UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOESTABILIZADORA DE *Solanum peruvianum L.* EN SUELOS CONTAMINADOS CON COBRE, PLOMO Y CADMIO, MOQUEGUA, 2019”

TESIS

PRESENTADO POR

SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL

Folio Nº 024

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Facultad Nº 100 - 2022 - FACIA - UNAM

Fecha: 17/06/2022

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

"Evaluación de la Capacidad Fitoestabilizadora Solanum peruvianum L. En los Suelos Contaminados Con Cobre, Plomo y Cadmio, Moquegua 2019"

Bachiller: Sonia Teresa Del Pilar Medina Beltrán

Asesor Principal: M.Sc. Rodolfo Rafael Sanchez Valencia.

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: Catorce (14) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 13:45 horas, del 30 de junio del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Erdin Zirena Vila
Presidente

M.Sc. Mario Román Flores Roque
Primer Miembro

Mgs. Paulino Ríos Zapana
Segundo Miembro

Sonia Teresa del Pilar Medina Beltrán
72450771
Bachiller

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOESTABILIZADORA DE *Solanum peruvianum L.* EN SUELOS CONTAMINADOS CON COBRE, PLOMO Y CADMIO, MOQUEGUA, 2019"

Tesis sustentada y aprobada el 30 de Junio del 2022; estando el jurado calificador y asesor integrado por:

PRESIDENTE :

……..
Dr. Franz Zirena Vilca

PRIMER MIEMBRO :

……..
M. Sc. Mario Román Flores Roque

SEGUNDO MIEMBRO :

……..
M. Sc. Paulino Flavio Ríos Zapana

ASESOR DE TESIS :

……
M. Sc. Rodolfo Rafael Sanchez Valencia

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi familia, a mi madre Silvia, por su gran amor, esfuerzo y dedicación para que mis hermanos y yo alcancemos nuestras metas. A mi padre Juan José, por forjar en mí hábitos que supe aprovechar para mejorar mi capacidad cognitiva.

A mis hermanos, María y José Junior, por ser compañeros de vida y enseñanzas, decirles que continúen y que siempre se puede comenzar de nuevo.

Y especialmente a mis abuelos, María Teresa, desde el cielo y Guadalupe, por las enseñanzas y consejos brindados desde que tengo uso razón, personas a las que admiro y que me invitan a ser mejor persona todos los días.

A todos ellos les dedico cada paso de mi vida y el presente proyecto con los frutos obtenidos.

Sonia M.B.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer, en primer lugar, a Dios, por permitirme un día más de vida y buena salud, en este momento tan agudo para la salud pública a nivel mundial.

A la Universidad Nacional de Moquegua por la facilidad brindada en solicitudes para el desarrollo del proyecto y además por el apoyo a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental al egresado, para que cumpla su meta principal de obtener el título profesional.

A mi asesor, MSc. Rodolfo Rafael Sánchez Valencia, quien me impulso a formular la idea de investigación, plasmarla en el proyecto y ejecutar el trabajo de investigación. A la Blga. Isabel Espinoza Reynoso, quien me brindo asesoría en consultas diversas de su especialidad.

A mi madre, Silvia Beltrán Gordillo, y hermanos, María Medina Beltrán y José Medina Beltrán, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión durante esta etapa y durante toda mi vida, sin su presencia no hubiera podido alcanzar la meta.

A José Aguirre Sanchez, por su gran apoyo en el desarrollo de este proyecto y por su soporte en distintos aspectos importantes de mi vida personal.

A todos ellos muchas gracias de todo corazón.

Sonia M.B.

INDICE GENERAL

ABSTRACT 10
INTRODUCCION 11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12
1.2. OBJETIVOS 14
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 14
1.4. HIPÓTESIS 15
1.5. VARIABLES 15
II. MARCO TEÓRICO 16
2.1. ANTECEDENTES 16
2.1.1. Antecedentes Nacionales 16
2.1.2. Antecedentes Internacionales 18
2.2. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACIÓN 21
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 35
III. MARCO METODOLOGICO 38
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 38
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 38
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 40
3.4. INSTRUMENTOS 41
3.5. PROCEDIMIENTOS 43
3.6. ANALISIS DE DATOS 53
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 55
4.1. RESULTADOS 55
4.2. DISCUSION DE RESULTADOS 102
V. CONCLUSIONES 108
VI. RECOMENDACIONES 110
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mecanismos de fitorremediación **21**
Tabla 2 Tipo, diseño y nivel de la investigación **38**
Tabla 3 Coordenadas UTM del centro de experimentación, WGS 84. ..... **39**
Tabla 4 Técnicas e instrumentos de la variable independiente **41**
Tabla 5 Técnicas e instrumentos de la variable independiente **42**
Tabla 6 Coordenadas UTM de la zona de recolección de semillas , WGS 84. ..... **44**
Tabla 7 Coordenadas UTM de la zona de recolección de suelo de la zona de crecimiento de la especie Solanum peruvianum L., WGS 84. ..... **47**
Tabla 8 Coordenadas UTM de la zona de recolección de suelo de la zona aledaña al canal de relaves, WGS 84. ..... **48**
Tabla 9 Composición de tratamientos de suelo. **50**
Tabla 10 Distribución de muestras según tratamiento **51**
Tabla 11 Control de germinación **55**
Tabla 12 Control de tamaño (cm) de plántulas a los 45 días. **56**
Tabla 13 Control de tamaño de tallo y raíz de las plantas después de la exposición a los tratamientos **56**
Tabla 14 Promedio Mensual de Temperatura y humedad relativa **57**
Tabla 15 Resultado de los análisis de Pb, Cd y Cd en el agua utilizada para el regado de la experimentación **57**
Tabla 16 Caracterización de suelo inicial (Parámetros fisicoquímicos). **58**
Tabla 17 Resultados de la concentración de Cu, Pb y Cd en las muestras de suelo inicial. **59**
Tabla 18 Parámetros fisicoquímicos de los suelos de los tratamientos 1 y 2, iniciales y finales. **60**
Tabla 19 Concentración de Cobre (Cu) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos **61**
Tabla 20 Pruebas de normalidad para la concentración de Cu. **62**
Tabla 21 Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Cu, en biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **63**
Tabla 22 Pruebas t para muestras relacionadas de la concentración de Cu en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo **64**
Tabla 23 Concentración de Plomo (Pb) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos **65**
Tabla 24 Pruebas de normalidad para la concentración de Pb. **66**
Tabla 25 Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Pb, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **67**
Tabla 26 Pruebas t para muestras relacionadas la concentración de Pb en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **68**
Tabla 27 Concentración de Cadmio (Cd) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos. **69**
Tabla 28 Pruebas de normalidad para la concentración de Cd. **70**
Tabla 29 Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Cd, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **71**
Tabla 30 Pruebas t para muestras relacionadas para la concentración de Cd en la biomasa radicular y suelo. **72**

Tabla 31 Pruebas de Wilcoxon para muestras relacionadas para la concentración de Cd en la biomasa aérea. **72**
Tabla 32 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cu entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **74**
Tabla 33 Comparaciones múltiples, HSD Tukey. **74**
Tabla 34 Estadística descriptiva de la concentración de Cu (diferencias) en el tratamiento 1 . **75**
Tabla 35 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cu entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **76**
Tabla 36 Comparaciones múltiples, HSD Tukey. **76**
Tabla 37 Estadística descriptiva de la concentración de Cu (diferencias) en el tratamiento 2 . **77**
Tabla 38 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Pb entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **79**
Tabla 39 Comparaciones múltiples, HSD Tukey **79**
Tabla 40 Estadística descriptiva de la concentración de Pb (diferencias) en el tratamiento 1 . **80**
Tabla 41 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Pb entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **81**
Tabla 42 Comparaciones múltiples, HSD Tukey. **81**
Tabla 43 Estadística descriptiva de la concentración de Pb(diferencias) en el tratamiento 2 . . **82**
Tabla 44 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cd entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **84**
Tabla 45 Prueba robusta de igualdad de medias, Test de Welch. **84**
Tabla 46 Comparaciones múltiples, Prueba de Games – Howell. **84**
Tabla 47 Estadística descriptiva de la concentración de Cd(diferencias) en el tratamiento 1 . . **85**
Tabla 48 ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cd entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo. **86**
Tabla 49 Prueba robusta de igualdad de medias, Test de Welch. **86**
Tabla 50 Comparaciones múltiples, Prueba de Games – Howell. **87**
Tabla 51 Estadística descriptiva de la concentración de Cd (diferencias) en el tratamiento 2 . **87**
Tabla 52 Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación. **89**
Tabla 53 Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Cu. **90**
Tabla 54 Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Cu. **91**
Tabla 55 Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s. **92**
Tabla 56 Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s. **93**
Tabla 57 Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s. **93**
Tabla 58 Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación. **94**
Tabla 59 Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Pb. **94**
Tabla 60 Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Pb. **95**
Tabla 55 Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s. **96**
Tabla 62 Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s. **97**
Tabla 63 Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s. **97**
Tabla 64 Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación. **98**
Tabla 65 Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Cd. **98**
Tabla 66 Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Cd. **99**
Tabla 67 Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s. **100**

Tabla 68 Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s. **101**
Tabla 69 Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s. **101**

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Comportamiento de la germinación de semillas de la especie Solanum peruvianum L **55**
Gráfico 2 Concentración de Cu, Pb y Cd en las muestras del suelo antes de la preparación de tratamientos. **59**
Gráfico 3 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cu (diferencia) por categoría, tratamiento 1. .....**75**
Gráfico 4 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cu (diferencia) por categoría, tratamiento 2. .....**77**
Gráfico 5 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Pb (diferencia) por categoría, tratamiento 1. .....**80**
Gráfico 6 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Pb (diferencia) por categoría, tratamiento 2. .....**82**
Gráfico 7 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cd (diferencia) por categoría, tratamiento 1. .....**85**
Gráfico 8 Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cd (diferencia) por categoría, tratamiento 2. .....**88**

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de mecanismo de fitoestabilización **22**
Figura 2. Posible reacción implicada en la transformación física, química y biológica de metales (loides) en el suelo.....**28**
Figura 3 Localización de Centro de Experimentación, ubicado en Urb. Luis E. Valcárcel Mz 26 Lt 12, Distrito de Ilo, Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua. **39**
Figura 4 Punto de recolección de Solanum peruvianum L., en el Km 1133 de la carretera Panamericana Sur **44**
Figura 5 Primera zona de muestreo de suelos que coincide con la zona de recolección de Solanum peruvianum L. **47**
Figura 6 Segunda zona de muestreo de suelos, aledaña a un embalse de relave **48**

RESUMEN

La presencia de metales pesados en el suelo y su biodisponibilidad, es una problemática que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, la fitoestabilización es una técnica que permite inmovilizar estos contaminantes en las raíces de la planta y de esta manera evita que se trasladen hacia los demás organismos vivos. En el presente trabajo de investigación, se ha evaluado la capacidad fitoestabilizadora de la especie vegetal *Solanum peruvianum L.* en suelos contaminados con Pb, Cd y Cu, a nivel experimental; en donde se han utilizado 8 individuos germinados a partir de semillas extraídas de la especie distribuidas en dos grupos de tratamientos de suelo, compuestos por suelo extraído de una zona aledaña a un embalse de relaves y suelo extraído de la zona de crecimiento de la especie en estudio más compost, distribuidos en distintos porcentajes respectivamente (T1: 40%,60%; T2: 60%,40), durante un periodo de tres meses, desde octubre hasta diciembre del 2020. Luego, los individuos seccionados en biomasa aérea y radicular, así como el suelo fueron analizados por un laboratorio externo mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica. Como resultado se obtuvo que, con respecto al Cu, la especie en estudio, presentó un comportamiento acumulador, ya que mostró las más altas concentraciones de incremento en la biomasa radicular y biomasa aérea (Br: 308.505mg/kg, 407.469mg/kg; Ba: 66.861mg/kg, 20.816mg/kg) así como su factor de bioconcentración radicular (FBCr: 14.971) y aérea (FBCa: 2.893) fue > a 1. Con respecto al Pb, presentó un comportamiento fitoestabilizador, ya que presentó acumulación del metal en la raíz (Br: 16.390 mg/kg, 12.247 mg/kg), así como una reducción del metal en la biomasa aérea y suelo (Ba: 0.895 mg/kg, -2.813 mg/kg; S: 0.005 mg/kg, -2.670 mg/kg). Además, cuenta con un factor de bioconcentración radicular (FBCr: 1.480) > a 1 y su factor de bioconcentración aérea (FBCa: 0.758) y factor de traslocación (FT: 0.539) son < a 1, este último restringe la movilización del metal de la raíz hacia la parte superior. Finalmente, con respecto al Cd, consideramos que la especie es indicadora, ya que, a pesar de presenta incremento en sus concentraciones de la biomasa radicular y aérea (Br: 2.268mg/kg, 1.023mg/kg; Ba: 0.098mg/kg, 0.450mg/kg) y que sus factores de bioconcentración son mayores a 1 (FBCr: 1.910; FBCa: 1.356), la comparación entre concentraciones acumuladas es no significativa entre sectores.

Palabras clave: Fitoestabilización, suelo, biodisponibilidad, biomasa, *Solanum peruvianum L*, Factor de bioconcentración y factor de translocación**.**

ABSTRACT

The presence of heavy metals in the soil and their bioavailability is a problem that represents a risk to human health and the environment, phytostabilization is a technique that allows these contaminants to be immobilized in the roots of the plant and thus prevents move to other living organisms. In the present research work, the phytostabilizing capacity of the plant species Solanum peruvianum L. has been evaluated in soils contaminated with Pb, Cd and Cu, at an experimental level; where 8 germinated individuals have been used from seeds extracted from the species distributed in two groups of soil treatments, composed of soil extracted from an area adjacent to a tailings dam and soil extracted from the growth area of the species in study plus compost, distributed in different percentages respectively (T1: 40%, 60%; T2: 60%, 40), during a period of three months, from October to December 2020. Then, the individuals sectioned in aerial and root biomass, as well as the soil were analyzed by an external laboratory using the atomic absorption spectrophotometry method. As a result, it was obtained that, with respect to Cu, the species under study presented an accumulating behavior, since it showed the highest concentrations of increase in root biomass and aerial biomass (Br: 308.505mg/kg, 407.469mg/kg; Ba: 66.861mg/kg, 20.816mg/kg) as well as its root bioconcentration factor (FBCr: 14.971) and aerial (FBCa: 2.893) was > 1. With respect to Pb, it presented a phytostabilizing behavior, since it presented metal accumulation in the root (Br: 16,390 mg/kg, 12,247 mg/kg), as well as a reduction of the metal in the aerial and soil biomass (Ba: 0.895 mg/kg, -2,813 mg/kg; S: 0.005mg/kg, -2.670mg/kg). In addition, it has a root bioconcentration factor (FBCr: 1.480) > 1 and its aerial bioconcentration factor (FBCa: 0.758) and translocation factor (FT: 0.539) are < 1, the latter restricts the mobilization of metal from the root to the top. Finally, with respect to Cd, we consider that the species is an indicator, since, despite presenting an increase in its concentrations of root and aerial biomass (Br: 2.268mg/kg, 1.023mg/kg; Ba: 0.098mg/kg, 0.450mg/kg) and that their bioconcentration factors are greater than 1 (FBCr: 1.910; FBCa: 1.356), the comparison between accumulated concentrations is not significant between sectors.

Keywords: Phytostabilization, soil, bioavailability, biomass, *Solanum peruvianum L*, bioconcentration factor and translocation factor.

INTRODUCCION

La fitoestabilización es una técnica de fitorremediación que utiliza plantas para inmovilizar y reducir la biodisponibilidad de sustancias contaminantes como los metales pesados en el suelo, evitando que estos ingresen a la cadena trófica o lleguen a aguas subterráneas. Este es un mecanismo desarrollado por ciertas plantas, que mediante procesos fisiológicos ocurridos en la interfaz raíz – suelo, como sorción por raíces, precipitación, complejación o reducción de valencia del metal, evitan que este trasloque hacia la biomasa aérea como los tallos, hojas y frutos. Las plantas usadas para este tipo de tratamiento cumplen con ciertas características como capacidad para sobrevivir, en su mayoría son especies nativas, ya que así se evita la invasión por otras especies, ser una especie de crecimiento rápido, con abundante biomasa, tolerante a ambientes contaminados y sobre todo de fácil adaptación, como lo es la especie *Solanum peruvianum L.* Ante las distintas situaciones que involucran la contaminación de suelo por metales pesados es necesario evaluar técnicas que ayuden a mejorar su calidad y minimicen el impacto sobre el medio ambiente.

Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.* en suelos potencialmente contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio, a nivel experimental, durante un periodo de tres meses. Para lograr el objetivo principal se plantearon objetivos específicos, como determinar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en las raíces de Solanum peruvianum L., comparar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en la biomasa área y en la biomasa radicular de la especie *Solanum peruvianum L.,* y finalmente determinar el factor de bioconcentración y el factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio en la especie *Solamun peruvianum L.*

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es un cuerpo natural que consiste en capas compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Sostiene la mayoría de los organismos vivos como la fuente principal de nutrientes minerales. El buen manejo de los suelos asegura que los elementos minerales no se convierten deficientes o tóxicos para las plantas y que se introduzcan en la cadena alimentaria (FAO,2015). El suelo proporciona el ciclo de nutrientes primarios para la vida vegetal y animal y actúa como una base para la alimentación, combustibles, fibras y productos médicos, así como para muchos servicios ecosistémicos esenciales (FAO,2015).

El ingreso de sustancias químicas provenientes de actividades antrópicas en cantidades nocivas, altera la calidad del suelo teniendo como consecuencia suelos contaminados, pérdida de biodiversidad o la reducción de la capacidad para producir bienes. Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, algunos en mayor y en otros en menor concentración, pero se ha presentado una acumulación antropogénica por las actividades industriales, agrícolas y la disposición de residuos de todo tipo (García I., Dorronsoro C., 2021). Una vez que llegan al suelo, siguen dos vías que conducen a la cadena trófica: mediante la absorción por las plantas o el lavado hacia las aguas freáticas, pudiendo llegar a los organismos vivos (Achiba WB, et al., 2009).

Para reducir el avance de los metales pesados del suelo hacia la cadena trófica, se desarrollan técnicas de remediación para eliminar o reducir a niveles aceptables la biodisponibilidad de estas sustancias contaminantes. La fitorremediación son un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos (Delgadillo-López et al., 2011).

La fitoestabilización es una técnica que se utiliza para reducir la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados (Erakhrumen, 2007), a través de sorción por raíces, precipitación, complejación o reducción de valencia de metales en la rizósfera (Wuana y Okeimen, 2011) evitando la translocación de los mismos hacia otras partes de la planta. Una de las caracteristicas principales de las plantas utilizadas para esta técnica es que la especie sea

nativa, identificadas por su capacidad de sobrevivir en suelos degradados, asi también como para evitar la competición entre especies.

Según el BCRP (2022), las principales actividades económicas el Departamento de Moquegua, son la agricultura (1.3%) y la extracción de minerales (28.8%), por lo que no somos ajenos a una posible alteración de la calidad original de su suelo, ya que estas actividades tienen como eje principal la explotación del recurso suelo. La aplicación excesiva de fertilizantes, pesticidas o una inadecuada disposición de excedentes de desechos mineros, pueden desequilibrar la composición del suelo, degradándolo, incrementando la biodisponibilidad de sustancias contaminantes e ingresando a la cadena trófica bioacumulándose en los organismos vivos. Ante este escenario, es necesario evaluar especies de plantas para aplicar estas técnicas amigables con el medio ambiente para reducir el impacto de los metales pesados, como las fitotecnologías mencionadas anteriormente.

Existen diversos estudios de aplicación de técnicas de fitorremediación en las que se han evaluado diversas especies de Solanaceas como *Solanum nigrum L, Solanum nitidum Ruiz & Pav*., *Nicotiana glauca G.*, entre otras. La composición florística moqueguana se caracteriza por ser amplia y de gran diversidad, una de las familias con mayor representatividad es la familia de las Solanáceas (Montesinos-Tubée, D. B., 2015), que se caracteriza por ser en su mayoría herbáceas y que crecen en suelos con pH ácido.

En la presente investigación se utilizará a la especie *Solanum peruvianum L.*, conocida como tomatillo silvestre, caracterizada por su fácil adaptación y por crecer en suelos con presencia de minerales, para evaluar en qué medida puede fitoestabilizar suelos que contengan metales que alteran su calidad como cobre, plomo y cadmio.

Por lo que se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.* en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio?
- ¿Cuáles es la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado en la biomasa radicular de *Solanum peruvianum L.*?
- ¿En qué sector de la biomasa de *Solanum peruvianum L.*, radicular y aérea, o suelo, se acumula la mayor concentración de Cobre, Plomo y Cadmio?
- ¿Cuál es el factor de bioconcentración y factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio de *Solanum peruvianum L.?*

1.2. OBJETIVOS

- Objetivo General
    - Evaluar la capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.* en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio, en el Departamento de Moquegua.
- Objetivos Específicos
    - Determinar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado en la biomasa radicular de *Solanum peruvianum L*.
    - Comparar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado entre la biomasa radicular, la biomasa aérea y el suelo en donde se desarrolla Solanum *peruvianum L.*
    - Determinar el factor de bioconcentración y el factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio de la especie *Solamun peruvianum L.*

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo (Prieto-Méndez et al., 2009). Estas adoptan distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno (Barceló et al., 2003). Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta (Prieto-Méndez et al., 2009).

La especie utilizada, *Solanum peruvianum L*., conocida como tomatillo silvestre, es una planta herbácea y se caracterizan por ser pequeñas, con hojas y tallos pubescentes. Se desarrolla frecuentemente en las formaciones de lomas, o bien, en desiertos costeros (Peralta et al., 2005), de fácil adaptación entre los 0 a los 2000 msnm en el departamento de Moquegua (Montesinos-Tubée, D. B., 2015). Esta especie se caracteriza por su autoincompatibilidad estricta y por ser muy variable genéticamente. Por ejemplo, es tolerante a estreses abióticos, como la sequía, y también posee genes de resistencia para determinados estreses bióticos (Peralta et al., 2005).

Ante un futuro escenario de suelos degradados o con baja productividad y a la alta biodisponibilidad de sustancias contaminantes (metales pesados) por consecuencia de

actividades antropogénicas, se deberá aplicar técnicas de recuperación como la fitoestabilización, por lo que se espera que la especie *Solanum peruvianum L.* fitoestabilice los metales como cobre, plomo y cadmio en la zona radicular y que no se traloque al fruto, reduciendo inmovilizando la concentración de estos metales en el suelo, reduciendo la biodisponibilidad de los metales, y mejorándolo la calidad del suelo a largo plazo.

En cumpliendo con una de las líneas de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua, "Estudio y desarrollo de tecnologías para la recuperación de suelos", se propone el presente proyecto de investigación para desarrollarlo de manera experimental en nuestra ciudad con el fin de aportar con nuevos conocimientos a la sociedad, utilizando una especie que será extraída de la zona para aplicarlo en el desarrollo de nuevas tecnologías.

1.4. HIPÓTESIS

- Hipótesis general
    - La especie *Solanum peruvianum L.* fitoestabiliza suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio.
- Hipótesis Especificas
    - La especie *Solanum peruvianum L.* presenta concentración acumulada de Cobre, Plomo y Cadmio en sus raíces.
    - La concentración de Cobre, Plomo y Cadmio es mayor en la biomasa radicular que en la biomasa aérea de la especie *Solanum peruvianum L.* y mayor que el suelo en donde se desarrolla.
    - El factor de bioconcentración y el factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio en la especie *Solamun peruvianum L.,* indican que tiene capacidad fitoestabilizadora.

1.5. VARIABLES

Las variables definidas en este proyecto de investigación son las siguientes:

- Variable Independiente: Capacidad Fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.*
- Variable dependiente: Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en suelos contaminados.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Munive et al. (2018), en su estudio "Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados", concluyeron que las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción, el vermicompost contribuye a que la planta de maíz presente mayor altura, peso de hojas, tallos y peso de raíces. Según los valores de los factores de Bioconcentración (FBC) y Translocación (FT), la planta de maíz se comporta como una planta exclusora o estabilizadora.

Peña et al. (2017) en la investigación "Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida (Kunth) Trin. ex Steud (Poaceae)* y *Myriophyllum quitense Kunth* (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú", concluyó que en las dos especies estudiadas hay una preferencia por acumular cadmio, cobre, plomo y zinc en sus raíces. En el caso de *Calamagrostis rigida* el mayor contenido cobre y zinc fue obtenido en los tejidos de las raíces de esta especie en muestras procedentes de la laguna Quiulacocha, región Pasco. De otro lado, al igual que *C. rigida* en *Myriophylum quitense* las mayores concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc fueron obtenidas en muestras de los tejidos de las raíces de esta especie procedente de laguna Ticticocha (región Lima).

Hinostroza y Siderlin (2016), realizan la siguiente investigación: "Fitoestabilización de Cadmio por *Lupinus Mutabilis* en un suelo contaminado del distrito El Mantaro, Jauja 2016", esto debido a que los suelos del distrito El Mantaro en la región Junín poseen alto contenido de cadmio, y superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA); en base a esta información, los objetivos de este estudio fueron determinar la cantidad de cadmio fitoestabilizado por Lupinus mutabilis en un suelo contaminado, con diferentes dosis de estiércol de lombriz, asimismo, se determinó el factor de bioconcentración en raíz y parte aérea, y la influencia en el crecimiento de lupino. Se aplicaron 5 tratamientos de estiércol de lombriz: 0, 3, 6, 9 y 12 %, dispuestos en un diseño experimental completamente aleatorizado. Se evaluó el contenido de cadmio en la raíz y parte aérea, materia seca de la parte aérea y raíz, altura de planta y se calculó el factor de bioconcentración. Se concluyó que la cantidad de cadmio fitoestabilizado en las raíces de lupino fue de 13,33 mg/kg con el tratamiento de 9 % de estiércol de lombriz; el factor de

bioconcentración de cadmio más alto en la raíz fue de 0,492 mg/kg con la dosis de 9 % de estiércol de lombriz y en la parte aérea fue de solo 0,0154 mg/kg con la misma dosis de humus de lombriz; el tratamiento de 12 % de estiércol de lombriz favoreció la formación de materia seca y altura de planta. El crecimiento de *L. mutabilis* fue de 13,33 cm en promedio y en la raíz 12,50 cm, ambos valores se obtuvieron con el tratamiento 12 %.

Peña et al. (2014), realizó la investigación "Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados", en la Universidad Mayor de San Marcos de Lima. Este trabajo evaluó la capacidad fitorremediadora de cinco especies de plantas andinas: *Solanum nitidum, Brassica rapa, Fuertesimalva echinata, Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, en suelos contaminados con plomo, zinc y cadmio. Parte de las conclusiones de esta investigación fue que la especie *Solanum nitidum* presentó los mayores valores de acumulación de plomo, zinc y cadmio en sus raíces con el tratamiento de 100% de relave de mina. Acumulando 576 miligramos de plomo por kg-1 de materia seca (MS), 431.4 mg de zinc kg-1 MS y 8.7 mg de cadmio kg-1 MS.

Chávez (2014), presentó el proyecto de investigación denominado "Phytoremediation of Lead Polluted Soils with Native Plant Species", realizado en la Universidad Agraria de la Molina de Lima. En este proyecto se evaluaron dos especies de flora pertenecientes a los géneros *Calamagrostis* y *Nicotiana glauca* para cultivarlos bajo tres niveles de plomo: 700 ppm, 1000 ppm y 1200 ppm. Concluyéndose que la *Nicotiana glauca* tiene un mejor potencial de fitorremediación por su desarrollo de biomasa aérea y la elevada concentración de plomo en su biomasa (276.7 ppm en zona radicular, y 96.5ppm en zona aérea).

En la investigación presentada por Gonzales et. al. (2014), denominado: "Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa *Medicago sativa*", realizado en la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, se evaluó la capacidad fitorremediadora a la especie *Medicago sativa* "alfalfa" en un suelo contaminado con dos niveles de cobre. Después de 2 meses los niveles de cobre disminuyeron notablemente en el suelo sembrado con alfalfa de 278 ppm a 124 ppm y de 293 ppm a 143 ppm respectivamente. Y hubo mayor acumulación de cobre en la raíz que en el tallo, el tratamiento T2 acumulo 78 ppm, valor mayor que el T1 con 44 ppm. La acumulación de cobre en los tallos fue mayor en el T2 con 21 ppm seguido del T1 con 18 ppm.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

RAMIREZ GOTTFRIED, Ricardo Israel et al. (2019), en la investigación "Potencial fitorremediador de la chicura (Ambrosia ambrosioides) en suelos contaminados por metales pesados" evaluó el potencial fitorremediador de suelo de *Ambrosia ambrosioides*, mediante la determinación de la absorción de metales pesados (cadmio, cobre y plomo) en la planta *Ambrosia ambrosiodes*, bajo diferentes concentraciones 0, 20, 40, y 60 mg L-1 aplicadas en el agua de riego. Los resultados mostraron que en raíz, tallo y hoja las mayores concentraciones se presentaron en el tratamiento de cobre a 20 mg L-1 con valores de 15 827.2, 13 030.9 y 4 979.4 mg kg-1 respectivamente. El cobre fue el metal que más absorbió la planta seguido por cadmio y plomo. El factor de traslocación biológico indicó que el cadmio es un elemento que la planta trasloca hacia sus hojas con mayor facilidad seguido por el cobre. En *Ambrosia ambrosioides* es nula la traslocación de plomo.

Duarte, Pérez-Hernández (2019), en su investigación denominada "Estudio exploratorio de la acumulación de plomo y cobre en *Prosopis laevigata* en depósitos mineros", realizó un estudio exploratorio para ubicar el potencial de *P. laevigata* en la acumulación de Pb y Cu en pequeñas islas de vegetación establecidas sobre depósitos mineros de Zimapán, Hidalgo, México. Concluyendo que en el depósito San Juan se registró la concentración más alta de Pb y Cu en residuos y hojas de. *P. laevigata*; la cual bioacumula Pb y Cu y se desarrolla en condiciones de contaminación extrema por lo que se sugiere su uso en programas de revegetación de sitios contaminados.

Sacristán (2015), realizó la siguiente investigación: "Evaluación de la toxicidad y de la bioacumulación del Cu en un cultivo acumulador (*Lactuca sativa L.)* y otro no-acumulador (*Solanum lycopersicum L*.) en suelos agrícolas mediterráneos representativos, como base para la propuesta de estrategias de gestión de suelos", desarrollada en la ciudad de Valencia. La presente investigación analizó el comportamiento de dos cultivos frente a la presencia de Cu en el suelo: la lechuga (cultivo acumulador) y el tomate (cultivo no acumulador), analizando la toxicidad a nivel productivo, y la acumulación, translocación y distribución del Cu en ellos. El análisis de la bioacumulación de Cu en lechuga señaló importantes diferencias entre ambas regiones mediterráneas. Sin embargo, es importante señalar que la comparación fue difícil debido al intenso efecto tóxico que mostraron las lechugas cultivadas en la zona mediterránea australiana. En ambas áreas, el contenido en Cu en las partes comestibles del cultivo aumentó a medida que también aumentaba la concentración en suelo. Sin embargo, no se pudo extraer un

patrón común debido a los limitados datos disponibles sobre los suelos y cultivos australianos. El tomate mostró un potencial fitorremediador importante, extrayendo y acumulando Cu no sólo en suelos con concentraciones de este metal bajas o medias sino también en altas concentraciones (>1700 mgCu/kg), y mostrando en todas esas una tasa de translocación hacia la parte comestible muy baja. Sin embargo, los tomates cultivados en suelos con concentraciones elevadas de Cu experimentaron una importante reducción de biomasa. Por eso, es necesario encontrar un adecuado equilibrio entre estos dos aspectos, para poder proponer este cultivo como alternativa de fitorremediación en las condiciones edáficas adecuadas.

Rodríguez et. al (2014), realiza el proyecto de investigación denominado: "Metals and metalloids in fruits of tomatoes *(Solanum lycopersicum,)* and theri cultivation soils in the basque Country: concentratios and acumulation trends", En este proyecto se evaluó las concentraciones de varios elementos (Al, Fe, As, Cu, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Sn, v y Zn), se midieron en los suelos y en la parte comestible de diferentes vegetales: tomates *(Solanum lycopersicum "Raf")*, pimientos. *(Capsum annum)*, acelgas *(Beta vugaris var. Cicla*), alcachofas *(Cynara scholymus)* y frambuesas *(Rubus idaeus)*, de 13 huertos en el País Vasco afectados por diferentes fuentes de contaminación. En la que se concluye que sólo el manganeso mostró una correlación significativamente diferente de cero. Las concentraciones de metal encontradas en la parte comestible estaban siempre por debajo de los límites superiores recomendados por la legislación europea en vigencia. Los resultados no mostraron evidencia de correlación directa entre el contenido de metal en el suelo y el contenido de metal en la fruta de tomate, excepto en el caso del manganeso. En este estudio, los frutos de tomate de suelos ricos en manganeso tienen un alto contenido de manganeso. Para que el resto de las concentraciones de metales no necesariamente presente altas cantidades de contaminantes en los frutos, se requiere investigación adicional para decidir si la planta no incorpora eficientemente los metales del suelo, o si la acumulación de metal ocurre en la otra parte de la planta, o si el metal incorporado previamente se elimina de la planta mediante un mecanismo de desintoxicación eficiente. En cualquier caso, la cantidad de metales tóxicos que se encuentran en las muestras de vegetales analizadas en este estudio está siempre por debajo de la concentración máxima permitida en la legislación europea actual.

Orchard (2008), con el apoyo de Innova Chile CORFO, presentó el estudio denominado " Establecimiento de especies nativas con potencial uso económico en relaves de cobre acondicionados de Chile centro-norte." En este estudio se concluye que el alto contenido de

cobre soluble y la salinidad de los tratamientos experimentales serían los principales problemas asociados al cultivo de *C. spinosa, E. acida y A. pulchra* en relaves mineros de cobre acondicionados, problemas magnificados dadas las condiciones del ensayo en macetas y la inestabilidad de los acondicionadores utilizados. *C. spinosa y E. acida* serían especies capaces de establecerse y desarrollarse sobre relaves mineros acondicionados, mientras que *A. pulchra* no sería una especie recomendada para programas de fitoestabilización en etapa inicial.

Becerril et al (2007), presentó en España la siguiente investigación "Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación", y obtuvo como resultado que existe un gran potencial de germoplasma en las escombreras mineras de este país con posibilidad para ser utilizado en fitorremediación, valorando a la presencia de *T. caerulescens "lanestosa"* y de *R. acetosa "lanestosa".* La población de R. acetosa procedente de una escombrera minera, fue muy tolerante a la contaminación metálica, acumuló concentraciones moderadas de Zn, y respondió bien a tratamientos de fertilización y otros sistemas de manejo de los cultivos, presentando un gran potencial para su utilización en la fitorremediación de suelos mineros contaminados con Zn y Pb.

Rodríguez et al (2006), realizó en México, el proyecto de investigación "Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados". Concluyendo que las seis especies vegetales ensayadas variaron en su capacidad de acumular plomo. Para el tratamiento de 500 mg de Pb kg-1 de suelo, la especie que acumulo mayor concentración de plomo fue *N. tabacum* (3.27 y 3.08 mg de Pb kg-1 en la materia seca total y en la parte aérea, respectivamente). Mientras que para el tratamiento de 1000 mg de Pb kg-1 fue *R. communis* (6.79 y 3.94 mg de Pb kg-1 en la materia seca total y en la parte aérea respectivamente).

2.2. BASES TEÓRICAS SOBRE EL TEMA DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. Fitorremediación

La fitorremediación son un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas (Delgadillo-López et al., 2011).

2.2.2. Fitoestabilización

La fitoestabilización, es una técnica de descontaminación de suelos basada en el uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno (L. Chávez, 2016), que permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera (Delgadillo-López et al., 2011). Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire (Delgadillo-López et al., 2011).

Tabla 1

Mecanismos de fitorremediación

Proceso	Mecanismo	Contaminante
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulacióm	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microrganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de las raíces para adsorber y absorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

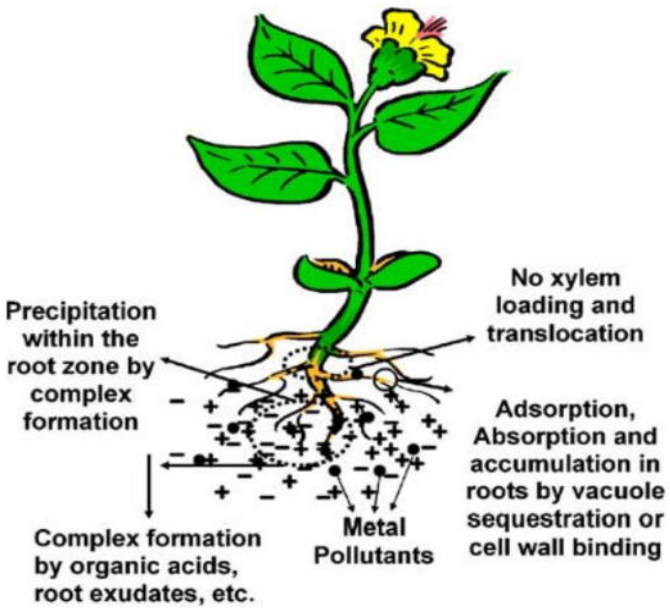
Nota. La fitoestabilización es considerada como un proceso de fitorremediación. Extraído de Delgadillo-López et al., 2011.

De acuerdo a (Padmavathiamma & Loretta Y. Li, 2007), la fitoestabilización puede restablecer una cubierta vegetal en sitios donde la vegetación natural es nula debido a las altas concentraciones de metales. A diferencia de otras técnicas la fitoestabilización no está destinada a eliminar metales, sino a estabilizarlos por acumulación en raíces o precipitación dentro de la rizosfera.

La fitoestabilización es más efectiva para suelos con texturas finas con alto contenido de materia orgánica, y es adecuada para el tratamiento de grandes áreas sujetas a contaminación de superficie (Padmavathiamma & Loretta Y. Li, 2007).

Figura 1

Esquema de mecanismo de fitoestabilización



Nota. Extraído de Padmavathiamma & Loretta Y. Li, 2007.

2.2.3. Características de las plantas para la fitoestabilización

Las características de las plantas apropiadas para la fitoestabilización incluyen: tolerancia a altos niveles del contaminante de interés; alta producción de biomasa radicular capaz de inmovilizar estos contaminantes por absorción, precipitación o reducción y, finalmente la retención de contaminantes en las raíces, para evitar la eliminación mediante manipulación o eliminación de los vástagos (Padmavathiamma y Li, 2007).

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno. Unas basan su resistencia a los metales con una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados. Algunas plantas son capaces de acumular cantidades excesivas de metales pesados, y se les conoce con el término "hiperacumuladoras" (Prieto-Méndez et al., 2009).

Las especies adecuadas para la fitoestabilización se caracterizan por desarrollar un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestración, lignificación o humidificación (Ciencia, 2004).

Estas especies ejercen un control hidráulico en el área contaminada, succionando la humedad de los suelos debido a sus altas tasas de evapotranspiración manteniendo una humedad constante en la zona de la rizósfera, presentando las condiciones adecuadas para la inmovilización de los metales. Esto ocurre a través de reacciones químicas como la precipitación o formación de complejos insolubles o por mecanismos físicos, como la adsorción. En esta zona, los metales se fijan fuertemente en las raíces de las plantas o en la materia orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos (Ciencia, 2004).

Otro de los requisitos para la selección de una especie para una fitoestabilización exitosa es que las especies estén adaptadas al clima local y sean inocuas para el medio ambiente (CIMM-INIA, 2011).

La absorción de cualquier elemento depositado en el suelo por una planta depende de varios factores como el pH que tiene influencia sobre los procesos de sorción-desorción, precipitación y disolución, y la formación de complejos y reacciones de oxido reducción; la textura ya que la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados; y la materia orgánica porque la toxicidad de los metales pesados aumenta por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, facilitando con ello su solubilidad, disponibilidad y dispersion (Acosta, 2007).

2.2.4. Solanum peruvianum L.

De acuerdo al libro Flora Moqueguana (Montesinos, 2015), esta es una planta herbácea anual o bianual, con densa ramificación y de hábito postrado. Presenta las hojas compuestas por numerosos foliolos incisos y cubiertos de fina pilosidad; y las flores amarillas, dispuestas en cimas más o menos densas. Habita lomas, laderas pedregosas del desierto costero y matorrales secos. En Moquegua se registra a una altitud de 0 a 2000 msnm. La floración se da a partir de marzo.

También ha sido reportada en el SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), en el año 2014, en el ecosistema frágil Lomas de Amoquinto, ubicado entre los departamentos de Moquegua y Arequipa, específicamente entre los distritos de Ilo e Islay, que alcanza una altitud de 772 msnm.

2.2.5. Suelo

Según (FAO, 2015) el suelo es un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. Es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas.

La formación del suelo es un proceso complejo resultado de cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos. Por su parte, los cambios biológicos son realizados por la flora, macrofauna, mesofauna, microfauna y microbiota. Estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO2 en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (García-Ramírez, et al., 2012).

2.2.6. Calidad del suelo e indicadores

Se entiende como calidad del suelo, a la capacidad del mismo para funcionar dentro de sus límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, y sostener la salud humana y el hábitat (Doran & Parkin, citado por Vallejo, 2013).

Para que este concepto funcione es necesario contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo, así surgen los indicadores (Dumanski et al., citado por García-Ramírez, et al., 2012).

Indicadores físicos

Reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Bautista-Etchevers, et al., 2004); como lo son la textura, profundidad del suelo, suelo superficial y raíces, infiltración y densidad aparente y capacidad de retención del agua (Bautista-Etchevers, et al., 2004).

Indicadores químicos

Afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (SQI, citado por Bautista-Etchevers, et al., 2004). Por ejemplo, la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable. (Bautista-Etchevers, et al., 2004).

Indicadores biológicos

Son los factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana, Carbono microbiano: Carbono orgánico del suelo (Bautista-Etchevers, et al., 2004).

2.2.7. Contaminación de suelo

El Ministerio del Ambiente mediante el D.S. N° 002-2013-MINAM, define suelo contaminado como aquel que cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana.

El MINAM a través del D.S. N° 011-2017-MINAM, considera también la definición de "sitio contaminado" y de "sitio potencialmente contaminado". Un sitio contaminado es el área en la cual el suelo contiene contaminantes provenientes de actividades antrópicas, en concentraciones que pueden representar riesgos para la salud o el ambiente, debido a que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, mientras que un sitio potencialmente contaminado es el área en la cual el suelo puede contener contaminantes provenientes de actividades antrópicas.

2.2.8. Metales pesados en el suelo

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Prieto-Méndez et al., 2009).

Según (Acosta, 2007), el conjunto de estos elementos se divide en dos grupos: los que no presentan una funcion biologica y los considerados oligoelementos. Los oligoelementos como el B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y el metaloide As, son requeridos en pequeñas cantidades o "trazas" por las plantas y animales para la funcion correcta de su organismo, pero si supera cierto umbral se convierten en elementos toxicos para estos seres vivos.

Además, también hay metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, elementos tales como el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl (Prieto, 2005)

Los metales pesados en el suelo pueden estar presentes como iones libres o disponibles, compuestos de sales metálicas solubles o, compuestos insolubles o parcialmente solubilizables. Cuando la concentración de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el

desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Prieto-Méndez et al., 2009).

Dentro de los factores que influyen sobre la movilización de metales pesados en el suelo se consideran el pH, potencial redox, composición de intercambio catiónico y/o anionico, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad de suelos (Prieto-Méndez et al., 2009).

Los metales incorporados al suelo pueden seguir cuatro vías diferentes: quedar retenidos en el suelo ya sean disueltos u ocupando espacios de intercambio, pueden ser absorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo asociados con la materia orgánica del suelo y precipitados como solidos puros o mixtos, pueden ser absorbidos por las plantas e incorporarse a la cadena trófica, y finalmente pueden volatilizarse y/o movilizarse hacia las aguas superficiales y subterráneas (Prieto-Méndez et al., 2009).

Los mecanismos generales involucrados en la transformación de iones metálicos en el suelo conducen a la retención (mediada por reacciones de sorción, precipitación y complejación) o pérdida (absorción, lixiviación y volatilización de las plantas) de metales pesados. Aunque la mayoría de los metales no sufren pérdidas relacionadas con la volatilización, algunos como el As, Hg y Se tienden a formar compuestos gaseosos. (Seshadri-Bolan, et al, 2015).

Figura 2.

Posible reacción implicada en la transformación física, química y biológica de metales (loides) en el suelo.



Nota. Extraído de Seshadri-Bolan, et al, 2015.

2.2.9. Relave minero

Son residuos no valiosos provenientes de la minería y el procesamiento de mineral (Romero-Flores, 2010). Según la Guía Ambiental para el manejo de Relaves Mineros de la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM, 2009), se definen como el deshecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo.

Estos relaves deben ser depositados en terrenos de relleno denominados como botaderos (Romero-Flores,2010), en concentraciones que van de 20 a 50% de sólidos en peso (DGAAM, 2009).

En los depósitos de relave el material depositado se distingue por zona de arenas, que son material predominantemente más grande que 0.074 mm; y lamas que son predominantemente materiales del tamaño del limo, menor de 0.074 mm. (DGAAM, 2009).

De acuerdo a (Romero, 2010), el relave es de naturaleza polimetálica sulfurado, con alto contenido de metales pesados de cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico.

La concentración de metal sólido dentro del depósito de relaves, y las propiedades estructurales relacionadas con el tamaño de la partícula, tales como permeabilidad y la retención de humedad por largo tiempo, también pueden afectar preferencialmente la movilidad de cualquier especie metálica soluble así como la generación y movilidad de productos de la oxidación de sulfuros. (DGAAM, 2009).

El Drenaje Acido de Relaves (ADR), se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos. Es casi imposible detener completamente el proceso una vez que se ha iniciado, y los efectos de la acidificación pueden continuar por muchos siglos (DGAAM, 2009). El ARD puede ser el tema ambiental asociado al manejo de relaves potencialmente más dañino y difícil de tratar, y puede no ser evidente aún muchos años después del período de cierre de operaciones (DGAAM, 2009).

2.2.10. Fertilizantes y Plaguicidas

Los fertilizantes y abonos son las principales fuentes de nutrientes de los cultivos. Estos pueden ser aportados por fertilizantes químicos sintéticos, fertilizantes naturales y abonos orgánicos, entre otras fuentes. Tanto los fertilizantes como los abonos orgánicos contienen elementos traza en diferentes proporciones como el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), que son considerados por la Organización Mundial de la Salud como los más perjudiciales para la salud humana (Rodríguez et al., 2014).

Los plaguicidas son sustancias que se usan de manera intensiva para controlar plagas agrícolas. Son sustancias químicamente complejas, que una vez aplicadas en el ambiente, están sujetas a una serie de transformaciones a nivel físico, químico y biológico (fenómenos de adsorción y absorción sobre suelos y plantas, volatilización, fotólisis y degradación química o microbiana) (Rodríguez et al., 2014).

Los sistemas de producción agrícola constituyen una fuente importante no puntual de contaminantes tipo metales pesados, y a su vez facilita la acumulación de éstos en el suelo y/o la transferencia en la cadena suelo - planta - consumidor. Algunos metales pesados están

directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn) (Machecha-Trujillo et al.,2015).

2.2.11. Contenido de Cobre en el Medio Ambiente

Según (León y Sepulveda, 2012), la concentración de cobre en la corteza terrestre se encuentra entre 20-30mg de cobre por kg de suelo. Las plantas realizan sus funciones de forma normal con concentraciones de 5-30mg de cobre por kg de tejido en peso seco. El cobre participa en la catálisis de reacciones de oxidación-reducción y forma parte como grupo prostético de enzimas que participan en procesos fundamentales para las plantas, tales como el transporte de electrones en la fotosíntesis y la respiración.

El cobre puede entrar al medio ambiente a través de liberaciones desde minas de cobre, fábricas que manufacturan o usan cobre metálico o compuesto de cobre, basurales, del agua residual doméstica, de la combustión de desperdicios y combustibles fósiles, de la producción de madera, de la producción de abonos de fosfato y de fuentes naturales (por ejemplo, polvo en el aire, desde el suelo, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales y de la espuma del mar). Por lo tanto, el cobre está ampliamente distribuido en el medio ambiente. (ATSDR, 2016).

A concentraciones ligeramente superiores a las requeridas por las plantas (30mg·kg-1 de tejido en peso seco), produce efectos tóxicos tales como la inhibición del crecimiento en raíces y brotes (León y Sepulveda, 2012).

La reducción en el tamaño celular por el cobre ocasiona una contracción del diámetro de raíces y tallos, y una disminución en el crecimiento de hojas, lo que indica que el cobre también afecta el proceso de expansión celular. La capacidad de expansión de la célula puede ser reducida con el incremento en la lignificación y rigidez de la pared celular (León y Sepulveda, 2012).

2.2.12. Contenido de Plomo en el Medio Ambiente

Es el metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente en las últimas décadas (Navarro-Aguilar, et al., 2007). El plomo se libera en el ambiente por actividades humanas, como explotación de minas de plomo y otros metales, fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo, cuando se quema carbón, petróleo

o desechos, desprendimiento de pedazos de pintura con plomo, entre otros. Una vez que el plomo entra a la atmósfera, puede viajar largas distancias, si las partículas son muy pequeñas. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o a aguas de superficie (ATSDR, 2016).

Una vez que el plomo, se adhiere fuertemente a partículas en el suelo y permanece en la capa superior. Es por esta razón que los usos del plomo en el pasado, por ejemplo, en la gasolina con plomo, y en pinturas y plaguicidas han tenido un impacto tan importante en la cantidad de plomo que se encuentra en el suelo (ATSDR, 2016).

Pequeñas cantidades de plomo pueden entrar a ríos, lagos y arroyos cuando partículas del suelo son movilizadas por el agua de lluvia. El plomo puede permanecer adherido a partículas del suelo o de sedimento en el agua durante muchos años. (ATSDR, 2016).

Los alimentos pueden contaminarse con plomo por medio el agua y el suelo. Se ha reportado que el agua de riego es uno de los principales causantes de la contaminación en hortalizas de consumo en fresco debido a que se contamina por desechos industriales, mineros o residuos de fertilizantes. Además, se ha registrado que las tierras de cultivo presentan mayor concentración de plomo cuando se encuentran cerca de alguna vía donde dé lugar a congestionamientos de vehículos (Cindy Salas-Marcial, et al, 2019).

El plomo resulta altamente tóxico y puede acumularse en los organismos vivos por no tener una función biológica definida (Mercado-García, et al, 2009). Los animales pueden absorber plomo por inhalación o ingestión, si la absorción es lenta, la excreción lo es más aún, de manera que el plomo tiende a acumularse.

Enfermedades como la anemia, cáncer, enfermedades neurológicas y nefrotoxicidad, son algunas de sus consecuencias (Navarro-Aguilar, et al., 2007).

Un aspecto importante a considerar, concerniente a la toxicidad es que el tiempo de residencia de los metales pesados en el suelo ronda los miles de años. Por tanto, representan un riesgo permanente para la salud ambiental (Navarro-Aguilar, et al., 2007).

Según el Estándar de Calidad de Suelo, de acuerdo al D.S. N° 011-2017-MINAM, un suelo se considera contaminado con plomo cuando el contenido de este es mayor a 70 en mg/kg PS (peso seco) en un suelo clasificado como de uso Agrícola, 140 mg/kg PS (peso seco) en un suelo

Residencial, Parques o Suelo Comercial; y 800 mg/kg PS (peso seco) en un suelo de uso Industrial o Extractivo.

2.2.13. Contenido de Cadmio en el Medio Ambiente

El cadmio es un metal pesado tóxico, y está presente en el suelo, sedimentos, aire y agua. Sus principales fuentes naturales son las erupciones volcánicas, las quemas forestales y el transporte de partículas del suelo por el viento. Por otra parte, la actividad humana libera 3-10 veces más cadmio al ambiente (Pernía-De Sousa, et al 2008), a causa de actividades industriales durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura (ATSDR, 2016).

El cadmio existe en forma de ión hidratado o como complejo iónico asociado a otras sustancias inorgánicas u orgánicas. Las formas de cadmio solubles se movilizan en el agua. Las formas insolubles son inmóviles y se depositarán en el sedimento donde serán adsorbidas (ATSDR, 2016).

El cadmio puede acumularse en organismos acuáticos y en cosechas agrícolas. El cadmio (como óxido, cloruro o sulfato) se encuentra en el aire en forma de partículas o vapores (proveniente de procesos de alta temperatura). Puede ser transportado largas distancias en la atmósfera para ser depositado (húmedo o seco) sobre la superficie del suelo o del agua (ATSDR, 2016).

Como todos los metales pesados, puede acumularse en los organismos, transferirse de un nivel trófico al siguiente y multiplicar su concentración a lo largo de las cadenas tróficas. La absorción de cadmio por parte de las raíces depende tanto de su biodisponibiliad como de su concentración en el suelo, de la presencia de materia orgánica, el pH, el potencial redox, la temperatura, la concentración de otros elementos, la salinidad, la intensidad de la luz y el nivel de O2 (Pernía-De Sousa, et al 2008).

Se reconoce este metal como uno de los más tóxicos e inhibitorios de los procesos fisiológicos de las plantas. Se ha evidenciado que reduce el crecimiento, la actividad fotosintética, la transpiración y el contenido de clorofila. También, provoca clorosis, estrés oxidativo, desequilibrios nutricionales y modifica la actividad de enzimas, involucradas en el metabolismo de los ácidos orgánicos y en el ciclo de Krebs (Hernandez-Rodriguez, et al, 2019).

Según el Estándar de Calidad de Suelo, de acuerdo al D.S. N° 011-2017-MINAM, un suelo se considera contaminado con plomo cuando el contenido de este es mayor a 1.4 en mg/kg PS (peso seco) en un suelo clasificado como de uso Agrícola, 10 mg/kg PS (peso seco) en un suelo Residencial, Parques o Suelo Comercial; y 22 mg/kg PS (peso seco) en un suelo de uso Industrial o Extractivo.

2.2.14. Factor de bioconcentración y factor de translocación

Una planta es excluyente cuando restricción del transporte de metal a los tallos y hojas para evitar la acumulación de metal (Cui y Dong, 2002; citado por Dextre, 2017); y una planta es acumuladora cuando desarrollar mecanismos especializados para mantener los metales en los tallos y hojas (Baker, 1981; citado por Dextre, 2017).

Para determinar si una especie excluye o acumula metales se debe emplear el factor de bioconcentración (FBC) y de translocación (FT), ambos factores se calculan siguiendo las siguientes ecuaciones, las cuales han sido utilizadas por varios autores (Numa et al, 2017).

Factor de bioconcentración (FBC)

Indica la eficiencia de una planta en absorber metales pesados del sustrato y acumularlos en sus tejidos subterráneos o aéreos (Zayed et al., 1998; citado por Dextre, 2017).

$$FBC = \frac{C_{parte\ aérea\ o\ raíz}}{C_{suelo}}$$

Donde:

$C_{parte\ aérea\ o\ raíz}$: es la concentración del metal en el tejido de la parte aérea o de la raíz de la planta

C_{suelo}: es la concentración del metal respectivo en el suelo.

En las especies exclusoras, el FBC aéreo es típicamente < 1, mientras que en las especies acumuladoras de metales generalmente es >1 (Yoon et al., 2006; citado por Dextre, 2017).

Factor de traslocación (FT)

Indica la eficiencia de la planta en la traslocación de los metales pesados acumulados de las raíces a la parte aérea (Padmavathiamma y Li, 2007; citado por Dextre, 2017).

$$FT = \frac{C_{parte\ aérea}}{C_{raíz}}$$

Donde:

$C_{parte\ aérea}$: es la concentración del metal objetivo (As, Cd, Cu, Pb) en el tejido de la parte aérea de la planta

C_{raiz}: es la concentración del metal respectivo en la raíz.

Las plantas acumuladoras de metales se caracterizan por su factor de translocación mayor que uno F >1 (Tangahu et al., 2013; citado por Dextre, 2017)

Las plantas con FBC aéreo y FT mayor que uno tienen el potencial de ser utilizados en la fitoextracción (Fitz y Wenzel, 2002, citado por Dextre, 2017). Mientras que las plantas con el FT < 1 tienen el potencial para la fitoestabilización (Yoon et al., 2006; citado por Dextre, 2017).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Ambiente

Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia. (DGPNIGA, 2012).

2.3.2. Absorción

Es un proceso físico-químico mediante el cual una o más especies químicas en la fase liquida o gaseosa penetran en la fase absorbente atravesando su superficie y se difunden dentro de su estructura. Puede ser inorgánico u orgánico (León y Jimenez, 2012).

2.3.3. Adsorción:

Es un proceso físico-químico por el cual se produce una acumulación o un aumento de concentración de sustancia o materia en la interface entre la fase sólida y la fase liquida circundante. Según el tipo de unión puede tener carácter reversible o irreversible (León y Jimenez, 2012).

2.3.4. Biodisponibilidad

El termino biodisponibilidad establece la medida de la tasa y extensión de la absorción de una sustancia activa que alcanza el sistema circulatorio de un organismo, en resumen, la extensión de su absorción y circulación sistémica por el organismo (León y Jimenez, 2012).

2.3.5. Complejación

Se llaman también compuestos de coordinación o complejos metálicos y usualmente incluyen al menos un metal de transición. Los iones o moléculas que rodean al metal se llaman ligandos. Un ligando enlazado a un ion central se dice que está coordinado al ion (Raymond Chang, 2002).

2.3.6. Concentración de metales

Se llama concentración de una disolución a la cantidad de soluto presente en una determinada cantidad de disolvente o disolución (Raymond Chang, 2002).

2.3.7. Especie acumuladora - hiperacumuladoras

Las plantas acumuladoras absorben los metales activamente a partir del suelo y los acumulan en formas no tóxicas en su biomasa aérea (P.S. Kidd, et al, 2007). Las plantas hiperacumuladoras alcanzan concentraciones de metales en hojas entre 10 y 100 veces las concentraciones "normales" (Chaney et al., 2000, citado por P.S. Kidd, et al, 2007). Actualmente se utiliza el término hiperacumulador de metales para designar plantas que acumulan >10 000 mg/kg de Mn y Zn, >1 000 mg/kg de Co, Cu, Pb, Ni, As y >100 mg/kg de Cd (P.S. Kidd, et al, 2007).

2.3.8. Especie endémica

Entidad biológica cuyo patrón espacial en la naturaleza se manifiesta en una distribución geográfica restringida a un área definida (Gastón, citado por B. León et al. 2013).

2.3.9. Especie indicadora

Es una respuesta intermedia, cuando la concentración metálica de la planta refleja la del suelo, sin mostrar ningún síntoma visible de toxicidad (Baker, 1981 citado por P.S. Kidd, et al, 2007).

2.3.10. Especie excluyente

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas, lo que les permite mantener concentraciones constantes y relativamente bajas en la biomasa aérea independientemente de la concentración metálica del suelo en un intervalo amplio (Baker, 1981 citado por P.S. Kidd, et al, 2007).

2.3.11. Especie Nativa

Especie, subespecie o taxón inferior presente dentro de su zona natural (actualmente o en el pasado) y posibilidad de dispersión (es decir, dentro de la zona que ocupa naturalmente o que podría ocupar sin la introducción directa o indirecta o la acción de los seres humanos) (UICN, 2000).

2.3.12. Metalófita

Las metalófitas son especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales y, por ello, son endémicas de suelos con afloramientos naturales de minerales metálicos. Estas rarezas botánicas tienen muy difícil su supervivencia, por una parte, por su especialización para sobrevivir en entornos contaminados con unos minerales concretos, y por otra, por su restringida supervivencia en zonas no mineralizadas. (J.M. Becerril, O. Barrutia, J.I. García Plazaola, A. Hernández, J.M. Olano, C. Garbisu, 2007).

2.3.13. Metales pesados

Se consideran metales pesados aquellos elementos cuya densidad es igual o superior a 5g/cm3, cuando está en forma elemental, y en la tabla periódica son aquellos que tiene densidades mayores al del hierro y su número atómico es superior a 20, excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos (Toral citado por M. Acosta, 2007).

2.3.14. Precipitación

Es un tipo de reacción en disolución acuosa que se caracteriza por la formación de un producto insoluble o precipitado. Un precipitado se separa de la disolución como solido insoluble (Raymond Chang, 2002).

2.3.15. Reducción

Es una semirreacción que implica una ganancia de electrones (Raymond Chang, 2002).

III. MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo de trabajo de investigación es cuantitativo, la cual es aquella que frecuentemente cuantifica relaciones entre variables (la variable independiente o predictiva y la variable dependiente o resultado), busca medir fenómenos, expresarlos en cifras (D. Sousa, 2007).

El nivel de investigación es descriptivo, según Hernandez – Sampieri (2017), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables a las que se refieren. En el presente trabajo de investigación se describirá la capacidad que posee la especie *Solanum peruvianum L.* de fitoestabilizar Cobre, Plomo y Cadmio en el suelo.

El diseño aplicado en esta investigación es experimental, dentro del diseño experimental, existen tres categorías las cuales son: pre-experimental, experimento puro y cuasi experimento. La presente investigación es calificada como pre-experimental, en este diseño, al grupo se le aplica una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental, después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo (Hernández Sampieri, et. Al, 2014).

Tabla 2

Tipo, diseño y nivel de la investigación

Tipo	Cuantitativa
Nivel	Descriptiva
Diseño	Experimental (Pre – experimental)

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

Ámbito espacial

Esta investigación se desarrolló en una instalación acondicionada como un vivero en la azotea de una vivienda ubicada en Urb. Luis E. Valcarcel Mz 26 Lt 12 (en adelante centro de

experimentación), Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua. Se usaron maceteros de polietileno de 18.7 x 16 x 11 cm de ancho, alto y base.

Tabla 3

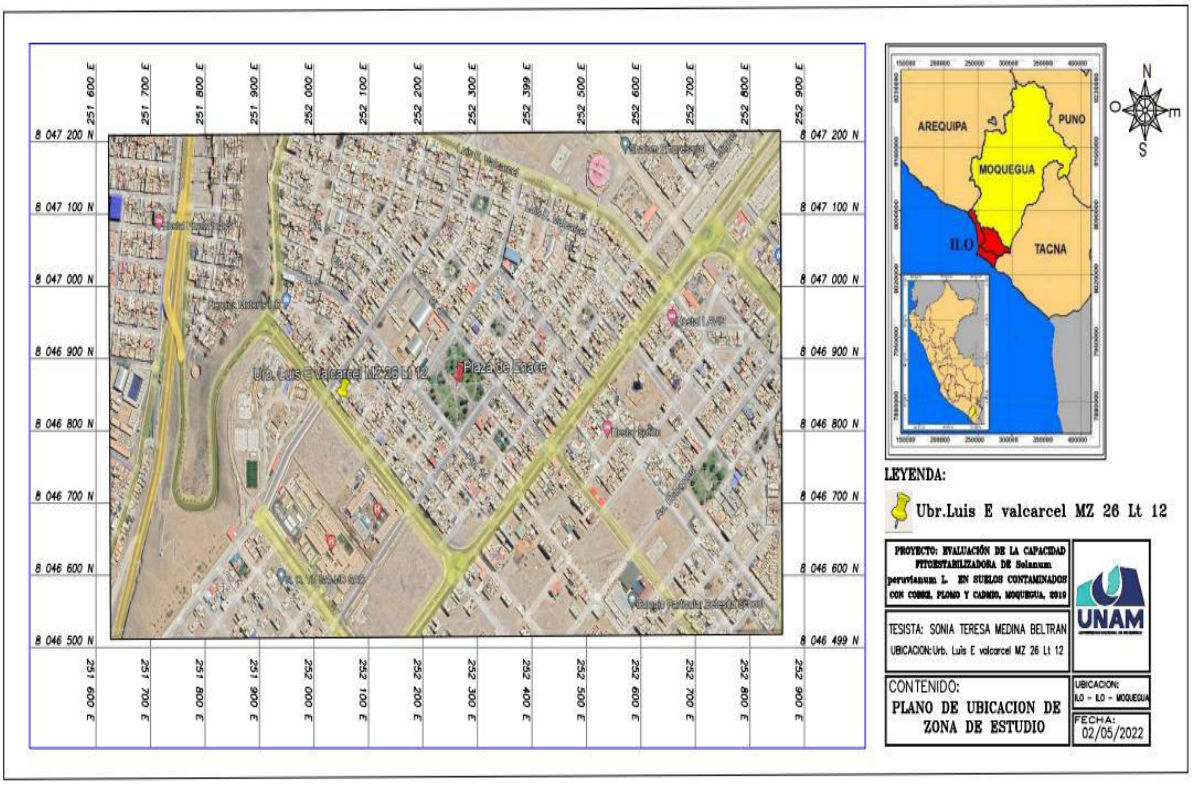
Coordenadas UTM del centro de experimentación, WGS 84.

Ámbito espacial	Zona	Este	Norte	Altitud
Centro de experimentación	19S	252063.4	8046822.0	188 m.s.n.m.

Figura 3

Localización de Centro de Experimentación, ubicado en Urb. Luis E. Valcárcel Mz 26 Lt 12,

Distrito de Ilo, Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua.



Nota. Extraído y adaptado de Google Maps, 2022.

Ámbito temporal

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo durante los meses de julio hasta diciembre del año 2020.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.3.1. Población

Individuos de *Solanum peruvianum L*.

3.3.2. Muestra

Se aplicó muestreo no probabilístico según criterio. Dentro del muestreo según criterio existen dos formas de criterio: el primer criterio, es el criterio del investigador; y el segundo, es el criterio de un grupo de expertos. Al primero de ellos se le denomina discrecional; y al segundo, de juicio (Supo, 2014).

En la presente investigación se aplicó el muestro no probabilístico discrecional, ya que por criterio del investigador se seleccionaron 10 individuos de *Solanum peruvianum L.* previamente germinados de semillas extraídas de la zona de muestreo.

3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1. Variable independiente: Capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.*

Tabla 4

Técnicas e instrumentos de la variable independiente

Indicador	Técnicas	Instrumentos
Cantidad de metal en raices de *Solanum peruvianum L.*	Observación	• Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma (N. Kameswara, J. Hanson, M. Ehsan, K. Ghosh; D. Nowell y M. Larinde, 2007). • Análisis de espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio en raíces de *Solanum peruvianum L.*
Cantidad de metal en tallos y hojas de *Solanum peruvianum L.*		• Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma (N. Kameswara, J. Hanson, M. Ehsan, K. Ghosh; D. Nowell y M. Larinde, 2007). • Análisis de espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio en raíces de *Solanum peruvianum L.*
Factor de bioconcentración de metales en raices de *Solanum peruvianum L.*		• Cálculo del Factor de bioconcentración (Zayed et al., 1998; citado por Dextre, 2017) $$FBC = \frac{C_{parte\ raíz}}{C_{suelo}}$$
Factor de bioconcentración de metales en tallos y hojas de *Solanum peruvianum L.*		• Cálculo del Factor de bioconcentración (Zayed et al., 1998; citado por Dextre, 2017) $$FBC = \frac{C_{parte\ aérea}}{C_{suelo}}$$
Factor de translocación de *Solanum peruvianum L.*		• Calculo del Factor de Traslocación (Padmavathiamma y Li, 2007; citado por Dextre, 2017) $$FT = \frac{C_{parte\ aérea}}{C_{raíz}}$$

3.4.2. Variable dependiente: Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en suelos contaminados

Tabla 5

Técnicas e instrumentos de la variable independiente

Indicador	Técnicas	Instrumentos
Tratamiento 1: Caracterización de suelos	Observación	• Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). • Análisis de caracterización de suelos: pH, conductividad eléctrica, fósforo, potasio, CaCO3 o acidez cambiable, % materia orgánica, Textura (% arena, % limo, % arcilla), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y Cationes Cambiables (calcio, magnesio, sodio, potasio).
Tratamiento 1: Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio.		• Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). • Análisis de espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio. Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).
Tratamiento 2: Caracterización de suelos		• Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). • Análisis de caracterización de suelos: pH, conductividad eléctrica, fósforo, potasio, CaCO3 o acidez cambiable, % materia orgánica, Textura (% arena, % limo, % arcilla), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) y Cationes Cambiables (calcio, magnesio, sodio, potasio).
Tratamiento 2: Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio.		• Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). • Análisis de espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio. Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).

3.5. PROCEDIMIENTOS

3.5.1. ACONDICIONAMIENTO DE CENTRO DE EXPERIMENTACIÓN

Se acondicionó un vivero para la experimentación en la última planta de la vivienda del investigador, para la construcción del vivero, se utilizaron los siguientes materiales:

- Estructura metálica
- Malla raschel
- Plástico
- Otros como madera y ladrillos

Se realizó el armado de la estructura metálica y se colocaron soportes en las esquinas. Se colocó la malla raschel de tal manera que cubra el techo y las paredes y se añadió una cubierta de plástico sobre el techo para evitar que nuestra experimentación se vea afectada por la lluvia u otros agentes.

En el interior se acondicionaron soportes de ladrillo y bases madera similares a mesas, para la ubicación de las futuras unidades experimentales (macetas) a una altura de 0.60 m, y sobre una mesa de madera de 1.10 m de altura, para colocar la fuente de agua.

Además, se instaló un termohigrómetro digital de marca DeltaTrak, en el interior del invernadero para el control de la temperatura y humedad relativa diaria.

Posteriormente, se colocó el sistema de riego cuando se inició la experimentación.

RECOLECCIÓN DE INDIVIDUOS Y SEMILLAS DE *Solanum peruvianum L.*

La especie fue recolectada en el Kilómetro 1333 de la Carretera Panamericana Sur a una hora del centro de experimentación.

Tabla 6

Coordenadas UTM de la zona de recolección de semillas , WGS 84.

Ámbito espacial	Zona	Este	Norte	Altitud
Zona de recolección de semillas	19S	279862.42	8095752.229	1258 m.s.n.m.

Figura 4

Punto de recolección de Solanum peruvianum L., en el Km 1133 de la carretera Panamericana Sur



Nota. Extraído de Google Earth, 2021.

Para la colecta de las especies, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Guantes
- Bolsas de papel
- Pala de plástico
- Cuchilla de plástico
- GPS
- Celular con cámara fotográfica

La colecta de individuos para identificación se realizó en noviembre del 2019. Se colectaron 02 individuos en etapa adulta, es decir con tallo, flor y fruto desarrollados. La colecta de ambos individuos se realizó desde la raíz, por lo que con la pala de plástico se escarbo alrededor de la raíz, 30 cm de profundidad, hasta que pueda ser extraída cuidadosamente y cada muestra se introdujo en bolsas ziploc.

Las semillas se obtuvieron luego de haber obtenido la autorización de uso de flora silvestre para investigación emitido por el SERFOR, directamente por medio de la recolección de frutos y floraciones maduras en fase adulta (antes que caigan las semillas), entre junio y julio del 2020, de forma manual y se depositaron en bolsas de papel. Es importante no exponer a la radiación solar las semillas colectadas, para asegurar el secado completo y evitar la putrefacción y/o deshidratación.

3.5.2. DEPOSITO DE ESPECIE EN HERBARIO: PRENSA Y MONTAJE DE ESPECIE

La identificación de la especie fue realizada por el Dr. Hibert Huaylla Limachi, y la muestra fue depositada en el proyecto del HERBARIO MOQUEGUENSIS de la Universidad Nacional de Moquegua.

Para depositar la muestra los individuos deben de ser prensados y montados sobre una lámina, para esto se utilizaron los siguientes materiales:

- Madera (02 piezas de 30 x 40 cm)
- Una correa
- Cartón corrugado (02 piezas de 30 x 40 cm)
- Papel periódico
- Tijeras
- Cartulina blanca (Tamaño A4)
- Hilo y aguja
- Etiquetas impresas (ficha de colecta)

El prensado de la especie tiene como objetivo eliminar el agua y conservar sus características, es decir que el aspecto de la especie sea lo más similar posible en donde fue encontrado.

Las plantas colectadas se colocaron en la mitad de una hoja de papel periódico respetando la dirección de todas las partes del ejemplar, las hojas con el haz hacia arriba y algunas con el envés visible. La hoja de periódico cerrada se acompaña con los pedazos de cartón corrugado (por debajo y por arriba del papel periódico), esto se coloca entre las dos piezas de madera y se realiza presión con una correa.

Para el montaje, una vez seca, la planta se pegó sobre una cartulina blanca del tamaño de una hoja A4. Se dejó libre la parte inferior de la cartulina para colocar la ficha de colecta. Una vez pegada la planta, se cose la parte más gruesa del ejemplar en los extremos.

En la etiqueta, se colocaron los datos de campo: nombre de la especie, fecha de colecta, localidad donde se realizó la colecta, nombre del colector, coordenadas y altitud.

3.5.3. SOLICITUD DE PERMISO DE SERFOR

Se solicitó el permiso para el uso de especies de flora silvestre, de acuerdo a la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016 SERFOR/DE, "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación de flora y/o fauna silvestre", aprobándose la autorización mediante Resolución Administrativa N° 0007-2020-MINAGRI-ATFFS-MOQUEGUA TACNA, el 10 de febrero del 2020 por un periodo de 6 meses hasta setiembre del 2020, la cual se amplió hasta marzo del 2021, debido a las circunstancias presentadas por el COVID-19.

3.5.4. MUESTREO DE SUELOS PARA TRATAMIENTOS

La primera zona de extracción de suelo para la preparación de los estímulos o tratamientos fue la zona de recolección de la especie *Solanum peruvianum L.*, en el Km. 1133 de la carretera Panamericana Sur.

Tabla 7

Coordenadas UTM de la zona de recolección de suelo de la zona de crecimiento de la especie Solanum peruvianum L., WGS 84.

Ámbito espacial	Zona	Este	Norte	Altitud
Suelo de la zona de crecimiento de la planta	19S	279862.42	8095752.229	1258 m.s.n.m.

Figura 5

Primera zona de muestreo de suelos que coincide con la zona de recolección de Solanum peruvianum L.



Nota. Extraído de Google Earth, 2021.

La segunda área de recolección de muestra de suelo fue en una zona aledaña a un canal de relaves cuesta arriba de un Embalse de relaves. Debido a que el muestreo se realiza con un fin experimental, se delimitó un área de 10 m2, de la cual obtendremos sub muestras. La zona delimitada se escogió, ya que presenta condiciones de acceso, y está libre de maleza y otros elementos superficiales. El acceso la zona es por la Carretera Toquepala, conformada

unión entre la Carretera 1S hacia TA-100 en Alto Camiara y la Carretera MO-107 – Moquegua, entre la frontera de los departamentos de Moquegua y Tacna.

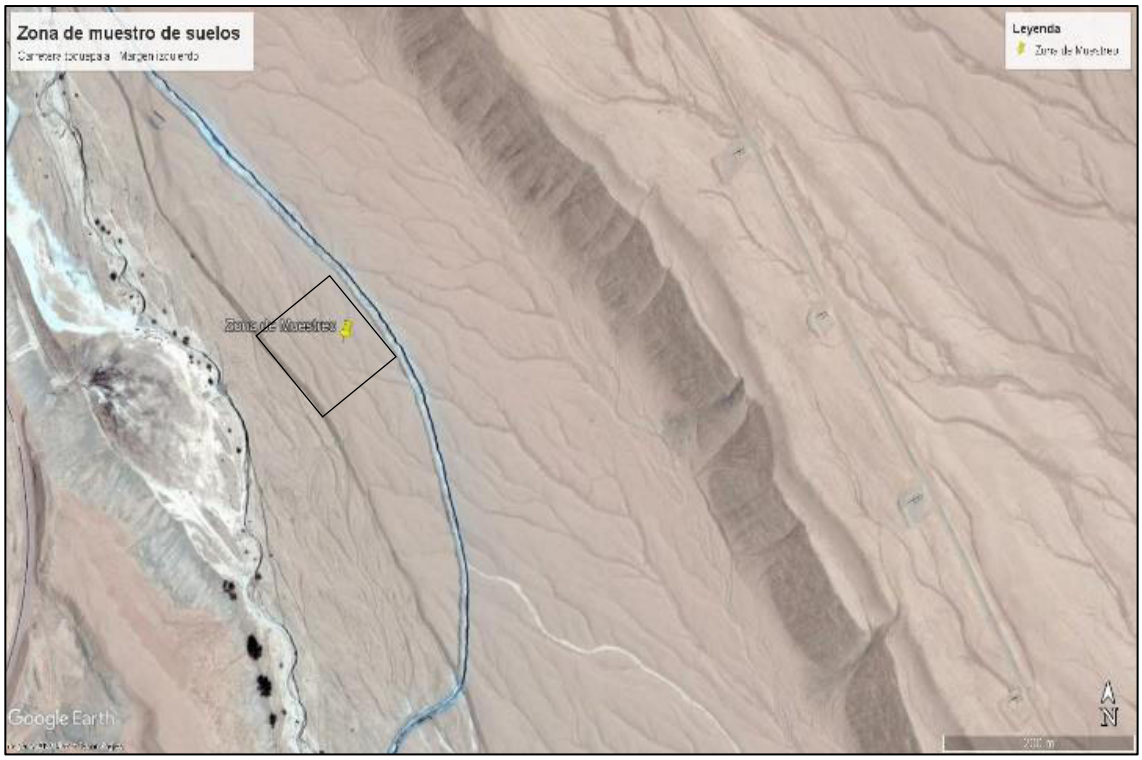
Tabla 8

Coordenadas UTM de la zona de recolección de suelo de la zona aledaña al canal de relaves, WGS 84.

Ámbito espacial	Zona	Este	Norte	Altitud
Suelo de zona aledaña al canal de relaves	19S	306588.9	8071739.8	1357 m.s.n.m.

Figura 6

Segunda zona de muestreo de suelos, aledaña a un embalse de relave



Nota. Extraído de Google Earth, 2021.

Para el muestreo de suelo se utilizaron los siguientes materiales:

- 01 GPS
- 01 Flexómetro
- 04 Marcadores para delimitar nuestra zona de muestreo
- 01 pabilo
- 01 pala de plástico
- Bolsas ziploc
- Elementos de protección personal: Respirador de media cara con filtros para vapores orgánicos y gases ácidos, guantes de neopreno, zapatos de seguridad y ropa manga larga.

El tipo de muestreo realizado es el Muestreo de Identificación (IM), la profundidad y la distribución de muestra Uniforme con Rejillas regulares se realizaron según las recomendaciones de la GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS DEL MINAM, 2014.

Para determinar la composición de ambas zonas, se recolectaron 10 muestras por cada zona. Las muestras no necesitaron preservación y se utilizaron bolsas ziploc con un volumen de 1.5 kilo.

Cada muestra se etiquetó con la siguiente información:

- Número de identificación
- Lugar del muestreo
- Nombre del proyecto
- Fecha y hora del muestreo
- Iniciales de la persona que toma la muestra.

El traslado de la muestra se realizó con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello fueron embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.

3.5.5. PREPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE SUELO

Para la preparación de los tratamientos en el suelo se utilizaron:

- Macetas
- Bolsas ziploc
- Guantes
- Balde de 2 litros
- Balde de 20 litros
- Muestras de suelo de zona cercana a relave
- Muestra de zona de extracción de planta

Las muestras de cada zona fueron homogenizadas de manera independiente. Cada muestra homogénea se sometió al método de cuarteo, para obtener la muestra de diagnóstico enviada al laboratorio para su caracterización. Además, se extrajo 2 muestras, 1 por cada tipo de suelo, que actuarán como blanco en la experimentación.

Con el resto del suelo, se prepararon las muestras de los tratamientos según el siguiente detalle:

Tabla 9

Composición de tratamientos de suelo.

Composición de tratamientos de suelo	T1	T2
Suelo de la zona aledaña a embalse de relaves	40%	60%
Suelo de la zona de extracción de la planta + compost	60%	40%

Se obtuvieron 5 muestras por tratamiento, de las cuales 2 fueron enviadas a analizar en el laboratorio para su caracterización.

Luego las muestras de suelo fueron distribuidas en las unidades experimentales, macetas de 18.7 cm de diámetro por 16 cm de alto, obteniéndose un total de 8 unidades experimentales, 4 por cada tratamiento.

Tabla 10

Distribución de muestras según tratamiento

Distribución	T1	T2	B1	B2
N de muestras	4	4	1	1

3.5.6. GERMINACION DE SEMILLAS

Para la germinación de semillas se utilizaron:

- 15 frutos
- Sustrato: Turba más arena
- Guantes
- Vasos de plástico
- Varios

La germinación de semillas se realizó en el centro de experimentación de los 15 frutos obtenidos según lo establecido en el permiso obtenido en el SERFOR.

Se retiraron las semillas de los frutos, se lavaron y se secaron a temperatura ambiente. Una vez obtenidas las semillas, se preparó el sustrato de turba y arena en relación de 3:1, en 30 vasos descartables en lugar de la bandeja de germinación. Se distribuyeron una semilla por vaso y se cubrió con una fina capa del mismo sustrato empleado.

El regado de esta germinación fue manual con una regadera de 100 ml cada 3 días, durante 1 mes y 15 días (45 días).

3.5.7. EXPOSICIÓN DE ESPECIES GERMINADAS A TRATAMIENTOS

De los individuos germinaron, se escogieron 10 individuos con las mejores características para sobrevivir (altura y abundancia de follaje tallo y hojas desarrolladas).

Los individuos fueron trasplantados en cada unidad experimental con el mayor cuidado para no dañar la raíz.

3.5.8. TOMA DE DATOS METEREOLOGICOS

Se instaló un termo higrómetro digital de marca DeltaTrak y se tomaron los datos meteorológicos de temperatura y humedad relativa. Los datos se registraron diariamente de forma manual.

3.5.9. RIEGO

Se aplicó el riego por goteo, para lo cual se instaló un sistema con los siguientes materiales:

- Balde de 20 Lt., como fuente de agua
- Manguera de PVC para riego por goteo
- Goteros

El riego se realizaba cada 2 días durante 10 minutos en las noches, para evitar una rápida evaporación del agua. La cantidad de agua por unidad experimental fue de 0.013 l/m. El agua utilizada fue enviada a analizar durante los 3 meses.

3.5.10. RECOLECCION DE MUESTRAS DE PLANTA Y SUELO DESPUES DE EXPERIMENTACIÓN PARA SU ANALISIS EN LABORATORIO

Una vez cumplido el tiempo de exposición, se retiraron las muestras de las macetas. Las muestras de suelos se colocaron en una bolsa ziploc individual, que fueron etiquetadas para su posterior envió al laboratorio.

En el caso de las plantas, fueron secado a través del método de la prensa, y luego de esto, se dividieron en dos partes, se separó la raíz de los tallos y hojas. Cada muestra fue colocada en un empaque individual con el etiquetado correspondiente para su posterior envío al laboratorio para los análisis correspondientes.

3.6. ANALISIS DE DATOS

El análisis de datos se realizó en el software IBM SPSS Statics, las pruebas aplicadas fueron:

3.6.1. PRUEBA DE NORMALIDAD DE DATOS Y HOMOCEDASTICIDAD DE VARIANZAS

3.6.1.1. Shapiro Wilks

Cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50 la prueba de contraste de bondad de ajuste a una distribución normal es la prueba de Shapiro-Wilks (Saldaña,2016). El estadístico de prueba es:

$$W = \frac{D^2}{nS^2}$$

donde D es la suma de las diferencias corregidas.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado (Universidad de Barcelona, 2022).

3.6.1.2. Prueba de Levene

Se caracteriza, por poder comparar 2 o más poblaciones y por permitir elegir entre diferentes estadísticos de centralidad: mediana (por defecto), media, media truncada. Esto es importante a la hora de contrastar la homocedasticidad dependiendo de si los grupos se distribuyen de forma normal o no (J. Rodrigo, 2016).

3.6.2. PRUEBAS PARAMETRICAS

3.6.2.1. Prueba t de muestras relacionadas

El procedimiento Prueba T para muestras relacionadas compara las medias de dos variables de un solo grupo. El procedimiento calcula las diferencias entre los valores de las dos variables de cada caso y contrasta si la media difiere de 0 (IBM statics, 2017).

3.6.2.2. ANOVA de un factor

El procedimiento ANOVA de un factor se utiliza para contrastar la hipótesis de que varias medias son iguales. Además, es posible saber qué medias difieren. Para esto se utilizan los contrastes post hoc que se realizan *después* de haber llevado a cabo el experimento. (IBM statics, 2017).

Tukey, utiliza el estadístico del rango estudentizado para realizar todas las comparaciones por pares entre los grupos y establece la tasa de error por experimento como la tasa de error para el conjunto de todas las comparaciones por pares (IBM statics, 2017).

Games-Howell, es una prueba de comparación por parejas que en ocasiones es liberal. Esta prueba es adecuada cuando las varianzas son desiguales (IBM statics, 2017).

Welch, es un cálculo utilizado para contrastar la igualdad de las medias de grupo. Este estadístico es preferible al estadístico *F* si no se supone la igualdad de las varianzas (IBM statics, 2017).

3.6.3. PRUEBAS NO PARAMETRICAS

3.6.3.1. Prueba de Wilcoxon

Se utiliza cuando la distribución de datos cuantitativos no sigue una distribución normal. La prueba de Wilcoxon se utiliza para comparar un grupo antes y después, es decir, muestras relacionadas (IBM statics, 2017).

3.6.3.2. Prueba de Kruskal Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es el análogo no paramétrico de análisis de varianza de un factor y detecta diferencias en la ubicación de distribución. La prueba supone que no hay ningún orden *a priori* de las poblaciones *k* de las cuales se extraen las muestras (IBM statics, 2017).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. GERMINACIÓN DE LA ESPECIE *Solanum peruvianum L.*

De las treinta semillas sembradas de *Solanum peruvianum L.*, 19 germinaron convirtiéndose en plántulas y 11 no germinaron. El monitoreo de germinación de semillas se realizó cada 2 días. El porcentaje de germinación de las semillas de *Solanum peruvianum L.*, fue de 63%.

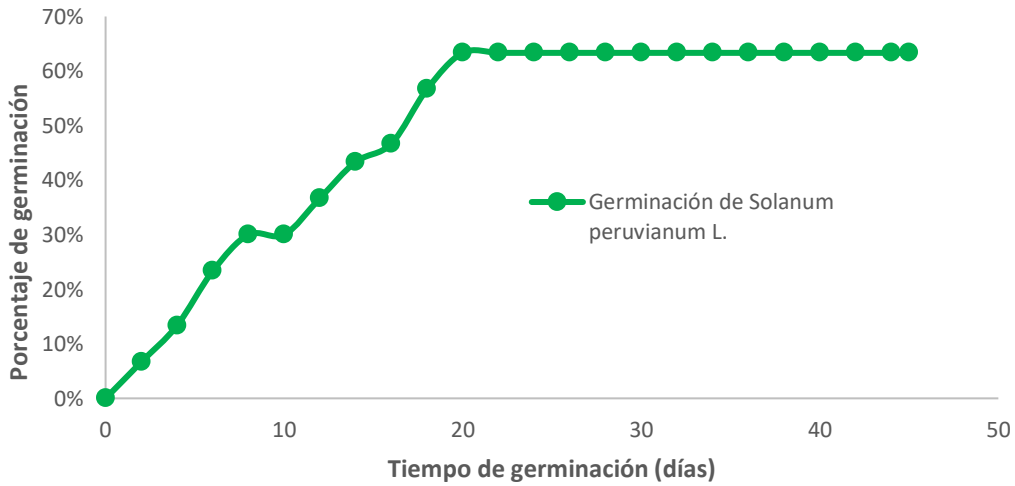
Tabla 11

Control de germinación

Tabla de control de germinación																								
Días de control	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**24**	**26**	**28**	**30**	**32**	**34**	**36**	**38**	**40**	**42**	**44**	**45**
N° de individuos	0	2	4	7	9	9	11	13	14	17	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19

Gráfico 1

Comportamiento de la germinación de semillas de la especie Solanum peruvianum L.



De las plántulas obtenidas, se escogieron 10, a criterio del investigador, que presentaban las mejores características con respecto a sus tallos y hojas.

4.1.2. TAMAÑO DE TALLOS Y RAICES

A los 45 días, el tamaño máximo alcanzado de las plántulas fue de 10.2 cm. El monitoreo de altura del tallo de las plántulas se realizó cada 4 días.

Tabla 12

Control de tamaño (cm) de plántulas a los 45 días.

Tabla de control de tamaño										
N° de individuo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Altura del tallo	9.5	10.1	9.0	9.3	9.8	10.2	8.6	9.4	8.7	9.0

Al finalizar la exposición a los tratamientos, se registraron las medidas de tallo y raíz de las plántulas. Para el tratamiento 1, el tamaño promedio obtenido con respecto al tallo fue de 18.25 cm y con respecto a la raíz fue de 13.5 cm. Para el tratamiento 2, el tamaño promedio con respecto al tallo fue de 20.25 cm y con respecto a la raíz fue de 17.5 cm.

Tabla 13

Control de tamaño de tallo y raíz de las plantas después de la exposición a los tratamientos.

Tratamientos	**Tamaño (cm)**	
	Tallo	**Raíz**
Tratamiento 1	**18.25**	**13.5**
Muestra 1	20	16
Muestra 2	18	17
Muestra 3	20	17
Muestra 4	15	4
Tratamiento 2	**20.25**	**17.5**
Muestra 1	22	11
Muestra 2	16	21
Muestra 3	25	22
Muestra 4	18	16

4.1.3. REGISTRO DE TEMPERATURA y HUMEDAD RELATIVA

De los datos tomados de temperatura y humedad relativa, en el mes de setiembre, el promedio de la temperatura fue de 18.23°C, con una humedad relativa promedio de 86.02%. En el mes de octubre, el promedio de la temperatura fue de 19.95°C, con una humedad relativa promedio de 87.11%. En el mes de noviembre, el promedio de la temperatura fue de 21.74°C, con una humedad relativa promedio de 89.29%. Finalmente, en el mes de diciembre, el promedio de la temperatura registrada fue de 23.97, y con una humedad relativa promedio de 92.18%.

Tabla 14

Promedio Mensual de Temperatura y humedad relativa

Promedio Mensual de Temperatura y humedad relativa				
Mes	**Temp. Max**	**Temp. Min**	**Temp. Prom**	**HR**
Setiembre	22.66	13.80	18.23	86.02
Octubre	24.61	15.28	19.95	87.11
Noviembre	26.16	17.31	21.74	89.29
Diciembre	28.87	19.08	23.97	92.18

4.1.4. ANALISIS DE AGUA

Del agua utilizada en el regado de las plantas, se tomó una muestra por cada mes de tratamiento, para determinar su contenido en los metales de interés en el experimento. Las muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de La Molina.

Tabla 15

Resultado de los análisis de Pb, Cd y Cd en el agua utilizada para el regado de la experimentación

Agua usada en el riego	Cu	Pb	Cd
M1- Periodo Set – Oct	N.D.	0.040	0.001
M2 - Periodo Oct- Nov	N.D.	0.070	0.001
M3 - Periodo Nov – Dic	N.D.	0.051	0.001

Nota. (*)1 mg/kg = 1 ppm

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que para el metal Cu, la concentración es “No detectable”, por lo que las concentraciones finales no se vieron afectadas. Sin embargo, en el caso de los metales Pb y Cd, se han detectado concentraciones, que, aunque son mínimas, pueden alterar las concentraciones finales, por lo que se tuvo que realizar un ajuste de datos (sobre las concentraciones finales afectadas) antes de su procesamiento estadístico.

4.1.5. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO

Todas las muestras de suelo fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de La Molina, al igual que las muestras de agua.

Antes de preparar los tratamientos se obtuvo una muestra de los componentes a mezclar, para realizar su caracterización. El suelo 1 corresponde a la muestra extraída de la zona aledaña al canal de relaves, y el suelo 2 corresponde al suelo de la zona de extracción de la planta más compost.

Tabla 16

Caracterización de suelo inicial (Parámetros fisicoquímicos).

Parámetros Fisicoquímicos	Suelo	
	Suelo 1	**Suelo 2**
pH	7.94	7.89
Materia Orgánica	7.29%	2.15%
Conductividad eléctrica	5.94 dSm-1	1.77 dSm-1
Clasificación del suelo	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Para el suelo 1, los resultados obtenidos fueron, pH 7.94, materia orgánica 7.29%, conductividad eléctrica 5.94 dSm-1 y la clasificación del suelo fue Franco Arenoso. Para el suelo 2 los resultados obtenidos fueron, pH 7.89, materia orgánica 2.15%, conductividad eléctrica 1.7 dSm-1 y la clasificación del suelo fue también Franco Arenoso.

Tabla 17

Resultados de la concentración de Cu, Pb y Cd en las muestras de suelo inicial.

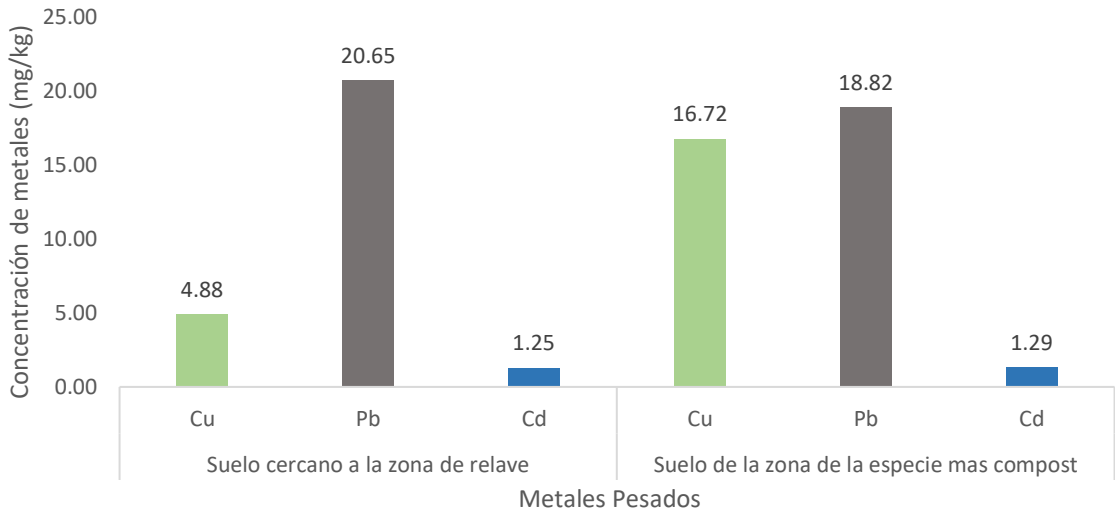
Suelo	mg/kg		
	Cu	Pb	Cd
Suelo de zona aledaña al canal de relaves	4.88	20.65	1.25
Suelo de la zona de extracción más compost	16.72	18.82	1.29

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

En el caso del suelo 1, la concentración de metales fue de 4.88 mg/kg de Cu, 20.65 mg/kg de Pb y 1.25 mg/kg de Cd. En el suelo 2, extraído de la zona de crecimiento de la especie más compost, la concentración de metales fue de 16.72 mg/kg de Cu, 18.82 mg/kg de Pb y 1.29 mg/kg de Cd. En ambas muestras las concentraciones no sobrepasan los valores establecidos en el estándar de calidad ambiental para suelo según D.S. N° 011-2017-MINAM para los metales Cu y Pb, sin embargo, para el Cd, si sobrepasa la concentración establecida para suelo agrícola (1.24 mg/kg, Valor ECA - D.S. N° 011-2017-MINAM).

Gráfico 2

Concentración de Cu, Pb y Cd en las muestras del suelo antes de la preparación de tratamientos.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Una vez preparados los tratamientos, se tomó una muestra representativa y se realizó el análisis de caracterización y la determinación de los metales investigados antes de iniciar el periodo de exposición. De la misma forma, cuando finalizó este periodo, se realizó el análisis de caracterización de suelo y de los metales por cada tratamiento. En la tabla 18 se detallan los parámetros fisicoquímicos del suelo de los tratamientos 1 y 2, de las concentraciones iniciales y finales.

Tabla 18

Parámetros fisicoquímicos de los suelos de los tratamientos 1 y 2, iniciales y finales.

Parámetros Fisicoquímicos	Suelo			
	T1 – Inicial	**T1 - Final**	**T2 - Inicial**	**T2 - Final**
pH	7.72	7.43	7.76	7.34
Materia Orgánica	3.86%	4.26%	3.83%	3.10%
Conductividad eléctrica	8.93 dSm-1	6.71 dSm-1	5.6 dSm-1	4.94 dSm-1
Tipo de suelo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso

De los resultados obtenidos, podemos identificar que hubo una reducción del pH en ambos tratamientos, así como en la conductividad eléctrica. Con respecto a la materia orgánica, se observa que en el tratamiento 1 hubo un incremento y en el tratamiento 2 hubo una reducción. Estos datos nos ayudaran a describir el comportamiento de los metales en la planta.

4.1.6. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cu, Cd Y Pb EN LA BIOMASA RADICULAR, BIOMASA AEREA Y SUELO

Antes del periodo de exposición, se tomaron muestras de *Solanum peruvianum L.* germinadas y una muestra por cada tratamiento de suelo, para su análisis correspondiente. Luego del tiempo de exposición, se separó cada unidad muestral en tres sectores: raíces (biomasa radicular), tallo y hojas (biomasa aérea) y suelo. Todas las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de La Molina, para determinar la concentración inicial y final de los metales estudiados.

4.1.6.1. COBRE(Cu)

Tabla 19

Concentración de Cobre (Cu) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos.

Cobre	Concentración Inicial	Tratamientos	
		T1	T2
Biomasa radicular	47.000	355.506	454.469
Biomasa aérea	30.500	97.361	51.316
Suelo T1	22.960	24.63	-
Suelo T2	1.760	-	30.03

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

De las muestras de *Solanum peruvianum L.,* germinadas, que se enviaron a analizar para determinar el contenido inicial de metales, se obtuvo que en la biomasa radicular la concentración de Cu fue de 47.0 mg/kg, mientras que en la biomasa aérea fue de 30.5 mg/kg. Luego de los tres meses de exposición se obtuvo en el tratamiento 1, 355.506 mg/kg de Cu en la biomasa radicular y 97.361 mg/kg de Cu en la biomasa aérea. En el tratamiento 2, las concentraciones fueron de 454.469 mg/kg en la biomasa radicular y 51.316 mg/kg en la biomasa aérea del metal en estudio.

Con respecto al suelo, el contenido de Cu obtenido en la muestra extraída antes del periodo de exposición fue de 22 mg/kg para tratamiento 1 y 1.76 mg/kg para el tratamiento 2. Luego del periodo de exposición, el resultado para el tratamiento 1 fue 24.63 mg/kg y para el tratamiento 2 fue de 30.03 mg/kg.

Prueba de normalidad de datos para las concentraciones de cobre por biomasa aérea, radicular y suelo.

Para realizar la prueba de normalidad, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 20

Pruebas de normalidad para la concentración de Cu.

			Shapiro-Wilk		
			Estadístico	**gl**	**Sig.**
Cu	**T1**	**B. Radicular**	,966	4	,814
		B. Aérea	,780	4	,072
		Suelo	,795	4	,093
	T2	**B. Radicular**	,763	4	,051
		B. Aérea	,840	4	,196
		Suelo	,996	4	,987

Para la diferencia de las concentraciones de Cu, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, tanto en el tratamiento 1 y 2, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que en este caso se acepta la hipótesis nula: los datos tienen distribución normal.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para realizar la prueba de homogeneidad de varianzas, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 21

Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Cu, en biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

			Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
			F	**Sig.**
Cu	**B. Radicular**	Se asumen varianzas iguales No se asumen varianzas iguales	3,090	,129
	B. Aérea	Se asumen varianzas iguales No se asumen varianzas iguales	4,434	,080
	Suelo	Se asumen varianzas iguales No se asumen varianzas iguales	2,932	,138

De la prueba de Levene, de igualdad de varianzas, se concluye que, para Cu, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas. Por lo tanto, se usará la prueba paramétrica Prueba t para muestras relacionadas.

Prueba t para muestras relacionadas

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 22

Pruebas t para muestras relacionadas de la concentración de Cu en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo

			Prueba de muestras emparejadas			
			t	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Decisión**
Cu	**T1**	**B. Radicular**	7,158	3	,006	Se rechaza la hipótesis nula
		B. Aérea	2,285	3	,106	Se acepta la hipótesis nula
		Suelo	,745	3	,510	Se acepta la hipótesis nula
	T2	**B. Radicular**	3,304	3	,046	Se rechaza la hipótesis nula
		B. Aérea	3,268	3	,047	Se rechaza la hipótesis nula
		Suelo	36,068	3	,000	Se rechaza la hipótesis nula

De acuerdo con los resultados de la prueba t para muestras relacionadas, en el tratamiento 1, para la concentración de Cu en la biomasa radicular, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna que nos indica que, si hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final de Cu en las raíces de *Solanum peruvianum L.,* en este caso hubo un incremento de concentración. En el caso de la concentración de Cu en la biomasa aérea (tallos y hojas) y suelo, se acepta la hipótesis nula, que nos indica que no hubo un cambio significativo entre la concentración inicial y la concentración final del metal.

En el tratamiento 2, para la concentración de Cu en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna que nos indica que, si hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final de Cu en las raíces, en la biomasa radicular y en el suelo, en este caso hubo un incremento.

4.1.6.2. PLOMO (Pb)

Tabla 23

Concentración de Plomo (Pb) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos.

Plomo	Concentración Inicial	Tratamientos	
		T1	T2
Biomasa radicular	11.230	28.070	23.477
Biomasa aérea	14.180	15.165	11.367
Suelo T1	18.080	18.085	-
Suelo T2	19.59	-	16.920

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

De las muestras de *Solanum peruvianum L.,* el contenido inicial de Pb obtenido en la biomasa radicular fue de 11.230 mg/kg, mientras que en la biomasa aérea la concentración de los metales fue de 14.180 mg/kg. Luego de los tres meses de exposición, se obtuvo para el tratamiento 1, 28.070 mg/kg de Pb en la biomasa radicular y 15.165 mg/kg de Pb en la biomasa aérea. En el tratamiento 2, las concentraciones de Pb, fueron de 23.477 mg/kg en la biomasa radicular y 11.367 mg/kg en la biomasa aérea.

Con respecto al suelo, el contenido de Pb antes del periodo de exposición fue de 18.080 mg/kg para tratamiento 1, y 19.590 mg/kg para el tratamiento 2. Luego del periodo de exposición, el resultado de contenido de Pb para el tratamiento 1 fue 18.085 mg/kg y para el tratamiento 2 fue de 16.920 mg/kg.

Prueba de normalidad de datos para las concentraciones de plomo por biomasa aérea, radicular y suelo.

Para realizar la prueba de normalidad, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 24

Pruebas de normalidad para la concentración de Pb.

			Shapiro-Wilk		
			Estadístico	**gl**	**Sig.**
Pb	**T1**	**B. Radicular**	,834	4	,179
		B. Aérea	,906	4	,461
		Suelo	,904	4	,452
	T2	**B. Radicular**	,923	4	,554
		B. Aérea	,989	4	,953
		Suelo	,901	4	,437

Para las concentraciones de Pb, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, tanto en el tratamiento 1 y 2, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que en este caso se acepta la hipótesis nula: los datos tienen distribución normal.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para realizar la prueba de homogeneidad de varianzas, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 25

Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Pb, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

			Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
			F	**Sig.**
Pb	**B. Radicular**	Se asumen varianzas iguales	,355	,573
		No se asumen varianzas iguales		
	B. Aérea	Se asumen varianzas iguales	1,731	,236
		No se asumen varianzas iguales		
	Suelo	Se asumen varianzas iguales	,026	,878
		No se asumen varianzas iguales		

De la prueba de Levene de igualdad de varianzas, se concluye que, para Pb el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas. Por lo tanto, se usará la prueba paramétrica, Prueba t para muestras relacionadas.

Prueba t para muestras relacionadas

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 26

Pruebas t para muestras relacionadas la concentración de Pb en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

			Prueba de muestras emparejadas			
			t	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Decisión**
Pb	**T1**	**B. Radicular**	4,590	3	,019	Se rechaza la hipótesis nula
		B. Aérea	,480	3	,664	Se acepta la hipótesis nula
		Suelo	,010	3	,993	Se acepta la hipótesis nula
	T2	**B. Radicular**	2,940	3	,061	Se acepta la hipótesis nula
		B. Aérea	2,753	3	,071	Se acepta la hipótesis nula
		Suelo	-5,905	3	,010	Se rechaza la hipótesis nula

De acuerdo con los resultados de la prueba t para muestras relacionadas, en el tratamiento 1, para la concentración de Pb en la biomasa radicular, se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna que nos indica que, si hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final de Pb en las raíces de *Solanum peruvianum L.,* en este caso hubo un incremento. En el caso de la concentración de Pb en la biomasa aérea y suelo, se acepta la hipótesis nula, que nos indica que no hubo un cambio significativo entre la concentración inicial y la concentración final del metal.

En el tratamiento 2, para la concentración de Pb en la biomasa radicular y biomasa aérea (tallos y hojas), se acepta la hipótesis nula, que nos indica que no hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final de Pb detectado en las raíces y en los tallos y hojas de *Solanum peruvianum L.* Sin embargo, con respecto al suelo, el resultado rechaza la hipótesis nula, por lo que se acepta la hipótesis alterna que nos indica que, si hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final de Pb en el suelo, sin embargo, esta diferencia es negativa, por lo tanto, la concentración final de Pb en el suelo se redujo con respecto a la inicial.

4.1.6.3. CADMIO (Cd)

Tabla 27

Concentración de Cadmio (Cd) en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelos por tratamientos.

Cadmio	Concentración Inicial	Tratamientos	
		T1	T2
Biomasa radicular	1.410	3.680	2.430
Biomasa aérea	1.910	2.010	2.360
Suelo T1	1.350	1.600	-
Suelo T2	1.570	-	1.640

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

En la determinación del contenido inicial de Cd en *Solanum peruvianum L.*, se obtuvo que en la biomasa radicular la concentración fue de 1.91 mg/kg, mientras que en la biomasa aérea la concentración de los metales fue de 1,41 mg/kg.

Luego de los tres meses de exposición, los resultados para Cd fueron, para el tratamiento 1 se obtuvo 3.680 mg/kg en la biomasa radicular y 2.010 mg/kg en la biomasa aérea. En el tratamiento 2, las concentraciones fueron de 2.430 mg/kg en la biomasa radicular y 2.360 mg/kg en la biomasa aérea.

Con respecto al suelo, antes de la investigación, la concentración de Cd fue de 1.350 mg/kg para tratamiento 1, y 1.570 mg/kg para el tratamiento 2. Luego del periodo de exposición, el resultado de la concentración de Cd para el tratamiento 1 fue 1.600 mg/kg y para el tratamiento 2 fue de 1.640 mg/kg.

Prueba de normalidad de datos para las concentraciones de cadmio para biomasa aérea, radicular y suelo.

Para realizar la prueba de normalidad, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 28

Pruebas de normalidad para la concentración de Cd.

			Shapiro-Wilk		
			Estadístico	**gl**	**Sig.**
Cd	**T1**	**B. Radicular**	,972	4	,852
		B. Aérea	,899	4	,426
		Suelo	,977	4	,884
	T2	**B. Radicular**	,892	4	,390
		B. Aérea	,873	4	,311
		Suelo	,989	4	,952

Para las diferencias de concentraciones de Cd, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, tanto en el tratamiento 1 y 2, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que en este caso se acepta la hipótesis nula: los datos tienen distribución normal.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para realizar la prueba de homogeneidad de varianzas, se realizó la diferencia entre concentraciones iniciales y finales, con estos datos se realizó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 29

Pruebas de Levene de igualdad de varianzas para la concentración de Cd, en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

			Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
			F	**Sig.**
Cd	**B. Radicular**	Se asumen varianzas iguales	3,039	,132
		No se asumen varianzas iguales		
	B. Aérea	Se asumen varianzas iguales	26,798	,002
		No se asumen varianzas iguales		
	Suelo	Se asumen varianzas iguales	4,550	,077
		No se asumen varianzas iguales		

De la prueba de Levene de igualdad de varianzas, se concluye que, para Cd, en el caso de la biomasa radicular y suelo, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas, sin embargo, para la biomasa aérea el p-valor es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna: si existe diferencia entre varianzas.

Por lo que se usará la prueba paramétrica, prueba t para muestras relacionadas en el caso de las concentraciones de la biomasa radicular y suelo, y para las concentraciones de la biomasa aérea, se usará la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Prueba t para muestras relacionadas y Prueba de Wilcoxon

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final de los metales.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 30

Pruebas t para muestras relacionadas para la concentración de Cd en la biomasa radicular y suelo.

			Prueba de muestras emparejadas			
			t	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Decisión**
Cd	**T1**	**B. Radicular**	2,570	3	,083	Se acepta la hipótesis nula
		Suelo	5,378	3	,013	Se rechaza la hipótesis nula
	T2	**B. Radicular**	2,716	3	,073	Se acepta la hipótesis nula
		Suelo	2,512	3	,087	Se acepta la hipótesis nula

Tabla 31

Pruebas de Wilcoxon para muestras relacionadas para la concentración de Cd en la biomasa aérea.

			Prueba de Wilcoxon		
			Z	**Sig. asintótica(bilateral)**	**Decisión**
Cd	**T1**	**B. Aérea**	-,730	,465	Se acepta la hipótesis nula
	T2	**B. Aérea**	-,730	,465	Se acepta la hipótesis nula

Según los resultados obtenidos de la prueba t para muestras relacionadas y de la prueba de Wilcoxon, en el tratamiento 1, para la concentración de Cd en la biomasa radicular y en la biomasa aérea (tallos y hojas), se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, nos indica que no hubo diferencia significativa entre la concentración inicial y final del metal. Con respecto a la concentración de Cd en el suelo, se rechaza la hipótesis nula, que nos indica que, si existe diferencia significativa entre la concentración inicial y la concentración final del metal, en este caso hubo incremento.

En el tratamiento 2, para la concentración de Cd en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, se acepta la hipótesis nula, que nos indica que no hubo incremento significativo entre las concentraciones iniciales y finales de Cd en las raíces o en los tallos y hojas.

4.1.7. COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE Cu, Pb y Cd EN LA BIOMASA RADICULAR, BIOMASA AEREA Y SUELO DE LA ESPECIE *Solanum peruvianum L.*

Para identificar en que sector de la unidad muestral hubo mayor concentración de metal, se realizó la comparación de medias de las concentraciones de diferencia acumuladas en la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

4.1.7.1. COBRE (Cu)

Prueba de normalidad de datos y prueba de homocedasticidad de varianzas

Para la normalidad de datos se considera los resultados de la **Tabla 20** que indica que los datos tienen una distribución normal, ya que todos los p-valor calculados son mayores a 0.05, por lo que se aceptó la hipótesis nula. Para la homocedasticidad de varianzas se considera la **tabla 21**, en la que se concluye que el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas.

Por lo tanto, se usará la prueba paramétrica ANOVA de un factor para evaluar la diferencia de concentraciones entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, por cada tratamiento.

ANOVA de un factor

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre la concentración de cobre de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre la concentración de cobre de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tratamiento 1

Tabla 32

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cu entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	209061,562	2	104530,781	28,839	,000
Dentro de grupos	32621,286	9	3624,587		
Total	241682,848	11			

De acuerdo con el análisis de varianza, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y esto nos indica que al menos si existe una diferencia entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 33

Comparaciones múltiples, HSD Tukey.

					Intervalo de confianza al 95%	
(I) Sector de la planta o suelo	**(J) Sector de la planta o suelo**	**Diferencia de medias (I-J)**	**Desv. Error**	**Sig.**	**Límite inferior**	**Límite superior**
B. Radicular	**B. Aérea**	241,64406*	42,57104	,001	122,7855	360,5027
	Suelo	306,84406*	42,57104	,000	187,9855	425,7027
B. Aérea	**B. Radicular**	-241,64406*	42,57104	,001	-360,5027	-122,7855
	Suelo	65,20000	42,57104	,322	-53,6586	184,0586
Suelo	**B. Radicular**	-306,84406*	42,57104	,000	-425,7027	-187,9855
	B. Aérea	-65,20000	42,57104	,322	-184,0586	53,6586

De acuerdo con las comparaciones múltiples, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular es diferente a la concentración de la biomasa aérea y a la concentración del suelo, ya que hay diferencia significativa de datos, sin embargo, entre la concentración de la biomasa aérea y la concentración del suelo no hay diferencia significativa entre las medias, por lo tanto, no hay diferencia entre los incrementos del metal de estos sectores. Esto nos

indica que la mayor acumulación de Cu se dio en la biomasa radicular, luego en la biomasa aérea y finalmente en el suelo.

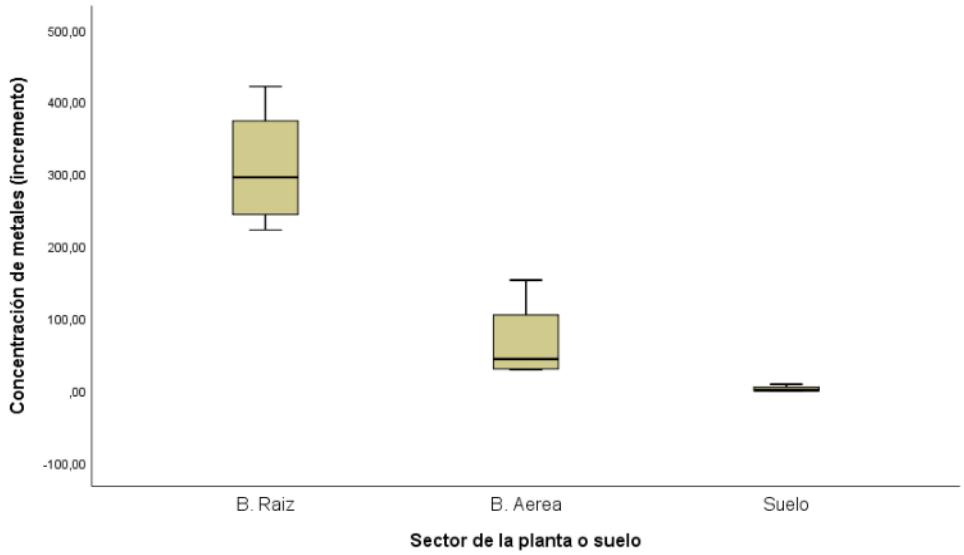
Tabla 34

Estadística descriptiva de la concentración de Cu (diferencias) en el tratamiento 1.

					95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
B. Radicular	4	308,5053	86,19322	43,09661	171,3527	445,6580	222,29	421,19
B. Aerea	4	66,8613	58,52015	29,26008	-26,2574	159,9799	28,50	152,62
Suelo	4	1,6612	4,45898	2,22949	-5,4340	8,7565	-1,56	8,24
Total	12	125,6759	148,22675	42,78938	31,4972	219,8547	-1,56	421,19

Gráfico 3

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cu (diferencia) por categoría, tratamiento 1.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Para la biomasa radicular la media de la concentración de incremento Cu fue de 308.505 mg/kg, para la biomasa aérea fue de 66.861 mg/kg y para el suelo fue de 1.661 mg/kg. En base a los resultados, se evidencia que hubo incremento entre concentración inicial

y final de Cu en la biomasa radicular, así como también de que, a comparación de los otros sectores, fue la que pudo concentrar mayor cantidad del metal. Para la biomasa aérea, solo se registraron incrementos, aunque su concentración no fue mayor a la de la biomasa radicular. Para el suelo, se evidencia que en uno de los casos presentados hubo una reducción, sin embargo, no fue lo suficiente ya que en los demás casos hubo incremento del metal.

Tratamiento 2

Tabla 35

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cu entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	391138,549	2	195569,275	9,616	,006
Dentro de grupos	183037,488	9	20337,499		
Total	574176,037	11			

De acuerdo con el análisis de varianza, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y esto nos indica que al menos si existe una diferencia entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 36

Comparaciones múltiples, HSD Tukey.

(I) Sector de la planta o suelo	(J) Sector de la planta o suelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
B. Radicular	**B. Aérea**	386,65250*	100,84022	,010	105,1060	668,1990
	Suelo	379,20750*	100,84022	,011	97,6610	660,7540
B. Aérea	**B. Radicular**	-386,65250*	100,84022	,010	-668,1990	-105,1060
	Suelo	-7,44500	100,84022	,997	-288,9915	274,1015
Suelo	**B. Radicular**	-379,20750*	100,84022	,011	-660,7540	-97,6610
	B. Aérea	7,44500	100,84022	,997	-274,1015	288,9915

De acuerdo con las comparaciones múltiples, y al igual que en el tratamiento 1, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular es diferente a la concentración de la biomasa aérea y a la concentración del suelo, ya que hay diferencia significativa de datos, sin embargo, entre la concentración de la biomasa aérea y la concentración del suelo no hay diferencia significativa entre las medias, por lo tanto, no hay diferencia de medias entre los incrementos del metal entre estos sectores. Esto nos indica que la mayor acumulación de Cu se dio en la biomasa radicular, luego en la biomasa aérea y finalmente en el suelo.

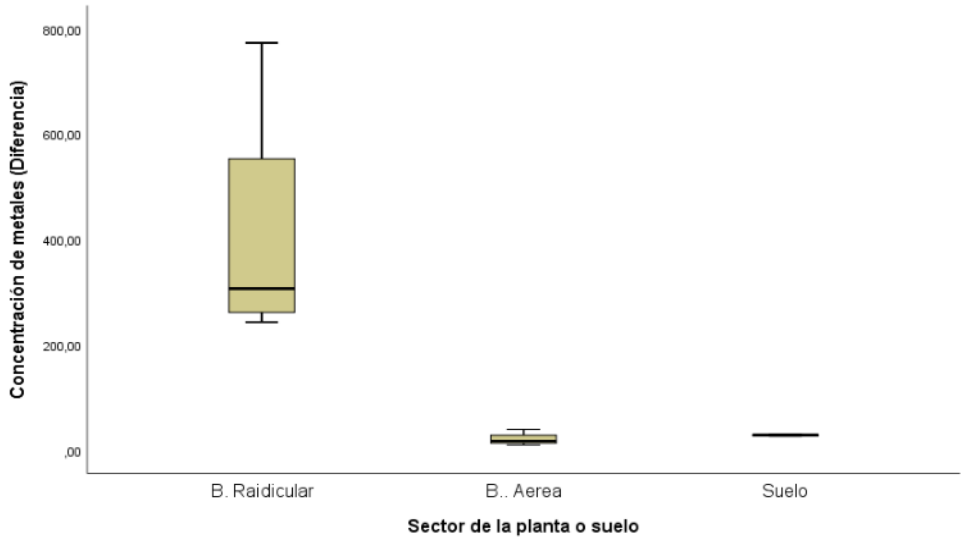
Tabla 37

Estadística descriptiva de la concentración de Cu (diferencias) en el tratamiento 2.

					95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
B. Radicular	4	407,4688	246,67346	123,33673	14,9562	799,9813	243,10	773,31
B. Aerea	4	20,8163	12,73751	6,36876	,5480	41,0845	9,90	39,24
Suelo	4	28,2612	1,56711	,78355	25,7676	30,7549	26,34	30,04
Total	12	152,1821	228,46843	65,95315	7,0202	297,3440	9,90	773,31

Gráfico 4

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cu (diferencia) por categoría, tratamiento 2.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

De la misma forma que el tratamiento 1, en el tratamiento 2 para la biomasa radicular la media de la concentración de incremento de Cu fue de 407,468 mg/kg, para la biomasa aérea fue de 20,816 mg/kg y para el suelo fue de 28,261 mg/kg. En base a los resultados, se evidencia que hubo incremento entre la concentración inicial y final de Cu en la biomasa radicular, así como también de que, a comparación de los otros sectores, fue la que pudo concentrar mayor cantidad del metal. Para la biomasa aérea y suelo, solo se registraron incrementos, aunque su concentración no fue mayor a la de la biomasa radicular.

4.1.7.2. PLOMO (Pb)

Prueba de normalidad de datos y prueba de homocedasticidad de varianzas

Para la normalidad de datos se considera los resultados de la **Tabla 24** que indica que los datos tienen una distribución normal, ya que todos los p-valor calculados son mayores a 0.05, por lo que se aceptó la hipótesis nula. Para la homocedasticidad de varianzas se considera la **Tabla 25**, en la que se concluye que el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas.

Por lo tanto, se usará la prueba paramétrica ANOVA de un factor para evaluar la diferencia de concentraciones entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo, por cada tratamiento.

ANOVA de un factor

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre la concentración de plomo de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre la concentración de plomo de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tratamiento 1

Tabla 38

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Pb entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	714,345	2	357,172	14,937	,001
Dentro de grupos	215,200	9	23,911		
Total	929,545	11			

De acuerdo con el análisis de varianza, el p valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y esto nos indica que al menos si existe una diferencia entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 39

Comparaciones múltiples, HSD Tukey

(I) Sector de la planta o suelo	(J) Sector de la planta o suelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
B. Radicular	**B. Aérea**	15,85500*	3,45768	,003	6,2011	25,5089
	Suelo	16,83500*	3,45768	,002	7,1811	26,4889
B. Aérea	**B. Radicular**	-15,85500*	3,45768	,003	-25,5089	-6,2011
	Suelo	,98000	3,45768	,957	-8,6739	10,6339
Suelo	**B. Radicular**	-16,83500*	3,45768	,002	-26,4889	-7,1811
	B. Aérea	-,98000	3,45768	,957	-10,6339	8,6739

De acuerdo con las comparaciones múltiples, para el tratamiento 1, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular es diferente a la concentración de la biomasa aérea y a la concentración del suelo, ya que hay diferencia significativa de medias, sin embargo, entre la concentración de la biomasa aérea y la concentración del suelo no hay diferencia significativa entre las medias, por lo tanto, no hay diferencia entre los incrementos

del metal de estos sectores. Esto nos indica que la mayor acumulación de Pb se dio en la biomasa radicular, luego en la biomasa aérea y finalmente en el suelo.

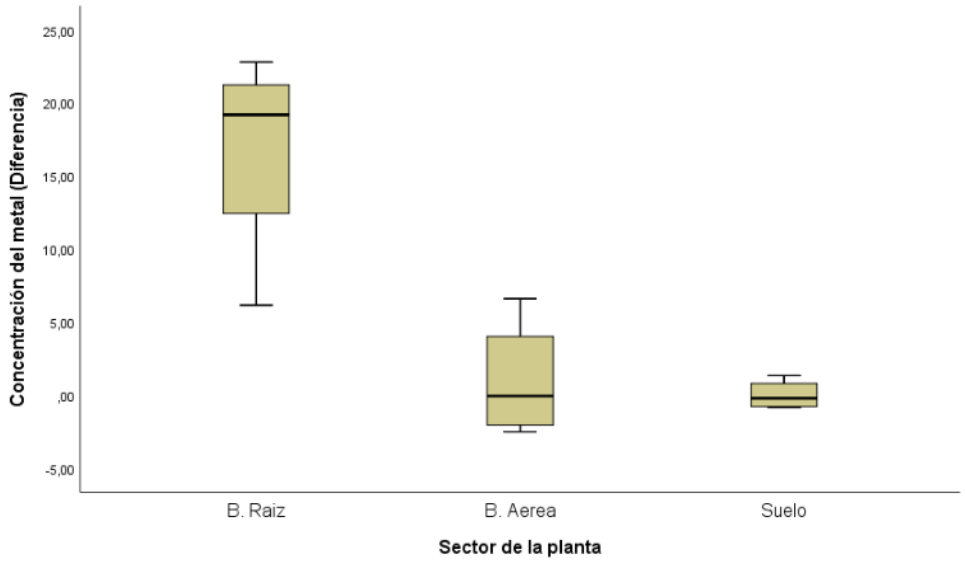
Tabla 40

Estadística descriptiva de la concentración de Pb (diferencias) en el tratamiento 1.

					95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite0 superior	Mínimo	Máximo
B. Radicular	4	16,8399	7,33707	3,66854	5,1650	28,5148	6,15	22,81
B. Aerea	4	,9849	4,10688	2,05344	-5,5501	7,5198	-2,52	6,60
Suelo	4	,0049	1,01697	,50849	-1,6134	1,6231	-,87	1,33
Total	12	5,9432	9,19261	2,65368	,1025	11,7839	-2,52	22,81

Gráfico 5

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Pb (diferencia) por categoría, tratamiento 1.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Para el tratamiento 1, en el caso de la biomasa radicular, la media de la concentración de incremento de Pb fue de 16,839 mg/kg, para la biomasa aérea fue de 0,985 mg/kg y para el suelo fue de 0,005 mg/kg. Por lo que, se evidencia que hubo incremento entre la

concentración inicial y final de Pb en la biomasa radicular, así como también de que, a comparación de los otros sectores, fue la que pudo concentrar mayor cantidad del metal. Con respecto a la concentración de biomasa aérea y la concentración del suelo, se evidencia que hubo casos de reducción del metal.

Tratamiento 2

Tabla 41

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Pb entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	599,141	2	299,570	12,078	,003
Dentro de grupos	223,230	9	24,803		
Total	822,370	11			

De acuerdo con el análisis de varianza, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y esto nos indica que existen diferencias entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 42

Comparaciones múltiples, HSD Tukey.

(I) Sector de la planta o suelo	(J) Sector de la planta o suelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
B. Radicular	**B. Aérea**	15,06000*	3,52160	,005	5,2277	24,8923
	Suelo	14,91750*	3,52160	,006	5,0852	24,7498
B. Aérea	**B. Radicular**	-15,06000*	3,52160	,005	-24,8923	-5,2277
	Suelo	-,14250	3,52160	,999	-9,9748	9,6898
Suelo	**B. Radicular**	-14,91750*	3,52160	,006	-24,7498	-5,0852
	B. Aérea	,14250	3,52160	,999	-9,6898	9,9748

Para el tratamiento 2, de acuerdo con la tabla de comparaciones múltiples, y al igual que en el tratamiento 1, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular es diferente a la concentración de la biomasa aérea y a la concentración del suelo, ya que hay diferencia significativa de medias. No obstante, entre la concentración de la biomasa aérea y la concentración del suelo no hay diferencia significativa entre las medias, repitiéndose el comportamiento del tratamiento 1.

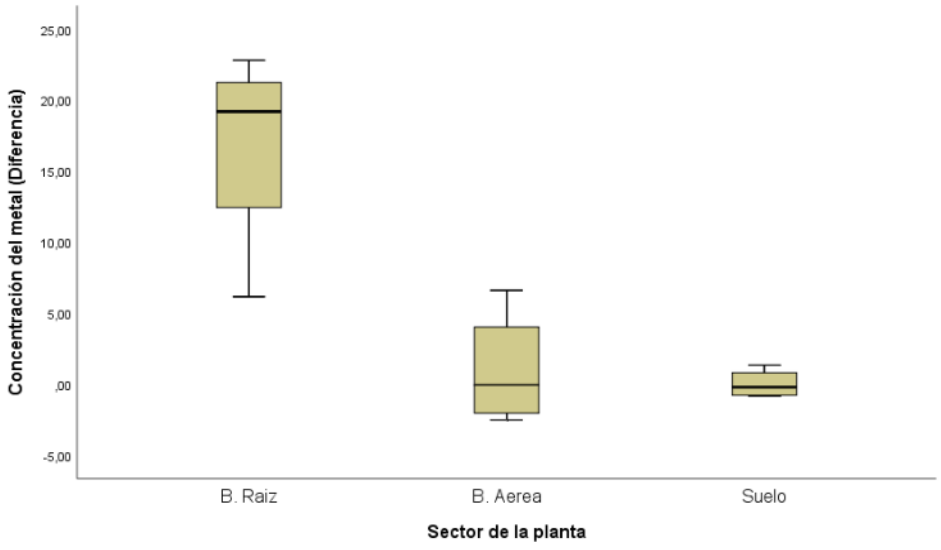
Tabla 43

Estadística descriptiva de la concentración de Pb(diferencias) en el tratamiento 2.

					95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
B. Radicular	4	12,2474	8,33164	4,16582	-1,0101	25,5049	2,19	20,13
B. Aerea	4	-2,8126	2,04347	1,02173	-6,0642	,4390	-5,27	-,31
Suelo	4	-2,6701	,90432	,45216	-4,1091	-1,2311	-3,70	-1,81
Total	12	2,2549	8,64644	2,49601	-3,2388	7,7486	-5,27	20,13

Gráfico 6

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Pb (diferencia) por categoría, tratamiento 2.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Para la biomasa radicular la media de la concentración de incremento de Pb fue de 12,247 mg/kg, para la biomasa aérea la concentración de diferencia de Pb fue de -2,813 mg/kg, así como para el suelo fue de -2,670 mg/kg. En base a los resultados, se evidencia que hubo incremento de la concentración inicial de Pb en la biomasa radicular, así como también de que, a comparación de los otros sectores, acumuló la mayor cantidad del metal. Con respecto a la biomasa aérea y al suelo, se evidencia que hubo reducción en todos los casos.

4.1.7.3. CADMIO (Cd)

Prueba de normalidad de datos y prueba de homocedasticidad de varianzas

Para la normalidad de datos se considera los resultados de la **Tabla 28** que indica que los datos tienen una distribución normal, ya que todos los p-valor calculados son mayores a 0.05, por lo que se aceptó la hipótesis nula: los datos tienen distribución normal. Para la homocedasticidad de varianzas se considera la **Tabla 29**, en la que se concluye en el caso de la biomasa radicular y suelo, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: no hay diferencia entre varianzas, sin embargo, para la biomasa aérea el p-valor es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna: si existe diferencia entre varianzas.

Por lo tanto, se usará la prueba paramétrica ANOVA con test de Welch, y con prueba de Post Hoc de Games – Howell, prueba que se utiliza cuando existe normalidad de datos, pero varianzas diferentes.

ANOVA de un factor

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre la concentración de plomo de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre la concentración de plomo de la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tratamiento 1

Tabla 44

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cd entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11,762	2	5,881	5,567	,027
Dentro de grupos	9,507	9	1,056		
Total	21,268	11			

Tabla 45

Prueba robusta de igualdad de medias, Test de Welch.

	Estadístico[a]	gl1	gl2	Sig.
Welch	3,035	2	4,599	,144

De acuerdo con el análisis de varianza y la prueba robusta de igualdad de medias, el p valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y esto nos indica que no existen diferencias entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 46

Comparaciones múltiples, Prueba de Games – Howell.

(I) Sector de la planta o suelo	(J) Sector de la planta o suelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
B. Radicular	**B. Aérea**	2,17000	,88891	,173	-1,4750	5,8150
	Suelo	2,02250	,88353	,200	-1,6568	5,7018
B. Aérea	**B. Radicular**	-2,17000	,88891	,173	-5,8150	1,4750
	Suelo	-,14750	,11697	,484	-,5625	,2675
Suelo	**B. Radicular**	-2,02250	,88353	,200	-5,7018	1,6568
	B. Aérea	,14750	,11697	,484	-,2675	,5625

De acuerdo con las comparaciones múltiples, para el tratamiento 1, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular no es diferente a la concentración de la biomasa aérea ni de la concentración del suelo, no existe diferencia significativa de medias. A pesar de presentar la mayor cantidad (mínima) de Cd en las raíces, no hay diferencia significativa entre los sectores.

Tabla 47

Estadística descriptiva de la concentración de Cd(diferencias) en el tratamiento 1.

					95% del intervalo de confianza para la media			
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
B. Radicular	4	2,2675	1,76472	,88236	-,5406	5,0756	,46	4,51
B. Aerea	4	,0975	,21546	,10773	-,2454	,4404	-,11	,40
Suelo	4	,2450	,09110	,04555	,1000	,3900	,15	,36
Total	12	,8700	1,39050	,40140	-,0135	1,7535	-,11	4,51

Gráfico 7

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cd (diferencia) por categoría, tratamiento 1.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Para la biomasa radicular la media de la concentración de incremento de Cd fue de 2,268 mg/kg, para la biomasa aérea fue de 0,0975 mg/kg, así como para el suelo fue de 0,245 mg/kg. En base a los resultados, se evidencia que la concentración de incremento mínima detectada no es significativo entre sectores.

Tratamiento 2

Tabla 48

ANOVA de un factor para la comparación de concentraciones (diferencia) de Cd entre la biomasa radicular, biomasa aérea y suelo.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,958	2	,979	2,590	,129
Dentro de grupos	3,402	9	,378		
Total	5,359	11			

Tabla 49

Prueba robusta de igualdad de medias, Test de Welch.

	Estadístico[a]	gl1	gl2	Sig.
Welch	3,441	2	4,013	,135

De acuerdo con el análisis de varianza y la prueba robusta de igualdad de medias, el p valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y esto nos indica que no existen diferencias entre las categorías ya sea biomasa radicular, biomasa aérea o suelo.

Tabla 50

Comparaciones múltiples, Prueba de Games – Howell.

(I) Sector de la planta o suelo	(J) Sector de la planta o suelo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
B. Radicular	**B. Aérea**	,57250	,53220	,562	-1,0604	2,2054
	Suelo	,98500	,37682	,153	-,5864	2,5564
B. Aérea	**B. Radicular**	-,57250	,53220	,562	-2,2054	1,0604
	Suelo	,41250	,37642	,578	-1,1572	1,9822
Suelo	**B. Radicular**	-,98500	,37682	,153	-2,5564	,5864
	B. Aérea	-,41250	,37642	,578	-1,9822	1,1572

De la misma forma que en el tratamiento 1, en el tratamiento 2 en la tabla comparaciones múltiples, se demuestra que la concentración de la biomasa radicular no es diferente a la concentración de la biomasa aérea ni de la concentración del suelo, no existe diferencia significativa de medias. No hay diferencia significativa de concentración de Cd entre los sectores.

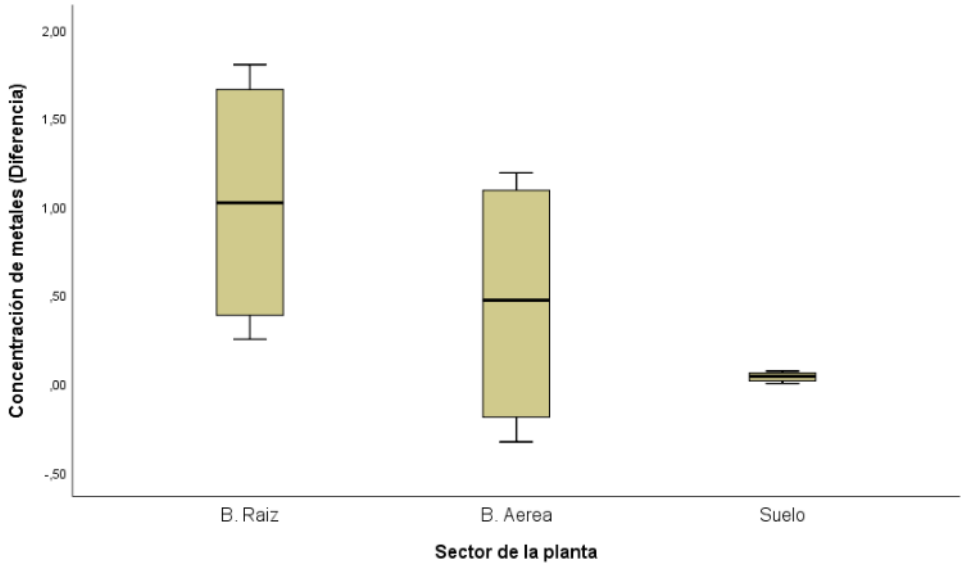
Tabla 51

Estadística descriptiva de la concentración de Cd (diferencias) en el tratamiento 2.

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
B. Radicular	4	1,0225	,75305	,37653	-,1758	2,2208	,25	1,80
B. Aerea	4	,4500	,75224	,37612	-,7470	1,6470	-,33	1,19
Suelo	4	,0375	,02986	,01493	-,0100	,0850	,00	,07
Total	12	,5033	,69799	,20149	,0599	,9468	-,33	1,80

Gráfico 8

Gráfico de cajas y bigotes. Concentración de Cd (diferencia) por categoría, tratamiento 2.



Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Para la biomasa radicular la media de la concentración de incremento de Cd fue de 1,023 mg/kg, para la biomasa aérea fue de 0,450 mg/kg, así como para el suelo fue de 0,038 mg/kg. En base a los resultados, se evidencia que la concentración de incremento mínima detectada no es significativo entre sectores.

4.1.8. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FBC) Y FACTOR DE TRASLOCACIÓN

Luego de la determinación de concentraciones de los metales, así como la comparación de las concentraciones en la Biomasa Radicular, Biomasa Aérea y suelo, se calculó el factor de bioconcentración y el factor de traslocación.

4.1.8.1. COBRE (Cu)

Tabla 52

Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación.

Metal	T	FBC Radicular	FBC Aerea	Factor de traslocación
Cu	T1	11.935	2.770	0.232
		20.812	8.140	0.391
		11.510	2.604	0.226
		14.593	2.757	0.189
	T2	27.717	2.356	0.085
		11.651	1.699	0.146
		12.424	1.549	0.125
		9.124	1.270	0.139

Para el tratamiento 1, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 14,713, el factor de bioconcentración aérea fue de 4.068, ambos factores mayores a 1. En el caso del factor traslocación fue de 0.260, resultado menor a 1.

Para el tratamiento 2, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 15,229, el factor de bioconcentración aérea fue de 1.719, ambos factores mayores a 1. En el caso del factor traslocación fue de 0.315, resultado menor a 1.

Tabla 53

Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Cu.

Metal		T	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Cu	FBCr	T1	4	14,71250	4,289083	2,144541
		T2	4	15,22900	8,443761	4,221880
	FBCa	T1	4	4,06775	2,715880	1,357940
		T2	4	1,71850	,460677	,230338
	FT	T1	4	,25950	,089705	,044853
		T2	4	,31500	,356774	,178387

COMPARACIÓN DE FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y FACTOR DE TRASLOCACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS

Para conocer si existen diferencias de los factores de bioconcentración y traslocación hallados entre tratamientos, es necesario realizar una comparación entre las medias de estos. Para ello se aplicará una prueba estadística de acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de normalidad de datos y de homocedasticidad de varianzas.

Prueba de normalidad de datos para los FBCs y FTs.

Para determinar la normalidad de datos, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 54

Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Cu.

Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
FBCr	T1	,847	4	,215
	T2	,779	4	,069
FBCa	T1	,655	4	,003
	T2	,934	4	,621
FT	T1	,810	4	,121
	T2	,653	4	,003

Del resultado de la prueba de normalidad, se observa que en el caso del Factor de bioconcentración aérea (FBCa) para el tratamiento 1 y para el Factor de traslocación (FT) del tratamiento 2, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la cual nos indica que no existe distribución normal en los datos.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para determinar la prueba de homogeneidad de varianzas, se aplicó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 55

Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	**Sig.**
FBCr	Se asumen varianzas iguales	1,613	,251
	No se asumen varianzas iguales		
FBCa	Se asumen varianzas iguales	6,129	,048
	No se asumen varianzas iguales		
FT	Se asumen varianzas iguales	4,766	,072
	No se asumen varianzas iguales		

De la prueba de Levene de igualdad de varianzas, se concluye que, para el FBC radicular y para el FT, el p-valor es mayor a 0.05, y para el FBCa, el p-valor fue menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula: al no haber homogeneidad entre varianzas. Por lo que se usará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal walls

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 56

Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s.

	FBCr	FBCa	FT
Chi-cuadrado	,083	5,333	1,333
Gl	1	1	1
Sig. asintót.	,773	,021	,248

De la prueba de Kruskal Wallis, se observa que, para el FBCr y el FT calculados, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, que indica que no existe diferencia para estos factores entre los tratamientos. Sin embargo, para el FBCa, al ser el p-valor menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, lo que nos indica que existe diferencia entre el FCBa obtenido del tratamiento 1 con el tratamiento 2.

Tabla 57

Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
FBCr	8	14,97075	6,206143	9,124	27,717
FBCa	8	2,89313	2,197486	1,270	8,140
FT	8	,28725	,242653	,125	,850
Tratamiento	8	1,50	,535	1	2

El FBCr obtenido para cobre de los dos tratamientos fue de 14.971, el FBCa fue de 2.893 y el FT fue de 0.287. Siendo el FBCr y el FBCa obtenidos mayores a 1, y el FT en cambio es menor a 1.

4.1.8.2. PLOMO (Pb)

Tabla 58

Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación.

Metal	T	FBC Radicular	FBC Aerea	Factor de traslocación
Pb	T1	0.895	0.649	0.725
		1.779	1.196	0.672
		1.741	0.678	0.389
		1.855	0.851	0.459
	T2	1.908	0.710	0.372
		1.641	0.780	0.475
		1.256	0.693	0.552
		0.764	0.507	0.664

Para el tratamiento 1, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 1.568, mayor a 1. En el caso del factor de bioconcentración aérea fue de 0.844 y factor traslocación fue de 0.561, ambos resultados menores a 1.

Para el tratamiento 2, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 1.392, mayor a 1. En el caso del factor de bioconcentración aérea fue de 0.673, y el factor traslocación fue de 0.516, ambos resultados menores a 1.

Tabla 59

Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Pb.

Metal		T	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Pb	FBCr	T1	4	1,56750	,450831	,225416
		T2	4	1,39225	,497037	,248518
	FBCa	T1	4	,84350	,251352	,125676
		T2	4	,67250	,116580	,058290
	FT	T1	4	,56125	,162486	,081243
		T2	4	,51575	,123311	,061655

COMPARACIÓN DE FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y FACTOR DE TRASLOCACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS

Para conocer si existen diferencias de los factores de bioconcentración y traslocación hallados entre tratamientos, es necesario realizar una comparación entre las medias de estos. Para ello se aplicará una prueba estadística de acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de normalidad de datos y de homocedasticidad de varianzas.

Prueba de normalidad de datos para los FBCs y FTs.

Para determinar la normalidad de datos, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 60

Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Pb.

	Tratamiento	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
FBCr	T1	,728	4	,023
	T2	,975	4	,875
FBCa	T1	,864	4	,275
	T2	,890	4	,381
FT	T1	,896	4	,410
	T2	,999	4	,998

Del resultado de la prueba de normalidad, se observa que en el caso del Factor de bioconcentración radicular (FBCr) para el tratamiento 1 el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la cual nos indica que no existe distribución normal en los datos.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para determinar la prueba de homogeneidad de varianzas, se aplicó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 61

Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	**Sig.**
FBCr	Se asumen varianzas iguales	,081	,786
	No se asumen varianzas iguales		
FBCa	Se asumen varianzas iguales	1,548	,260
	No se asumen varianzas iguales		
FT	Se asumen varianzas iguales	1,575	,256
	No se asumen varianzas iguales		

De la prueba de Levene de igualdad de varianzas, se concluye que, para el FBC radicular, FBC aéreo y para el FT, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula: existe homogeneidad entre varianzas. Sin embargo, ya que la distribución de los datos no es normal, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal walls

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 62

Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s.

	FBCr	FBCa	FT
Chi-cuadrado	,333	,333	,333
Gl	1	1	1
Sig. asintót.	,564	,564	,564

De la prueba de Kruskal Wallis, se observa que, para el FBCr, FBCa y el FT calculados, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, que indica que no existe diferencia para estos factores entre los tratamientos.

Tabla 63

Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
FBCr	8	1,47988	,449175	,764	1,908
FBCa	8	,75800	,203114	,507	1,196
FT	8	,53850	,135732	,372	,725
Tratamiento	8	1,50	,535	1	2

El FBCr obtenido para plomo, de los dos tratamientos fue de 1.480, el FBCa fue de 0.758 y el FT fue de 0.539. Siendo el FBCr mayor a 1, y el FBCa y FT, obtenidos fueron menores a 1.

4.1.8.3. CADMIO (Cd)

Tabla 64

Calculo de Factor de bioconcentración radicular, factor de bioconcentración aérea y factor de traslocación.

Metal	T	FBC Radicular	FBC Aérea	Factor de traslocación
Cd	T1	1.094	1.053	0.963
		3.819	1.258	0.329
		1.847	1.540	0.834
		2.562	1.216	0.475
	T2	1.831	1.813	0.990
		1.945	1.879	0.966
		1.184	1.141	0.964
		0.994	0.946	0.952

Para el tratamiento 1, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 2.331 y del factor de bioconcentración aérea fue de 1.267, mayores a 1. En el caso del factor traslocación fue de 0.650, resultado menor a 1.

Para el tratamiento 2, se obtuvo que la media del factor de bioconcentración radicular fue de 1.489 y del factor de bioconcentración aérea fue de 1.445, resultados mayores a 1. En el caso del factor traslocación fue de 0.968, resultado menor a 1.

Tabla 65

Estadística descriptiva para FBCs y FTs de Cd.

Metal		T	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Cd	FBCr	T1	4	2,33050	1,159300	,579650
		T2	4	1,48850	,470088	,235044
	FBCa	T1	4	1,26675	,202490	,101245
		T2	4	1,44475	,470885	,235442
	FT	T1	4	,65025	,297484	,148742
		T2	4	,96800	,015916	,007958

COMPARACIÓN DE FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y FACTOR DE TRASLOCACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS

Para conocer si existen diferencias de los factores de bioconcentración y traslocación hallados entre tratamientos, es necesario realizar una comparación entre las medias de estos. Para ello se aplicará una prueba estadística de acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba de normalidad de datos y de homocedasticidad de varianzas.

Prueba de normalidad de datos para los FBCs y FTs.

Para determinar la normalidad de datos, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, ya que esta prueba es usada para grados de libertad (gl) menores a 50.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** Los datos tienen una distribución normal.
- $\boldsymbol{H_1}$: Los datos no tienen una distribución normal.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 66

Pruebas de normalidad para los FBCs y Fts de Cd.

Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
FBCr	T1	,984	4	,924
	T2	,874	4	,314
FBCa	T1	,949	4	,711
	T2	,852	4	,234
FT	T1	,925	4	,563
	T2	,920	4	,539

Del resultado de la prueba de normalidad, se observa que el p-valor para todos los datos es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Esto nos indica que existe distribución normal en los datos.

Prueba de homocedasticidad de varianzas para las concentraciones de metales pesados por biomasa aérea, radicular y suelo

Para determinar la prueba de homogeneidad de varianzas, se aplicó con la prueba de Levene de igualdad de varianzas.

Planteamiento de Hipótesis

- $\boldsymbol{H_0}$**:** No hay diferencia entre varianzas.
- $\boldsymbol{H_1}$: Si hay diferencia entre varianzas.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 67

Pruebas de homogeneidad de varianzas para los FBC´s y FT´s.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	**Sig.**
FBCr	Se asumen varianzas iguales	2,317	,179
	No se asumen varianzas iguales		
FBCa	Se asumen varianzas iguales	12,085	,013
	No se asumen varianzas iguales		
FT	Se asumen varianzas iguales	35,080	,001
	No se asumen varianzas iguales		

De la prueba de Levene de igualdad de varianzas, se concluye que, para el FBC aéreo y para el FT, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula: no existe homogeneidad entre varianzas. Por lo que, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Prueba de Kruskal walls

Planteamiento de Hipótesis

- H_0**:** No hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- H_1: Si hay diferencia entre los FBCr, FBCa y Ft obtenidos por tratamiento.
- **Nivel de significancia:** 0.05

Tabla 68

Pruebas de Kruskal Wallis para los FBC´s y FT´s.

	FBCr	FBCa	FT
Chi-cuadrado	1,333	,083	4,083
Gl	1	1	1
Sig. asintót.	,248	,773	,043

De la prueba de Kruskal Wallis, se observa que, para el FBCr, FBCa calculados, el p-valor es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, que indica que no existe diferencia para estos factores entre los tratamientos. En cambio, para el FT, el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, que nos indica que si existe diferencia entre los valores calculados de FT de los dos tratamientos aplicados.

Tabla 69

Estadística descriptiva para los FBC´s y FT´s.

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
FBCr	8	1,90950	,934483	,994	3,819
FBCa	8	1,35575	,348788	,946	1,879
FT	8	,80913	,258617	,329	,990
Tratamiento	8	1,50	,535	1	2

El FBCr obtenido para Cadmio, de los dos tratamientos fue de 1.910, el FBCa fue de 1.358 y el FT fue de 0.809. Siendo el FBCr y el FBCa mayores a 1, y FT menor a 1.

4.2. DISCUSION DE RESULTADOS

4.2.1. COBRE (Cu)

Con respecto a la concentración en la biomasa radicular, se evidencia que existe un incremento de Cu entre la concentración inicial y final del metal en las raíces, siendo la concentración inicial detectada 47 mg/kg y obteniéndose como concentración final para el T1: 355.506 mg/kg y para el T2: 454.469 mg/kg (concentración de diferencia: T1: 308.505 mg/kg, T2: 407,469 mg/kg). Así mismo se obtuvo un factor de bioconcentración radicular (FBCr) alto, para el T1: 14.713 y para el T2: 15.229. El incremento de la concentración, así como el FBCr > a 1, nos indica que existe un potencial acumulador del metal en las raíces, y que para definir el potencial de fitoestabilización era necesario que las concentraciones del metal en el suelo o en la biomasa aérea se vean reducidas o no afectadas.

Sin embargo, al evaluar los resultados de la concentración de Cu en la biomasa aérea y en el suelo, también se detectó un incremento entre las concentraciones iniciales y finales. Siendo así que, en la biomasa radicular se obtuvo como concentración inicial 30.5 mg/kg y como concentración final pare el T1: 97.361 mg/kg y para el T2: 51.316 mg/kg (concentración de diferencia: T1: 66,8613 mg/kg, T2: 20,8163 mg/kg). Y para el suelo, la concentración inicial de Cu, fue de para el T1: 22.960 mg/kg y para el T2: 1.760 mg/kg, y la concentración final fue para el T1: 24.630 mg/kg y para 30.030 mg/kg (concentración de diferencia: T1: 1,661 mg/kg, T2: 28,261 mg/kg).

Al comparar las concentraciones de la biomasa radicular y el suelo, observamos que ambas se vieron incrementadas, esto es posible ya que según Ginocchio - Narváez, 2002, algunos estudios han demostrado que la relación planta-cobre(Cu) no está determinada por la concentración total de metal adicionada al sustrato, sino que corresponde más bien a una respuesta multifactorial que depende de la forma química en la cual se encuentre este elemento y de la capacidad tamponante del sustrato. Es decir que el Cu, pudo encontrarse insoluble al inicio de la exposición.

En un estudio realizado denominado “El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas” (Morales y Jimenez, 2012), mencionan que la concentración de cobre en la solución del suelo depende del contenido de materia orgánica, el pH y de la disponibilidad de agentes complejantes. Así mismo, mencionan que el porcentaje de cobre intercambiable en el suelo se incrementa generalmente con la disminución del pH.

Trasladando esta definición a la experimentación realizada, se demuestra que en el suelo hubo una reducción de -0.28 para el T1 y de -0.42 para el T2 del pH inicial (T1: 7.72, T2: 7.76) al pH final obtenido (T1:7.46, T2: 7.34). Esto debido al riego, ya que incremento la solubilidad del metal, debido al riego, así mismo cabe resaltar que en los análisis realizados en el agua de riego el Cu se hallaba como no detectable.

La alta acumulación de Cu en la raíz puede deberse a mecanismos externos de protección al cobre que desarrollan las plantas. Según Morales y Jimenez, 2012, el Cu a concentraciones ligeramente superiores a las requeridas por las plantas (30mg/kg de tejido en peso seco), produce efectos tóxicos, sin embargo, existen algunas plantas que desarrollan mecanismos de defensa. Estos mecanismos de defensa, que pueden ser la aparición de hongos micorricidos en las raíces, reduce el transporte del metal a la parte aérea, e incluso cuando las concentraciones internas de cobre son altas, hay plantas que no translocan el metal a la parte aérea (Russo et al., 2008).

Con respecto a la biomasa área, el incremento de concentración inicial y final del metal coincide con el factor de bioconcentración aérea (FBCa), ya que el FBCa para el T1 fue de 4.068 y para el T2 fue de 1.719, ambos > a 1, lo que refleja que acumuló Cu en los tallos y hojas. Sin embargo, el factor de traslocación (FT) obtenido fue < a 1 (T1: 0.260, T2: 0.315), por lo que de acuerdo a lo indicado por Sacristán, 2015 en su investigación: “Evaluación de la toxicidad y de la bioacumulación del Cu en un cultivo acumulador (*Lactuca sativa L.*) y otro no-acumulador (*Solanum lycopersicum L.*), es necesario encontrar un adecuado equilibrio entre el suelo y cantidad de Cu contenida, sin llegar a ser toxica, para poder proponer este cultivo como alternativa de fitorremediación, ya que en su estudio realizado con el tomate comestible, demostró que esta especie tiene un importante potencial extrayendo y acumulando Cu en las condiciones edáficas adecuadas mostrando una tasa de translocación hacia la parte comestible muy baja. Sin embargo, si los tomates son expuestos a suelos con concentraciones elevadas de Cu van a experimentar otros efectos como reducción de su biomasa.

4.2.2. PLOMO (Pb)

Con respecto al Pb, en la concentración de la biomasa radicular, se evidencia que existe un incremento del metal entre la concentración inicial y final en las raíces, siendo la concentración inicial detectada 11.230 mg/kg y obteniéndose como concentración final para el T1: 28.070 mg/kg y para el T2: 23.477 mg/kg (concentración de diferencia: T1: 16.840 mg/kg, T2: 12.247 mg/kg). Así mismo se obtuvo un factor de bioconcentración radicular (FBCr) > a 1, para el T1: 1.568 y para el T2: 1.392. Estos resultados nos indican que nuestra especie acumula Pb en las raíces, y para que se considere fitoestabilizadora se espera que el comportamiento del metal en la biomasa aérea y suelo sea lo contrario (es decir no acumule).

Confirmando el resultado deseado, en la biomasa aérea, se obtuvo una concentración inicial de 14.180 mg/kg y las concentraciones finales fueron de 15.165 mg/kg para T1 y 11.367 mg/kg para T2, lo que nos indica que en el tratamiento 1 hubo un incremento mínimo de 0.9849 mg/kg del metal y para el T2 hubo una reducción de -2,813 mg/kg. Esto se confirma con el factor de bioconcentración aérea (FBCa) el cual es < a 1 (T1: 0.844, T2: 0.673) y con el factor de traslocación (FT) que también es < a 1 (T1: 0.561, T2: 0.516). De acuerdo con Munive, 2018, cuando el FBC aéreo y el FT, son menores a 1, la planta se califica como exclusora, como sucedió en su estudio con la especie *Zea mays L*, quien tuvo un FBC de 0.11 y un FT de 0.06. Lo que significa que no solo restringe la absorción y/o translocación del metal hacia las hojas, sino también les permite mantener concentraciones constantes y relativamente bajas en la biomasa aérea independientemente de la concentración metálica del suelo (Baker, 1981).

Con respecto al suelo, para la concentración de Pb, también se detectó un incremento mínimo de 0.0049 mg/kg para tratamiento 1 y una reducción de -2.670 mg/kg para tratamiento 2, entre las concentraciones iniciales (T1: 18.080 mg/kg, T2: 19.590 mg/kg) y finales (T1: 18.085 mg/kg y T2: 16.920 mg/kg). El incremento de Pb en el suelo puede deberse a distintos factores, por ejemplo, García Gallegos et al. (2010), menciona que, aunque la concentración total de Pb en muchos suelos contaminados es alta, la fracción biodisponible (soluble en agua e intercambiable) es usualmente muy baja debido a la fuerte asociación del Pb con la materia orgánica. En el caso del suelo utilizado para la investigación podemos observar que el porcentaje de materia orgánica en el tratamiento 1, incremento con respecto a su composición inicial, de 3.86% a 4.26%, esto probablemente por residuos de la misma planta y la influencia del riego sobre los componentes del suelo, cabe resaltar que la composición del suelo de este tratamiento es 60% de suelo de la zona de crecimiento de la

planta más compost (7.29% de MO), y 40% de la zona cercana al canal de relaves (2.15% de MO). Así mismo el pH se vio reducido de 7.72 a 7.46, debido al incremento la biodisponibilidad de Pb.

A comparación del tratamiento 2, el cual tuvo una reducción del porcentaje de materia orgánica de 3.83% a 3.10%, y también una reducción del pH de 7.76 a 7.34, la cual fue mayor a la reducción del tratamiento 1. Esto probablemente por la influencia del riego, ya que aumenta la biodisponibilidad del metal y la tendencia a la acidificación del suelo. Debemos tener en cuenta que la composición del suelo del tratamiento 2, fue del 60% del suelo aledaño al canal de relaves y el 40% de suelo de la zona más compost, este tratamiento tuvo la mayor concentración de Pb inicial (19.590 mg/kg). Al haber reducción de materia orgánica, será más fácil el proceso de fitoestabilización para la especie, permitiendo que la raíz secuestre o acumule el metal, reduciendo su biodisponibilidad en el suelo, sin traslocarlo hacia los tallos y hojas.

Finalmente, también debemos de tomar en cuenta que la técnica de fitoestabilización reduce la movilidad de los contaminantes, en algunos casos, el metal queda en el suelo, solo que sus movimientos son limitados (Hazrat Ali, 2013).

4.2.3. CADMIO (Cd)

Con respecto al Cd, en la concentración de la biomasa radicular, se evidencia que existe un incremento del metal entre la concentración inicial y final en las raíces, siendo la concentración inicial detectada 1.91 mg/kg y obteniéndose como concentración final para el T1: 3.680 mg/kg y para el T2: 2.430 mg/kg (concentración de diferencia: T1: 2,268 mg/kg, T2: 1,023 mg/kg). Así mismo se obtuvo un factor de bioconcentración radicular (FBCr) > a 1, para el T1: 2.331 y para el T2: 1.489. Estos resultados nos indican que nuestra especie también acumula Cd en las raíces, no obstante, para comprobar su capacidad de fitoestabilización es necesario que este comportamiento no se repita en la biomasa aérea o en el suelo.

Para la biomasa aérea, se revela que también tiene potencial de acumulación en tallos y hojas, descartando la posibilidad de fitoestabilizar, ya que hubo incremento entre las concentraciones iniciales y finales de metal, siendo la concentración inicial de 1,41 mg/kg y las concentraciones finales para T1: 2.010 mg/kg y para T2: 2.360 mg/kg (Concentraciones de diferencia: T1: 0.098 mg/kg, T2:0.450 mg/kg). Además, esto se reafirma con el cálculo del

factor de bioconcentración aérea (FBCa), el cual resulto > a 1 en ambos tratamientos (T1: 1,267, T2: 1,445).

Con respecto al suelo, también existe un incremento entre la concentración inicial y final de Cd para ambos tratamientos, siendo las concentraciones iniciales T1: 1.350 mg/kg y T2: 1.570 mg/kg y las concentraciones finales T1: 1.600 mg/kg y T2: 1.640 mg/kg (Concentración de diferencia: T1: 0.2450 mg/kg, T2: 0.038 mg/kg).

Además, el factor de traslocación (FT) para ambos tratamientos resulto < a 1 (T1: 0.650, T2: 0.968), no obstante, aunque el factor de traslocación (FT) es mínimo, posee un factor de bioconcentración aérea (FBCa) > a 1. Según Hinostroza (2018), el Cd es fácilmente absorbido del suelo y es traslocado a los tejidos aéreos de la planta. La biodisponibilidad de Cd será siempre relativamente más alta en la biomasa aérea y radicular en comparación con la concentración del suelo. Además, el Cd, no está regulado por limites fisiológicos (demanda de la planta).

Al realizar las comparaciones entre las concentraciones de los tres sectores, se demuestra que no existe diferencia significativa entre la media de los mismos, por lo que a pesar de que haya indicadores de acumulación, esta no será representativa, por lo que no consideramos a esta planta acumuladora ni fitoestabilizadora. Sin embargo, según Baker, 1981 citado por P.S. Kidd, et al, 2007, existe un tipo de plantas que se denominan indicadoras, las cuales son una respuesta intermedia, cuando la concentración metálica de la planta refleja la del suelo, sin presentar síntomas de toxicidad, esto teniendo en cuenta que sus concentraciones de diferencia son similares (concentración de diferencia radicular: T1: 2,268 mg/kg, T2: 1,023 mg/kg; concentración de diferencia aérea: T1: 0.098 mg/kg, T2:0.450 mg/kg; y concentración de diferencia suelo: T1: 0.2450 mg/kg, T2: 0.038 mg /kg).

4.2.4. COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS

En la comparación realizada entre los tratamientos frente a los FBC radicular y aéreos, y FT calculados, se determinó que no existe diferencia significativa entre tratamientos, para los metales Cu y Pb, por lo que hemos tenido comportamientos similares en ambos tratamientos.

Sin embargo, para el Cd, esto no se cumple, ya que presenta diferencia significativa entre los datos de los FT´s de cada tratamiento. Este comportamiento, se debe a que el FT de

Cd para el T2, es más cercano al valor 1, por lo que en el caso de que la especie hubiera acumulado más cantidad de Cd en la biomasa radicular y/o biomasa aérea, el FT obtenido sería 1 o mayor a 1, convirtiendo a la especie en ya no en una planta indicadora sino acumuladora, que son aquellas que absorben metales en formas no tóxicas en su biomasa aérea (P.S. Kidd, et al, 2007), esto teniendo en cuenta que el comportamiento del cadmio no está relacionado con la biodisponibilidad del mismo en el suelo y que su absorción no está condicionada a otros factores de la planta, por lo que no está regulada.

V. CONCLUSIONES

De la investigación realizada, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La especie *Solanum peruvianum L.*, posee capacidad fitoestabilizadora para el metal Plomo, con un Factor de bioconcentración radicular 1.480, factor de bioconcentración área 0.758 y un factor de traslocación de 0.539, siendo la concentración de Pb fitoestabilizado en raíces de 28.070 mg/kg para el tratamiento 1 y 23.477mg/kg para el tratamiento 2.

- Las concentraciones de Cobre, Plomo y Cadmio acumuladas en la biomasa radicular de *Solanum peruvianum L.,* muestran un incremento con respecto a su concentración inicial. Las concentraciones finales obtenidas son para la biomasa radicular, para el tratamiento 1, Cu: 355.506 mg/kg, Pb: 28.070 mg/kg y Cd: 3.680 mg/kg, y para el tratamiento 2, Cu: 454.469 mg/kg, Pb: 23.477 mg/kg y para el Cd 2.430 mg/kg.

- Las concentraciones acumuladas de Cobre, Plomo y Cadmio en la biomasa radicular, en la biomasa aérea de *Solanum peruvianum L.,* y en el suelo de los tratamientos, al ser comparadas muestran con respecto al Cu que la concentración de la biomasa radicular es mayor con respecto a la biomasa aérea y al suelo. Siendo, las concentraciones finales de la biomasa radicular para el T1: 355.506 mg/kg y T2: 454.469 mg/kg, de la biomasa aérea para el T1: 97.361 mg/kg y T2: 51.316 mg/kg, y del suelo T1: 24.630 mg/kg y T2: 30.030 mg/kg. En el caso del Pb, la concentración final obtenida de la biomasa radicular fue de T1: 28.070 mg/kg y T2: 23.477mg/kg, que superan la concentración de la biomasa aérea, la cual fue de T1: 15.165 mg/kg y T2: 11.367 mg/kg, y a la del suelo, T1: 18.085 mg/kg y T2: 16.920 mg/kg. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que, con respecto al Pb existe una reducción del metal en la biomasa área (T1: 0.0049 mg/kg y T2: -2.670 mg/kg), así como para el suelo (T1: 0.985mg/kg, T2: -2.813 mg/kg) comparadas con sus concentraciones iniciales. Y con respecto al Cd, la concentración de la biomasa radicular fue de 3.680 mg/kg y 2.430 mg/kg, para el T1 y T2 respectivamente, de la biomasa aérea fue de 2.010 mg/kg y 2.360 mg/kg, para el T1 y T2 respectivamente, y del suelo, T1: 1.600 mg/kg y T2: 1.640 mg/kg, no obstante, al realizar la comparación de medias de las concentraciones del

Cd, que, aunque presentan ligeros incrementos, se determinó que no eran significativas entre sí.

- Se determinó el Factor de bioconcentración radicular y aéreo, así como el factor de traslocación de la especie *Solanum peruvianum L*. por metal, de tal manera que, para el Cu, el FBCr fue de 14.971 (T1: 14.713, T2: 15.229) > a 1, el FBCa fue de 2.893 (T1: 4.068, T2: 1.719) > a 1 y el FT fue de 0.287 (T1: 0.260, T2: 0.315) < a 1, por lo que esta especie se considera acumuladora para Cu. Para el Pb, se obtuvo un FBCr de 1,480 (T1: 1.568, T2: 1.392) > a 1, un FBCa de 0.758 (T1: 0.844, T2: 0.673) < a 1 y un FT de 0.539 (T1: 0.561, T2: 0.516) < a 1, por lo que esta especie se considera fitoestabilizadora para Pb. Y con respecto al Cd, se obtuvo un FBCr de 1.910 (T1: 2.331, T2: 1.489) > a 1, un FBCa de 1.356 (T1: 1,267, T2: 1,445) > a 1 y un FT de 0.809 (T1: 0.650, T2: 0.968) < a 1, y tomando en cuenta que las concentraciones de Cd son equivalentes entre sectores, ya que no hay diferencia significativa entre estos, se considera una especie acumuladora e indicadora para este metal.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, realizar una investigación específica para el Plomo, considerando análisis de concentraciones en diferentes intervalos de tiempo de exposición de la especie *Solanum peruvianum L.*, para determinar el margen de tolerancia de la planta a este metal.

- Se recomienda realizar una investigación para evaluar si la especie *Solanum peruvianum L.*, puede ser utilizada para tratamientos de fitoextracción de Cobre.

- Se recomienda realizar una investigación para evaluar si la especie *Solanum peruvianum L.,* puede ser un indicador de presencia de Cadmio en los suelos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

22° OBSERVATORIO DE CONFLICTOS MINEROS EN EL PERÚ REPORTE PRIMER SEMESTRE 2018 PRIMERA EDICIÓN JULIO DE 2018 Observatorio de Conflictos Mineros en el Perú (OCM)

ACOSTA, M. (2007) Determinación de metales pesados en suelos agrícolas del Valle de Mezquital, México.

ALDERTE – SUAREZ, ET AL (2018), Bioconcentración de Pb, Cd y As en biomasa de Eleocharis macrostachya (Cyperaceae), Rev. Int. Contam. Ambie. 35 (Calidad de agua: salud, remediación y perspectiva) 93-101, 2019 DOI: 10.20937/RICA.2019.35.esp03.11

ARAKAKI, M., & CANO, A. (2003) Composición Florística de la cuenca del Río Ilo – Moquegua y Lomas de Ilo, Moquegua, Perú. Revista Perú. biol. 10(1): 5-19 (2003). Recuperado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/biologiaNEW.htm

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR, 2016) Resúmenes de Salud Pública - Cobre (Copper). Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs132.html

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR, 2016) Resúmenes de Salud Pública - Plomo (Lead). Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR, 2016) Resúmenes de Salud Pública - Cadmio (Cadmium). Recuperado de: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html

BAYON, S. (2015), Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados con metales pesados. Recuperado de: https://eprints.ucm.es/id/eprint/47872/1/BAYCNSANZ,SARA.pdf .

BECERRIL, J.M., BARRUTIA, O., GARCIA PLAZAOLA, J.I., HERNANDEZ, A., OLANOZ, J.M., GARBISU, C., (mayo, 2007). Especies Nativas de suelos contaminados por

metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas. Revista Científica y técnica de Ecología y Medio Ambiente 16(2): 50-55. Recuperado de: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=481

© FAO (2021) Portal de Suelos de la FAO. Recuperado de http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/

© IBM Corporation 1989 (2017) Prueba t para muestras relacionadas, Prueba t para muestras independientes, prueba ANOVA de un factor. Recuperado de: https://www.ibm.com/pe-es/products/spss-statistics

CASANOVA C, (2016) Capacidad extracción de la especie Stipuicu en los pasivos ambientaes mineros en la planta concentradora de Huari- La Oroya de la UNCP. Reuperado de:https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12990/5783/Tesis_Capacidad_Extracci%C3%B3n_Especie.pdf? sequence=1&isAllowed=y

CASTEBLANCO J, (2018). TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CON POTENCIAL APLICACIÓN EN EL CULTIVO DE CACAO. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida, vol. 27, núm. 1, pp. 21-35, 2018. DOI: https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02

CENTRO DE INVESTIGACIÓN MINERA Y METALÚRGICA - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIOS (enero, 2011). Guía N° 3: Flora y Vegetación Asociadas a Relaves Mineros Abandonados, Fitoestabilización de Depósitos de Relaves en Chile. Página 39

CENTRO DE INVESTIGACIÓN MINERA Y METALÚRGICA - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIOS (Marzo, 2008). Uso de Recursos Fitogenéticos Nativos para la Fitoestabilización de Relaves Mineros en la Región de Coquimbo.

CHAVEZ L. (Lima, 2014). Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN MINERA Y METALÚRGICA - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIOS (Marzo, 2008). Uso de Recursos Fitogenéticos Nativos para la Fitoestabilización de Relaves Mineros en la Región de Coquimbo.

DELGADILLO-LÓPEZ ET AL. (Diciembre, 2011) Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14 (2011): 597- 612. Recuperado de : http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf

DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS, MINEM, PERÚ (2009). Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros.

DIRECCIÓN GENERAL DE LA CALIDAD AMBIENTAL, MINAM, PERÚ (Noviembre, 2014). Guía para el muestreo de suelos. Primera edición.

DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS E INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL, MINAM, PERÚ, (2012). Glosario de términos para la Gestión Ambiental Peruana.

DURANGO-HERNANDESZ, ET AL (2016), Evaluación de la capacidad fitoestabilzadora de mercurio por parte de la Cebolla (Allium Cepa L), en cultivos hidropónicos. Revista de Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de alimentos. Vol 24, N°39 (2016). Disponible en: https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/documents/404-792-1-pb.pdf

ERÓSTEGUI, P. (2009). Contaminación por metales pesados. Entrevistador: Karla Romero Ledezma. Revista Científica Ciencia Médica 12(1): 45-46.

FLORES-RUIZ, MIRANDA-NOVALES MG, VILLASIS-KEVER MÁ (2017). El protocolo de investigación VI: como elegir la prueba estadística adecuadad. Estadistica inferencial. Rev Alerg Mex 2017; 64(3): 364-370.

GARCÍA-GALLEGOS, ELIZABETH, HERNÁNDEZ-ACOSTA, ELIZABETH, GARCÍA-NIETO, EDELMIRA, & ACEVEDO-SANDOVAL, OTILIO A. (2011). Contenido y traslocación de plomo en avena (Avena sativa , L.) y haba (Vicia faba , L.) de un suelo contaminado. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(1), 19-29. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.02.002

GINOCCHIO, ROSANNA, & NARVÁEZ, JÉSSICA. (2002). Importancia de la forma química y de la matriz del sustrato en la toxicidad por cobre en Noticastrum sericeum (Less.)

Less. ex Phil. Revista chilena de historia natural, 75(3), 603-612. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000300011

GÓMEZ-GÓMEZ M Y COLS (2013). Cómo seleccionar una prueba estadística. Primera Parte. Revista Mexicana de Pediatría, Vol 80, Num 1, Enero - Febrero 2013 pp 30-34. Disponible en: https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2013/sp131g.pdf

GÓMEZ-GÓMEZ M Y COLS (2013). Cómo seleccionar una prueba estadística Segunda Parte. Revista Mexicana de Pediatría, Vol 80, num 2, Marzo – abril 2013, pp 81-85. Disponible en: https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2013/sp132g.pdf

GONZALES J., APONTE M., BUSTAMANTE E., & CHOMBA J, (2014). Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa Medicago sativa. Recuperado de http://revista.uct.edu.pe/index.php/SCIENCE/article/view/31/18.

GONZALES, M., (2016). Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Puchuncaví y Quintero.

HAZRAT ALI A , EZZAT KHAN , MUHAMMAD ANWAR SAJAD (2013), Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. Chemosphere 91 (2013) 869–881. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235880244

HINOSTROZA, S. (2018). Fitoestabilización de Cadmio por Lupinus Mutabilis en un suelo contaminado del Distrito El Mantaro, Jauja 2016. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú.

IBARCENA L. (2011). Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna. Revista Ciencia y Desarrollo 201; 13: 28-35. Página 40

INSTITUTO INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (Febrero, 2000). Guías para la prevención de pérdidas de diversidad biológica ocasionadas por especies exóticas invasoras.

JARA-PEÑA, E., GOMEZ, J., MONTOYA H., SANCHÉZ T. & TAPIA L., CANO N& DEXGTRE A. (Diciembre, 2017). Metales pesados en Calamagrostis rigida y Myriophyllum quitense en cuatro humedales altoandinos del Perú. Revista Peruana de biología, 21(2): 583 - 598.

JARA-PEÑA, E., GOMEZ, J., MONTOYA H., CHANCO M., MARIANO M. & CANO, N. (Octubre, 2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista Arnaldoa, 21(2): 145-154. Doi: http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817

Julca-Otiniano, Alberto, Meneses-Florián, Liliana, Blas-Sevillano, Raúl, & Bello-Amez, Segundo. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. Idesia (Arica), 24(1), 49-61. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009

KAMESWARA, N., HANSON, J., EHSAN, M., GHOSH, K.; NOWELL, D. Y LARINDE, M., (2007). Manual para el manejo de semillas en banco de germoplasma. Bioversity Internacional. Manuales para bancos de germoplasma Nº8.

KIDD, P.S., ET AL (2007) Aplicación de plantas hiperacumuladores de niquel en la en la fitoextracción natural: el género Alyssum L. Ecosistemas, vol. 16, núm. 2, 2007, pp. 1-18. Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España. Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=5416204

LEÓN, B., (Diciembre, 2006). Introducción a las Plantas endémicas el Perú. Revista Peruana de Biología Número especial 12(2), 9-22.

LEON MORALES, JANET MARÍA, & SEPULVEDA JIMENEZ, GABRIELA (2012). El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. Interciencia, 37(11), 805-811, Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/339/33925550003.pdf

LOBOS, M. (2008) Efectividad de Biosólidos para la fitoestabilización de un tranque de relaves mineros, en la Comuna de Nogales.

S. LÓPEZ-MARTÍNEZ ET AL. (Febrero, 2005) Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. Rev. Int. Contam. Ambient. 21 (2) 91-100, 2005. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/370/37021205.pdf

MONTESINOS-TUBÉE, D. B. (2015) Flora Moqueguana. Guía práctica para la identificación de plantas silvestres. Anglo American. Moquegua, Perú.

MONTESINOS-TUBÉE, D. (2011). Diversidad florística de la cuenca alta del río TamboIchuña (Moquegua, Perú). Revista Peruana de Biología, 18 (1), 119-132.

M.P. BERNAL, R. CLEMENTE, S. VAZQUEZ, D.J. WALKER (2007), Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. Ecosistemas 16(2): 67 -76. Mayo 2007. Disponible en: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=483

MUNIVE-CERRON, ET AL,(2018), Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. Scientia Agropecuaria vol.9 no.4 Trujillo out./dic. 2018. http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11

NUÑEZ, R., MEAS, Y., ORTEGA, R., OLGUIN, E., (Julio – Setiembre, 2004) Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, Ciencia: 69-82. Recuperado de: https://www.ciaorganico.net/documypublic/390_Fitorremediacion.pdf

ORCHARD, C. (Diciembre, 2008). Valor agregado en la rehabilitación de Depósitos de Relaves Mineros de la zona Centro-Norte de Chile con recursos fitogenéticos nativos. Pagina 41

Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B.. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (Amaranthus hybridus L.) y micorrizas. Revista Chapingo. Serie horticultura, 15(2), 161-168. Recuperado en 16 de mayo de 2022, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000200009&lng=es&tlng=es.

OBESO A, ET AL, (2016) Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (Pelargonium zonale). Recuperado de: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/9832/ECI%202017%20-%20geranio_Articulo_REPOSITORIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PAPUICO H. K. (2018), Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai *(Senecio rudbeckiaefolius)* en la relavera de Quiulacocha del Distrito de Simón Bolívar de Rancas. Recuperado de: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf

PRABHA K. PADMAVATHIAMMA & LORETTA Y. LI. (Mayo, 2007). Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. Water Air Soil Pollut (2007) 184:105–126. DOI 10.1007/s11270-007-9401-5

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.

RAMIREZ GOTTFRIED, Ricardo Israel et al. (2019) Potencial fitorremediador de la chicura (Ambrosia ambrosioides) en suelos contaminados por metales pesados. Rev. Mex. Cienc. Agríc [online]. 2019, vol.10, n.7, pp.1529-1540. Epub 04-Dic-2020. ISSN 2007-0934. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731.

RODRÍGUEZ, RODRÍGUEZ, DE LIRA, MARTÍNEZ Y LARA Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (3), 2006

RODRÍGUEZ ORTIZ, JUAN CARLOS, & RODRÍGUEZ FUENTES, HUMBERTO, & LIRA REYES, GERARDO DE, & MARTÍNEZ DE LA CERDA, JESÚS, & LARA MIRELES, JOSÉ LUIS (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. Revista Fitotecnia Mexicana, 29(3),239-245. ISSN: 0187-7380. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029308

RODRIGUEZ A, TREBOLAZABALA J., MARTINEZ-ARKARAZO I.,DE DIEGO A. & MADARIAGA JM. (2014) Metals and metalloids in fruits of tomatoes (*Solanum lycopersicum)* and their cultivation soils in the Basque Country: concentrations and accumulation trends. Department of Analytical Chemistry, University of the Basque Country, P.O. Box 644, 48080 Bilbao, Basque Country, Spain. Food Chemistry Volume 173, 15 April 2015, Pages 1083-1089. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614017075?via%3Dihub

ROMERO, A., & FLORES, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. Industrial Data, 13 (2), 75-82.

SACRISTÁN D. (2015) Evaluación de la toxicidad y de la bioacumulación del Cu en un cultivo acumulador (Lactuca sativa L.) y otro no-acumulador (*Solanum lycopersicum L.)* en suelos agrícolas mediterráneos representativos, como base para la propuesta de estrategias de gestión de suelos. Tesis Doctoral en Biodiversidad, Universidad de Valencia, España. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/141302/1/TesisSacrist%C3%A1nMoraga.pdf

SALINAS J, ET AL, (2015), Utilización conjunta de técnicas de inmovilización y fitoextracción de la descontaminación de suelos. Recuperado de: http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/4349/Estabilizacio-Fitoextraccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SERVICIO NACIONAL DE FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (2018). Ficha técnica de Campo. Ecosistema frágil de las Lomas de Tacahuay Recuperado de: https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/34-FTCTacahuay.pdf

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ – SENAMHI (2018). Datos/ Datos hidrometeorológicos. Recuperado de: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones

VALLEJO, V. (Enero - Junio, 2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal Vol. 16(1): 83 – 99.

VALLES-ARAGON, María Cecilia, ALARCON-HERRERA, María Teresa (2014), Retención de arsénico en humedales construidos con *Eleocharis macrostachya* Y *Schoenoplectus americanus.* Revista internacional de Contaminación Ambiental, vol 30, num 2, 2014, pp 143-148 Universidad autónoma de México Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37030754002

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

<table>
<tr><th>PROBLEMA</th><th>OBJETIVOS</th><th>HIPOTESIS</th><th>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</th><th>METODOLOGÍA</th></tr>
<tr><td>Interrogante General</td><td>Objetivo General</td><td>Hipótesis General</td><td>Variable</td><td>Diseño de la Investigación</td></tr>
<tr><td>¿Cuál es la capacidad fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L. en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio?</td><td>Evaluar la capacidad fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L. en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio, en el Departamento de Moquegua.</td><td>La especie Solanum peruvianum L. fitoestabiliza suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio.</td><td rowspan="3">Variable Independiente:
Capacidad Fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L.

Variable dependiente:
Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en suelos contaminados.</td><td>• Tipo: Cuantitativa
• Nivel: Descriptiva
• Diseño: Experimental</td></tr>
<tr><td>Interrogantes Específicas</td><td>Objetivos Específicos</td><td>Hipótesis Especificas</td><td>Población y muestra</td></tr>
<tr><td>¿Cuáles es la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado en la biomasa radicular de Solanum peruvianum L.?
¿En qué sector de la biomasa de Solanum peruvianum L, radicular y aérea, o suelo, se acumula la mayor concentración de Cobre, Plomo y Cadmio?
¿Cuál es el factor de bioconcentración y factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio de Solanum peruvianum L?</td><td>Determinar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado en la biomasa radicular de Solanum peruvianum L.
Comparar la concentración de Cobre, Plomo y Cadmio acumulado entre la biomasa radicular, la biomasa aérea y el suelo en donde se desarrolla Solanum peruvianum L.
Determinar el factor de bioconcentración y el factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio de la especie Solamun peruvianum L.</td><td>La especie Solanum peruvianum L. presenta concentración acumulada de Cobre, Plomo y Cadmio en sus raíces.
La concentración de Cobre, Plomo y Cadmio es mayor en la biomasa radicular que en la biomasa aérea de la especie Solanum peruvianum L. y mayor que el suelo en donde se desarrolla.
El factor de bioconcentración y el factor de traslocación de Cobre, Plomo y Cadmio en la especie Solamun peruvianum L., indican que tiene capacidad fitoestabilizadora.</td><td>Población: Individuos de Solanum peruvianum L.
Muestra: En la presente investigación se aplicó el muestro no probabilístico discrecional, ya que por criterio del investigador se seleccionaron 10 individuos de Solanum Peruvianum L. previamente germinados de semillas extraídas de la zona de muestreo.
Técnicas e instrumentos de recolección de información
VI
Técnica: Observación
Instrumento:
Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma (N. Kameswara, et al, 2007).
Análisis de espectrofotometría de absorción atómica. Calculo factores (FBCr, FBCa y FT).
VD
Técnica: Observación
Instrumento:
Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).
Análisis de caracterización de suelos.
Análisis de espectrofotometría de absorción atómica.</td></tr>
</table>

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición	Categorías o dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Referencia
Variable Independiente: Capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.*	Es la cantidad de metales que la especie Solanum peruvianum L., puede inmovilizar a través de absorción, acumulación en las raíces o precipitación en la rizósfera, reduciendo el transporte de estas sustancias hacia el tallo y hojas, por un periodo de 90 dias. Teniendo en cuenta que la especie escogida crece en zonas con alto contenido de mineral y se adapta fácilmente.	Concentración de metales pesados en la biomasa radicular de *Solanum peruvianum L.*	Concentración de metal en raices de *Solanum peruvianum L.*	ppm o mg/kg	-
		Concentración de metales pesados en la biomasa aérea de *Solanum peruvianum L.*	Concentración de metal en tallos y hojas de *Solanum peruvianum L.*	ppm o mg/kg	-
		Factor de bioconcentración y de translocación de *Solanum peruvianum L.*	Factor de bioconcentración de metales en raíces de *Solanum peruvianum L.*	< 1	FBCraíz < 1, la planta es excluyente. FBCraíz>1, la planta es acumuladora (Zayed et al., 1998)
			Factor de bioconcentración de metales en tallos y hojas de *Solanum peruvianum L.*	> 1	FBCaérea < 1, la planta es excluyente. FBCaérea > 1, la planta es acumuladora (Zayed et al., 1998)
			Factor de translocación de *Solanum peruvianum L.*	> 1	FT > 1, potencial acumulador de metales en la parte aérea. FT < 1 potencial fitoestabilizador de metales en raíces. (Padmavathiamma y Li, 2007)
Variable dependiente: Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio en suelos contaminados.	Esta referido a un suelo cuyas características químicas han sido alteradas por la presencia de Cobre, Plomo y Cadmio.	Tratamiento 01: 60% de muestra de suelo con Cobre, Plomo y Cadmio y 40% suelo de la zona de extracción de la especie.	Caracterización de suelos	Tipo de suelo y parámetros fisicoquímicos	-
			Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio.	mg/kg de Cobre, Plomo y Cadmio por muestra.	D.S. N° 011-2017-MINAM - ECA para Suelo
		Tratamiento 02: 40% de muestra de suelo con Cobre, Plomo y Cadmio y 60% suelo de la zona de extracción de la especie.	Caracterización de suelos	Tipo de suelo y parámetros fisicoquímicos	-
			Concentración de Cobre, Plomo y Cadmio.	mg/kg de Cobre, Plomo y Cadmio por muestra.	D.S. N° 011-2017-MINAM - ECA para Suelo

(*) mg/kg: miligramos por kilogramo, unidad de medida.

Anexo 3: Constancia de identificación y depósito de especie en el Herbarium Moqueguensis - MOQ

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

Moquegua, 04 de diciembre del 2019

CARTA N°004-2019- HRSP/UNAM

Señorita

SONIA TERESA MEDINA BELTRAN
TESISTA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ASUNTO : RESULTADOS DE IDENTIFICACIÓN DE ESPECIE

De mi especial consideración:

Por medio del presente me dirijo a usted para saludarla cordialmente y a la vez indicar que ya se encuentra identificada la especie encargada; la cual se denomina ***Solanum peruvianum L.,*** arbusto herbáceo que abarca desde el Norte de Chile hasta el centro de Perú.

Con este motivo me despido de usted, para su conocimiento y ejecución de su proyecto de investigación correspondiente.

Atentamente,

DR. HIBERT HUAYLLA LIMACHI
Director del Herbarium Moqueguensis-MOQ

Anexo 4: Resolución Administrativa N° 0007-2020- MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA

REPUBLICA DEL PERU

RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA N° 0007-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA

EXPEDIENTE : 001-2020
SEDE : MARISCAL NIETO
MATERIA : AUTORIZACION PARA INVESTIGACIÓN CIENTIFICA
ADMINISTRADO : MEDINA BELTRAN SONIA TERESA DEL PILAR
CUT N° : 00753-2020-MINAGRI-SERFOR

Tacna, 10 de febrero de 2020.

VISTO:

La solicitud de fecha 31 de diciembre de 2019, presentada por SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN identificada con DNI N° 72450771; FORMATO DE HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL (ANEXO 1); el INFORME TÉCNICO N° 0001-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS MOQUEGUA TACNA/CRFA de fecha 30 de enero de 2020, INFORME TÉCNICO LEGAL N° 0006-2020-MINAGRI-SERFOR- ATFFS MOQUEGUA TACNA/DCR de fecha 4 de febrero de 2020;

CONSIDERANDO:

Que, por Ley N° 29763 Ley Forestal y de Fauna Silvestre crea el Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre (SINAFOR); asimismo, crea el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) como autoridad nacional forestal y de fauna silvestre y ente rector del sistema. El Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI modifica el Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, cuya PRIMERA DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA establece que las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre se incorporan al SERFOR como órganos desconcentrados de actuación local, estableciendo entre otras funciones las de: *"a) actuar en primera instancia en la gestión y administración de los recursos forestales y de fauna silvestre, dentro del ámbito territorial de su competencia. (...). s) las demás que le asigne la Dirección Ejecutiva del SERFOR".*

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE V°B° ADMINISTRACIÓN TÉCNICA ATFFS-MOQUEGUA TACNA

Que, el Articulo 66° de la Constitución Política del Perú, establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento; asimismo, en su Articulo 68° establece que es obligación del Estado promover la conservación de la diversidad biológica;

Que, la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales, establece en su Articulo 9°, referido a la investigación científica, que el Estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales. Asimismo, promueve la información y el conocimiento sobre los recursos naturales; con cuyo fin el Estado establece los permisos sobre los recursos materia de investigación;

Que, el Articulo 137° de la Ley 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre declara de interés nacional la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de la conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre, el mismo que se realiza a través de entidades educativas de investigación o mediante iniciativas privadas, igualmente promueve la difusión de los resultados de la investigación; por Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI se aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal, que prevé que la investigación científica del patrimonio se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto a su patrimonio genético, estableciendo además los requisitos, y demás consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo a los lineamientos aprobados por el SERFOR;

Que, por Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR-DE se aprueba los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", con la finalidad de dinamizar el procedimiento y generar información científica que contribuya al conocimiento de la biodiversidad y sus componentes, su conservación, manejo y uso sostenible; la investigación científica podrá ser con o sin acceso a los recursos genéticos y fuera de las Áreas Naturales Protegidas; el literal "a." del numeral 5.3.2 establece que: *"a. La ARFFS conduce el procedimiento y, de ser el caso, otorga la autorización en los casos que la investigación: i) Implique la utilización de métodos directos e indirectos para especies no categorizadas como amenazadas. ii) Involucre especies no listadas en los Apéndices de la CITES. iii) No implique el acceso a los recursos genéticos o sus productos derivados.*

iv) Implique sólo el ámbito geográfico regional de la ARFFS." y, conforme a lo ordenado mediante MEMORANDUM Nº 0286-2019-MINAGRI-SERFOR-DGGSPFFS/DGSPF, se procede a la emisión de la presente autorización;

Que, mediante solicitud de fecha 31 de diciembre de 2019, el administrado SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN solicita que se le otorgue Autorización para realizar investigación científica fuera de las Áreas Naturales Protegidas, con colecta de flora silvestre, en el Km. 1133 de la Carretera Panamericana Sur, provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua y en la desembocadura del Rio Osmore del distrito y provincia de Ilo del Departamento de Moquegua, como parte del Proyecto o Estudio denominado *"Evaluación de la capacidad fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L. en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio, Moquegua 2019."* habiendo establecido como plazo para la investigación, el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2020 y el 30 de julio de 2020, con cuyo fin adjunta los requisitos exigidos por el numeral 9 del ANEXO Nº 1 del Reglamento para la Gestión Forestal aprobado por Decreto Supremo Nº 018-2015-MINAGRI y el numeral 6.6 de los Lineamientos;

Que, la solicitud ha sido materia de observación por parte del especialista de esta Administración, conforme aparece del correo electrónico de fecha 09 de enero de 2020 de fs. 25, dichas observaciones han sido absueltos mediante correo electrónico de fecha 29 de enero de 2020 de fs. 26, en tal sentise emite INFORME TÉCNICO Nº 0002-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA/CRFA fs. 22 a 24.

Que, para los fines del procedimiento, se procedió a verificar el cumplimiento de las condiciones mínimas para el otorgamiento de la autorización, conforme aparece de las impresiones que obran en fs. 30 de autos, con resultado negativo, por lo que resulta procedente la evaluación de la solicitud;

Que, mediante INFORME TECNICO Nº 0002-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS.MOQUEGUA TACNA/CRFA de fs. 22 a 24, se concluye que: es pertinente otorgar autorización con fines de investigación científica de flora silvestre con colecta, a la administrada SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN, para el desarrollo del proyecto titulado *"Evaluación de la capacidad fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L. en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio."* los ejemplares y frutos de la especie *Solanum peruvianum* L. serán colectados de Pampa Guarenos Km. 1133 de la carretera Panamericana Sur, cuyas coordenadas UTM se describen en cuadro del considerando siguiente; la autorización incluye la colecta de máximo dos (2) ejemplares de *Solanum peruvianum L.* para la determinación taxonómica correspondiente y un total de quince (15) frutos para la etapa experimental; los ejemplares colectados para la determinación taxonómica deberán ser depositados en una institución científica nacional depositaria de material biológico registrado ante el SERFOR; el periodo de la autorización será de siete (7) meses contados desde la emisión de la resolución;

Que, conforme aparece del Plan de Investigación y lo opinado en el informe técnico, los puntos de muestreo se encuentra delimitado por el sistema de Coordenadas Proyectadas UTM Zona 19S de DATUM WGS84 que se detalla en el siguiente cuadro:

Nº	COORDENADA ESTE	COORDENADA SUR	ZONA
01	279400.716	8095663.794	19S

Que, Carta de presentación de fecha 14 de junio de 2019 la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua presenta a esta Administración a la solicitante SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN, a fin de que se le otorgue la respectiva autorización de investigación;

Que, el INFORME TECNICO LEGAL Nº 0006-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS MOQUEGUA TACNA/DCR concluye que es legalmente procedente el otorgamiento de la presente autorización a favor de la administrada SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN, considerando la evaluación técnica realizada al expediente, mediante el INFORME TECNICO Nº 0002-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA/CRFA para el desarrollo de la investigación, conforme al cronograma de trabajo presentado por el solicitante, quien deberá cumplir en estricto las obligaciones que establece la Ley, el Reglamento y los Lineamientos, sin perjuicio de las señaladas en la parte resolutiva de la presente resolución. El Plan de Investigación de fs. 16 a 21 forma parte integrante de la presente resolución;

REPUBLICA DEL PERU

RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA Nº 0007-2020-MINAGRI-SERFOR-ATFFS-MOQUEGUA TACNA

Que, la presente autorización implica el cumplimiento de obligaciones establecidas por el Artículo 138º del Reglamento y los Lineamientos, caso contrario constituye infracción, por lo que se podrá aplicar las sanciones a que hace referencia el Artículo 207º del Reglamento, así como las sanciones accesorias a que hubiere lugar;

Que, la presente autorización ha sido tramitada en concordancia con las normas legales vigentes y los procedimientos establecidos para tal fin; en tal sentido, conforme a lo dispuesto por el Artículo IV numeral 1.16 del Título Preliminar, 34º y 49º del Texto Único Ordenado de la Ley Nº 27444 Ley del Procedimiento Administrativo General aprobado por Decreto Supremo Nº 004-2019-JUS, esta Administración se reserva el derecho de fiscalización posterior en relación a la documentación ofrecida en el presente Procedimiento Administrativo;

Que, en uso de las funciones atribuidas por la Primera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo Nº 016-2014-MINAGRI modificatoria del Decreto Supremo Nº 007-2013 Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, en concordancia con la Resolución de Dirección Ejecutiva Nº 080-2014-SERFOR-DE;

SE RESUELVE:

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE V°B° ADMINISTRACIÓN TÉCNICA ATFFS-MOQUEGUA TACNA

Artículo 1º.- OTORGAR AUTORIZACIÓN Nº 18-MOT-AUT-IFL-2020-001 con fines de investigación científica de flora silvestre, a la administrada SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN identificada con DNI Nº 72450771, quien han sido presentados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua; el Plan de Investigación forma parte integrante de la presente resolución;

Artículo 2º.- La autorización otorgada por el artículo precedente, permite el desarrollo de la investigación titulada *"Evaluación de la capacidad fitoestabilizadora de Solanum peruvianum L. en suelos contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio."* e incluye la colecta de un total de dos (2) especímenes de la especie *Solanum peruvianum L.* y un total de quince (15) frutos de la especie para la etapa experimental, los que serán colectados de la zona delimitada por las coordenadas UTM a que hace referencia en considerando DECIMO de la presente resolución;

Artículo 3º.- La presente autorización se otorga con efecto retroactivo al 1 de febrero de 2020 siendo su fecha de vencimiento el 30 de setiembre de 2020, conforme al cronograma de trabajo inserto en el plan de investigación;

Artículo 4º.- El titular de la autorización para actividades de investigación de flora silvestre genera las siguientes obligaciones:

a) No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada.
b) No ceder el material colectado a terceros, ni utilizarlo para fines distintos a lo autorizado.
c) Entregar al SERFOR un informe final en idioma español, incluyendo una versión digital, como resultado de la investigación autorizada, así como copia de las publicaciones realizadas en las que se indicará expresamente el Código de Autorización. El plazo para la entrega del informe no deberá exceder los seis meses (06) al vencimiento de la presente autorización.
d) Depositar el material colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico y entregar al SERFOR la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se puede realizar en una institución distinta a la mencionada; para ello se requiere la autorización del SERFOR.
e) Si por razones científicas, se requiere enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente Permiso para la Exportación ante el SERFOR, así como pasar el control respectivo.
f) El Informe final deberá contener una lista de las coordenadas en formato UTM (Datum-WGS84), de los lugares en que se hubiere realizado la colecta de las especies;

Artículo 5º.- EXHORTAR al titular de la presente autorización, cumplir en estricto con las disposiciones legales en materia forestal y de fauna silvestre, caso contrario se procederá a instaurar procedimiento administrativo sancionador;

Artículo 6°.- La Administración Técnica Forestal y Fauna Silvestre se **RESERVA** el derecho de fiscalización posterior respecto de la información documental proporcionada por el administrado en el presente procedimiento administrativo;

Artículo 7°.- Transcribase copia de la presente resolución, a la Dirección de General de Información y Ordenamiento Forestal y de Fauna Silvestre, para los fines de Ley;

Artículo 8°.- NOTIFÍQUESE con la presente resolución a SONIA TERESA DEL PILAR MEDINA BELTRAN y la Universidad Nacional de Moquegua, para los fines de Ley;

REGÍSTRESE Y COMUNÍQUESE.

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE ATFFS-MOQUEGUA-TACNA SERFOR

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE SERFOR

Lic. C. Christian Riveros Arteaga
Administrador Técnico
ATFFS Moquegua-Tacna

Anexo 5: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de la biomasa radicular y biomasa aérea de la especie *Solanum peruvianum L.*, antes de ser expuesta al tratamiento.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN
PROCEDENCIA : MOQUEGUA/ ILO/ ILO
MUESTRA : HOJAS, TALLO Y RAÍCES
REFERENCIA : H.R. 72655
BOLETA : 4231
FECHA : 07/10/2020

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Pb ppm	Cd ppm	Cu ppm
1423	MP02-TH-B1	11.83	1.62	33
1424	MP04-TH-B2	16.53	2.20	28
1425	MP01-R-B1	11.43	1.19	62
1426	MP03-R-B2	11.03	1.02	32

LASPAF Lab. Análisis de Suelos, Agua y Foliares UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 6: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de la biomasa radicular y biomasa aérea de la especie *Solanum peruvianum L.*, después de ser expuesta al tratamiento 1.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN
PROCEDENCIA : MOQUEGUA/ ILO
MUESTRA : HOJAS CON TALLO
REFERENCIA : H.R. 73436
BOLETA : 4368
FECHA : 06/01/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cu ppm	Pb ppm	Cd ppm
2078	MTh 01-T1	86.42	12.62	1.80
2079	MTh 02-T1	183.12	20.80	1.95
2080	MTh 03-T1	60.92	11.68	2.31
2081	MTh 04-T1	59.00	15.64	1.97
2082	MTh 05-T2	69.74	11.70	2.90
2083	MTh 06-T2	47.75	13.89	3.10
2084	MTh 07-T2	47.39	11.03	1.86
2085	MTh 08-T2	40.40	8.93	1.58
2086	MTh 09-B1	32.06	7.73	1.45
2087	MTh 10-B2	37.24	10.68	2.97

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 7: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de la biomasa radicular y biomasa aérea de la especie *Solanum peruvianum L.*, después de ser expuesta al tratamiento 2.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN
PROCEDENCIA : MOQUEGUA/ ILO
MUESTRA : RAÍCES
REFERENCIA : H.R. 73435
BOLETA : 4368
FECHA : 06/01/2021

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	Cu ppm	Pb ppm	Cd ppm
2068	MR 01-T1	372.32	17.40	1.87
2069	MR 02-T1	468.20	30.92	5.92
2070	MR 03-T1	269.29	29.98	2.77
2071	MR 04-T1	312.23	34.06	4.15
2072	MR 05-T2	820.31	31.38	2.93
2073	MR 06-T2	327.34	29.20	3.21
2074	MR 07-T2	380.14	19.97	1.93
2075	MR 08-T2	290.10	13.44	1.66
2076	MR 09-B1	93.42	15.97	2.27
2077	MR 10-B2	481.72	12.85	1.37

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 8: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de las muestras de suelo extraídas en campo y de las muestras de suelo de los tratamientos, antes de la experimentación.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN

Departamento : MOQUEGUA
Distrito :
Referencia : H.R. 72381-057C-20

Bolt.: 4173

Provincia : ILO
Predio :
Fecha : 25/08/2020

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma de	Suma de	% Sat. De
Lab	Claves	(1:1)	(1:1) dS/m	%	%	ppm	ppm	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	Cationes	Bases	Bases
													meq/100g							
3296	M001-B1	7.89	1.77	1.00	2.15	11.6	113	57	31	12	Fr.A.	5.60	5.20	0.13	0.21	0.06	0.00	5.60	5.60	100
3297	M002-B2	7.94	5.94	1.90	7.29	310.2	3620	65	23	12	Fr.A.	12.80	5.08	3.03	3.44	1.25	0.00	12.80	12.80	100
3298	M003-T1	7.72	8.93	1.20	3.86	218.0	3020	61	27	12	Fr.A.	11.20	5.65	2.70	2.45	0.41	0.00	11.20	11.20	100
3299	M004-T2	7.76	5.64	1.10	3.83	167.6	1707	59	29	12	Fr.A.	7.20	5.39	0.77	0.92	0.12	0.00	7.20	7.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Cu	Pb	Cd
Lab.	Claves	ppm	ppm	ppm
3296	M001-B1	4.88	20.65	1.25
3297	M002-B2	16.72	18.82	1.29
3298	M003-T1	22.96	18.08	1.35
3299	M004-T2	1.76	19.59	1.57

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 9: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de las muestras de suelo extraídas en campo y de las muestras de suelo de los tratamientos, después de la experimentación (tratamiento 1).

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN

Departamento : MOQUEGUA
Distrito :
Referencia : H.R. 73434-123C-20 Bolt.: 4368

Provincia : ILO
Predio :
Fecha : 13/01/2021

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves		(1:1)					Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g						Cationes	Bases	Bases
10526	MS01- T1	7.36	3.85	1.14	4.07	219.7	1400	61	28	11	Fr.A.	9.60	6.10	1.83	1.49	0.18	0.00	9.60	9.60	100
10527	MS02- T1	7.49	7.63	1.14	4.21	191.3	2644	59	30	11	Fr.A.	9.60	4.59	2.90	1.85	0.26	0.00	9.60	9.60	100
10528	MS03- T1	7.44	7.37	1.05	4.14	192.1	2188	61	28	11	Fr.A.	8.80	3.85	2.80	1.89	0.26	0.00	8.80	8.80	100
10529	MS04- T1	7.43	7.98	1.05	4.62	192.1	2173	61	28	11	Fr.A.	8.64	4.12	2.28	1.95	0.28	0.00	8.64	8.64	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Cu	Pb	Cd
Lab.	Claves	ppm	ppm	ppm
10526	MS01- T1	31.20	19.43	1.71
10527	MS02- T1	22.50	17.39	1.55
10528	MS03- T1	23.40	17.23	1.50
10529	MS04- T1	21.40	18.37	1.62

Lab. Análisis de Suelos, Aguas y Plantas LASPAF UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 10: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de las muestras de suelo extraídas en campo y de las muestras de suelo de los tratamientos, después de la experimentación (tratamiento 2).

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN

Departamento : MOQUEGUA
Distrito :
Referencia : H.R. 73434-123C-20

Bolt.: 4368

Provincia : ILO
Predio :
Fecha : 13/01/2021

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves		(1:1)					Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g						Cationes	Bases	Bases
10530	MS05- T2	7.36	5.48	1.05	3.17	143.6	1128	61	28	11	Fr.A.	6.88	4.87	0.92	0.92	0.17	0.00	6.88	6.88	100
10531	MS06- T2	7.32	6.29	0.86	3.10	118.4	1130	63	28	9	Fr.A.	8.00	5.58	1.12	1.11	0.19	0.00	8.00	8.00	100
10532	MS07- T2	7.32	3.74	0.95	3.03	158.3	1108	59	32	9	Fr.A.	7.68	5.62	0.95	0.93	0.18	0.00	7.68	7.68	100
10533	MS08- T2	7.36	4.25	1.05	3.10	148.1	1317	59	32	9	Fr.A.	7.68	5.34	1.13	1.02	0.18	0.00	7.68	7.68	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Cu	Pb	Cd
Lab.	Claves	ppm	ppm	ppm
10530	MS05- T2	29.60	16.46	1.60
10531	MS06- T2	28.10	17.80	1.65
10532	MS07- T2	30.60	15.91	1.63
10533	MS08- T2	31.80	17.59	1.67

Lab. Análisis de Suelos, Agua y Plantas LASPAF UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo11: Resultados de análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica para determinar Cobre, Plomo y Cadmio de las muestras del agua utilizada para el riego.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN AGUA

SOLICITANTE : SONIA TERESA MEDINA BELTRÁN

PROCEDENCIA : MOQUEGUA/ ILO

REFERENCIA : H.R. 73325

BOLETA : 4355

FECHA : 14/12/2020

Nº LAB	CLAVES	Cu ppm	Pb ppm	Cd ppm
3404	MA-01	0.001	0.040	N.D
3405	MA-02	0.001	0.070	N.D
3406	MA-03	0.001	0.051	N.D

N.D.: no detectable.

Lab. Análisis de Suelos, Aguas y Foliares LASPAF UNALM

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
Celular: 946 - 505 - 254
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Anexo 12: Resultados Anexos

Resultados de Cu, Pb y Cd en Biomasa aérea y biomasa radicular en individuos antes de exposición.

Estructura de la planta	Metales		
	Cu	Pb	Cd
Muestra B1			
Biomasa aérea	33	11.83	1.62
Biomasa radicular	62	11.43	1.19
Muestra B2			
Biomasa aérea	28	16.53	2.2
Biomasa radicular	32	11.03	1.62

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Resultados de Cu, Pb y Cd en Biomasa aérea y biomasa radicular en individuos después de exposición para el tratamiento 1.

Estructura de la planta	Metales		
	Cu	Pb	Cd
Muestra 1			
Biomasa aérea	86.42	12.62	1.8
Biomasa radicular	372.32	17.4	1.87
Suelo	31.2	19.43	1.71
Muestra 2			
Biomasa aérea	183.12	20.8	1.95
Biomasa radicular	468.2	30.92	5.92
Suelo	22.5	17.39	1.55
Muestra 3			
Biomasa aérea	60.92	11.68	2.31
Biomasa radicular	269.29	29.98	2.77
Suelo	23.4	17.23	1.5
Muestra 4			
Biomasa aérea	59	15.64	1.97
Biomasa radicular	312.23	34.06	4.15
Suelo	21.4	18.37	1.62

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Resultados de Cu, Pb y Cd en Biomasa aérea y biomasa radicular en individuos después de exposición para el tratamiento 1.

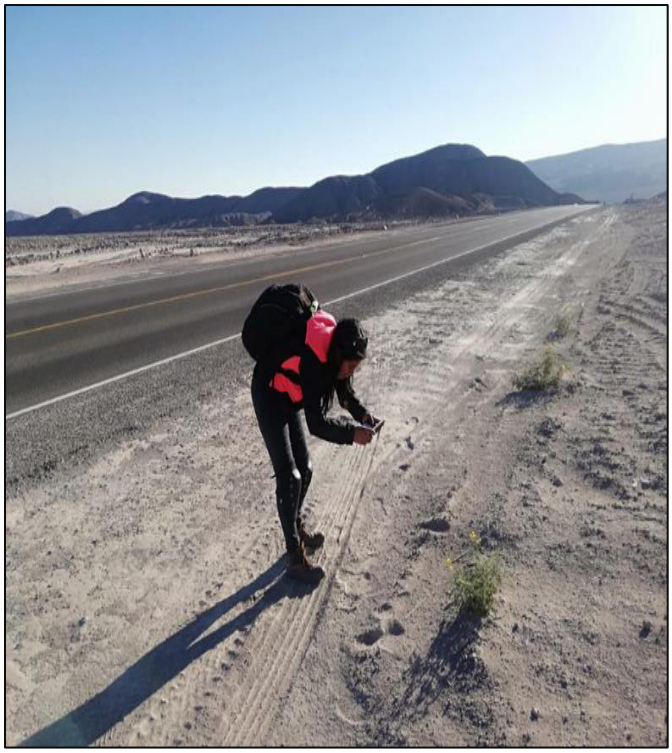
Estructura de la planta	Metales		
	Cu	Pb	Cd
Muestra 1			
Biomasa aérea	69.74	11.7	2.9
Biomasa radicular	820.31	31.38	2.93
Suelo	29.6	16.46	1.6
Muestra 2			
Biomasa aérea	47.75	13.89	3.1
Biomasa radicular	327.34	29.2	3.21
Suelo	28.1	17.8	1.65
Muestra 3			
Biomasa aérea	47.39	11.03	1.86
Biomasa radicular	380.14	19.97	1.93
Suelo	30.6	15.91	1.63
Muestra 4			
Biomasa aérea	40.4	8.93	1.58
Biomasa radicular	290.1	13.44	1.66
Suelo	31.8	17.59	1.67

Nota. (*) 1 mg/kg = 1 ppm

Anexo 13: Panel fotográfico



Fotografía 1: Ubicación de la especie *Solanum peruvianum L.* Km 1133 Carretera Panamericana Sur



Fotografía 2: Ubicación de la especie *Solanum peruvianum L.* Km 1133 Carretera Panamericana Sur



Fotografía 3: Recolección de muestra de la especie *Solanum peruvianum L*.



Fotografía 4: Recolección de muestra de la especie *Solanum peruvianum L*.



Fotografía 5: Muestra de flor, tallos y hojas de la especie *Solanum peruvianum L*.



Fotografía 6: Muestra de frutos de la especie *Solanum peruvianum L*.



Fotografía 7: Muestra de flor de la especie *Solanum peruvianum L.*



Fotografía 8: Extracción de semillas de la especie *Solanum peruvianum L.*



Fotografía 9: Semillas extraídas para secado de la especie *Solanum peruvianum L*.



Fotografía 10: Germinación de semillas de la especie *Solanum peruvianum L.*



Fotografía 11: Preparación de muestra de un individuo germinado después del secado para analizar.



Fotografía 12: Ubicación de zona de muestreo de suelos probablemente contaminado.



Fotografía 13: Delimitación de zona de muestreo



Fotografía 14: Toma de muestra del suelo probablemente contaminado



Fotografía 15: Toma de muestra del suelo de la zona de extracción de la especie.



Fotografía 16: Mezcla de suelo de la zona con compost.



Fotografía 17: Preparación de tratamientos



Fotografía 18: Distribución de suelo según el tratamiento.



Fotografía 19: Distribución de suelo según el tratamiento.



Fotografía 20: Selección de muestra para envío a laboratorio.



Fotografía 21: Vista de área de experimentación. Macetas de la Izquierda corresponden al tratamiento 1 y macetas de la derecha al tratamiento 2.



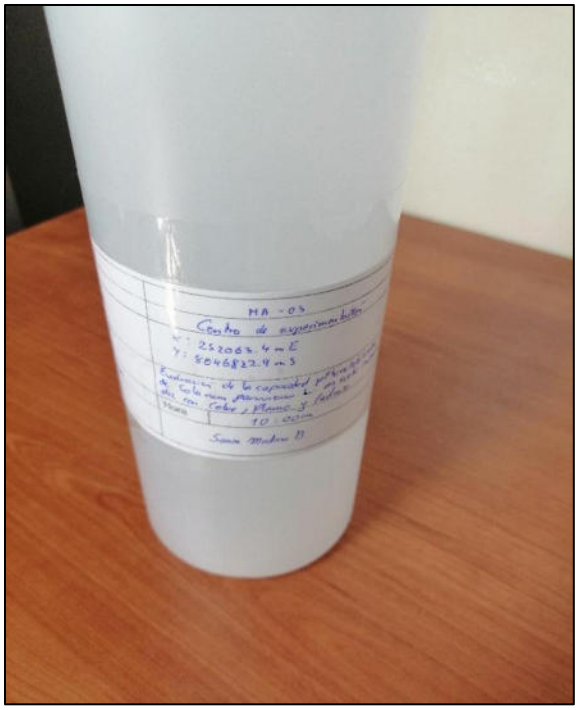
Fotografía 22: Muestra de individuo sometido a experimentación



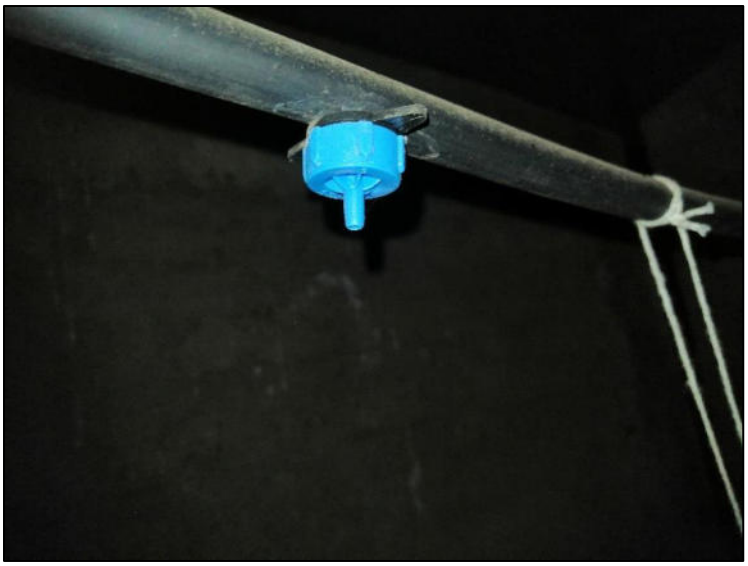
Fotografía 23: Toma de muestra de la fuente de agua usada para la experimentación.



Fotografía 24: Toma de muestra de la fuente de agua usada para la experimentación.



Fotografía 25: Muestra de agua utilizada para riego de la experimentación con su etiquetado respectivo.



Fotografía 26: Sistema de riego por goteo instalado.



Fotografía 27: Registro de temperatura



Fotografía 28: Registro de temperatura



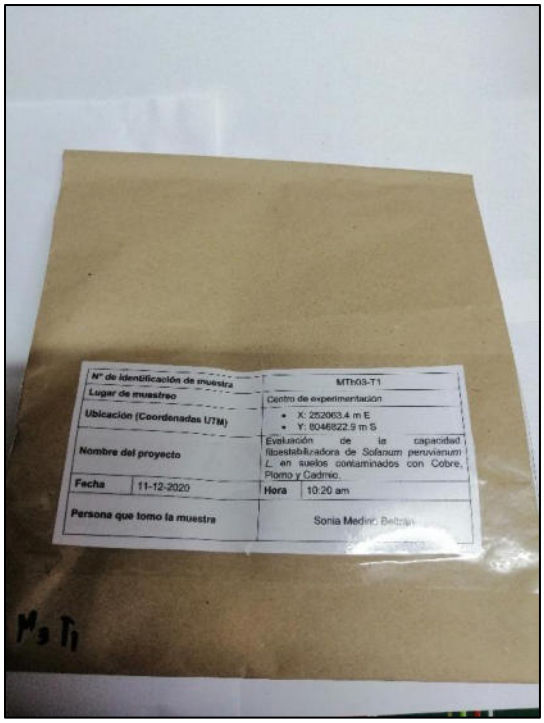
Fotografía 29: Muestra de biomasa aérea después de la experimentación para secar.



Fotografía 30: Muestra de biomasa aérea después de la experimentación



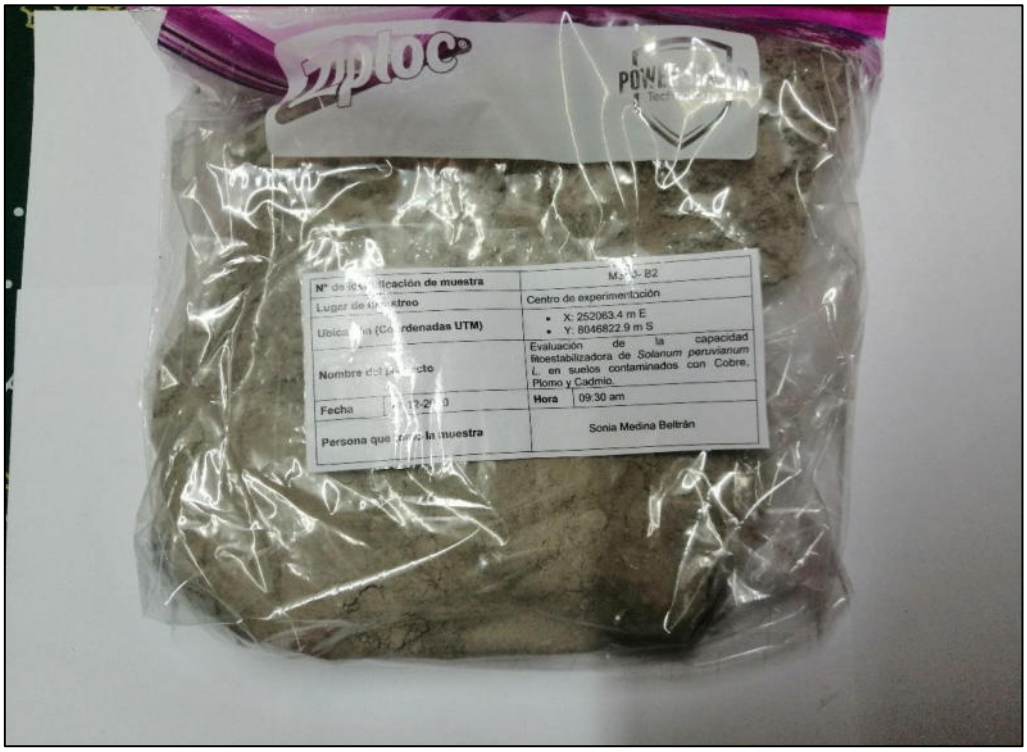
Fotografía 31: Muestra de suelo después de la experimentación



Fotografía 32: Muestra de biomasa aérea preparada para su envío a laboratorio.



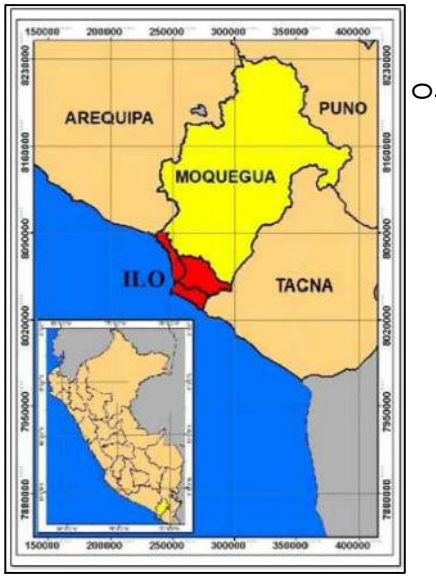
Fotografía 33: Muestra de suelo de Tratamiento 1 preparada para su envío a laboratorio.



Fotografía 34: Muestra de suelo de Tratamiento 2 preparada para su envío a laboratorio.

Anexo 13: Plano de ubicación de zona de estudio





N
O
E
S

LEYENDA:

Ubr.Luis E valcarcel MZ 26 Lt 12

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOESTABILIZADORA DE Solanum peruvianum L. EN SUELOS CONTAMINADOS CON COBRE, PLOMO Y CADMIO, MOQUEGUA, 2019

TESISTA: SONIA TERESA MEDINA BELTRAN

UBICACION: Urb. Luis E valcarcel MZ 26 Lt 12

UNAM

CONTENIDO:

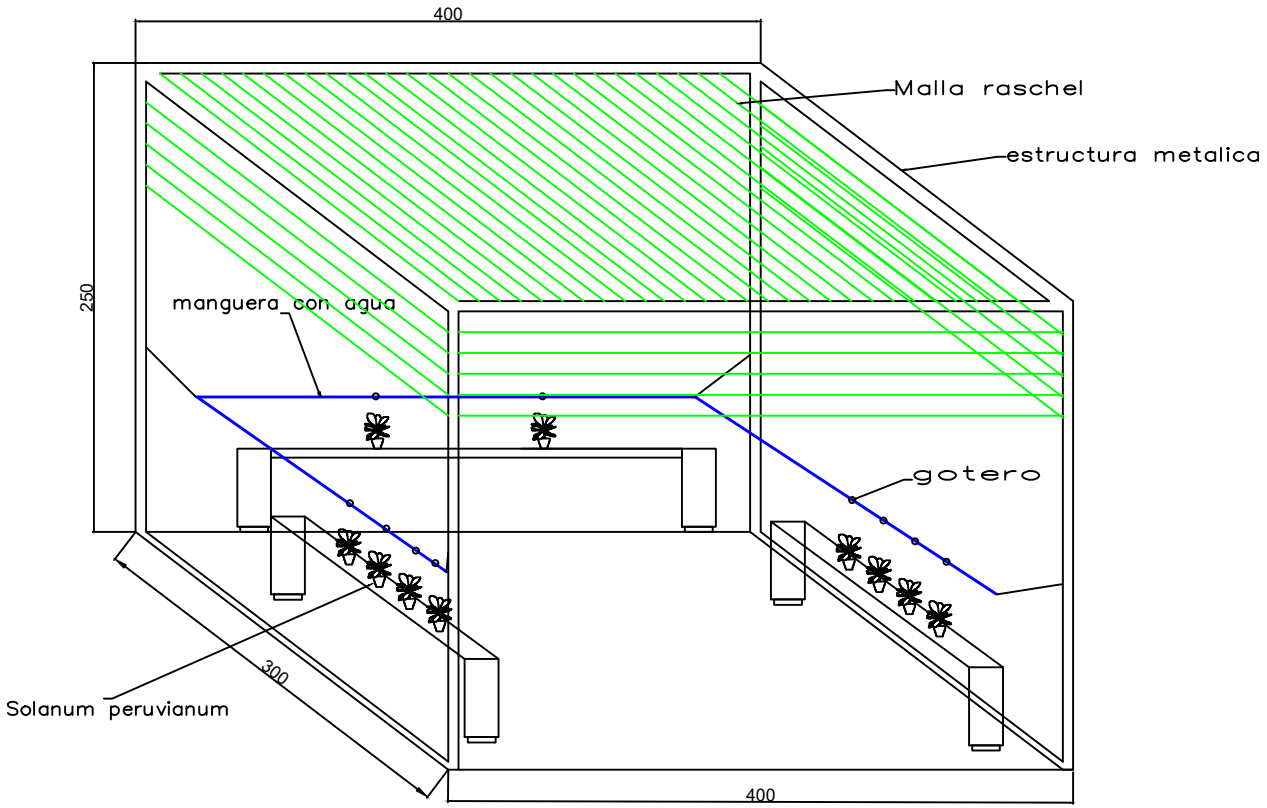
PLANO DE UBICACION DE ZONA DE ESTUDIO

UBICACION: ILO – ILO – MOQUEGUA

FECHA: 02/05/2022

Anexo 14: Plano esquemático de zona experimental

DISEÑO DE ZONA DE EXPERIMENTACION – VIVERO



MATERIALES:

- ESTRUCTURA METALICA
- MANGUERA CON GOTERO
- MACETEROS
- PLANTA Solanum peruvianum
- MALLA RASCHEL
- BANCOS DE MADERA

LEYENDA:

Unidad de experimentacion (planta)

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOESTABILIZADORA DE Solanum peruvianum L. EN SUELOS CONTAMINADOS CON COBRE, PLOMO Y CADMIO, MOQUEGUA, 2019

TESISTA: SONIA TERESA MEDINA BELTRAN

UBICACION: Urb. Luis E valcarcel MZ 26 Lt 12

CONTENIDO:

PLANO ESQUEMATICO DE ZONA EXPERIMENTAL

UBICACION:
ILO – ILO – MOQUEGUA

FECHA:
02/05/2022

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos	: Sonia Teresa del Pilar Medina Beltrán
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N°	: 72450771
Correo electrónico	: smedinab24@gmail.com
Teléfono/Celular	: 961062200

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOESTABILIZADORA DE *Solanum peruvianum* L. EN SUELOS CONTAMINADOS CON COBRE, PLOMO Y CADMIO, MOQUEGUA, 2019.
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.00
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Rodolfo Rafael Sanchez Valencia
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 29381281
c) ORCID : 0000-0001-8492-9113

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72450771
NOMBRES Y APELLIDOS : Sonia Teresa del Pilar Medina Beltrán

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(__X__) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 72450771

NOMBRES Y APELLIDOS : Sonia Teresa del Pilar Medina Beltrán

FECHA : 05 - 08 - 2022

