Mz. E, Lote 51, calle 4, República Federal Alemana, San Juan de Miraflores
Solicitado Por : Juan David Montes Choqueña
Referencia : OS
Proyecto : Muestreo de plantas
Procedencia : San Juan de Miraflores - Lima - Lima
Muestreo Realizado Por : GREENLAB PERU S.A.C.
Cantidad de Muestra : 123
Producto : Tejido vegetal
Procedimiento de Muestreo :
Plan de muestreo : PM
Fecha de Recepción : 29/06/2019
Fecha de Ensayo : Del 14/06/2019 al 28/06/2019
Fecha de Emisión : 26/07/2019

Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Perú S.A.C. Póngase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen al este informe.

Informe Autorizado por

Karin Loayza O.
Jefe de Laboratorio

Walter Simón E.
Jefe de Calidad
C.I.P. N° 185715

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

GREENLAB PERÚ S.A.C., Calle Santa Angélica N° 285 Urb. Santa Luisa - San Martín de Porres - Lima.
Telf. 511-492 9497- Ccl 948948266/993554361 E-mail: jramirez@greenlabperu.com

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-1	1906-26-2	1906-26-3	1906-26-4
Descripción de la muestra	:	PL-01	PL-02	PL-03	PL-04
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	08:05	08:10	08:15	08:20
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.31	4.40	4.34	4.37
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	8.36	8.35	8.45	8.34

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-5	1906-26-6	1906-26-7	1906-26-8
Descripción de la muestra	:	PL-05	PL-06	PL-07	PL-08
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	08:25	08:30	08:35	08:40
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.27	4.62	4.64	4.57
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	8.43	10.73	10.72	10.76

(*): Raíz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-9	1906-26-10	1906-26-11	1906-26-12
Descripción de la muestra	:	PL-09	PL-10	PL-11	PL-12
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	08:45	08:50	08:55	09:00
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.58	0.73	0.72	0.71
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	10.80	2.15	2.16	2.16

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-13	1906-26-14	1906-26-15	1906-26-16
Descripción de la muestra	:	PL-13	PL-14	PL-15	PL-16
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:00	10:05	10:10	10:15
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	0.73	0.72	4.37	4.34
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2.16	2.16	10.19	10.23

(*): Raíz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)**

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-17	1906-26-18	1906-26-19	1906-26-20
Descripción de la muestra	:	PL-17	PL-18	PL-19	PL-20
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	09:25	09:30	09:35	09:40
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.35	4.38	4.37	4.85
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	10.19	10.22	10.21	9.42

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-21	1906-26-22	1906-26-23	1906-26-24
Descripción de la muestra	:	PL-21	PL-22	PL-23	PL-24
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	09:45	09:50	09:55	10:00
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.86	4.86	4.83	5.06
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.43	9.39	9.49	9.00

(*): Raiz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-25	1906-26-26	1906-26-27	1906-26-28
Descripción de la muestra	:	PL-25	PL-26	PL-27	PL-28
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:05	10:10	10:15	10:20
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.07	5.08	5.09	2.83
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.01	8.96	9.02	3.46

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-29	1906-26-30	1906-26-31	1906-26-32
Descripción de la muestra	:	PL-29	PL-30	PL-31	PL-32
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:25	10:30	10:35	10:40
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2.84	2.79	2.91	4.09
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	3.48	3.46	3.48	5.43

(*): Raiz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-33	1906-26-34	1906-26-35	1906-26-36
Descripción de la muestra	:	PL-33	PL-34	PL-35	PL-36
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:45	10:50	10:55	11:00
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.12	4.09	4.12	5.62
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.42	5.39	5.46	9.12

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-37	1906-26-38	1906-26-39	1906-26-40
Descripción de la muestra	:	PL-37	PL-38	PL-39	PL-40
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	11:05	11:10	11:15	11:20
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.61	5.63	5.62	5.18
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.16	9.07	9.17	8.82

(*): Raiz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-41	1906-26-42	1906-26-43	1906-26-44
Descripción de la muestra	:	PL-41	PL-42	PL-43	PL-44
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	11:25	11:30	11:35	11:40
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.19	5.22	5.20	4.58
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	8.83	8.74	8.85	8.50

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-45	1906-26-46	1906-26-47	1906-26-48
Descripción de la muestra	:	PL-45	PL-46	PL-47	PL-48
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	11:45	11:50	11:55	12:00
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.60	4.60	4.59	0.33
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	8.50	8.45	8.53	1.34

(*): Raiz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-49	1906-26-50	1906-26-51	1906-26-52
Descripción de la muestra	:	PL-49	PL-50	PL-51	PL-52
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	12:05	12:10	12:15	12:20
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	0.33	0.34	0.33	1.94
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1.34	1.33	1.34	5.83

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-53	1906-26-54	1906-26-55	1906-26-56
Descripción de la muestra	:	PL-53	PL-54	PL-55	PL-56
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	12:25	12:30	12:35	12:40
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1.95	1.95	1.97	4.63
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.84	5.82	5.82	9.06

(*): Raíz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-57	1906-26-58	1906-26-59	1906-26-60
Descripción de la muestra	:	PL-57	PL-58	PL-59	PL-60
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	12:45	12:50	13:00	13:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.67	4.64	4.67	4.59
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.03	9.02	9.06	9.11

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-61	1906-26-62	1906-26-63	1906-26-64
Descripción de la muestra	:	PL-61	PL-62	PL-63	PL-64
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	13:10	13:15	13:20	13:25
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.61	4.57	4.63	5.91
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.11	9.11	9.11	9.24

(*): Raiz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-65	1906-26-66	1906-26-67	1906-26-68
Descripción de la muestra	:	PL-65	PL-66	PL-67	PL-68
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	13:30	13:35	13:40	13:45
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.88	5.91	5.93	0.76
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.28	9.23	9.27	2.27

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-69	1906-26-70	1906-26-71	1906-26-72
Descripción de la muestra	:	PL-69	PL-70	PL-71	PL-72
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	13:50	13:55	14:00	14:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	0.76	0.75	0.76	4.39
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2.27	2.27	2.27	1.71

(*): Raíz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-73	1906-26-74	1906-26-75	1906-26-76
Descripción de la muestra	:	PL-73	PL-74	PL-75	PL-76
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	14:10	14:15	14:20	14:25
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.39	0.73	2.93	4.89
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1.79	6.83	3.42	9.46

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-77	1906-26-78	1906-26-79	1906-26-80
Descripción de la muestra	:	PL-77	PL-78	PL-79	PL-80
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	14:30	14:35	14:40	14:45
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.91	4.87	4.89	5.52
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.45	9.45	9.50	8.45

(*): Raiz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de pericibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
Nº (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-81	1906-26-82	1906-26-83	1906-26-84
Descripción de la muestra	:	PL-81	PL-82	PL-83	PL-84
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	14:50	14:55	15:00	15:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	5.52	5.55	5.52	3.85
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	8.46	8.39	8.49	9.39

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-85	1906-26-86	1906-26-87	1906-26-88
Descripción de la muestra	:	PL-85	PL-86	PL-87	PL-88
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	15:05	15:10	15:20	15:25
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	3.84	3.86	3.85	4.25
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.41	9.36	9.42	9.47

(*): Raíz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-89	1906-26-90	1906-26-91	1906-26-92
Descripción de la muestra	:	PL-89	PL-90	PL-91	PL-92
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	15:30	15:35	15:40	15:45
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.30	4.25	4.28	0.62
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.44	9.46	9.48	2.46

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-93	1906-26-94	1906-26-95	1906-26-96
Descripción de la muestra	:	PL-93	PL-94	PL-95	PL-96
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	15:50	15:55	16:00	16:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	0.61	0.62	0.62	4.58
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2.47	2.46	2.47	9.73

(*): Raiz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-97	1906-26-98	1906-26-99	1906-26-100
Descripción de la muestra	:	PL-97	PL-98	PL-99	PL-100
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	16:10	16:15	16:20	16:25
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	4.58	4.60	4.59	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	9.74	9.69	9.75	<0.006

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-101	1906-26-102	1906-26-103	1906-26-104
Descripción de la muestra	:	PL-101	PL-102	PL-103	PL-104
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	16:30	16:35	16:40	16:45
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

(*): Raiz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-105	1906-26-106	1906-26-107	1906-26-108
Descripción de la muestra	:	PL-105	PL-106	PL-107	PL-108
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	16:50	16:55	17:00	17:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-109	1906-26-110	1906-26-111	1906-26-112
Descripción de la muestra	:	PL-109	PL-110	PL-111	PL-112
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	17:10	17:15	17:20	17:25
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

(*): Raíz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-113	1906-26-114	1906-26-115	1906-26-116
Descripción de la muestra	:	PL-113	PL-114	PL-115	PL-116
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	17:30	17:35	17:40	17:45
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-117	1906-26-118	1906-26-119	1906-26-120
Descripción de la muestra	:	PL-117	PL-118	PL-119	PL-120
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	17:50	17:55	18:00	18:05
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006

(*): Raíz

(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Limite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-26)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-26-121	1906-26-122	1906-26-123
Descripción de la muestra	:	PL-121	PL-122	PL-123
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	18:10	18:15	18:20
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo (*)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006
-Plomo (**)	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	<0.006	<0.006	<0.006

(*): Raíz
(**): Hoja

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método
NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO

0

MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
-Determinación de Plomo	EPA 200.7, Revised 4.4, May 1994.	Determinación de metales y elementos de rastreo

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia
- El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra y dependiendo

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán de acuerdo serán conservadas al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO

N° (1906-25)

Nombre del Cliente : Juan David Montes Choqueña
Dirección : Mz. E, Lote 51, calle 4, República Federal Alemana, San Juan de Miraflores
Solicitado Por : Juan David Montes Choqueña
Referencia : OS
Proyecto : Muestreo de suelo después del tratamiento
Procedencia : San Juan de Miraflores - Lima
Muestreo Realizado Por : GREENLAB PERU S.A.C.
Cantidad de Muestra : 24
Producto : Suelo
Procedimiento de Muestreo :
Plan de muestreo : PM
Fecha de Recepción : 29/06/2019
Fecha de Ensayo : Del 14/06/2019 al 28/06/2019
Fecha de Emisión : 26/07/2019

Gracias por utilizar los servicios de Greenlab Perú S.A.C. Póngase en contacto con el Ejecutivo de Ventas, si desea información adicional o cualquier aclaración que pertenecen al este informe.

Informe Autorizado por

Karin Loayza O.
Jefe de Laboratorio

Walter Simón E.
Jefe de Calidad
C.I.P. N° 185715

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

GREENLAB PERÚ S.A.C., Calle Santa Angélica N° 285 Urb. Santa Luisa - San Martín de Porres - Lima.
Telf. 511-492 9497- Ccl 948948266/993554361 E-mail: jramirez@greenlabperu.com

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-25)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-1	1906-25-2	1906-25-3	1906-25-4
Descripción de la muestra	:	CSU-01	CSU-02	CSU-03	CSU-04
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	09:00	09:05	09:10	09:15
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2103.26	2554.48	2879.94	2421.80

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-5	1906-25-6	1906-25-7	1906-25-8
Descripción de la muestra	:	CSU-05	CSU-06	CSU-07	CSU-08
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	09:20	09:25	09:30	09:35
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1892.04	1746.80	507.85	938.78

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-25)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-9	1906-25-10	1906-25-11	1906-25-12
Descripción de la muestra	:	CSU-09	CSU-10	CSU-11	CSU-12
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	09:40	09:45	09:50	09:55
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	1627.91	1544.98	1443.51	3338.87

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-13	1906-25-14	1906-25-15	1906-25-16
Descripción de la muestra	:	CSU-13	CSU-14	CSU-15	CSU-16
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:00	10:05	10:10	10:15
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2989.97	2097.57	2099.91	1673.02

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

L.C.M. Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-25)

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-17	1906-25-18	1906-25-19	1906-25-20
Descripción de la muestra	:	CSU-17	CSU-18	CSU-19	CSU-20
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:20	10:25	10:30	10:35
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de Análisis	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	3025.06	2434.18	2042.49	1736.15

RESULTADOS DE ANALISIS

Código del Laboratorio	:	1906-25-21	1906-25-22	1906-25-23	1906-25-24
Descripción de la muestra	:	CSU-21	CSU-22	CSU-23	CSU-24
Fecha de muestreo	:	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019	13/06/2019
Hora de muestreo	:	10:40	10:45	10:50	10:55
Fecha de Recepción	:	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019	29/06/2019
Hora de Recepción	:	10:00	10:00	10:00	10:00
Coordenadas (WGS-84)	:	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652	E: 0285732 N: 8653652

Análisis	Unidades	Fecha de	L.C.M.	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
-Plomo	mg/Kg PS	14-28/06/2019	0.006	2645.10	2491.59	3079.48	2381.52

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
L.C.M Límite de cuantificación del Método

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado después de su recepción en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO
N° (1906-25)

MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TITULO
-Determinación de Plomo	EPA 200.7, Revised 4.4, May 1994.	Determinación de metales y elementos de rastreo en aguas y residuos por espectrometría de emisión plasma- atómica inactivamente acoplada.

- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.
- El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde la toma de la muestra y dependiendo del parámetro a ser analizado.

NOTA:

Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de GREENLAB PERÚ S.A.C. Las muestras serán de acuerdo serán conservadas al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios después de la recepción de la muestra en el laboratorio. Resultados validos para la muestra referida en el presente informe. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ANEXO 3: Certificado de acreditación de GreenLab Perú S.A.C. otorgado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL).

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, OTORGA el presente Certificado de Acreditación a:

GREENLAB PERÚ S.A.C.

Laboratorio de Ensayo
Calle Santa Angélica Nro.285, Urbanización Santa Luisa, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma
NTP- ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 04 de mayo de 2019
Fecha de Vencimiento: 03 de mayo de 2022


ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0296-2019-INACAL/DA
Contrato N° : 012-2019/INACAL-DA
Registro N° : LE-132

Fecha de emisión: 15 de mayo de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y estado de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/da/acreditacion/categorias/medidas al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral OQLA del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02