

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA ESPECIE

***Helianthus annuus* L. (GIRASOL) EN SUELOS CONTAMINADOS**

POR PLOMO (Pb) Y CROMO (Cr) EN AMBIENTE CONTROLADO

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTION AMBIENTAL

Presentada por:

MARLENY ELIZABETH PEREYRA RODRÍGUEZ

Asesora:

Dra. CONSUELO PLASENCIA ALVARADO

Cajamarca, Perú

2025



**Universidad
Nacional de
Cajamarca**
"Norte de la Universidad Peruana"



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Marleny Elizabeth Pereyra Rodriguez
DNI: 45950222
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Gestión ambiental.
2. Asesora: Dra. Consuelo Plasencia Alvarado
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☐ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☒ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
CAPACIDAD FITORREMIEDIADORA DE LA ESPECIE *Helianthus annuus* L. (GIRASOL) EN SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO (Pb) Y CROMO (Cr) EN AMBIENTE CONTROLADO
6. Fecha de evaluación: **30/01/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **18%**
9. Código Documento: **3117:551232211**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **30/01/2026**

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 Dra. Consuelo Plasencia Alvarado DNI: 26717688

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 BY
MARLENY ELIZABETH PEREYRA RODRIGUEZ
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERÚ



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 17:00 horas, del día 20 de mayo del dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el, **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dr. NILTON EDUARDO DEZA ARROYO**, **Dr. AUGUSTO HUGO MOSQUEIRA ESTRAYER**, y en calidad de Asesora la **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada "**CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA ESPECIE *Helianthus annuus* L., (GIRASOL) EN SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO (Pb) y CROMO (Cr) EN AMBIENTE CONTROLADO**". presentada por la **Bachiller en Ciencias Ambientales MARLENY ELIZABETH PEREYRA RODRÍGUEZ**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de Diecisiete (17) la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Ciencias Ambientales, MARLENY ELIZABETH PEREYRA RODRÍGUEZ**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS** Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las 18:40 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Asesora


.....
Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador


.....
Dr. Nilton Eduardo Deza Arroyo
Jurado Evaluador


.....
Dr. Augusto Hugo Mosqueira Estrayer
Jurado Evaluador

A:

Dios, por darme la vida y permitirme cumplir con una meta profesional.

Con infinita gratitud y amor a mi esposo, Ivan. Quien, en días insurgentes, ha sido mi ancla, y en los momentos agradables, mi razón de sonrisas. La presente tesis se teje en hebras de tu amor y apoyo, un reflejo de la seguridad que me brindas.

A mis amadas hijas Valentina y Meghan, cada día que paso a su lado es un regalo que atesoro en mi corazón, gracias por ser mi motivo e inspiración en el logro de mis metas, sin duda todo lo que hago es pensando en ustedes.

A mis queridos padres Wilder y Marvila. Quienes a lo largo de su vida me han inculcado la cultura del trabajo y estudio.

A mi hermana Elena, quien siempre me ha motivado a seguir adelante en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente; a la Dra. Consuelo Plasencia Alvarado, su dirección académica llena de sabiduría y estímulo, ha sido un pilar fundamental para esta investigación. Gracias por su confianza en mi capacidad y su ayuda oportuna.

Epígrafe

Cuida tus pensamientos, porque se convertirán en tus palabras. Cuida tus palabras, porque se convertirán en tus actos. Cuida tus actos, porque se convertirán en tus hábitos. Cuida tus hábitos, porque se convertirán en tu destino.

Mahatma Gandhi

ÍNDICE

<i>Ítem</i>	<i>Pág.</i>
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. El suelo.....	10
Efectos adversos de los metales pesados en las plantas.....	16
Comportamiento de los metales en el sistema suelo – planta	17
Remediación de suelos contaminados.....	18
1.1.1. Fases de la fitorremediación.....	22
1.1.2. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.....	23
1.1.3. Normativa legal	27
1.2. Definición de términos básicos.....	30

CAPITULO III.....	32
MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1. Ubicación del área de estudio.....	32
3.2. Diseño de la investigación	33
3.3. Materiales y equipos.....	34
3.3.1. Metodología de Investigación	36
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
CAPÍTULO V.....	64
CONCLUSIONES	64
CAPÍTULO VI	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulaciones de Cromo y Plomo (Pb) que conformaron los tratamientos.....	37
Tabla 2. Resultados del Cromo en sustrato contaminado durante el periodo de experimentación.....	41
Tabla 3. Resultados del Plomo (Pb) en sustrato contaminado durante el periodo de experimentación.....	42
Tabla 4. Resultados de la concentración de Cromo y Plomo (Pb) en los órganos de la planta de girasol	43
Tabla 5. Porcentaje de remoción del Cromo por <i>Helianthus annuus L.</i>	44
Tabla 6. Análisis de varianza para la remoción de Cromo por el <i>Helianthus annuus L.</i>	46
Tabla 7. Prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de Cromo por <i>Helianthus annuus L.</i>	47
Tabla 8. Porcentaje de remoción del Cromo por <i>Helianthus annuus L.</i>	49
Tabla 9. Análisis de varianza para la remoción de Plomo (Pb) por el <i>Helianthus annuus L.</i>	52
Tabla 10. Prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de Plomo (Pb) por <i>Helianthus annuus L.</i>	53
Tabla 11. Distribución y acumulación de Cromo y Plomo (Pb) en <i>Helianthus annuus L.</i> (girasol).	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La dinámica de los contaminantes en el suelo.....	13
Figura 2. Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta.	18
Figura 3. Procesos subyacentes a la fitorremediación.	22
Figura 4. Ubicación de las instalaciones del vivero de Venecia perteneciente a la Municipalidad Provincial de Cajamarca	33
Figura 5. Siembra del <i>Helianthus annuus L.</i> en las composteras del vivero Venecia	37
Figura 6. Variación del Cromo en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con <i>Helianthus annuus L.</i> (girasol) durante un periodo de 120 días.	55
Figura 7. Variación del Plomo (Pb) en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con <i>Helianthus annuus L.</i> (girasol) durante un periodo de 120 días.	57

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
DIGESA:	Dirección General de Salud
EPA:	Agencia de Protección Ambiental
MINAM:	Ministerio del Ambiente
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
ECA:	Estándar de calidad ambiental

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado, en la ciudad de Cajamarca. El diseño experimental fue instalado en vivero empleado fue el Diseño de Bloques Completamente al Azar DBCA, con tres tratamientos que fueron sales de nitrato de Cr y Pb en concentraciones de T1 (50%) 250 mL de Cromo (Cr) + 250 mL de Plomo (Pb); T2 (35%) 175 mL de Cromo (Cr) + 175 mL de Plomo (Pb) y T3 (15%) 75 mL de Cromo (Cr) + 75 mL de Plomo (Pb). Los tratamientos se aplicaron al sustrato de las composteras las que estuvieron diseñadas de 0,50 m x 1,50 m, en cada una se cultivaron 5 plantas de girasol, de las que se evaluaron tres. Se muestrearon las concentraciones de Cromo y Plomo en el sustrato en el día cero, a los 30,60 y 120 días, y al final se determinó acumulaciones de metales en raíces, tallos y hojas. Los resultados mostraron significativa ($p < 0,0001$) estadística respecto a las concentraciones de Cromo y Plomo en el sustrato, el tratamiento que fue mayormente removido fue el T2 (62,05 % de Cromo y 64,43 % de Plomo), mientras que del T1(22,37 % de Cromo y 30,53 % de Plomo) se removió en menor proporción. En las raíces se presentó la mayor acumulación de metales, con 98,89 % del Cromo (29,29 mg/kg) y 98,01% del Plomo (244,58 mg/kg). Los resultados conllevaron aceptar la hipótesis de la investigación indicando que *Helianthus annuus L.* presenta capacidad para fitorremediar suelos contaminados con Plomo y Cromo, cuya eficiencia está asociada a la acumulación de metales en raíces limitando su traslocación en partes aéreas.

Palabras clave: Cromo (Cr), Plomo (Pb), remoción, *Helianthus annuus L.*

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the phytoremediation capacity of *Helianthus annuus L.* in soils contaminated with lead (Pb) and chromium (Cr) in a controlled environment in the city of Cajamarca. The experimental design, a Randomized Complete Block Design (RCBD), was set up in a nursery and included three treatments: chromium (Cr) and lead (Pb) nitrate salts at the following concentrations: T1 (50%): 250 mL of chromium (Cr) + 250 mL of lead (Pb); T2 (35%): 175 mL of chromium (Cr) + 175 mL of lead (Pb); and T3 (15%): 75 mL of chromium (Cr) + 75 mL of lead (Pb). The treatments were applied to the substrate of compost bins measuring 0.50 m x 1.50 m. Five sunflower plants were cultivated in each bin, and three of these were evaluated. Chromium and lead concentrations were sampled in the substrate on day zero, and at 30, 60, and 120 days. At the end of the study, metal accumulations were determined in roots, stems, and leaves. The results showed a statistically significant difference ($p < 0.0001$) in chromium and lead concentrations in the substrate. Treatment T2 showed the greatest metal removal (62.05% chromium and 64.43% lead), while T1 showed the least removal (22.37% chromium and 30.53% lead). The greatest metal accumulation was observed in the roots, with 98.89% of the chromium (29.29 mg/kg) and 98.01% of the lead (244.58 mg/kg). The results led to the acceptance of the research hypothesis indicating that *Helianthus annuus L.* has the capacity to phytoremediate soils contaminated with lead and chromium, whose efficiency is associated with the accumulation of metals in roots limiting their translocation in aerial parts.

Keywords: Chromium, lead, removal, *Helianthus annuus L.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú, al igual que en todo el mundo, las actividades antropogénicas representan la principal fuente de contaminación del suelo, actividades como la explotación, exploración, refinación, distribución, transporte y comercialización de hidrocarburos generan derrames de estas sustancias, lo que conlleva a problemas graves de contaminación en el suelo con Plomo (Pb) y Cromo (Cr), contaminación que altera las propiedades químicas y biológicas del suelo y reduce drásticamente su posibilidad de uso (Marrero et al., 2012; Jiménez, 2017).

El problema de contaminación ambiental por hidrocarburos demanda la aplicación de medidas de gestión ambiental efectivas y de bajo costo. La fitorremediación es una técnica que utiliza plantas hiperacumuladoras, ciertas especies vegetales que tienen un sistema radicular vigoroso, de rápido desarrollo y capaces de tolerar y absorber minerales y sustancias ajenas a la composición regular del suelo (Steliga y Kluk, 2020). Esta técnica permite mitigar los impactos negativos del Plomo (Pb) y el Cromo (Cr), facilitando y acelerando la restauración de las propiedades químicas, biológicas y su posibilidad de uso (Litoclean, 2022; Magán et al., 2022).

En la presente investigación se planteó el siguiente problema ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados por Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado?, y como preguntas específicas se ¿Cómo influye *Helianthus annuus L.* en la variación de la concentración de Cromo y Plomo (Pb) en el suelo durante el período de 120 días? y ¿Cómo varía la capacidad de absorción y translocación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* entre raíces, tallos y hojas. Para responder a tales interrogantes se formuló los siguientes objetivo general: Determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados por

Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado, y los efectos de *Helianthus annuus L.* en la determinación de la variación de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en el suelo durante un período de 120 días y evaluar la capacidad de absorción de Cromo y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* entre raíces, tallos y hojas. Como Hipótesis se plantearon los siguiente: *Helianthus annuus L.* presenta una capacidad significativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado, *Helianthus annuus L.* influye significativamente en la variación de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) del suelo en un periodo de 120 días y La capacidad de absorción y translocación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* es diferente en raíces, tallos y hojas.

La investigación se llevó a cabo en el vivero de Venecia, ubicado en el distrito y provincia de Cajamarca, a una altitud de 2750 msnm. Este lugar se caracteriza por un clima seco, templado y soleado durante el día, con temperaturas frías por la noche, una humedad del 79 %, precipitaciones anuales promedio de 700 mm y una temperatura media anual oscila entre 6°C y 21°C. El estudio se diseñó con cuatro tratamientos (T₁, T₂, T₃ y T₄), cada uno con tres repeticiones. Cada tratamiento, excepto el control (T_c), incluyó suelo contaminado en diferentes proporciones. El tratamiento T₁ consistió en un 50 % de suelo contaminado y un 50% de suelo agrícola, el T₂ en un 35 % de suelo contaminado y un 65 % de suelo agrícola, y el T₃ en un 15 % de suelo contaminado y un 85 % de suelo agrícola. La metodología empleada tiene como objetivo evaluar la eficacia de *Helianthus annuus L.* en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en un ambiente controlado.

El capítulo II aborda los antecedentes del tema de investigación, ofreciendo un contexto a través de estudios previos, también proporciona las bases teóricas que sustentan y permiten comprender el fenómeno estudiado, junto con la definición de términos básicos para evitar confusiones y garantizar una comprensión clara de conceptos complejos. El capítulo III

se centra en la descripción de los materiales utilizados en el entorno controlado, así como en el método de investigación empleado para alcanzar los objetivos establecidos. El capítulo IV presenta los resultados obtenidos del análisis en laboratorio del *Helianthus annuus L.* Finalmente, en el capítulo V se detallan las conclusiones derivadas de la interpretación de los resultados, destacando la información relevante para la remoción de metales pesados presentes en el petróleo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Munive (2019) realizó la siguiente investigación titulada *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación, 2018, que se realizó en Perú*. El trabajo tuvo el propósito de la recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de *Stevia rebaudiana* y fitorremediación, analizando la capacidad de fitorremediación del girasol y el maíz, para acumular cadmio y Plomo (Pb) en los suelos agrícolas del valle del Mantaro. El estudio experimental se realizó en condiciones de laboratorio mediante un diseño experimental al azar de 6 tratamientos y 3 repeticiones, sembrando las plantas en un suelo contaminado por Plomo (Pb) a una concentración de Plomo (Pb) de 208,24 mg/kg. Las partes evaluadas en las plantas abarcaron las raíces, tallos, escapos de flores y el suelo. Con respecto al análisis del girasol, llegó a la conclusión que el mayor índice de acumulación de Plomo (Pb) se dio en las raíces 75%, seguido de las hojas 15%, flores 6%, tallos 4% y el análisis de extracción de Plomo (Pb) del suelo llegó a una disminución promedio de 26,73 mg/kg.

Calderón y Zamudio (2020) realizaron un trabajo titulado *Fitoestabilización de Cromo hexavalente por Acacia melanoxylon; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados*, cuyo propósito evaluar el potencial de fitorremediación de *Acacia melanoxylon* en suelos contaminados con Cromo (Cr) en concentraciones que variaban entre 10 mg/kg y 500 mg/kg. La investigación se centra en determinar la capacidad de acumulación y translocación del metal en la planta, estableciendo

factores de bioconcentración (BCF) y translocación (TF). Los resultados indicaron que el Cromo (Cr) se acumuló principalmente en la raíz, con valores que oscilaron entre 45,81 mg/kg y 1859 mg/kg, mientras que el factor de bioconcentración en la raíz fue superior a 1, evidenciando su capacidad para retener Cromo (Cr) en la rizosfera. Por otro lado, el factor de translocación fue inferior a 1 para las concentraciones de Cromo (Cr) entre 10 mg/kg y 100 mg/kg, lo que indica una baja movilidad del metal hacia la parte aérea. Estos resultados determinaron que *A. melanoxylon* es una especie con potencial para la fitoestabilización de suelos contaminados con Cromo (Cr), reduciendo su biodisponibilidad sin riesgo de dispersión en el ecosistema.

Bendezu (2021) realizó una investigación titulada *Remoción de suelo contaminado con cadmio, mediante fitorremediación con Helianthus annuus L. y Medicago sativa* que se realizó en Perú. El propósito fue la remoción de suelo contaminado con cadmio, mediante fitorremediación con *Helianthus annuus L.* y *Medicago sativa*, evaluando la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* y *Medicago sativa* para remover cadmio del suelo. La investigación se realizó ex situ a una altura de 328 m.s.n.m., ubicado en el distrito de Santa Anita, en la provincia de Lima y departamento de Lima durante un periodo de 40 días, a través de 3 tratamientos con 3 repeticiones, donde el T2 fue para el girasol, siendo la primera repetición con 2 plantas, la segunda repetición con 4 plantas y la tercera repetición con 6 plantas de girasol; donde la concentración inicial de cadmio en el suelo fue de 1,58 mg/kg. El análisis del suelo para el T2 arrojó una concentración de 0,08; 0,04 y 0,00 mg/kg de cadmio. Finalmente, que el *Helianthus annuus L.* demuestra ser una planta eficaz en la fitorremediación de un suelo contaminado con cadmio; asimismo,

demonstró que mientras más numerosa sea la presencia de *Helianthus annuus L.* por área de terreno, se da una óptima fitorremediación del suelo contaminado.

De la Rosa y Soto (2022) realizaron una investigación titulada *Propuesta de mejora para el análisis de suelos remediados para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el Instituto de Educación Superior CETEMIN* realizada en Perú en la que abordaron una propuesta de mejora para el análisis de suelos remediados para demostrar la eficiencia de la fitorremediación con *Zea mays*, *Helianthus annuus L.* y *Medicago sativa*, analizando la capacidad de absorción de metales pesados como Plomo (Pb), cobre (Cu) y Zinc (Zn) mediante la siembra de tres especies vegetativas. La investigación experimental se llevó a cabo en un entorno de laboratorio, siguiendo un diseño experimental aleatorio de 5 tratamientos replicados en 4 ocasiones. Al final del experimento, el parámetro evaluado en los cultivos fue las hojas de los tallos; con respecto al análisis del girasol, en el T1 se dio la menor extracción de Plomo (Pb) con un 4,27%; por el contrario, en el T4 se dio la mayor extracción del Plomo (Pb) llegando al 19,32%. El análisis de los resultados lleva a la conclusión final que las concentraciones de contaminantes disminuyeron, demostrando que la fitorremediación realizada es eficiente en procesos recuperación de suelos contaminados con metales pesados.

Ramirez y Saurin (2022) realizaron una investigación cuyo título fue *Absorción de Plomo por girasol (Helianthus annuus L.) en suelo contaminado y remediado con quelante en la región San Martín 2022*. La investigación tuvo como propósito evaluar la absorción de Plomo (Pb) por *Helianthus annuus L.* en suelo contaminado y remediado con quelante en la región San Martín. La investigación fue de tipo aplicada y de nivel experimental, realizó 6 tratamientos con 2 repeticiones

cada uno, con una concentración de Plomo (Pb) en el suelo de 20,00 mg/kg. Las partes evaluadas en las plantas abarcaron el tallo y raíz del girasol. En el análisis del tallo, la cantidad de Plomo (Pb) extraído fue desde los 0,55 mg/kg (T3-R1) hasta 2,26 mg/kg (T6-R1), dándose una extracción de un 2,8% hasta 11,3% de Plomo (Pb) del suelo; en la raíz, la cantidad de Plomo (Pb) extraído varió desde los 0,56 mg/kg (T4-R2) hasta 4,71 mg/kg (T5-R2), dándose una extracción de 2,8% hasta 23,55% de Plomo (Pb) del suelo. El *Helianthus annuus L.* cumple su función de fitorremediación, resaltando que en la raíz se da una mejor extracción del contaminante.

Rodrigo (2022) realizó una investigación titulada *Capacidad fitorremediadora de la especie Helianthus annuus L. mediante la incorporación de enmiendas a suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo) de industrias metalmecánicas*, realizada en Perú, cuyo propósito fue evaluar la capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus L.* mediante la incorporación de enmiendas orgánicas (Guano de isla) en suelos contaminados con metales pesados provenientes de industrias metalmecánicas. El estudio experimental se llevó a cabo en condiciones controladas en el vivero de la Universidad Peruana Unión, empleando un diseño experimental de cuatro tratamientos con tres repeticiones, utilizando macetas con suelo contaminado en combinación con enmiendas. Se sembraron plantas de girasol y se evaluaron sus efectos en la variación del pH, conductividad eléctrica, crecimiento vegetal, biomasa acumulada y concentración final de Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en el suelo y en la materia seca vegetal. Los resultados indicaron que la aplicación de enmiendas en los tratamientos T3 y T4 favoreció la bioacumulación de Plomo (Pb) (75,54 ppm en T3 y 46,09 ppm en T4) y Cromo (Cr) (47,40 ppm en T3 y 79,5 ppm en

T4) en la planta. En términos generales, *H. annuus* logró una alta acumulación de metales en estos tratamientos, manteniendo una elevada tasa de supervivencia y desarrollo.

Turpo (2023) desarrolló la investigación titulada “*Fitorremediación de suelos contaminados por lixiviados de residuos sólidos mediante Helianthus annuus L.*”, la cual se llevó a cabo en la ciudad de Arequipa, Perú, en un ambiente controlado diseñado para evaluar la capacidad del girasol como agente descontaminante. El estudio tuvo como propósito analizar la eficacia de *Helianthus annuus* L. en la recuperación de suelos afectados por lixiviados provenientes de residuos sólidos, los cuales contenían metales pesados como Cadmio (Cd), Arsénico (As) y Plomo (Pb). Para ello, se implementó un diseño experimental compuesto por tres tratamientos, cada uno con diferentes niveles de exposición a los contaminantes previamente mencionados. Durante el proceso experimental, se evaluaron parámetros como la concentración inicial y final de los metales en el suelo, el crecimiento de la biomasa vegetal y la capacidad de acumulación del girasol en sus diferentes órganos. Los resultados evidenciaron que el Tratamiento 2 (T2) obtuvo la mayor eficiencia de remoción, alcanzando 26,1 % para el Cd, 21,2 % para el As y 16,2 % para el Pb, lo que confirma una capacidad diferencial de absorción según el tipo de metal. Asimismo, se observó que *Helianthus annuus* L. mostró un desarrollo adecuado incluso en condiciones de estrés por contaminación, manteniendo una biomasa favorable para los procesos de absorción y acumulación.

Ramos (2023), realizó la investigación titulada Fitorremediación de relaves mineros contaminados con plomo (Pb) utilizando *Helianthus annuus* L., la cual se realizó en Perú y se propuso analizar la fitorremediación de relaves mineros

contaminados con Plomo (Pb) utilizando *Helianthus annuus L.*, examinando la concentración de Plomo (Pb) el suelo antes y después del sometimiento al girasol. La investigación se realizó con un suelo contaminado por Plomo (Pb) a una concentración de 221,27 mg/kg, con 3 tratamientos y 4 testigos. Comparando la concentración de Plomo (Pb) antes y después de aplicar la fitorremediación en un lapso de 40 días, los porcentajes de remoción fueron T1 (77,57%), T2 (79,91%) y T3 (77,43%). Concluyendo que el *Helianthus annuus L.* disminuyó la concentración de Plomo (Pb) en el suelo, por lo que el método de fitorremediación es efectivo en suelos contaminados con Plomo (Pb).

Reyes (2023) realizó la investigación titulada Evaluación de la capacidad de fitorremediación de *Portulacaria afra* y *Cynodon dactylon* en suelos industriales contaminados con cromo hexavalente (Cr VI) desarrollada en México, propuso una estrategia biotecnológica para la remediación de suelos contaminados con Cromo hexavalente (Cr VI), un metal altamente tóxico. Se evaluó la capacidad de fitorremediación de *Portulacaria afra* y *Cynodon dactylon* en suelos industriales contaminados con $5782,06 \pm 258,3$ mg/kg de Cromo (Cr) total, durante un período de 192 días. Los resultados indicaron que ambas especies acumularon el Cromo (Cr) mayoritariamente en la raíz, con factores de bioconcentración de 0,87 para *P. afra* y 1,66 para *C. dactylon*. El factor de translocación fue mínimo en ambas especies (0,02 y 0,01, respectivamente), lo que indica que operan principalmente como fitoestabilizadoras, limitando la movilidad del metal en el ambiente. La máxima eficiencia de remoción de Cr VI se supervisa en *C. dactylon*, con un 98,41%, seguida de *P. afra* con 98,12%, lo que confirma el potencial de estas especies para la descontaminación de suelos altamente impactados por Cromo (Cr).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *El suelo*

Desde la perspectiva de esta investigación, el suelo se contempla como un elemento esencial en la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres. Para Jiménez (2017), el suelo representa un sistema complejo y dinámico que cubre la superficie terrestre, funcionando de manera análoga a la epidermis de la Tierra, caracterizado por ser un sistema abierto autoorganizativo, estructural y multifuncional, siendo uno de los recursos naturales más cruciales debido a sus diversas funciones, destacando su papel fundamental en la producción de alimentos y como soporte vital para la vida en el planeta.

- Composición del suelo. El desarrollo de las plantas en un suelo está condicionado por una combinación específica de minerales, materia orgánica, agua y aire. Es la composición del suelo la que determina su fertilidad, capacidad de retención de agua, drenaje y su aptitud para sustentar la vida vegetal y animal (Zapata y Angelone, 2019). Cuando estas condiciones no se cumplen o cuando hay presencia de minerales o sustancias extrañas a la composición natural del suelo, se produce una contaminación del suelo.
- Contaminación del suelo. Ocurre cuando se produce una alteración o modificación no deseada de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo resulta en un deterioro del medio ambiente, generando un cambio en la calidad del suelo, reduce sus posibilidades de uso. Es pertinente diferenciar entre la contaminación natural, que a menudo es de origen interno, y la contaminación de origen humano, que proviene de actividades externas (Jiménez, 2017). Dentro de este marco, para Roca (2019) es necesario dar

seguimiento a los procesos de contaminación del suelo con el fin de prevenir una degradación que pueda comprometer su funcionalidad, siendo fundamental el adoptar medidas efectivas de gestión ambiental para mitigar estos efectos.

Asimismo, Jiménez (2017) hace referencia a las consecuencias tanto directas como indirectas de la contaminación del suelo:

- Efectos directos de la contaminación en el suelo

La capacidad enzimática se ve reducida debido a la interrupción de los procesos normales de regeneración biológica, al sobrepasarse la capacidad de absorción del suelo.

Reducción tanto en calidad como en cantidad del crecimiento habitual de las comunidades de microorganismos y la vida animal presente en el suelo, o la perturbación de su variedad, incrementando la vulnerabilidad del ecosistema.

La reducción en la productividad agrícola.

Alteraciones en la estructura química de los alimentos producidos en suelos contaminados (Jiménez, 2017).

- Efectos indirectos de la contaminación en el suelo

Contaminación de las aguas superficiales como las freáticas, alcanzando niveles de concentración que exceden límites ambientales.

Alteración a largo plazo en la disponibilidad de elementos en los suelos debido a modificaciones en sus propiedades físico-químicas.

Disminución de la capacidad de fertilidad del suelo, reduciéndose la diversidad de flora y fauna presente del mismo.

Alteración de la composición del suelo debido a la disminución de su capacidad fertilizante (Jiménez, 2017).

- Vulnerabilidad del suelo. La susceptibilidad del suelo ante la presencia de sustancias contaminantes, como lo explica Jiménez (2017), hace referencia a la capacidad del suelo para responder a la presencia de elementos contaminantes, refiriéndose tanto la reacción del suelo ante la contaminación como su capacidad para resistir o mitigar los efectos de estas influencias externas. Teniendo en cuenta esto, la vulnerabilidad del suelo se entiende como su capacidad para mantener su integridad frente a la exposición a contaminantes, lo que tiene implicaciones importantes para la salud del ecosistema y la calidad del medio ambiente circundante (Jiménez, 2017).
- Poder de amortiguación del suelo. En palabras Jiménez (2017), el poder de amortiguación del suelo aborda las propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten al suelo actuar como un amortiguador natural frente a los contaminantes presentes en el medio ambiente, este fenómeno se logra gracias a una serie de funciones vitales, como la filtración, descomposición, neutralización, inactivación y almacenamiento de sustancias nocivas, entre otras. Es decir, el suelo actúa como un escudo protector contra los impactos dañinos de los contaminantes, ofreciendo múltiples mecanismos para mitigar su efecto en el ambiente.
- Dinámica de contaminantes del suelo. Cuando se aborda la dinámica de contaminantes del suelo, se enfatiza la relevancia de este componente en los

ecosistemas y su potencial impacto, como lo señala Roca (2019), el suelo se manifiesta como un fenómeno complejo, donde este se convierte en un receptáculo de diversas sustancias potencialmente dañinas, teniendo un rol de punto de intersección entre la biosfera, la litosfera, la hidrosfera, y la atmósfera lo posiciona como un punto de paso para los contaminantes, pudiendo permanecer inmovilizados durante largos períodos o dispersarse rápidamente hacia otros medios ambientales y, eventualmente, ingresar a las cadenas alimenticias, lo que plantea serios riesgos ambientales.

Según Roca (2019), en la Figura 1, representa gráficamente la evolución de los contaminantes en el medio edáfico, ofreciendo una perspectiva clara y concisa de cómo interactúan y se distribuyen en el suelo a lo largo del tiempo.

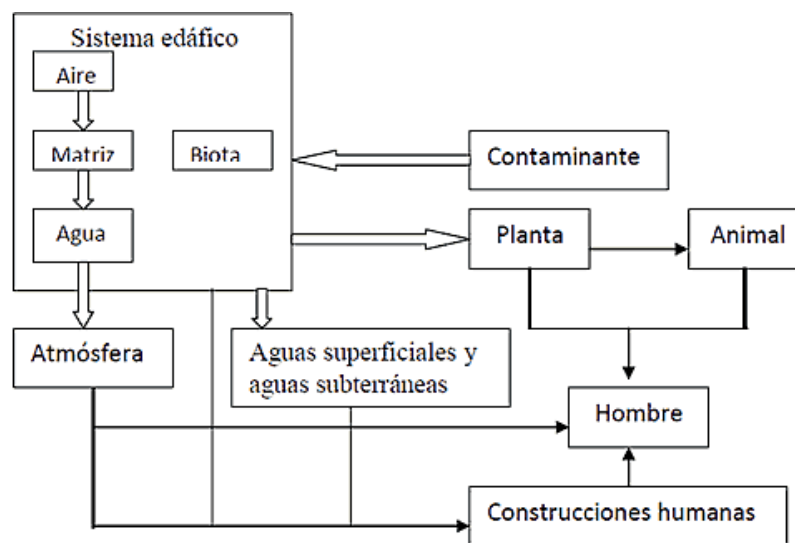


Figura 1. La dinámica de los contaminantes en el suelo.

- Especiación de los contaminantes en el suelo, para Roca (2019), los contaminantes se diluyen más o menos rápidamente en los ríos o en el aire, sin embargo, en los suelos tienden a acumularse. Por esta razón, el suelo actúa

como un sumidero de la mayor parte de los contaminantes, incluidos los metales pesados. La toxicidad de un agente contaminante no sólo va a depender de sí mismo sino también de las características del medio donde se encuentre de manera que la sensibilidad de los suelos a la agresión que tiene lugar por parte de los agentes contaminantes va a ser muy distinta dependiendo de una serie de características edáficas.

- Formas de retención y disponibilidad de los metales en el suelo. Los metales pesados pueden presentarse en el suelo bajo diferentes formas, para Roca (2019) se presenta de la siguiente manera:
- Solubles en la solución del suelo.
- Como iones intercambiables de los coloides que integran el complejo de cambio.
- Formando complejos con la materia orgánica.
- Adsorbidos en los óxidos e hidróxidos de Fe, Mn y Al, sulfuros y fosfatos.
- Como constituyentes de los minerales secundarios del suelo.
- Metales pesados como contaminantes del suelo

De acuerdo con Jiménez (2017) los metales pesados comprenden una categoría de elementos metálicos, que incluyen bario (Ba), cadmio (Cd), cobre (Cu), Plomo (Pb) (Pb), manganeso (Mn), níquel (Ni), Zinc (Zn), Cromo (Cr), arsénico (As), bismuto (Bi), cobalto (Co), mercurio (Hg), paladio (Pd), platino (Pt), antimonio (Sb), selenio (Se), entre otros, con una densidad superior a 5 g/cm³.

Algunos elementos pesados son vitales para el desarrollo, reproducción y/o supervivencia de los seres vivos, mientras que otros poseen un valor económico e industrial significativo y pueden tener efectos negativos en el entorno natural

(Marrero et al., 2012). En los suelos, de manera natural, se identifican como los elementos metálicos más prevalentes el manganeso (Mn), Zinc (Zn), níquel (Ni) y Plomo (Pb), con concentraciones que varían entre 1 y 1,500 microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$). La presencia elevada de metales pesados en el suelo se da debido a factores tanto naturales como antropogénicos, donde es importante destacar que los procesos antropogénicos representan la principal fuente de contaminación, siendo potencialmente más peligrosos que los procesos naturales (Marrero et al., 2012).

En este contexto, es importante prestar atención a los procesos de acumulación de metales pesados en el suelo, lo que nos lleva a la necesidad de tomar medidas técnicas que permitan mitigar los impactos ambientales ocasionados por estos metales y salvaguardar la calidad del suelo (Roca, 2019).

2.2.2.1. Contenido metales pesados de Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en suelos

El Plomo (Pb) se convierte en un contaminante del suelo cuando sus concentraciones superan los niveles naturales, resultado de su liberación desde diversas fuentes antropogénicas como la combustión de combustibles fósiles, la minería, la fundición de metales y el uso de productos que contienen Plomo (Pb). Estas altas concentraciones de Plomo (Pb) en el suelo provocan la reducción de la fertilidad del mismo, la inhibición de la actividad microbiana, la alteración del ciclo de nutrientes y la afectación de la calidad de los cultivos y la producción agrícola (Bouida, 2022). De este modo, se identifica que la presencia de Plomo (Pb) en niveles elevados en el suelo representa un riesgo para su calidad y la ecología del ecosistema edáfico.

El Cromo (Cr) se distribuye de manera natural en diversos compartimentos del entorno, como el aire, el agua y el suelo, aunque en concentraciones mínimas. Sin

embargo, este metal pesado puede introducirse en el suelo como resultado de diferentes actividades industriales, como la producción de acero, el proceso de curtido de cuero y el tratamiento de superficies metálicas. Cuando se genera contaminación en el suelo a causa de este metal, puede generar efectos adversos en el medio ambiente, especialmente en términos de su toxicidad para su biodiversidad. Además, la presencia de Cromo (Cr) en el suelo puede afectar negativamente la calidad del mismo, causando efectos tóxicos en las plantas y microorganismos del suelo (Salazar et al., 2017).

Efectos adversos de los metales pesados en las plantas

La respuesta de las plantas a la toxicidad de los metales pesados está condicionada por factores diversos como la especie vegetal en cuestión, la naturaleza específica del metal, su concentración, las propiedades químicas y físicas del suelo, así como el pH del mismo, es en base a estas condiciones que se facilita las interacciones complejas entre los metales y los sistemas vegetales (Kumar, 2016).

De acuerdo con Vásquez (2023), las implicaciones de los metales en la fisiología de las plantas están condicionadas por la naturaleza y la concentración del metal en cuestión; por ejemplo, el cobre (Cu) desempeña un papel crucial en la asimilación del dióxido de carbono (CO₂) y la síntesis de proteínas; sin embargo, en concentraciones elevadas, puede provocar una desaceleración en el crecimiento de las plantas y la aparición de clorosis en las hojas. Dicho esto, la influencia de un metal pesado en la fisiología vegetal puede impactar negativamente en el desarrollo y la salud de las plantas, al alterar su metabolismo.

Comportamiento de los metales en el sistema suelo – planta

La comprensión de la dinámica entre los metales pesados en el suelo y su absorción por las plantas es fundamental para entender la capacidad de las plantas para acumular dichos metales y comprender sus efectos en la calidad del suelo. Según lo planteado por Roca (2019), la absorción de metales pesados por parte de las plantas ocurre principalmente a través de las raíces desde el suelo, y está influenciada por diversos factores como el tipo de suelo, temperatura, pH, aireación, condiciones redox, fertilización, especie vegetal, etapa de desarrollo y sistema radicular, entre otros.

En la misma línea de pensamiento, las plantas tienen la capacidad de absorber cantidades significativas de ciertos elementos a través de sus hojas. Una vez que los iones metálicos han sido capturados, pueden distribuirse por toda la planta, aunque esta movilidad varía según el tipo de metal, el órgano de la planta y su etapa de desarrollo (Roca, 2019).

Los metales pesados que ingresan al suelo pueden seguir cuatro rutas distintas.

- Quedar retenidos en la solución del suelo o bien, fijados por adsorción, complejación y/o precipitación.
- Ser absorbidos por las plantas e incorporarse a las cadenas tróficas.
- Pasar a la atmósfera por volatilización.
- Movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas (Roca, 2019). En la Figura 2 se observa el proceso de transferencia de metales pesados desde el suelo hacia las plantas, principalmente a través del sistema radicular hasta su absorción por la planta.

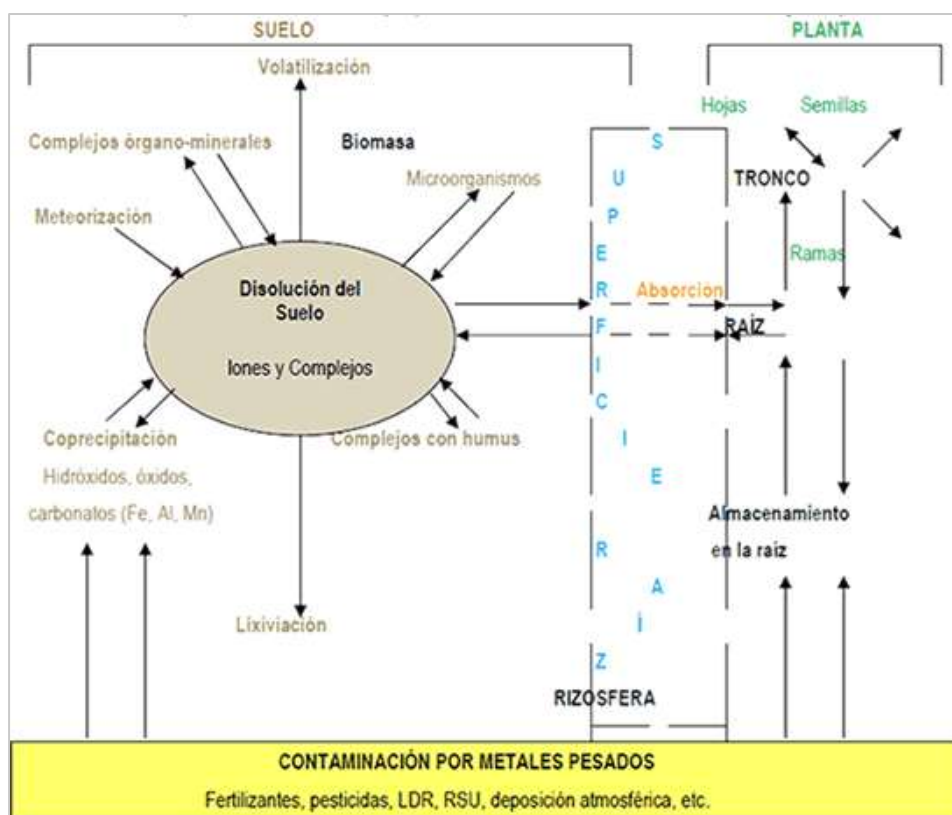


Figura 2. Dinámica de los metales pesados en el sistema suelo-planta (Roca, 2019).

Remediación de suelos contaminados

En el contexto específico de esta investigación, se aborda la remediación del suelo contaminado como un proceso fundamental destinado a mitigar los impactos negativos en dichas áreas. Lo que se relaciona con lo mencionado por Litoclean (2022), el tratamiento del suelo contaminado, se distingue por ser un proceso o conjunto de procedimientos diseñados para restaurar su calidad, en donde se emplean diversas técnicas con el fin de lograr niveles de contaminación residual que sean seguro para los ecosistemas edáficos.

La selección de las metodologías se ajusta a las particularidades, como el tipo de contaminante presente, el modelo hidrogeológico y las limitaciones específicas del

sitio. En algunos casos, se requiere la combinación de dos o más técnicas para llevar a cabo la descontaminación del suelo (Ortega et al., 2009).

Ante el desafío de abordar la restauración de suelos contaminados, López et al. (2005) y Ortega et al. (2009) sugieren la utilización de las plantas como una estrategia prometedora que se destaca por aprovechar la capacidad de ciertas especies vegetales para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes, tales como metales pesados, compuestos orgánicos y materiales radioactivos. Además, se detallan diversas técnicas de remediación del suelo que podrían ser implementadas en este contexto.

2.2.5.1. Biorremediación. También conocida como biodegradación, representa una tecnología biotecnológica que se fundamenta en la utilización de microorganismos (bacterias, hongos o algas) para metabolizar y degradar sustancias contaminantes, de modo que satisfacen sus necesidades nutricionales y energéticas, reduciendo las concentraciones de riesgo establecidas por regulaciones ambientales. Asimismo, esta metodología se caracteriza por su fácil implementación, su compatibilidad con el medio ambiente, su adaptabilidad a grandes extensiones de terreno y su eficiencia económica, resultando en la completa eliminación de diversos contaminantes (Magán et al., 2022).

2.2.5.2. Fitorremediación. Actualmente viene siendo un proceso que avanza de manera gradual, en palabras de Steliga y Kluk (2020) esta técnica requiere la presencia de especies vegetales con un sistema radicular vigoroso, de rápido desarrollo y capaces de tolerar los contaminantes presentes en el suelo, donde la raíz

desempeña un papel fundamental en la estabilización, adaptación, salud y nutrición de las plantas, debido a sus características fenotípicas.

La principal ventaja de utilización de esta técnica radica en su carácter económico y ambientalmente sostenible para remediar los contaminantes orgánicos e inorgánicos del suelo, cuyos mecanismos e interacciones microbianas con las plantas contribuyen a mejorar las condiciones del suelo (Litoclean, 2022; Magán et al., 2022). Es así que el empleo de esta técnica no solo resulta en beneficios económicos, sino que también promueve la protección del medio ambiente al mejorar la calidad del suelo y reducir la contaminación.

2.2.5.3. Fitoextracción. Para López et al. (2005), la fitoextracción se da cuando la eliminación y extracción de elementos tóxicos, incluyendo metales pesados y contaminantes orgánicos, que se encuentran en el suelo se ve facilitada gracias a la capacidad de ciertas especies vegetales para absorber o acumular dichos elementos a través de sus raíces. Posteriormente, estas partes vegetales son sometidas a procesos de incineración o almacenamiento con el fin de reciclar los metales acumulados.

2.2.5.4. Fitoestabilización. Esta técnica se fundamenta en la utilización de plantas con tolerancia a metales pesados para retenerlos mediante su absorción y acumulación en las raíces o su precipitación en la rizosfera, conllevando a una reducción de su movilidad y disponibilidad en el suelo, lo que limita su impacto en otras plantas o microorganismos presentes en suelos altamente contaminados donde la fitoextracción resulta inviable (López-Martínez et al., 2005).

2.2.5.5. Fitovolatilización. A través de este proceso, las plantas contribuyen activamente a la remediación ambiental al purificar el suelo, como lo plantean López-Martínez et al. (2005), representa un mecanismo mediante el cual las plantas absorben

contaminantes orgánicos y metales pesados del suelo a través de sus raíces, transformándolos en compuestos volátiles menos nocivos. Estos compuestos son luego transportados hacia las hojas, donde, a través del proceso de transpiración, se liberan hacia la atmósfera.

2.2.5.6. Fitodegradación. En la fitodegradación, las plantas tienen la capacidad de absorber, metabolizar y descomponer los contaminantes directamente a través del contacto de las raíces con el suelo, sedimento o agua. Asimismo, durante este proceso, las plantas incorporan los contaminantes orgánicos en sus tejidos y los transforman o mineralizan mediante la producción de diversas enzimas como dehalogenasa, reductasa, oxigenasa, nitroreductasa, peroxidasa, lacasa y nitrilasa. Obteniendo como resultado, contaminantes que se descomponen en moléculas más simples como CO₂ y H₂O, que son menos tóxicas y más estables, y pueden ser utilizadas por la planta como nutrientes (López-Martínez et al., 2005; Ortega-Ortiz et al., 2009).

2.2.5.7. Rizofiltración. Es una técnica que emplea las raíces de las plantas, tanto acuáticas como terrestres, para la absorción, concentración y precipitación de contaminantes presentes en aguas superficiales, subterráneas y residuales. En esta técnica, las plantas utilizan sus raíces y brotes como un sistema de filtración, absorbiendo y concentrando los contaminantes para su posterior precipitación. La rizofiltración se aplica preferentemente en áreas con niveles bajos de contaminación, pero que abarcan una extensa superficie de agua (Dávila y Walter, 2018).

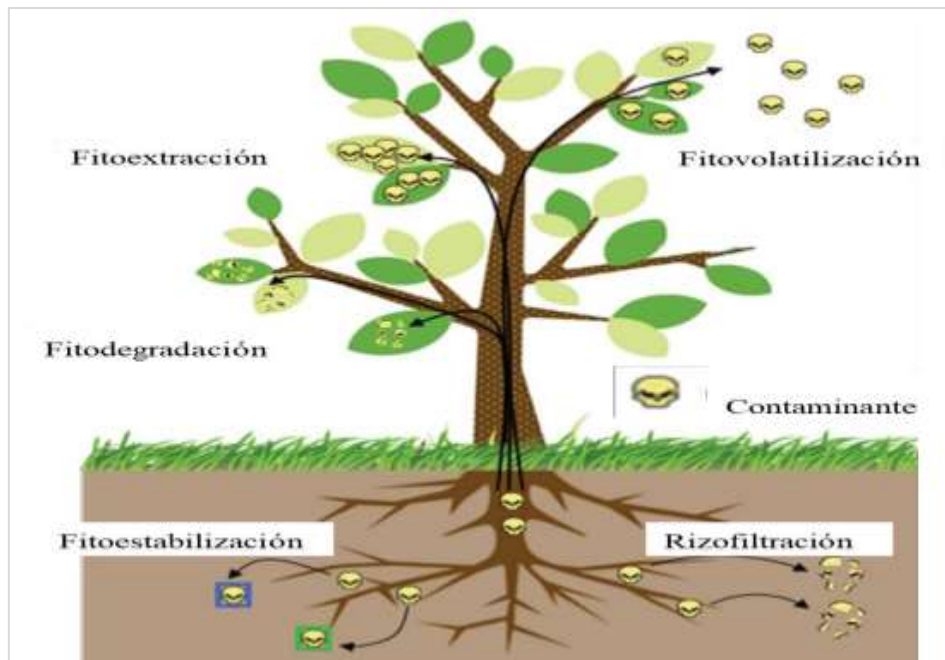


Figura 3. Procesos subyacentes a la fitorremediación. (López et al., 2005).

1.1.1. Fases de la fitorremediación

En el proceso de fitorremediación, se lleva a cabo todas las técnicas ilustradas en la Figura 3. Asimismo, según López et al. (2005); Dávila y Walter (2018), se distinguen tres etapas: absorción, excreción y desintoxicación de contaminantes.

2.2.6.1. Absorción. Esta tiene lugar a través de las raíces y las hojas, este proceso se lleva a cabo específicamente en la rizodermis de las raíces jóvenes, las cuales absorben los compuestos por ósmosis, siendo influenciadas por factores externos como la temperatura y el pH del suelo. La capacidad de penetración del contaminante está influenciada por su peso molecular e hidrofobicidad, lo que determina su capacidad para atravesar las membranas celulares de la planta. Una vez que los contaminantes han atravesado la membrana, son distribuidos por toda la planta (López et al., 2005).

2.2.6.2. Excreción. En el proceso de excreción de contaminantes, aquellos que son absorbidos por las raíces de las plantas son liberados a través de las hojas mediante un

fenómeno conocido como fitovolatilización. En situaciones donde las concentraciones de contaminantes son altas, solo una pequeña fracción, que representa menos del 5 % del total, es liberada sin experimentar cambios en su estructura química (López et al., 2005).

2.2.6.3. Desintoxicación. La desintoxicación del compuesto metálico es un proceso fundamental para la eliminación de contaminantes del suelo. De acuerdo con Dávila y Walter (2018), este proceso permite la transformación de los compuestos metálicos en formas menos tóxicas, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental de la contaminación del suelo por metales. La eliminación de los compuestos metálicos se realiza mediante su transformación en dióxido de carbono mediante la mineralización.

1.1.2. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados

En la naturaleza, todos los seres vivos desarrollan estrategias para adaptarse y sobrevivir, en el caso de las plantas, algunas logran desarrollarse en entornos complicados. Bricker et al. (citado en Vásquez Contreras, 2023), explican que estas plantas se desarrollan en circunstancias de alta toxicidad de ciertos metales pesados, donde han evolucionado para contrarrestar el estrés inducido por estos elementos.

Según lo expuesto por Baker (1981), las plantas con capacidad de hiperacumulación pueden alcanzar concentraciones de metales acumulados que exceden en más de cien veces los valores estándar.

Asimismo, de acuerdo a Méndez et al. (2009) son plantas con escasa biomasa, ya que destinan una mayor cantidad de energía a los procesos adaptativos necesarios para sobrevivir en entornos con elevadas concentraciones de metal en sus tejidos. Esta capacidad de bioacumulación de metales y otros elementos puede ser variable entre distintas especies vegetales.

En este contexto, la capacidad de ciertas plantas para acumular metales en cantidades significativas, representa un fenómeno relevante dentro del marco de la fitorremediación y la gestión de suelos contaminados. Siendo este proceso una estrategia prometedora para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados debido a la capacidad de las plantas de extraer metales del suelo y almacenarlos en sus tejidos de manera eficiente.

Girasol (*Helianthus annuus L.*)

Originario de Estados Unidos de América, de acuerdo con Martínez et al. (2017), este pertenece a la familia Asteráceas, la cual se distingue por su capacidad para tolerar altas concentraciones de metales pesados, habilidad de acumulación de metales y su capacidad para generar biomasa radicular.

El girasol es una planta herbácea de un año que pertenece a la familia Asteraceae, se distingue por su alto rendimiento fisiológico, sistema radicular fuerte y veloz crecimiento, características que hacen de ella una planta con gran capacidad para procesos de fitorremediación. Desde un enfoque fisiológico, muestras modificaciones anatómicas y metabólicas que permiten la absorción, almacenamiento y, en ciertas situaciones, la retención de metales pesados existentes en el terreno.

En primer lugar, su sistema de raíces pivotantes, con muchas raíces laterales, posibilita una extensa exploración del sustrato, lo que aumenta el área de contacto con partículas del suelo y optimiza la absorción de agua, nutrientes y contaminantes. Las paredes celulares de las raíces del girasol contienen grupos funcionales como carboxilos, hidroxilos y grupos fenólicos, que tienen una carga negativa. Estos elementos hacen más fácil la adsorción inicial de metales pesados, al interactuar electrostáticamente con cationes como el plomo (Pb) y el cromo (Cr). Esta interacción, de acuerdo con investigaciones fisiológicas, produce un equilibrio dinámico que posibilita la entrada de metales al interior de las células radiculares de manera regulada.

Los metales penetran por medios de transportadores inespecíficos de cationes, que generalmente intervienen en el transporte de nutrientes fundamentales (Fe, Mg, Zn o Ca), durante la absorción. Después de ingresar a la raíz, la planta pone en funcionamiento procesos de quelación y compartimentalización. Estos procesos producen compuestos como las metalotioneínas y fitoquelatinas que hacen que se elimine la toxicidad y posibilitan un almacenamiento seguro, sobre todo en las vacuolas de células corticales y epidérmicas. Este proceso aclara el motivo de que la mayoría de los metales se concentran en las raíces y solo un porcentaje reducido consiga trasladarse a los tallos y hojas.

El xilema hace una translocación reducida de metales pesados en *Helianthus annuus* L., sobre todo para elementos como el plomo, que tiene una movilidad interna baja. Esta conducta fisiológica sitúa al girasol como una especie que es más eficaz en términos de fitoestabilización que de fitoextracción, puesto que los metales se mantienen en la rizosfera y su movilización hacia la parte aérea se reduce. La movilidad del cromo es un poco más alta cuando está presente en formas más solubles, aunque todavía se ve restringida por la capacidad de defensa metabólica de la planta.

Asimismo, sobresale por su alta tasa de fotosíntesis. Esto contribuye a que crezca vigorosamente incluso en circunstancias de estrés moderado debido a metales. Su fisiología también abarca mecanismos de tolerancia, tales como la elaboración de antioxidantes (peroxidasas, catalasas y superóxido dismutasas), que disminuyen el daño oxidativo causado por los metales en los tejidos.

Importancia. La importancia del girasol se evidencia al ser uno de los principales cultivos oleaginosos a nivel global, ocupando el tercer puesto, después de la soya y la canola. A escala mundial, la superficie dedicada al cultivo de girasol

representa ligeramente menos del 10% del área total destinada a cultivos oleaginosos (Martínez Mejía et al., 2017).

Características. Se caracteriza por ser una planta herbácea de gran tamaño, con una altura potencial de hasta dos metros y una duración de vida de un año, durante el cual experimenta crecimiento, floración y producción de semillas que germinan en el siguiente ciclo anual. Su singularidad radica en su capacidad de seguir el movimiento solar con su inflorescencia, orientándose hacia el este al amanecer y rotando gradualmente a lo largo del día hasta quedar dirigida hacia el oeste (Hernandes, 2008).

Requerimientos ambientales. Debido a sus características rústicas, tiene la capacidad de adaptarse a una amplia gama de climas, incluyendo regiones templadas, tropicales y mediterráneas. Sin embargo, para su óptimo desarrollo, requiere de temperaturas ligeramente elevadas. Aunque puede soportar moderadamente la sequía y las bajas temperaturas, su tolerancia al encharcamiento y a la salinidad es limitada, tanto en suelos ácidos como básicos (Peralta, 2011).

Mecanismos para acumular los metales pesados. Los mecanismos de acumulación de metales pesados implican el transporte de estos elementos hacia el interior de la planta y, posteriormente, hacia el interior de la célula. La raíz se destaca como el punto de entrada primario de los metales pesados, los cuales son introducidos por difusión en el medio, a través de flujo masivo o mediante intercambio catiónico (Delgadillo et al., 2010).

Además, de acuerdo con Sunción (2017), las células de la raíz presentan una carga negativa generada principalmente por la presencia de grupos carboxilo y otros

grupos funcionales presentes en la pared celular, como los grupos hidroxilo y fosfato. Estos grupos actúan como sitios activos de intercambio iónico que interactúan con las cargas positivas de los metales pesados, estableciendo un proceso de biosorción inicial. Esta interacción electrostática no solo permite la retención temporal del metal en la superficie radicular, sino que también crea un equilibrio dinámico que favorece su transporte hacia el interior de las células.

Una vez que los metales se adhieren a la pared celular, se activan transportadores específicos ubicados en la membrana plasmática, como bombas ATPasa y canales de cationes dependientes de gradientes electroquímicos, que facilitan el ingreso controlado de los metales al citoplasma. Este mecanismo es fundamental para el proceso de fitoacumulación, ya que regula la cantidad de metal que puede ser incorporado, evitando en lo posible la toxicidad celular inmediata. Asimismo, parte del metal absorbido puede ser secuestrado en vacuolas mediante quelación interna, lo que constituye un mecanismo adicional de tolerancia de la planta ante concentraciones elevadas de contaminantes.

1.1.3. Normativa legal

Constitución Política del Perú (1993). En la constitución Política del Perú (1993), en su artículo 22 indica que toda persona tiene derecho a la calma, al placer del tiempo libre y al descanso, así mismo, al goce de un ambiente equilibrado y apropiado para el desarrollo de su vida.

Ley General del Ambiente, Ley 28611. En su artículo 6 de Ley 28611 señala que dentro de las restricciones al ejercicio de los derechos de propiedad y a la libertad de trabajo, empresa, comercio e industria, están sujetos a los parámetros que establece la ley en resguardo del ambiente. Así mismo, en su artículo 31 indica el significado del

Estándar de Calidad Ambiental, indicando que es una disposición que norma el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presenten en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Por último, en su artículo 91 señala que el estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes.

Decreto Supremo N° 011-2017 MINAM. El presente Decreto Supremo aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios. En este decreto se indican que el ámbito de aplicación es para toda actividad que se encuentre dentro del país y que pueda generar contaminación al suelo. Así mismo, en su artículo 2° señala que son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, constituyéndose obligatorio para el diseño y aplicación del Sistema de Gestión Ambiental. Por otro lado, indica que los planes de descontaminación de suelos se realizarán cuando se determine la existencia de un suelo comprometido con metales pesados derivado de actividades, extractivas, productivas o de servicios. Igualmente, en el Anexo I nos indica estándares de Calidad ambiental para el suelo.

Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - Ley N° 27446. Establece dentro de los criterios de protección ambiental, la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas; aspectos ambientales comunes a toda infraestructura de disposición final de residuos sólidos. Así mismo define los estudios ambientales correspondientes a cada tipo de proyecto dependiendo de la envergadura de éstos y la potencialidad de los impactos en el ambiente.

Ley General del Ambiente LEY N° 28611. Artículo 91.- Del recurso suelo. El Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes.

Decreto Supremo N 012 – 2017 - MINAM. Norma en la cual se aprueban los criterios para la gestión de sitios contaminados, teniendo el objetivo de mejorar la calidad de vida y supervisar que nuestros suelos no sean contaminados. Explica que para la gestión de sitios contaminados se debe considerar la aplicación de diversas medidas de descontaminación a fin de reducir o eliminar contaminantes en un sitio, incluyendo técnicas fisicoquímicas, biológicas (fitorremediación) y térmicas, tanto in-situ como ex-situ.

Resolución Ministerial N° 085 – 2014- MINAM. Artículo 1.- Aprueba la Guía para el Muestreo de Suelos, en el marco del decreto supremo N° 002 – 2013 – MINAM, estándares de calidad ambiental ECA para suelo.

1.2. Definición de términos básicos

Absorción: Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016).

Compostera: Sistema integrado de recolección y descomposición de residuos orgánicos que utiliza procesos naturales para convertir los desechos en compost, promoviendo así la gestión sostenible de los residuos y la conservación del medio ambiente (González y Alejandra, 2020).

Contaminante: Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente (MINAM, 2016).

Fitorremediación: El proceso de la fitorremediación implica la acción de varios procesos en los que se utilizan plantas y microorganismos asociados a su rizosfera para remediar ambientes contaminados principalmente suelo y agua, mediante la remoción, transformación, degradación o estabilización de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Muñoz, 2019).

Metales pesados: Los metales pesados son elementos de elevado peso atómico, potencialmente tóxicos, que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el Plomo (Pb) (Pb), el mercurio (Hg), el Cromo (Cr) y el níquel (Ni) que, incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales (Rodríguez, 2019).

Suelo contaminado: Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2019).

Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (MINAM, 2016).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1.Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en el distrito de Cajamarca ubicada en la provincia y región del mismo nombre, situada a 2750 msnm en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, perteneciente a la microrregión Norte del Perú, con una extensión superficial de 2980 km, con un clima seco, templado y soleado durante el día y frío por la noche, una humedad del 79%, presencia de vientos del SE a 10km/h, temperatura media anual máxima de 21°C y mínima 6°C y precipitaciones anuales que promedian los 700 mm. en el vivero de Venecia, ubicado en el distrito y provincia de Cajamarca, con coordenadas 7°08'33,35''S y 78°30'27,55''O (Figura 4), situada a 2750 msnm en la vertiente oriental de la cordillera de los andes, pertenece a la microrregión Norte del Perú con una extensión superficial de 2 980 km (DRVCS, 2018). El distrito presenta una población de 348 433 habitantes según INEI del año 2017, con un clima seco, templado y soleado durante el día y frío por la noche, una humedad del 79%, presencia de vientos del SE a 10 km/h, temperaturas medias anual con una máxima 21°C y mínima 6°C y precipitaciones anuales promedio de 700 mm (DRVCS, 2018).

El experimento fue instalado en el vivero de Venecia, perteneciente a la Municipalidad Provincial de Cajamarca, donde se construyó 4 composteras, tres de ellas con un tratamiento y una compostera control, según lo indica la figura 4.

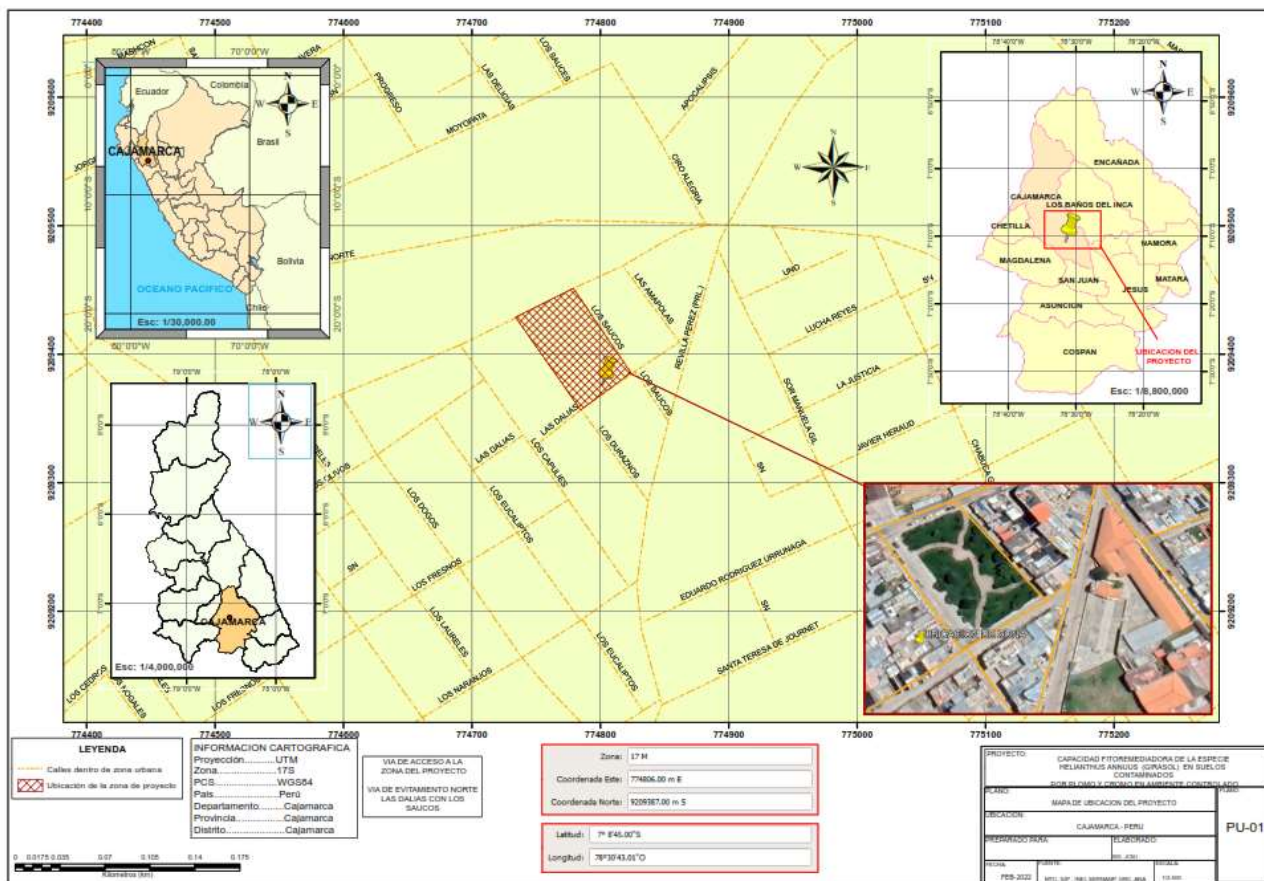


Figura 4. Ubicación de las instalaciones del vivero de Venecia perteneciente a la Municipalidad Provincial de Cajamarca.

3.2. Diseño de la investigación

El estudio en curso se enmarca dentro de un diseño experimental puro, también conocido como experimento verdadero. Este tipo de diseño se caracteriza por la manipulación intencional de una o más variables independientes para observar sus efectos en una o más variables dependientes. Una característica esencial de este diseño es la asignación aleatoria sales de cromo y plomo (concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb)) a las unidades experimentales (composteras con sustrato). Según Hernández y Mendoza (2018), los diseños experimentales puros permiten establecer relaciones causales con un alto grado de confianza, ya que el investigador tiene control total sobre la manipulación

de las variables independientes (% de remoción) y la asignación aleatoria de los tratamientos. Este enfoque es fundamental cuando se busca determinar el efecto directo de una variable sobre otra, eliminando posibles sesgos y asegurando que los cambios observados en la variable dependiente sean atribuibles exclusivamente a la manipulación de la variable independiente.

3.3. Materiales y equipos

En lo referente a materiales y equipos, fueron utilizados de acuerdo al protocolo de la Guía para el Muestreo de Suelos del año 2014 según MINAM, detallo a continuación:

Materiales de campo

- Picota de acero inoxidable
- Guantes de vinil
- Libreta de campo
- Bolsas de polietileno
- Mascarilla
- Guardapolvo
- Pala.
- Balde de plástico 20 L
- Rafia en cono por 500 g.
- Plástico transparente calibre 10
- Etiquetas de rotulación
- Espátula de acero inoxidable
- Cuchara de acero inoxidable
- Soporte metálico para rotulación

- Arcos de metal
- Plumón indeleble
- Prensa botánica
- Periódicos
- Wincha de 5 m
- Regadera para jardín
- Cadena de custodia de monitoreo de aguas y suelos - SAG
- Etiquetas de rotulación

Equipos de campo

- GPS Garmin GPSmap65s
- Balanza electrónica 150 kg
- Cámara fotográfica semi profesional Alpha a6100 APS-C lente 16-50mm.

Materiales de laboratorio:

- Nitrato de Plomo (Pb) al 2051,19 mg/kg
- Nitrato de Cromo (Cr) al 303,56 mg/kg
- Bolsas ziploc
- Cooler de tecnopor

Materiales de gabinete

- Informes de ensayo de laboratorio – con valor oficial
- Papel bond A4
- Útiles de escritorio

Equipos de gabinete

- Laptop Lenovo Core i7
- Impresora multifuncional EPSON L495
- USB

Software

- Microsoft Word 2016
- Microsoft Power Point 2016
- Microsoft Excel 2016
- Google Earth pro
- Arcgis 10,5

3.3.1. Metodología de Investigación

Construcción de composteras

Esta etapa se inició con la impermeabilización del suelo, utilizando los materiales necesarios (plástico, ladrillos, entre otros).

Ejecución del experimento

Para la ejecución del experimento, luego de instalar la zona de estudio, se procedió a preparar la tierra para las composteras, constituida en una proporción 4 – 2,5 y 1,5 (4 carretillas de tierra de vivero, 2,5 de turba y 1,5 de arena); así mismo se utilizó una concentraciones de sales de Plomo (Pb) (500 mL) y Cromo (Cr) (500 mL), los cuales estuvieron distribuida de la siguiente manera: Control - Tc (suelo de vivero de Venecia), el T1 tuvo una concentración de Plomo (Pb) de 2472,91 mg/kg (50 %) y una concentración de Cromo (Cr) de 343,76 mg/kg (50%), el T2 tuvo una concentración de Plomo (Pb) de 1542,43 mg/kg (35%) y una concentración de Cromo (Cr) de 213,21 mg/kg (35%) y el T3 tuvo una concentración de Plomo (Pb) de 845,67 mg/kg (15%) y una concentración de Cromo (Cr) de 104,14 mg/kg (15%) (Tabla 1), posteriormente se procedió a realizar la siembra del *Helianthus annuus L.* en cada compostera, se sembró veinticuatro semillas, para cuando

se hizo el raleo, se dejó tres plantas por cada compostera, haciendo un total de doce semillas las mismas que se cultivaron en condiciones de vivero (Figura 5), realizando el riego diario de las plantas a través de una regadera manual.

Tabla 1

Formulaciones de sales de Cromo y Plomo (Pb) que conformaron los tratamientos.

Tratamientos	Clave de los tratamientos
250 mL de Cromo (Cr) más 250 mL de Plomo (Pb)	T1
175 mL de Cromo (Cr) más 175 mL de Plomo (Pb)	T2
75 mL de Cromo (Cr) más 75 mL de Plomo (Pb)	T3

Nota: Las concentraciones de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) se obtuvieron en soluciones.



Figura 5. Siembra del *Helianthus annuus L.* en las composteras del vivero Venecia.

Procedimiento de recolección de datos

Caracterización del suelo

Para la obtención de las muestras de suelo, se tuvo en cuenta la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM, que aprueba la Guía para el muestreo de suelos del año 2014 del Ministerio del Ambiente en el marco del DS N° 002-2013-MINAM, y el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que aprueba los estándares de calidad ambiental. De acuerdo a los objetivos planteados, se realizó la caracterización fisicoquímica del suelo. La primera muestra se tomó al momento de instalar el proyecto, las siguientes muestras fueron tomadas en el proceso de desarrollo del *Helianthus annuus L.* de los tratamientos T1, T2 y T3, una muestra de cada compostera, tomada a los dos y cuatro meses, donde se buscó determinar la concentración de Plomo (Pb) y Cromo (Cr).

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Durante la instalación del experimento se procedió a tomar muestras del suelo control – TC, que nos permitió determinar las características fisicoquímicas del suelo, en el proceso de desarrollo del *Helianthus annuus L.*, a los dos meses se tomó muestras de suelo de las tres composteras con los tratamientos (T1, T2 y T3), una muestra de cada compostera, obteniéndose un total de 3 muestras a las que se realizó el análisis para determinar concentraciones de metales (Plomo (Pb)-Cromo (Cr)). Pasado cuatro meses se tomó muestras de suelo de las composteras con los tratamientos mencionados, obteniéndose 3 muestras más las que se realizó el análisis para determinar concentraciones de metales (Plomo (Pb)-Cromo (Cr)).

Muestras del *Helianthus annuus* L.

Para la instalación del experimento se utilizaron un total de 27 semillas, distribuidas equitativamente en las unidades experimentales. En cada compostera se sembraron tres semillas, y para cada tratamiento se dispuso de tres composteras, sumando así nueve composteras en total en todo el experimento. Esta estructura permitió evaluar de manera controlada el comportamiento de las especies *Helianthus annuus* L. y *Medicago sativa* frente a la presencia de cadmio en el suelo.

Para obtener las muestras del *Helianthus annuus* L. , se procedió a realizar la cosecha de todas las plantas, transcurrido un periodo de maduración de 4 meses, durante la etapa de floración se examinó tanto la parte aérea como la raíz de cada planta (raíz, tallo y hojas), obteniendo el resultado de muestreo de tres plantas seleccionadas, de acuerdo a sus características, posteriormente secadas en una prensa y luego enviadas al laboratorio SAG servicios analíticos para el análisis en determinación de metales.

Procedimiento de análisis de datos estadísticos

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, lo que permitió determinar las concentraciones de sales de Plomo (Pb) y Cromo (Cr) que el *Helianthus annuus* L. (girasol) es capaz de absorber y así determinar su capacidad de remoción, durante el cultivo de la especie mencionada. Los datos obtenidos fueron ordenados en Excel y luego ingresados a una base de datos para ser procesados con el software IBM SPSS versión 27.

Se aplicó la estadística descriptiva para evaluar el comportamiento de la remoción del Cromo (Cr) y Plomo (Pb) de los sustratos a los que se aplicaron los tratamientos. Estos resultados se presentan en tablas y figuras para una mejor

visualización. Así mismo, con esta estadística se evaluó la distribución del Cromo (Cr) y de Plomo (Pb) a nivel de raíces, tallos y hojas.

Por otro lado, se empleó la estadística inferencial, dado que los datos provinieron del diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) y los resultados se analizaron específicamente con el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey. Con finalidad de determinar las diferencias entre los tratamientos en cuanto a la remoción del Cromo (Cr) y Plomo (Pb) por parte de *Helianthus annuus L.*

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

Tabla 2

Resultados del Cromo (Cr) en sustrato contaminado durante el periodo de experimentación.

Tratamientos	Tiempo (días)				Consumido (mg/kg)	Remoción (%)	Concentración en planta (mg/kg)
	0	30	60	120			
T1	4,3	344	315	267	76,9	22,37	27,1
T2	4,3	213	185	80,9	132	62,05	45,5
T3	4,3	104	90,7	59,7	44,5	42,71	16,3

Nota: Datos recolectados de las composteras a los 30, 60 y 120 días.

Los resultados indican que la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus* L. no solo está ligada a la presencia del metal en el suelo, sino a la relación entre la concentración disponible y la tolerancia fisiológica de la planta. El tratamiento T2 mostró que una concentración intermedia de Cromo crea las condiciones ideales para la absorción y acumulación del metal y su remoción efectiva sin causar efectos tóxicos que inhiban el crecimiento o la función de la raíz. Por el contrario, el T1 evidenció que altas concentraciones de Cromo inducen estrés en la planta, disminuyendo su capacidad de extracción y acumulación, como manifestación de haber alcanzado su límite de tolerancia. Aunque el T3 presentó una moderada remoción de metales, la baja concentración inicial de Cromo limitó la cantidad total absorbida, corroborando que la eficiencia de la remoción depende de la disponibilidad del metal y de la respuesta fisiológica del cultivo.

Tabla 3

Resultados del Plomo (Pb) en sustrato contaminado durante el periodo de experimentación.

Tratamientos	Tiempo (días)				Consumido (mg/kg)	Remoción (%)	Concentración en planta (mg/kg)
	0	30	60	120			
T1	15,8	2473	2013	1718	755	30,532	256,96
T2	15,8	1542	1159	549	993,8	64,430	336,54
T3	15,8	846	682	396	449,7	53,173	155,17

Nota: Datos recolectados de las composteras a los 30, 60 y 120 días.

Los resultados obtenidos reflejan una reducción progresiva en la concentración de Plomo (Pb) en el sustrato contaminado durante los 120 días del experimento, confirmando el efecto fitorremediador de *Helianthus annuus L.* Se observa que la mayor eficiencia de remoción se obtuvo en el tratamiento T2, con una reducción del 64,43 % y una acumulación en la planta de 336,54 mg/kg, lo que indica que una concentración intermedia de Plomo (Pb) favoreció la absorción del metal sin generar efectos adversos en la planta.

En el caso del tratamiento T1, que presentó la mayor concentración inicial de Plomo (Pb) en el sustrato, la remoción fue significativamente menor (30,532 %) y la acumulación en la planta alcanzó los 256,96 mg/kg. Esto sugiere que niveles elevados de Plomo (Pb) en el sustrato podrían haber inducido toxicidad en la planta, limitando su capacidad de absorción.

Por otro lado, el tratamiento T3, con la menor concentración inicial de Plomo (Pb), mostró una remoción intermedia del 53,173 %, con una acumulación de 155,17 mg/kg en la planta. Si bien la eficiencia de remoción fue menor que en T2, la menor disponibilidad inicial de Plomo (Pb) en el sustrato restringió la cantidad total absorbida.

Tabla 4

Resultados de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en los órganos de la planta de girasol

Tratamientos	Órganos del girasol	Cromo (Cr) (mg/Kg)	Plomo (Pb) (mg/Kg)
T1	Raíz	26,73	253,67
	Tallo	0,19	2,54
	Hojas	0,15	0,75
T2	Raíz	45,18	331,88
	Tallo	0,19	3,76
	Hojas	0,16	0,9
T3	Raíz	15,97	148,19
	Tallo	0,15	6
	Hojas	0,14	0,98

Los resultados evidencian que *Helianthus annuus* L. reacciona de manera diferenciada frente a la presencia de Cromo (Cr) y Plomo (Pb), encontrando una clara tendencia hacia una acumulación selectiva en los órganos subterráneos de la planta. La concentración notoriamente mayor de ambos metales en las raíces, notándose especialmente en el tratamiento T2, muestra que concentraciones de contaminación intermedias favorecen la absorción y no comprometen la fisiología de la planta. El comportamiento del Plomo, con una acumulación mucho mayor al Cromo en la parte radicular, muestra una escasa movilidad interna y convierte al girasol en una planta fitoestabilizadora de este metal. Sin embargo, la escasa acumulación de Cromo en tallos y hojas y su escasa translocación hace ver que la planta no tiene un buen potencial de fitoextracción de Cromo. La escasa acumulación en órganos aéreos para ambos metales hace que se reitere que el mecanismo dominante es la fitoestabilización, mediante la cual la planta retiene los contaminantes en su raíz, disminuyendo su potencial de movilidad y el riesgo medioambiental. Este comportamiento sugiere que el girasol presenta una mayor eficacia para inmovilizar contaminantes que no para transportarlos y extraerlos del suelo.

4.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.2.1. Remoción de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) del sustrato contaminado en las composteras con *Helianthus annuus L.* (girasol).

Tabla 5

Porcentaje de remoción del Cromo (Cr) por Helianthus annuus L.

Tratamientos	Cromo Removido (mg/kg)	Remoción (%) del suelo	Cromo en planta (mg/kg)
T1	76,91	22,37	27,070
T2	132,29	62,04	45,530
T3	44,48	42,71	16,260

Nota: Remoción de Cromo (Cr) expresado en porcentaje al término del experimento.

Los resultados de la Tabla 5, muestran diferencias en cuanto a la remoción del Cromo (Cr) del sustrato con el girasol. El tratamiento de T1 que correspondía al mayor contenido inicial de Cromo (Cr) 250mL (Cr) más 250 mL (Pb), aplicado en el sustrato de las composteras y tratado con *Helianthus annuus L.*, alcanzó después de 120 días una remoción de Cromo (Cr) del 22,37 % y acumuló en la biomasa vegetal 27,070 mg/kg. Esto hace suponer que el elevado contenido inicial de Cromo (Cr) en el sustrato de las composteras pudo haber tenido un efecto tóxico que redujo la capacidad de la planta de absorber metales y por ende limitase su eficiencia fitorremediadora.

Por otro lado, del tratamiento de T2 correspondiente a la concentración intermedia (T2: 175 mL Cromo (Cr) más 175 mL Plomo (Pb)) aplicado al sustrato de las composteras que fueron tratadas con girasol, se obtuvo el mayor porcentaje de remoción, alcanzando una reducción de Cromo (Cr) en el sustrato del 62,047 % y del 45,530 mg/kg en la planta.

Finalmente, del tratamiento de T3 correspondiente a la menor concentración inicial de Cromo (T3: 75 mL Cromo (Cr) más 75 mL Plomo (Pb)) aplicado en el sustrato de las

composteras tratadas con girasol, se obtuvo una remoción de Cromo (Cr) del 42,712 % acumulando en la biomasa vegetal el menor contenido de 16,260 mg/kg.

Los resultados demuestran que, con el transcurso del tiempo, *Helianthus annuus* L. ha influido en la remoción de Cromo (Cr) de los tratamientos evaluados. Este efecto se debe probablemente a la capacidad de esta especie para incorporar el Cromo (Cr) en sus procesos fisiológicos, favoreciendo su crecimiento y desarrollo. En este sentido, Rodrigo (2022) sostiene que existen especies vegetales que, durante su proceso de crecimiento y desarrollo, absorben metales presentes en su entorno. Además, señalan que el girasol actúa como un fitoestabilizador de metales pesados, con una absorción óptima en la raíz, lo que restringe la acumulación de estos metales en tallos y hojas.

Así mismo, Huamán (2019) quien evaluó la capacidad fitorremediadora del girasol mediante la incorporación de enmiendas en suelos contaminados por metales pesados, encontrando que *H. annuus* es una planta bioacumuladora del Cromo (Cr), lo que indica su potencial en procesos de fitorremediación. Asimismo, Morales (2020) sostiene que el girasol es efectivo en la fitoextracción de metales pesados, incluyendo el Cromo (Cr), debido a su habilidad para acumular estos elementos en sus tejidos.

Sin embargo, se evidenció que a concentraciones elevadas (T1 250 mL de Cromo (Cr)), la eficiencia de remoción fue menor, lo que indica que una alta disponibilidad de Cromo (Cr) en el sustrato puede generar un efecto tóxico en la planta, limitando su capacidad de absorción y reduciendo su eficiencia fitorremediadora. Al respecto, Reyes (2023) sostiene que, a concentraciones elevadas de Cromo (Cr), la eficiencia de remoción de la planta disminuye, lo que indica que una alta disponibilidad de Cromo (Cr) en el sustrato puede generar un efecto tóxico en la planta. Por otro lado, Calderón y Zamudio (2020) demostraron

que en *Acacia melanoxylon* la capacidad fisiológica de esta planta como fitoacumuladora de Cromo (Cr) encuentra su máximo entre 50 mg/kg y 100 mg/kg de Cr en el suelo, y a partir de allí los daños fisiológicos son irreversibles y conducen a la muerte de la planta. Además, se indica que a medida que aumentan las concentraciones de Cromo (Cr) en el suelo, se produce una disminución en el crecimiento radical y aéreo de las plantas, lo que confirma que, durante los procesos de fitorremediación, las plantas reducen la cantidad de biomasa (Calderón y Zamudio, 2020).

Tabla 6

Análisis de varianza para la remoción de Cromo (Cr) por el Helianthus annuus L.

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	38,51	2	19,25	19,63	0,0086
Tratamiento	2361,54	2	1180,77	1203,72	<0,0001
Error	3,92	4	0,98		
Total	2403,97	8			

Nota: p-valor menor al 0,05, existe significación.

$$CV = 2,34 \%$$

El análisis de varianza realizado para el porcentaje de remoción de Cromo (Cr) (Tabla 6), evidenció diferencias significativas tanto entre las repeticiones como entre los tratamientos evaluados. El valor de significación (p-valor) obtenido para las repeticiones fue de 0,0086, lo que indica que existen diferencias significativas en la remoción de Cromo (Cr) entre las repeticiones experimentales, dado que este valor es menor al nivel de significación (0,05), se indica que factores externos pudieron haber influido en las medias de la remoción de Cromo (Cr) en los bloques, generando diferencias entre las mediciones.

En cuanto al factor tratamiento, el p-valor obtenido fue menor a 0,0001, lo que indica diferencias significativas en la remoción de Cromo (Cr) entre los tratamientos evaluados,

dado que el valor de significación fue inferior a 0,05. Este resultado indica que la remoción de Cromo en el sustrato de las composteras contaminadas con distintas concentraciones de Cromo (Cr) y Plomo (Pb), después de 120 días se diferenciaron. Estas diferencias pueden atribuirse a la capacidad de absorción de *Helianthus annuus L.* lo que evidencia su potencial como especie fitorremediadora.

El coeficiente de variación (CV) es de 2,34 % e indica una baja variabilidad en los resultados de la remoción de Cromo (Cr) de los tratamientos. Además, indica que el diseño empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la remoción de Cromo.

Tabla 7

Prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de Cromo(Cr) por Helianthus annuus L.

Tratamiento	Remoción de Cromo del sustrato (%)	Agrupación
T2	62,05	A
T3	42,71	B
T1	22,37	C

Nota: Medias con letras iguales no se diferencian estadísticamente.

La prueba de Tukey (Tabla 7) permitió identificar que del tratamiento T2 (175 mL de Cromo (Cr) más 175 mL de Plomo (Pb)) aplicado al sustrato de la compostera se obtuvo la mayor eficiencia en la remoción de Cromo (Cr) con el girasol, con un 62,05 %. Esto sugiere que la concentración intermedia de contaminantes favoreció la absorción del metal por *Helianthus annuus L.*, permitiendo una mayor extracción del Cromo (Cr) del sustrato sin generar efectos tóxicos que limiten su metabolismo.

La remoción del sustrato contaminado con el T3 (75 mL de Cromo (Cr) más 75 mL de Plomo (Pb)) se ubicó en segundo lugar, con una remoción de 42,71 %. Si bien este valor

fue inferior al de T2, la diferencia con T1 fue significativa, lo que indica que las concentraciones moderadas de Cromo (Cr) pueden ser removidas por el girasol.

Por otro lado, del sustrato contaminado con el T1 (250 mL de Cromo (Cr) más 250 mL de Plomo (Pb)) se removió 22,37 % de Cromo (Cr) con el girasol. Este resultado indica que la elevada concentración de Cromo (Cr) en el sustrato pudo haber generado un efecto tóxico en la planta, limitando su capacidad de absorción y reduciendo la eficiencia del proceso de fitorremediación.

Los resultados obtenidos evidenciaron que *Helianthus annuus* L. presentó una capacidad fitorremediadora significativa en suelos contaminados con Cromo (Cr), con una mayor eficiencia en la remoción de estos metales en concentraciones intermedias. Este comportamiento está en concordancia con los hallazgos de Bendezu (2021), quien determinó que *H. annuus* es altamente eficiente en la fitoextracción de metales pesados como cadmio, demostrando que la densidad de plantas en un área determinada influye directamente en la capacidad de remoción del contaminante.

Los resultados evidenciaron que la remoción de Cromo (Cr) fue menor en el tratamiento con concentraciones más elevadas (T1), lo que indica la existencia de un efecto tóxico que limita la capacidad de absorción de la planta. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Munive (2019), quien concluyó que *H. annuus* acumula preferentemente los metales pesados en la raíz, pero su eficiencia disminuye en suelos con concentraciones excesivas de contaminantes. Esto se debe a la alteración de procesos fisiológicos esenciales, lo que impide el desarrollo óptimo de la planta y afecta su función de fitorremediación. Además, Díaz y Guevara (2020) indica que la acumulación de metales pesados en el sistema

radicular puede generar estrés oxidativo en la planta, comprometiendo su crecimiento y reduciendo su capacidad de absorción de contaminantes.

Tabla 8

Porcentaje de remoción del Plomo (Pb) por Helianthus annuus L.

Tratamientos	Plomo (Pb) removido (mg/kg)	Remoción (%)	En planta (mg/kg)
T1	755,04	30,53	256,96
T2	993,78	64,43	336,54
T3	449,67	53,17	155,17

Nota: Remoción de Plomo (Pb) expresado en porcentaje al término del experimento.

Los resultados de la Tabla 8, muestran la remoción de Plomo (Pb) del sustrato de las composteras tratadas con *Helianthus annuus L.* después de 120 días, evidenciando que del sustrato al cual se aplicó el tratamiento T2 (175 mL de Cromo (Cr) más 175 mL de Plomo (Pb)), se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de Plomo (Pb), con 993,78 mg/kg, lo que representó un 64,43 % de reducción en el sustrato. Además, la acumulación de Plomo (Pb) en la biomasa vegetal fue de 336,54 mg/kg, lo que indica que *Helianthus annuus L.* absorbió una cantidad significativa del metal, favoreciendo su extracción del suelo.

Por otro lado, del sustrato al cual se aplicó el tratamiento T3 (75 mL de Cromo (Cr) más 75 mL de Plomo (Pb)) se removió el 53,17 %, el cual presenta una reducción de 449,67 mg/kg en el sustrato y una acumulación de 155,17 mg/kg en la planta. Estos valores resultados indican que *Helianthus annuus L.* también logró remover una proporción considerable del Plomo (Pb) presente en este tratamiento. Del sustrato al cual se le aplicó el tratamiento T1 (250 mL de Cromo (Cr) más 250 mL de Plomo (Pb)) se removió la menor la menor cantidad de Plomo (Pb), con 755,04 mg/kg y un porcentaje de 30,53 %, mientras que la acumulación en la planta alcanzó 256,96 mg/kg.

En general, los resultados obtenidos indican que *Helianthus annuus L.* es efectiva para la remoción de Plomo (Pb), dado que después de 120 días en los tres tratamientos la concentración de Plomo (Pb) disminuyó. La máxima eficiencia se alcanzó en el tratamiento T2, donde una concentración intermedia favorece la absorción y acumulación del metal en la biomasa vegetal. Por el contrario, concentraciones más altas (T1) reducen la eficiencia del proceso, probablemente debido a efectos tóxicos.

Los resultados obtenidos evidencian que *Helianthus annuus L.* ha influido en la remoción de Plomo (Pb) del sustrato contaminado a lo largo del tiempo, lo que sugiere que esta especie presenta un mecanismo eficiente para la absorción y acumulación de este metal pesado. Esta capacidad ha sido ampliamente documentada en investigaciones previas, donde se destaca su eficacia en la fitoextracción y fitostabilización de Plomo (Pb) en suelos contaminados (Ramírez y Saurin, 2022; Ramos, 2023).

El proceso de remoción de Plomo (Pb) por parte del girasol puede explicarse por su habilidad para incorporar este metal en su fisiología, ya sea mediante su absorción radicular o su retención en las paredes celulares para minimizar sus efectos tóxicos (López et al., 2005). Según Turpo (2023), indica que la remoción de Plomo (Pb) también puede depender de factores como la concentración inicial del metal en el sustrato y las condiciones del suelo, en suelos con lixiviados de residuos sólidos contaminados con Plomo (Pb), la eficiencia de remoción varía en función del tiempo y la densidad de plantas utilizadas. En este sentido, Bendezu (2021) sostiene que la remoción de cadmio en suelos contaminados aumenta cuando se incrementa según la cantidad de plantas de girasol por área, lo que indica que una mayor densidad vegetal puede mejorar la capacidad de fitorremediación.

Desde el punto de vista de la fisiología vegetal, el Plomo (Pb), al ser un metal pesado, no cumple una función esencial en el metabolismo del girasol, pero puede ser absorbido de manera pasiva junto con el agua y nutrientes a través del sistema radicular (Ortega et al., 2009). Una vez dentro de la planta, puede ser quelado y almacenado en vacuolas celulares para minimizar su toxicidad, lo que favorece la acumulación en las raíces y limita su translocación al tallo y hojas (Litoclean, 2022). Esta estrategia permite que la planta continúe con su crecimiento y desarrollo sin afectar significativamente su metabolismo.

Según los resultados, elevadas concentraciones de Plomo (Pb), como las presentes en el tratamiento T1 (250 mL de Plomo (Pb)), generan toxicidad en *Helianthus annuus L.* lo que afecta su crecimiento y capacidad de fitorremediación. Este hallazgo es consistente con estudios que han demostrado que altas concentraciones de metales pesados pueden inducir estrés fisiológico en las plantas, afectando su desarrollo y reduciendo su eficiencia en la absorción y translocación de los contaminantes (Díaz y Guevara, 2020 y Munive et al., 2022).

La toxicidad del Plomo (Pb) en las plantas se manifiesta a nivel celular a través de la generación de estrés oxidativo, alteraciones en la homeostasis de nutrientes y afectación del metabolismo fotosintético (Reyes, 2023). En el caso de *H. annuus*, el Plomo (Pb) puede interferir en la absorción de elementos esenciales como el calcio y el magnesio, lo que compromete la integridad de las membranas celulares y reduce la eficiencia fotosintética de la planta (Litoclean, 2022).

Tabla 9

Análisis de varianza para la remoción de Plomo (Pb) por el *Helianthus annuus L.*

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculado	p-valor
Repetición	86,03	2	43,02	37,78	0,0025
Tratamiento	1788,41	2	894,2	785,4	<0,0001
Error	4,55	4	1,14		
Total	1879	8			

Nota: p-valor menor al 0.05, existe significación.

$$CV = 2,16 \%$$

El análisis de varianza realizado para el porcentaje de remoción de Plomo (Pb) (Tabla 9) evidenció diferencias significativas tanto entre las repeticiones como entre los tratamientos evaluados. El valor de significación (p-valor) obtenido para las repeticiones fue de 0,0025, lo que indica que existen diferencias significativas en la remoción de Plomo (Pb) entre las repeticiones, dado que, este valor es menor al 0,05. Este resultado indica que, factores externos pudieron haber influido en las medias de la remoción de Plomo (Pb) en los bloques, generando diferencia en las mediciones obtenidas.

En cuanto a los tratamientos, el p-valor obtenido fue menor a 0,0001, lo que indica diferencias significativas en la remoción de Plomo (Pb) entre los tratamientos evaluados. Dado que este valor es inferior a 0,05. Este resultado indica que la remoción de Plomo (Pb) en el sustrato de las composteras contaminadas con distintas concentraciones de Cromo (Cr) y Plomo (Pb), después de 120 días, presentó diferencias notables. Estas diferencias pueden atribuirse a la capacidad de absorción de *Helianthus annuus L.*, lo que evidencia su potencial como especie fitorremediadora en suelos contaminados con Plomo (Pb).

El coeficiente de variación (CV) es de 2,16 % e indica una baja variabilidad en los resultados de la remoción de Plomo (Pb) de los tratamientos. Además, indica que el diseño

empleado en el experimento presentó un buen control sobre la variabilidad de la remoción de Plomo (Pb).

Tabla 10.

Prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de Plomo (Pb) por Helianthus annuus L.

Tratamiento	Remoción de Plomo (Pb) del sustrato (%)	Agrupación
T2	64,43	A
T3	53,17	B
T1	30,53	C

Nota: Medias con letras iguales no se diferencian estadísticamente.

La prueba de Tukey (Tabla 10) muestra que el sustrato al cual se aplicó el tratamiento T2 (175 mL de Cromo (Cr) más 175 mL de Plomo (Pb)) se obtuvo la mayor remoción de Plomo (Pb), con un 64,43 %. Del sustrato al cual se le aplicó, el tratamiento T3 (75 mL de Cromo (Cr) más 75 mL de Plomo (Pb)), se obtuvo una remoción de 53,17 %. Del sustrato, al cual se le aplicó el tratamiento T1 (250 mL de Cromo (Cr) más 250 mL de Plomo (Pb)) se obtuvo una remoción de 30,53 %.

Estos resultados indican la eficiencia de *Helianthus annuus L.* en la remoción de Plomo (Pb). La máxima eficiencia se alcanzó en el tratamiento T2, donde una concentración intermedia favoreció la absorción y acumulación del metal en la biomasa vegetal. Por otro lado, concentraciones altas (T1) redujeron la eficiencia del proceso, probablemente debido a efectos tóxicos, mientras que concentraciones más bajas (T3) limitaron la cantidad total de Plomo (Pb) disponible para la absorción. Este hallazgo guarda relación con los de Ramírez y Saurin (2022), quienes reportaron que la acumulación de Plomo (Pb) en *H. annuus* es más eficiente en concentraciones moderadas del metal, mientras que concentraciones excesivas afectan negativamente su absorción debido a la toxicidad generada en la planta. De manera similar, Ramos (2023) encontró que la remoción de Plomo (Pb) en suelos contaminados con

relaves mineros alcanzó su punto óptimo en condiciones de contaminación intermedia, mientras que la absorción fue limitada en suelos con altas concentraciones debido a efectos tóxicos sobre el sistema radicular.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio también evidenciaron que concentraciones elevadas de Plomo (Pb) (T1) disminuyeron la eficiencia de remoción, lo que indica un posible efecto tóxico en la planta. Esto guarda relación con Munive et al., 2022 (2020) y Turpo (2023), quienes reportaron que cuando la concentración de Plomo (Pb) en el suelo supera cierto umbral (250 mL de Plomo (Pb)), la acumulación en la biomasa vegetal se ve afectada debido a alteraciones fisiológicas en la planta.

Además, se observó que la remoción de Plomo (Pb) también fue menor en el tratamiento con baja concentración (T3), lo que indica que la disponibilidad del metal en el suelo juega un papel clave en la eficiencia del proceso de fitorremediación. Este resultado coincide con los hallazgos de Bendezu (2021), quien concluyó que la remoción de cadmio por *H. annuus* fue menor en suelos con baja contaminación, ya que la disponibilidad reducida del metal limitó su absorción por la planta. De igual forma, De la Rosa y Soto (2022) indicaron que la eficiencia de extracción de Plomo (Pb) en *H. annuus* varía en función de la concentración inicial en el suelo.

Variación del Cromo (Cr) y Plomo (Pb) durante un periodo de 120 días

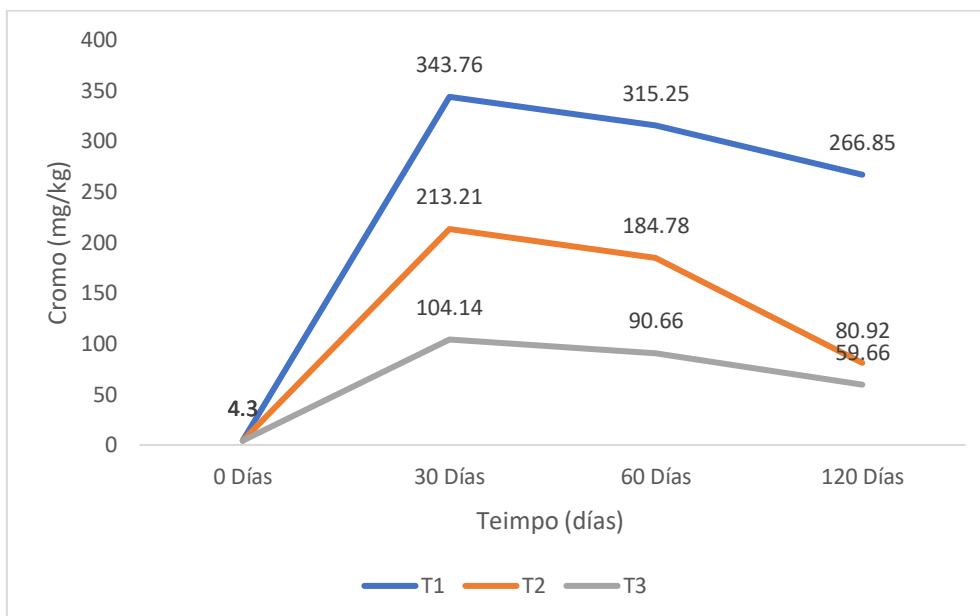


Figura 6. Variación del Cromo (Cr) en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con *Helianthus annuus L.* (girasol) durante un periodo de 120 días.

Los resultados que se observan en la Figura 6, muestran la evolución de la concentración de Cromo (Cr) en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con *Helianthus annuus L.* (girasol) a través de intervalos de tiempo 0, 30, 60 y 120 días. En las primeras fases del experimento (0 días), las concentraciones de Cromo (Cr) en el sustrato de las composteras fueron homogéneas para todos los tratamientos, que tuvieron un valor inicial de 4,3 mg/L. En los 30 primeros días, las concentraciones de Cromo (Cr) en el sustrato se incrementaron significativamente, es decir, alcanzando un valor de 343,76 mg/kg para T1, 213,21 mg/kg en T2 y 104,14 mg/kg en T3. Se puede decir que el aumento que se observó en ese momento se debe a la liberación de Cromo (Cr) de las fuentes contaminantes tratadas incorporadas en el sustrato.

Desde 60 días, se evidencio una disminución en las concentraciones de Cromo (Cr) en el sustrato de los tres tratamientos, donde T1 pasó de 343,76 mg/kg a una concentración de

315,25 mg/kg y T2 y T3 de 213,21 mg/kg a 184,78 mg/kg y de 104,14 mg/kg a 90,66 mg/kg, respectivamente. Esta disminución progresiva ilustra la capacidad del girasol para absorber Cromo (Cr) del sustrato para su desarrollo.

Por último, a los 120 días se obtuvieron las concentraciones más bajas en el Cromo (Cr) en el sustrato, donde T1 se encuentra en 266,85 mg/kg, T2 en 80,92 mg/kg y T3 en 59,66 mg/kg. La reducción progresiva de Cromo (Cr) en el sustrato en los tratamientos T1, T2 y T3 es atribuida al consumo de este metal por parte de *Helianthus annuus L.* durante su desarrollo.

El mecanismo responsable de esta reducción progresiva puede explicarse a través de los procesos fisiológicos de absorción, translocación y acumulación del Cromo (Cr) en la planta. Según Ortega et al. (2009), indica que el Cromo (Cr) es absorbido por las raíces a través del flujo de masas en la solución del suelo y luego transportado a la biomasa vegetal. En este sentido, Reyes (2023) y López et al. (2005) han confirmado que las especies utilizadas en fitorremediación suelen inmovilizar el metal en las raíces para evitar su toxicidad en la parte aérea, lo que explicaría la reducción progresiva de Cromo (Cr) en el suelo observada en este estudio.

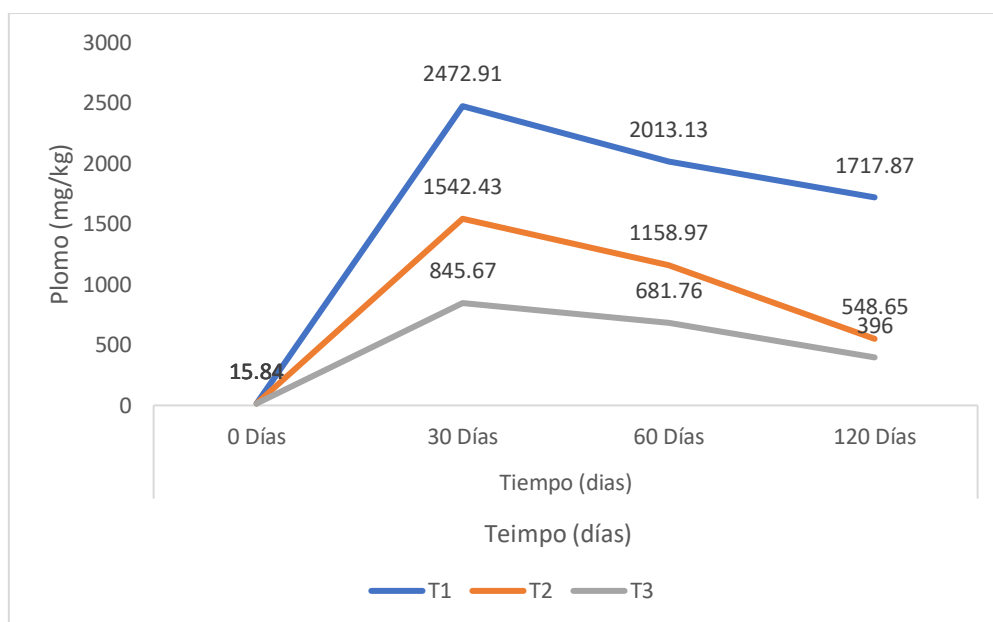


Figura 7. Variación del Plomo (Pb) en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con *Helianthus annuus* L. (girasol) durante un periodo de 120 días.

Los resultados presentados en la figura 7, indican la variación de las concentraciones de Plomo (Pb) en el sustrato contaminado de las composteras tratadas con *Helianthus annuus* L. (girasol) a lo largo de un periodo de 120 días. Al inicio, es decir, a los 0 días, las concentraciones de Plomo (Pb) en el sustrato eran homogéneas en todos los tratamientos, estableciendo un valor inicial de 15,84 mg/L, el cual se utilizó como referencia para las mediciones posteriores.

Después de 30 días, se registró un notable aumento en las concentraciones de Plomo (Pb) en el sustrato, atribuible a la adición de las soluciones contaminantes. El tratamiento T1 presentó la mayor concentración con 2472,91 mg/L, seguido por T2 con 1542,43 mg/L y T3 con 845,67 mg/L. Este aumento inicial refleja las diferentes cantidades de Plomo (Pb) introducidas en las composteras, según el tratamiento aplicado.

A los 60 días, se evidenció una disminución en las concentraciones de Plomo (Pb) en todos los tratamientos. En el caso de T1, la concentración descendió a 2013,13 mg/L, mientras

que T2 y T3 mostraron reducciones a 1158,97 mg/L y 681,76 mg/L, respectivamente. Esta tendencia indica que el girasol comenzó a absorber el Plomo (Pb) presente en el sustrato, utilizando este metal durante su desarrollo.

Finalmente, a los 120 días, las concentraciones de Plomo (Pb) alcanzaron sus niveles más bajos. En T1, se redujo a 1717,87 mg/L; en T2, a 548,65 mg/L; y en T3, a 396 mg/L. Estos resultados evidencian que de los sustratos a los que se les aplicó el T2 y T3 se logró obtener la mayor remoción del metal en comparación con el T1. De hecho, el tratamiento T3, que partió de la menor cantidad inicial de Plomo (Pb), presentó el mayor nivel de remoción, seguido por T2 y T1.

Los resultados obtenidos evidencian una reducción progresiva del Plomo (Pb) en el sustrato a los 60 y 120 días, lo que confirma la capacidad de *Helianthus annuus L.* para remover este metal pesado a través de la fitorremediación. Este hallazgo coincide con los estudios de Ramírez y Saurin (2022) y Ramos (2023), quienes reportaron que *H. annuus* es capaz de disminuir significativamente la concentración de Plomo (Pb) en suelos contaminados, destacándose su eficiencia en períodos prolongados de crecimiento. En particular, Ramos (2023) observó una reducción de hasta 79,91 % de Plomo (Pb) en suelos impactados por relaves mineros, lo que refuerza la eficacia de esta especie en la descontaminación de suelos afectados por metales pesados.

La reducción progresiva del Plomo (Pb) indica que el crecimiento de la planta está directamente relacionado con su eficiencia fitorremediadora. Investigaciones como las de Bendezu (2021) han demostrado que el aumento de la biomasa radicular y aérea con el tiempo favorece una mayor absorción de metales pesados. Esto también es consistente con los hallazgos de De la Rosa y Soto (2022), quienes indicaron que la eficiencia de extracción de

Plomo (Pb) en *H. annuus* alcanza su punto máximo en etapas avanzadas de crecimiento, debido a la expansión del sistema radicular y el desarrollo de mecanismos de tolerancia al metal.

Tabla 11

Distribución y acumulación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en Helianthus annuus L. (girasol).

Metal contaminante (mg/kg)	Contenido en planta			Total
	Raíz	Tallo	Hojas	
Cromo (Cr)	29,29	0,18	0,15	29,62
Plomo (Pb)	244,58	4,10	0,88	249,56

Nota: Distracción del Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en raíz, tallo y hojas del girasol.

Los datos resultados de la tabla muestran las distribuciones y acumulaciones diferenciales del Cromo (Cr) y el Plomo (Pb) en los distintos órganos de la especie *Helianthus annuus L.*, comúnmente conocida como girasol. Cabe destacar que ambos metales fueron retenidos en mayor proporción en las raíces, observándose un escaso traslado hacia los tallos o hacia las hojas. De manera que esta observación puede indicar que el girasol funciona como una planta fitostabilizadora, almacenando los metales en la zona radicular y restringiendo la movilidad de estos metales hacia la parte aérea de la planta.

La acumulación total obtenida para el Cromo (Cr) fue de 29,62 mg/kg, de los cuales 29,29 mg/kg (98,89 %) se almacenaron en las raíces. Los valores correspondientes al tallo y a las hojas fueron sensiblemente inferiores (0,18 mg/kg y 0,15 mg/kg, respectivamente). Esta escasa translocación del Cromo (Cr) hacia los órganos aéreos puede indicar que este metal no se desplaza hacia las raíces, implicando la existencia de un mecanismo de exclusión que evita el transporte hacia los tejidos superiores. Esta capacidad extraordinaria de retención en raíces supone una gran estrategia de tolerancia al estrés por metales, puesto que el Cromo (Cr) no podría alcanzar órganos primordiales, como las hojas, que pudieran interrumpir procesos tan importantes como son aquellos asociados a la fotosíntesis.

La acumulación total de Plomo (Pb) fue significativamente mayor, alcanzando un total de 249,56 mg/kg, 244,58 mg/kg (98,01 %) en el caso de las raíces, 4,10 mg/kg en el caso del tallo y 0,88 mg/kg para las hojas. De forma que, a pesar de que la translocación del Plomo (Pb) fue superior a la del Cromo (Cr), la concentración de Plomo (Pb) en la parte aérea también fue baja. Esto sostiene que el girasol posee una alta capacidad de acumulación del Plomo (Pb) en la raíz, lo que denota que el metal se inmoviliza en la raíz de forma eficiente; no obstante, la escasa acumulación de Plomo (Pb) que pudo observarse en el tallo y hojas puede denotar una menor restricción de su transporte con respecto al Cromo(Cr).

Los resultados evidenciaron que *Helianthus annuus* L. acumuló 29,62 mg/kg de Cromo, de los cuales 98,89 % se concentró en las raíces, y 249,56 mg/kg de Plomo (Pb), con una acumulación predominante del 98,01 % en la raíz. Estos resultados indican que el girasol actúa como una planta fitostabilizadora, restringiendo la translocación de los metales pesados a la parte aérea. Al respecto Munive (2019), quien reportó en su investigación que *Helianthus annuus* L. acumuló el 75 % de Plomo (Pb) en la raíz, con menor translocación hacia los tallos y hojas. De manera similar, Ramírez y Saurin (2022) determinaron que el Plomo (Pb) extraído por *H. annuus* en suelos contaminados con concentraciones de hasta 20 mg/kg se acumuló mayoritariamente en la raíz, con valores que oscilaron entre 2,8 % y 23,55 % de la remoción total del suelo.

En cuanto a la acumulación de Cromo (Cr), los estudios de De la Rosa y Soto (2022) indicaron que en tratamientos con girasol la extracción de metales pesados como Plomo (Pb), cobre y Zinc fue mayor en la raíz, con una mínima translocación a los órganos superiores. Del mismo modo, Ramos (2023) observó que *H. annuus* retiene la mayoría del Plomo (Pb) absorbido en la rizosfera, lo que reduce la toxicidad en la parte aérea y evita efectos adversos en la fisiología de la planta.

El proceso de remoción de Plomo (Pb) por parte del girasol puede explicarse por su habilidad para incorporar este metal en su fisiología, ya sea mediante su absorción radicular o su retención en las paredes celulares para minimizar sus efectos tóxicos (López et al., 2005). Por su parte, Munive (2019) ha demostrado que *H. annuus* almacena el Plomo (Pb) predominantemente en la raíz (75 % del total absorbido), limitando su transporte hacia la parte aérea. Este comportamiento es característico de las plantas fitostabilizadoras, ya que reducen la biodisponibilidad del metal en el suelo sin movilizarlo hacia órganos esenciales como hojas y flores (Reyes, 2023).

Por otro lado, Turpo (2023) reportó que, en suelos con lixiviados de residuos sólidos contaminados con Plomo (Pb), *H. annuus* mostró una capacidad de remoción del 26,1 %, con una mayor acumulación en la raíz. Según López et al. (2005), la fitoestabilización es un proceso en el cual las plantas restringen la movilidad de contaminantes en el suelo al inmovilizarlos en las raíces o precipitar los metales en la rizosfera. En este contexto, los resultados obtenidos en la presente investigación indican que *H. annuus* opera predominantemente bajo este mecanismo, reteniendo casi el 99 % de los metales absorbidos en la raíz, lo que reduce el riesgo de dispersión en el ecosistema.

La alta acumulación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en la raíz plantea importantes implicancias en la aplicación de la fitorremediación con *H. annuus*. En primer lugar, el hecho de que la planta no transloque los metales pesados hacia la parte aérea indica que su uso en fitoextracción es limitado, ya que los contaminantes quedan retenidos en el sistema radicular y no pueden ser eliminados mediante cosecha. Sin embargo, este mismo mecanismo resulta beneficioso en la fitoestabilización, ya que evita la migración del Cromo (Cr) y Plomo (Pb) hacia aguas subterráneas o su dispersión en el aire mediante partículas de polvo, reduciendo los riesgos de contaminación ambiental.

4.3. Contrastación de hipótesis

H₀: *Helianthus annuus L.* no presenta una capacidad significativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado.

H₁: *Helianthus annuus L.* presenta una capacidad significativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo en un ambiente controlado.

Nivel de alfa: 0,05

Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA) presentados en la tabla 6 y tabla 9, se obtuvo un valor de significación (p-valor) menor a 0,05 para el Cromo (Cr) y Plomo (Pb), lo que indica que existen diferencias significativas atribuibles a la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* Estos resultados demuestran que esta especie posee una capacidad significativa para la remoción de Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en suelos contaminados bajo condiciones controladas. Por lo tanto, con base en la evidencia estadística, se acepta la hipótesis alternativa (H₁) y se rechaza la hipótesis nula (H₀), confirmando el potencial de esta especie como una herramienta eficaz en procesos de fitorremediación.

Hipótesis específica 1

H₀: *Helianthus annuus L.* no influye en la variación de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) del suelo de las composteras en un periodo de 120 días.

H₁: *Helianthus annuus L.* influye en la variación de la concentración de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) del suelo de las composteras en un periodo de 120 días.

Según los resultados presentados en la Figura 6 y Figura 7, se observa que las concentraciones de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en sustrato variaron significativamente durante

el periodo de 120 días, lo cual se atribuye a la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* Estos hallazgos permiten aceptar la hipótesis H₁, la cual establece que *Helianthus annuus L.* posee una capacidad significativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en un ambiente controlado. La reducción progresiva de las concentraciones de estos metales en el suelo confirma el potencial de esta especie como una herramienta eficaz en la recuperación de suelos afectados por contaminación con metales pesados.

Hipótesis específica 3

H₀: La capacidad de absorción y translocación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* es similar en raíces, tallos y hojas, sin evidenciar patrones diferenciados de acumulación.

H₁: La capacidad de absorción y translocación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* es diferente en raíces, tallos y hojas, evidenciando patrones diferenciados de acumulación.

Según los resultados presentados en la Tabla 11, se evidencia que *Helianthus annuus L.* acumula Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en mayor cantidad en las raíces en comparación con los tallos y las hojas. Este patrón de distribución diferenciada confirma que la capacidad de absorción y translocación de estos metales pesados varía entre los tejidos de la planta. Por lo tanto, se acepta la hipótesis H₁, la cual establece que la absorción y translocación de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) en *Helianthus annuus L.* es diferente en raíces, tallos y hojas, evidenciando patrones de acumulación específicos y destacando el papel predominante de las raíces como principal sitio de retención de estos contaminantes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- *Helianthus annuus L.* presentó una capacidad significativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en ambiente controlados.
- *Helianthus annuus L.* influye significativamente en la variación de la concentración de Plomo (Pb) y Cromo (Cr) en ambiente controlados.
- *Helianthus annuus L.* actúa como una planta inmovilizando los metales en las raíces y limitando su translocación hacia las partes aéreas.

RECOMENDACIONES

- Se sugieren investigaciones futuras en las cuales se explore la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus L.* con diferentes combinaciones y concentraciones de metales pesados, combinando otros contaminantes ajenos como el cadmio o el arsénico.
- La eficiencia de reducción de Cromo (Cr) y Plomo (Pb) a lo largo del tiempo decreció alcanzando 120 días, por lo que se sugiere realizar estudios más prolongados, es decir a dos campañas de cosecha de *Helianthus annuus L.* para evaluar la remediación de suelos durante tiempos más prolongados.
- Por otra parte, se recomienda estudiar los efectos de la fitotoxicidad en la planta a partir de diferentes concentraciones de metales para optimizar su uso en la fitorremediación de suelos sin cercenar el crecimiento y desarrollo de la planta.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bendezu, S. A. (2021). *Remoción de suelo contaminado con cadmio, mediante fitorremediación con Helianthus annuus L. y Medicago sativa*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84275/Bendez%20c3%ba_BSA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bouida, L; Ratatullah, M; Kerrouche, A; Qutob, M; Alosaimi, A; Alorfi, H. (2022). A Review on Cadmium and Lead Contamination: Sources, Fate, Mechanism, Health Effects and Remediation Methods. *Water*, 14(21), 3432. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/21/3432>
- Calderón, D y Zamudio, A. (2020). Fitoestabilización de Cromo hexavalente por *Acacia melanoxylon*; una estrategia para el tratamiento de suelos contaminados. *Revista Ciencias Biológicas y Ambientales*. 4 (1), 22-61. Repositorio institucional: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8258/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Davila Mego, N., & Walter Villegas, L. (2018). *Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13482/D%20c3%a1vila%20Mego%20c%20Nancy%20Karina%3b%20Walter%20Villegas%20c%20Lorena%20Chabeli.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De la Rosa Soto, D. F., & Soto Almeida, J. C. (2022). *Propuesta de mejora para el análisis de suelos remediados para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el Instituto de Educación Superior CETEMIN*. [Tesis de Maestría, Escuela de Posgrado Newman Perú]. Repositorio institucional: https://repositorio.epnewman.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12892/812/trabajo_de_investigacion_mgma_22_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgadillo, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandova, O. (2010). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 597- 612. Repositorio institucional:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002

- Díaz, OE, & Guevara, CAD (2020). *Remediación de suelos contaminados con Plomo mediante el empleo de girasol (Helianthus annuus L.) y estiércol de lombriz roja (Eisenia foetida) en condiciones controladas* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/81552/Diaz_OAS-Guevara_DAC-SD.pdf?sequence=1&utm_source=chatgpt.com
- González Díaz, J., & Alejandra Medina, M. (2020). Diseño y evaluación del compostaje como alternativa para el tratamiento de residuos de aditivos en la construcción. *Producción mas Limpia*, 9(1), 44-62. Repositorio institucional:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100004
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill Education. Repositorio institucional:
http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampierilasrutas.pdf
- Hernandes, N. (2008). *Hidroponia.mx*. <https://hidroponia.mx/girasol-en-mexico/#:~:text=El%20girasol%20es%20una%20planta,luz%20solar%20y%20mucho%20humedad>. Repositorio institucional:
- Huamán, N. N. (2019). Recuperación de suelos contaminados con Plomo (ii) a escala piloto, utilizando girasol (*Helianthus annuus L.*) con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya [Tesis de licenciatura, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio Institucional.https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/5443/Tesis_Suelos_Plomo_Girasol.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. España: Mundi-Prensa. Repositorio institucional:<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767893/introduccion-a-la-contaminacion-de-suelos>
- Kumar, N. (2016). Efecto de los metales pesados en las plantas: descripción general. *Revista Internacional de Aplicación o Innovación en Ingeniería y Gestión*, 5(3), 56-66.

- Litoclean. (2022). *Investigación y remediación de suelos*.
<https://www.litoclean.com/actividad-suelos/>
- López-Martínez, S., Gallegos-Martínez, M., Pérez Flores, L., & Gutiérrez Rojas, M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 21(2), 91-100.
 Repositorio institucional:
<https://www.redalyc.org/pdf/370/37021205.pdf>
- MacGregor Baker, A. (1981). Accumulators and excluders strategies in response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4), 643-654.
 Repositorio institucional:
https://www.researchgate.net/publication/245161988_Accumulators_and_Excluders_Strategies_in_Response_of_Plants_to_Heavy_Metals
- Magán, N., Gouma, S., Fragoeiro, S., Shuaib, M., & Bastos, A. (2022). Estrategias de biorremediación bacteriana y fúngica. *Biodegradación microbiana y biorremediación*, 2(10), 193-212.
 Repositorio institucional:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978032385455900028X?via%3Dihub>
- Marrero-Coto, J., Amores-Sánchez, I., & Coto-Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(3), 52-61. Repositorio institucional:
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>
- Martínez Mejía, B., Escamilla Flores, G., Rodríguez Ortega, A., Gómez Mercado, R., & Barrón Yáñez, R. (2017). *Evaluación de híbridos de girasol (Helianthus annuus L.) en régimen de temporal en el valle del Mezquital, Hidalgo* (1era ed.). Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Repositorio institucional:
<https://cerlalc.org/rilvi/evaluacion-de-hibridos-de-girasol-helianthus-annuus-l-en-regimen-de-temporal-en-el-valle-del-mezquital-hidalgo-19494/>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Repositorio digital del Ministerio del Ambiente*. Repositorio institucional: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/>

- Morales, M. (2020). *Capacidad de absorción del girasol (Helianthus annuus L.) en suelos contaminados a diferentes concentraciones de Plomo (Pb) nivel laboratorio*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPeU.
Repositorio institucional:
<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fe555be2-e8f8-49be-9e87-95e8076cfe0d/content>
- Munive Cerrón, R. V. (2019). *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
Repositorio institucional:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=341718>
- Munive, R; Gamarra, G; Puertas, Fernando; Valdiviezo, L y Cabello, R. (2020). Absorción de Plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n2/2077-9917-agro-11-02-177.pdf>
- Muñoz Chavarría, C. (2019). *Adaptación del girasol (Helianthus annuus L.) a suelos contaminados con gasolina y tratados con estiércol*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio institucional:
<https://repositorio.uaaan.mx/xmLui/handle/123456789/8281>
- Ortega-Ortíz, H., Benavides-Mendoza, A., Arteaga Alonso, R., & Zermeño-González, A. (2009). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados*. Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
Repositorio institucional:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/40307267/Nutricion_Vegetal-4-libre.pdf?1448314311=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTemas_Modernos_de_Nutricion_Vegetal.pdf&Expires=1740434248&Signature=RPgsD46zbCw9L9t16CBYGzzQKJTKhyqhQOYL6MUm7AQAOPEGHyUbXOqKgY-39hS0xa18gqb-Xpk5Kf7yKwyb4gKDB0EkVeE7Qlj0PlqSX2SBU0Ow3fGrrLFnCHI~Yz2avl4bz9fZoxVBCPCtoKd~va9tFGgtl7ZUmU2GW6JMjEnCltsdHaxyvZ5vXteq7~r5OGKmlrjmMXnBDB6WWkcF9tbzwd4Cwr0ZrZeGJ1kcfB2II9mNs5GfPQlqxzqa

CMo48J-NyDQFrLbOkxc-

z2K4ISc262~hGyUfsyXdcpyPCFEyv0ATZWgPbpc9ofttleNvwdB7VqoaQ4Mpzd3j
Cqw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Peralta, J. (2011). *Herbario de la Universidad Pública de Navarra*. Repositorio institucional:
https://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Heli_annu_p.htm

Prieto Méndez, J., González Ramírez, C., Román Gutiérrez, A., & Prieto García, F. (2009).
Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos
y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. Repositorio
institucional:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>

Ramirez Armas, D. E., y Saurin Tuanama, M. Y. (2022). *Absorción de Plomo por girasol
(Helianthus annuus L.) en suelo contaminado y remediado con quelante en la región
San Martín 2022*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio
institucional:
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/99942/Ramirez_ADE-
Saurin_TMY%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/99942/Ramirez_ADE-Saurin_TMY%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ramos Guagua, L. M. (2023). *Análisis de la fitorremediación de relaves mineros
contaminados con Plomo utilizando Helianthus annuus L. en el cantón Camilo Ponce
Enríquez, 2022*. [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio
institucional:
[https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMOS%20GUAGUA%20LIBBETH%20MAIT
E.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMOS%20GUAGUA%20LIBBETH%20MAIT E.pdf)

Reyes, K. (2023). *Fitorremediación de suelo contaminado con Cromo hexavalente
empleando las especies Portulacaria afra y Cynodon dactylon* [Tesis de maestría,
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco] Repositorio
institucional: <https://core.ac.uk/download/591421786.pdf>

Roca Fernández, A. (18 de Enero de 2019). *InfoAgro.com*. Repositorio institucional:
https://www.infoagro.com/documentos/contaminacion_suelos_metales_pesados.asp

Rodríguez Heredia, D. (2019). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*,
21(12).

Rodrigo, D. J. (2022). *Capacidad fitorremediadora de la especie Helianthus annuus L.
mediante la incorporación de enmiendas a suelos contaminados por metales pesados*

- (*Plomo, Cromo*) de industrias metalmecánicas. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_e943ae9e38eabef74a350b803ec44bd6?utm_source=chatgpt.com
- Salazar Pinto, B., Cutipa Luque, J., Ramírez Valverde, G., Juyo Salazar, R., Paredes Fuentes, J., & Villanueva Salas, J. (2017). Estudio de la contaminación por Cromo (Cr) en el río chili y parque industrial de río seco (PIRS), Arequipa – Perú 2015 -2016. *Véritas Journal*, 16(1), 43-46. Repositorio Institucional:
<file:///C:/Users/Usuario/Downloads/82-1-288-1-10-20170914.pdf>
- Steliga, T., & Kluk, D. (2020). Aplicación de Festuca arundinacea en fitorremediación de suelos contaminados con Pb, Ni, Cd e hidrocarburos de petróleo. *Ecotoxicología y Seguridad Ambiental*, 194, 110409. Repositorio Institucional:
- Sunción Arce, A. (2017). *Actividad catalítica de la fitoquelatina sintasa en raíces y hojas de plántulas de Myrciaria dubia (kunth) Mc Vaugh “camu camu” expuestos a metales pesados*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional:
<http://repositorio.ucp.edu.pe/items/5b59ab1d-df5b-409e-9625-cd2cd56cb4f4>
- Turpo Sucari, D. M. (2023). *Fitorremediación de suelos contaminados por lixiviados de residuos sólidos mediante Helianthus annuus L.* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional:
<https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e75d8406-4921-4a96-8cd0-9f652586bc63/content>
- Vásquez Contreras, M. F. (2023). *Fitorremediación de relaves mineros con Helianthus annuus L. asistida por consorcios bacterianos promotores del crecimiento vegetal*. [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional:
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/f05ad08e-143a-4206-886f-1217175c99b8>
- Zapata, R., & Angelone, S. (2019). *Geología y Geotecnia. Tipos de suelos*. Universidad Nacional del Rosario. Repositorio

institucional:[https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SU
ELO.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SU%20ELO.pdf)

ANEXOS

74

**SAG**

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



INFORME DE ENSAYO N° 137561 - 2019 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Suelo
Matriz analizada		Suelo
Fecha de muestreo		2019-10-10
Hora de inicio de muestreo (h)		12:20
Condiciones de la muestra		Conservada
Código del Cliente		SUE Control
Código del Laboratorio		19102623
Ensayo	Unidad	Resultados
*Acidez Intercambiable ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$)	mEq/100g muestra	0.38
*Bases Intercambiables (Ca^{+2})	mEq/100g muestra	6.32
*Bases Intercambiables (Mg^{+2})	mEq/100g muestra	2.10
*Bases Intercambiables (K^+)	mEq/100g muestra	0.30
*Bases Intercambiables (Na^+)	mEq/100g muestra	0.21
*Carbonatos solubles	$\text{CaCO}_3\%$	1.98
*Capacidad Intercambio Cationica (CIC)	mEq/100g muestra	2.56
Conductividad	mS/m	27.7
Conductividad	dS/m	0.277
*Fósforo (disponible y/o extraíble)	P mg/kg (ppm)	4.26
Materia orgánica	%	6.28
pH	unidades pH	7.51

* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA

Resultados de Suelo reportados en base seca

Medición de pH realizada a 25°C

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C. Q. P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

EPA: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana

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

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

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

Página 2 de 4

**SAG**

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



INFORME DE ENSAYO N° 137561 - 2019 CON VALOR OFICIAL

15. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo		
Muestra analizada	Suelo		
Fecha de muestreo	2019-10-10		
Hora de inicio de muestreo (h)	12:20		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	SUE Control		
Código del Laboratorio	19102623		
Ensayo	L.D.M.	Unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	<0.07
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	14220.8
Artenico (As)	0.1	mg/kg	6.3
Boro (B)	0.2	mg/kg	<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	99.0
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.32
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	6306.5
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	2.14
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	9.0
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	5.43
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	4.30
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	14.5
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	14215.8
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	4.3	mg/kg	571.3
Litio (Li)	0.3	mg/kg	2.4
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	1275.6
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	442.99
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	<0.2
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	244.9
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	3.23
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	15.84
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estafío (Sn)	0.1	mg/kg	0.2
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	47.0
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	93.24
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	30.89
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	42.1

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

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Quim. **Balth Y. Fajardo León**
C.O.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

ENL: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana

OBJERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a través que sea bajo la administración de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de prescripción del paquete analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para constatar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada. Falsos o falsificación del contenido o de la autenticidad de este documento es ilegal y los culpables quedan sujetos a sanciones de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Muñoz de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6855 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 4

**SAG**

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



INFORME DE ENSAYO N° 137561-2019 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Código de cliente	Código de laboratorio	Producto declarado	Matriz analizada	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Condición de la muestra
SUE Control	19102623	Suelo	Suelo	2019-10-10	12:20	Conservada

*ANÁLISIS DE TEXTURA						
IDENTIFICACIÓN		COMPOSICIÓN			Clase Textural	Denominación
Código de cliente	Código de laboratorio	% Arena	% Limo	% Arcilla		
SUE Control	19102623	39	27	33	Fr.Ar.	Franco Arcilloso

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

* El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA.

Modificadores de Clase Textural	
Contenido de fragmentos %V	Término
< 15	Sin adjetivo
15 ≤ < 35	gravoso, lujoso, pedregoso
35 ≤ < 60	muy gravoso, muy lujoso
60 ≤ < 90	extremadamente gravoso
> 90	(no suelo) grava, laja

Observación: Los modificadores de clase textural se utilizan cuando la muestra analizada por granulometría contiene material gravoso determinado en una porción diferente a la de granulometría. Según su porcentaje se utilizan los adjetivos para dar denominación adicional a la clase textural.

Lima, 03 de Diciembre del 2019.

Guim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency; ASTM: American Society for Testing and Materials; NTP: Norma Técnica Peruana.

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

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

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

Página 4 de 4



INACAL
CA - Perú
Laboratorio de Análisis
Químico

RAZÓN SOCIAL	: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
DOMICILIO LEGAL	: AV. LA ALAMEDA DE LOS INCAS NRO. 253 CHAPAC ÑAN (MUNICIPALIDAD DE CAJAMARCA)- CAJAMARCA - CAJAMARCA
SOLICITADO POR	: MARLENY ELIZABETH PEREIRA RODRIGUEZ
REFERENCIA	: FITORREMEDIACIÓN
PROCEDENCIA	: CAJAMARCA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-11-18
FECHA(S) DE ANÁLISIS	: 2019-11-25 AL 2019-11-25
FECHA(S) DE MUESTREO	: 2019-11-10
MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIO.

Ensayos	Método	Unidades
Metales (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cero, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc).	Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	mg/kg

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	2019-11-10	2019-11-10	2019-11-10
Hora de inicio de muestreo (h)	12:20	12:20	12:20
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	SUE T1	SUE T2	SUE T3
Código del Laboratorio	19112043	19112044	19112045
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.08	mg/kg	<0.08
Aluminio (Al)	1.2	mg/kg	10426.7
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	0.4
Boro (B)	0.2	mg/kg	<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	70.2
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.28
Calcio (Ca)	1.1	mg/kg	5015.4
Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	1.53
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	9.3
Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	4.22
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	311.25
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	13.5
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	11621.3
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potasio (K)	3.8	mg/kg	387.1
Litio (Li)	0.3	mg/kg	1.8
Magnesio (Mg)	4.1	mg/kg	1086.1
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	380.78
Moibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.2
Sodio (Na)	2.2	mg/kg	142.5
Niquel (Ni)	0.07	mg/kg	2.35
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	547.1
Plomo (Pb)	0.05	mg/kg	2013.13
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	4.5
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	22.7
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	32.2
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	65.60
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.06	mg/kg	25.29
Zinc (Zn)	0.3	mg/kg	32.2

* El Método Indicado no ha sido acreditado por MACAL-DA

EPA: Environmental Protection Agency; ASTM: American Society for Testing and Materials; ASTM

PRESTACIONES: • Toda prueba de verificación completa el total de los prembros documentales a menos que sea lo contrario. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para el laboratorio que los emite. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles.

CONDICIONES: • Para combatir la FALSIFICACIÓN del presente informe, los clientes deben firmar el presente documento en el momento de la entrega. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles.

CONTACTO: • Para cualquier información adicional, consulte al representante de ventas. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles. • Los resultados de las pruebas de verificación de la calidad de los productos se emiten en un plazo de 10 días hábiles.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Risa Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagpera.com • Contacto Electrónico sagpera@sagpera.com

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Lima, 29 de Noviembre del 2019.

Cod: F102/Version: 05/F103/2018



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



INFORME DE ENSAYO N° 143259 - 2020 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
DOMICILIO LEGAL : AVENIDA ALAMEDA DE LOS INCAS S/N COMPLEJO QHAPAC ÑAN
SOLICITADO POR : MARLENY PEREYRA RODRIGUEZ
REFERENCIA : ANALISIS DE METALES EN TEJIDO VEGETAL
PROCEDENCIA : CAJAMARCA - VIVERO VENECIA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2020-09-15
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2020-09-15 H 2020-09-29
FECHA(S) DE MUESTREO : 2020-02-05
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

1. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Tejido vegetal (plantas)		
Ensayo	Método	Unidades
Total Metals (In Vegetable Tissues): Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr) Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg) Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo) Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Uranium (U), Vanadium (V), Zinc (Zn).	EPA Method 200.3, Rev. 1, April, 1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.	mg/Kg

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.O.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método utilizado corresponde al establecido por INACAL, tal como se registra en el Registro Nacional de Acreditación - RIA.

EPA: Environmental Protection Agency, ASTM: American Society for Testing and Materials, MTP: Nuevo Método Propuesto.

OBSERVACIONES: • Este informe es la representación gráfica de los datos obtenidos en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para la muestra referida en el presente informe. • Los métodos de ensayo corresponden al método de laboratorio analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado los resultados al laboratorio. Luego serán eliminados. • Para validar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@siggeneral.com. • Cualquier modificación en el contenido, fecha o fecha de emisión del documento o de la apariencia de este documento es ilegal y los resultados pueden ser anulados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1505 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pataje Clorinda Matto de Turner N° 3079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@siggeneral.com

Página 1 de 4

Cod. F3 003/Modificación 01/6 E-01/2019



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



INFORME DE ENSAYO N° 143259 - 2020 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Raíz	Tallo	Hojas	Raíz
Matriz analizada			Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal
Fecha de muestreo			2020-02-05	2020-02-05	2020-02-05	2020-02-05
Hora de inicio de muestreo (h)			12:05	12:05	12:05	12:05
Condiciones de la muestra			Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente			P ₁	P ₁	P ₁	P ₁
Código del Laboratorio			20091474	20091475	20091476	20091477
Ensayo	L.D.M.	Unidad	Resultados			
Metales totales						
Silver / Plata (Ag)	0.08	mg/kg	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Aluminium / Aluminio (Al)	1.2	mg/kg	1667.6	14.1	121.4	2513.2
Arsenic / Arsénico (As)	0.1	mg/kg	0.8	0.3	0.2	0.9
Boron / Boro (B)	0.2	mg/kg	1.5	10.4	3.4	<0.2
Barium / Bario (Ba)	0.2	mg/kg	16.3	13.7	19.8	23.8
Beryllium / Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.07	0.04	<0.03	0.05
Calcium / Calcio (Ca)	3.1	mg/kg	5817.7	7022.8	27897.4	4157.2
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	0.44	0.18	0.36	0.36
Cerium / Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	1.3	<0.2	<0.2	1.8
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.54	0.06	<0.04	0.62
Chromium / Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	26.73	0.19	0.15	45.18
Copper / Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	17.6	1.3	12.3	6.1
Iron / Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	1333.0	12.5	174.3	1362.5
Mercury / Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Potassium / Potasio (K)	3.8	mg/kg	25796.2	29343.5	28240.0	3955.6
Lithium / Litio (Li)	0.3	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3	0.5
Magnesium / Magnesio (Mg)	3.1	mg/kg	2179.4	779.0	2905.0	486.6
Manganese / Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	29.81	5.78	31.64	46.18
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	0.7	<0.2
Sodium / Sodio (Na)	2.2	mg/kg	3869.0	206.8	13.6	250.6
Nickel / Níquel (Ni)	0.07	mg/kg	1.48	0.24	<0.07	0.78
Phosphorus / Fósforo (P)	0.3	mg/kg	537.7	93.0	1167.4	270.8
Lead / Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	253.67	2.54	0.75	331.88
Antimony / Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Selenium / Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Tin / Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	4.0	5.8	2.2	2.3
Strontium / Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	35.6	44.4	105.7	24.1
Titanium / Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	11.53	0.24	2.00	13.76
Tellurium / Teluro (Te)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadium / Vanadio (V)	0.06	mg/kg	2.79	0.06	0.25	4.22
Zinc (Zn)	0.3	mg/kg	12.2	14.4	41.5	9.1
Uranium / Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7

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

Quim. Belketh J. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El método utilizado es el que está acreditado por IAS (IA) y el Organismo Internacional de Acreditación - ISO.

ISO: Environmental Protection Agency ASTM, American Society for Testing and Materials, NTP, American Tobacco Company.

CONSEJERÍA: • Esta información es la reproducción de un informe de análisis y no debe ser utilizada como evidencia legal. • Los resultados de los análisis de laboratorio son válidos solo si se utilizan para los fines previstos en el presente informe. • Los resultados de los análisis de laboratorio son válidos solo si se utilizan para los fines previstos en el presente informe. • Para conocer la AUTENTICIDAD del presente informe contacte al correo: info@serviciosanaliticos.com. • Cualquier modificación no autorizada, invalida la validez de los resultados de los análisis y los resultados pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima • Oficina Administrativa: Pasaje Chorrillo Mito de Tarsus N° 2579 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 2 de 4

Edu. 11 (005) Versión: 01 (F.E.M. 02/19)



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



INFORME DE ENSAYO N° 143259 - 2020 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Tallo	Hojas	Raíz	Tallo
Matriz analizada		Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal	Tejido vegetal
Fecha de muestreo		2020-02-05	2020-02-05	2020-02-05	2020-02-05
Hora de inicio de muestreo (H)		12:05	12:05	12:05	12:05
Condiciones de la muestra		Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente		P ₂	P ₂	P ₁	P ₃
Código del Laboratorio		20991478	20091479	20091498	20091481
Ensayo	L.D.M.	Unidad	Resultados		
Metales totales					
Silver / Plata (Ag)	0.08	mg/kg	<0.08	<0.08	<0.08
Aluminium / Aluminio (Al)	1.2	mg/kg	29.3	129.2	60.8
Arsenic / Arsénico (As)	0.1	mg/kg	<0.1	0.2	0.3
Boron / Boro (B)	0.2	mg/kg	3.2	2.7	11.5
Barium / Bario (Ba)	0.2	mg/kg	6.7	11.8	19.6
Beryllium / Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03	<0.03	<0.03
Calcium / Calcio (Ca)	3.1	mg/kg	2721.6	16433.5	6680.6
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	0.08	0.19	0.11
Cerium / Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	<0.04	0.05	<0.04
Chromium / Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	0.19	0.16	0.15
Copper / Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	1.1	9.1	1.6
Iron / Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	23.4	182.3	44.9
Mercury / Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1
Potassium / Potasio (K)	3.8	mg/kg	12105.8	22958.7	33017.5
Lithium / Litio (Li)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3
Magnesium / Magnesio (Mg)	3.1	mg/kg	633.2	1360.7	1100.6
Manganese / Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	2.98	25.20	8.03
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	<0.2	0.4	<0.2
Sodium / Sodio (Na)	2.2	mg/kg	343.5	13.4	233.0
Nickel / Níquel (Ni)	0.07	mg/kg	0.09	<0.07	<0.07
Phosphorus / Fósforo (P)	0.3	mg/kg	55.6	667.6	145.1
Lead / Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	3.76	0.90	6.00
Antimony / Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2	<0.2	<0.2
Selenium / Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	0.4
Tin / Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	4.1	2.4	3.4
Strontium / Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	16.9	54.3	43.9
Titanium / Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	0.41	2.34	0.78
Tellurium / Telurio (Te)	0.3	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3
Vanadium / Vanadio (V)	0.06	mg/kg	<0.06	0.25	0.08
Zinc (Zn)	0.3	mg/kg	7.0	31.4	10.3
Uranium / Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7	<0.7	<0.7

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

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.O.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método aplicado se ha sido analizado por IASAC, SA y el Organismo Internacional de Acreditación - IAS.

EN: Environmental Protection Agency ASTM: American Society for Testing and Materials NTP: Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al protocolo de preservación de la muestra por un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras y reportado. Luego serán eliminadas. • Para reconfirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@agapere.com. • Cada vez que se realice un análisis, fuese a través de este documento o de la aplicación de este documento es legal y es obligatorio guardar las pruebas de autenticidad y log.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chaura Río Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pucallpa Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6863 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 4



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



INFORME DE ENSAYO N° 143259 - 2020 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Hoja	
Muestra analizada		Tejido vegetal	
Fecha de muestreo		2020-02-05	
Hora de inicio de muestreo (h)		12:00	
Condiciones de la muestra		Conservada	
Código del Cliente		P ₁	
Código del Laboratorio		20091462	
Ensayo	L.D.M.	Unidad	Resultados
Metales totales			
Silver / Plata (Ag)	0.08	mg/kg	<0.08
Aluminium / Aluminio (Al)	1.2	mg/kg	116.5
Arsenic / Arsénico (As)	0.1	mg/kg	0.2
Boron / Boro (B)	0.2	mg/kg	2.2
Barium / Bario (Ba)	0.2	mg/kg	15.4
Beryllium / Berilio (Be)	0.03	mg/kg	<0.03
Calcium / Calcio (Ca)	3.1	mg/kg	20267.9
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.05	mg/kg	0.27
Cerium / Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	<0.2
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.05
Chromium / Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	0.14
Copper / Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	14.1
Iron / Hierro (Fe)	6.2	mg/kg	165.9
Mercury / Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	<0.1
Potassium / Potasio (K)	3.8	mg/kg	28234.5
Lithium / Litio (Li)	0.3	mg/kg	<0.3
Magnesium / Magnesio (Mg)	3.1	mg/kg	1468.9
Manganese / Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	23.51
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	0.5
Sodium / Sodio (Na)	2.2	mg/kg	19.0
Nickel / Níquel (Ni)	0.07	mg/kg	<0.07
Phosphorus / Fósforo (P)	0.1	mg/kg	856.0
Lead / Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	0.98
Antimony / Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	<0.2
Selenium / Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Tin / Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	2.1
Strontium / Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	66.0
Titanium / Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	1.83
Talium / Talio (Tl)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadium / Vanadio (V)	0.06	mg/kg	0.21
Zinc (Zn)	0.3	mg/kg	34.6
Uranium / Uranio (U)	0.7	mg/kg	<0.7

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

Lima, 29 de Setiembre del 2020.

Quim, Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.O.P. N° 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

* El Método indicado no ha sido acreditado por IASAC, ISA o el Organismo Internacional de Acreditación - IAS.

SPR: Environmental Protection Agency, ASTM: American Society for Testing and Materials, NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente Informe sin el consentimiento escrito de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • En muestras donde conste una desviación al período de prescripción del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio, luego de ser corroboradas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente Informe contactarse al correo: laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, basada en falsificación del documento o de la apariencia del mismo, constituye un delito y los culpables serán procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Cirinda Mato de Turin N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 4 de 4

ANEXO 2. Estándares de Calidad Ambiental para SUELO

12

NORMAS LEGALES

Sábado 2 de diciembre de 2017 /  El Peruano

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe, por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe.

Artículo 2.- Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

AMBIENTE

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

DECRETO SUPREMO
N° 011-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO


El Peruano

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico normaslegales@editoraperu.com.pe.

LA DIRECCIÓN

de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, siendo una de sus funciones específicas, analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental del país;

Que, en mérito a la evaluación técnica realizada por el citado Grupo de Trabajo, se identificó la necesidad de actualizar los ECA para Suelo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 182-2017-MINAM, el Ministerio del Ambiente dispuso la prepublicación del proyecto de Decreto Supremo que aprueba los ECA para Suelo, en cumplimiento del artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; el Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente; y la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, que como Anexo forman parte integrante del presente decreto supremo.

Artículo 2.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio

Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

Artículo 3.- De la superación de los ECA para Suelo

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

Artículo 4.- Refrendo

El presente decreto supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, la Ministra de Energía y Minas, el Ministro de Salud, el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el Ministro de la Producción, el Ministro de Transportes y Comunicaciones, y el Ministro de Agricultura y Riego.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Criterios para la gestión de sitios contaminados

Mediante decreto supremo, a propuesta del Ministerio del Ambiente y en coordinación con los sectores competentes, se aprobarán los criterios para la gestión de sitios contaminados, los mismos que regulan las acciones señaladas en el artículo 3 del presente decreto supremo.

Segunda.- Aplicación del ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Suelo en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Suelo se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial correspondiente.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental en trámite ante la Autoridad Competente

Los/as titulares que, antes de la entrada en vigencia de la presente norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Suelo vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los/as titulares deberán considerar lo establecido en la Segunda Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Suelo aprobados mediante el presente decreto supremo.

Segunda.- De los procedimientos en trámite para la adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los ECA

Los procedimientos de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a los estándares de calidad ambiental (ECA), iniciados con anterioridad a la vigencia del presente decreto supremo, se resuelven conforme a las disposiciones normativas vigentes al momento de su inicio.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Derogación

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, y el Decreto Supremo N° 003-2014-MINAM, que aprueba la Directiva que establece el procedimiento de adecuación de los instrumentos de gestión ambiental a nuevos Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, al primer día del mes de diciembre del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

CAYETANA ALJOVIN GAZZANI
Ministra de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ CALDERÓN
Ministro de la Producción

FERNANDO ANTONIO D'ALESSIO IPINZA
Ministro de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE
Ministro de Transportes y Comunicaciones

CARLOS RICARDO BRUCE MONTES DE OCA
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽²⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0.03	0.03	0.03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0.37	0.37	0.37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0.082	0.082	0.082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0.1	0.6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0.1	0.7	0.7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0.5	1.3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0.1	0.2	0.5	EPA 8260
Tricloroetileno	0.01	0.01	0.01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1.4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0.4	0.4	1.4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6.6	6.6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0.9	0.9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F ó ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Notas:

(*) Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) **PS:** Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cumplen con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mútuo de la Internacional Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA.

- correspondiente al parámetro bajo análisis.
- (8) Para aquellos parámetros respecto de los cuales no se especifican los métodos de ensayo empleados para la determinación de las muestras, se deben utilizar métodos que cumplan con las condiciones señaladas en la nota (7).
- (9) **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés).
- (10) Este parámetro comprende la suma de Xilenos: o-xileno, m-xileno y p-xileno. En el respectivo informe de ensayo se debe reportar la suma de los Xilenos, así como las concentraciones y límites de cuantificación de los tres (3) isómeros de manera individual.
- (11) **Fracción de hidrocarburos F1 o fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen entre seis y diez átomos de carbono (C_6 a C_{10}). Los hidrocarburos de fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, solventes, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (12) **Fracción de hidrocarburos F2 o fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a diez y hasta veintiocho átomos de carbono ($>C_{10}$ a C_{28}). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbotina, queroseno, mezcla de creosota, gasolvente, gasolinas, gas nafta, entre otros.
- (13) **Fracción de hidrocarburos F3 o fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contienen mayor a veintiocho y hasta cuarenta átomos de carbono ($>C_{28}$ a C_{40}). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, parafinas, petrolatos, aceites del petróleo, entre otros.
- (14) Suma de siete PCB indicadores: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153 y PCB 180.
- (15) De acuerdo con la metodología de Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4. En el caso de sitios con presencia de baritina se podrán aplicar los valores establecidos para Bario total real en la Tabla 1. Un sitio con presencia de baritina se determina cuando todas las muestras de suelo cumplen con los valores establecidos para Bario extraíble, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

Tabla 1. Valores para bario en sitios con presencia de baritina^(a)

Parámetros en mg/kg PS	Uso del suelo		
	Suelo Agrícola ^(b)	Suelo Residencial/Parques ^(c)	Suelo Comercial ^(d) /Industrial/Extractivo ^(e)
Bario extraíble ^(f) (Extractable Barium)	250	250	450
Bario total real en sitios con presencia de baritina ^(g) (True total Barium at Barite Sites)	10 000	10 000	15 000 ^(h) 140 000 ^(h)

Notas:

- (a) A efectos de aplicar los valores establecidos para el Bario total, Bario extraíble o Bario total real en sitios con presencia de baritina, corresponde utilizar el procedimiento detallado por Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4.
- (b) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.
- (c) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.
- (d) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.
- (e) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o

aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

- (f) Se determina mediante la medición en solución extractora 0,1 M $CaCl_2$ de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4.
- (g) Valores aplicables en sitios que cumplen con las concentraciones de Bario extraíble. La concentración del Bario total real se determina mediante las técnicas de fusión XRF o por fusión ICP, de acuerdo con la metodología establecida por Alberta Environment (2009): *Soil remediation guidelines for barite: environmental health and human health*. ISBN No. 978-0-7785-7691-4.
- (h) Suelo comercial.
- (i) Suelo industrial/extractivo.
- (16) **DIN:** Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung, por sus siglas en alemán).

1593392-5

Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados

DECRETO SUPREMO N° 012-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, señala que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la citada Ley;

Que, en virtud del numeral 16.2 del artículo 16 de la Ley, los instrumentos de gestión ambiental constituyen medios operativos que son diseñados, normados y aplicados con carácter funcional o complementario para efectivizar el cumplimiento de la Política Nacional Ambiental y las normas ambientales que rigen en el país;

Que, asimismo, según lo dispuesto por el numeral 17.2 del artículo 17 de la Ley, los planes de remediación constituyen un tipo de instrumento de gestión ambiental;

Que, el numeral 30.1 del artículo 30 de la Ley, referido a los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales, señala que estos están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes; asimismo, precisa que los citados planes deben considerar el financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental;

Que, de conformidad con el numeral 30.2 del artículo 30 de la Ley, las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados, y la Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para su elaboración;

APÉNDICES

Figura 6

Toma de muestras en las composteras.



Figura 7

*Siembra del *Helianthus annuus* L. en las composteras del vivero Venecia.*



Figura 8

Desarrollo del Helianthus annuus L. durante el segundo mes.



Figura 9

Periodo de floración del Helianthus annuus L. .



Figura 10

Cosecha del Helianthus annuus L. .

