

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Fitorremediación de suelo contaminado con plomo mediante
las especies “beta vulgaris” y “brassica rapa” con enmiendas
orgánicas**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Carlos Daniel Zafra Sánchez
Flores Tique Jean Pierre

Asesor:

Mag. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, agosto del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Ing. Joel Hugo Fernandez Rojas, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Fitorremediación de suelo contaminado con plomo mediante las especies “beta vulgaris” y “brassica rapa” con enmiendas orgánicas”** de los Bachiller(es) (Carlos Daniel, Zafra Sánchez y Jean Pierre, Flores Tique) tiene un índice de similitud 14% verificable en el informe Turnitin y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 15 días del mes de agosto del año 2023.



Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 08 días día(s) del mes de agosto del año 2023 siendo las 10:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez** y el **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo**, y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Fitorremediación de suelo contaminado con plomo mediante las especies "beta vulgaris" y "brassica rapa" con enmiendas orgánicas"

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) **JEAN PIERRE FLORES TIQUE**

.....b) **CARLOS DANIEL ZAFRA SÁNCHEZ**.....

.....c)

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **JEAN PIERRE FLORES TIQUE**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	19	A	Excelente	Excelencia

Candidato (b): **CARLOS DANIEL ZAFRA SÁNCHEZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	19	A	Excelente	Excelencia

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)/(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Pérez Carpio

Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro
Mg. Iliana Del Carmen
Gutiérrez Rodríguez

Miembro
Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Candidato/a (a)
Jean Pierre

Candidato/a (b)
Carlos Daniel

Candidato/a (c)

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por guiarnos, darnos sabiduría y permitirnos alcanzar uno de nuestros sueños profesionales.

Asimismo, damos gracias a cada uno de nuestros familiares (padres, madres y hermanos) quienes fueron el soporte incondicional durante toda la etapa universitaria.

Finalmente, agradecemos el asesoramiento del Mg. Joel Hugo Fernández, quien a largo del proceso nos brindó su apoyo, paciencia y conocimientos.

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados y Discusiones	7
4. Conclusiones	17
5. Referencias	18
6. Anexos.....	21
6.1. Evidencia de Sumisión del Artículo.....	21
6.2. Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis	23

Fitorremediación de suelo contaminado con plomo mediante las especies “beta vulgaris” y “brassica rapa” con enmiendas orgánicas

Zafra Sánchez Carlos Daniel¹, Flores Tique Jean Pierre¹, Fernández Hugo²

Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

Resumen

El plomo es un metal no biodegradable, que afecta gravemente a la salud humana, perjudica al suelo y el crecimiento de las plantas, siendo así una problemática mundial. El presente estudio tuvo como objetivo fitorremediar suelo contaminado con plomo mediante las especies Beta Vulgaris (Acelga) y Brassica rapa (Pak Choi) con enmiendas orgánicas. Para ello se empleó suelo agrícola de plantaciones de lúcuma, cuyo contenido de plomo fue de 367.88 ppm superando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo. Se implementaron 6 tratamientos, siendo dos de ellos testigos, distribuidos de la siguiente manera: (T1) Suelo contaminado y Acelga, (T2) Suelo contaminado con humus y Acelga, (T3) Suelo contaminado con compost y Acelga; siendo las mismas características para los 3 tratamientos siguientes para el Pak Choi. El análisis estadístico realizado fue el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones por tratamiento. Los resultados confirmaron que se logró la fitorremediación a través de la estabilización del metal en el suelo, siendo el más efectivo el tratamiento con compost, debido a los parámetros que influyeron como el pH (7.37), materia orgánica (10.50 %) y NPK (0.52, 10.50 y 147.36) a comparación de los tratamientos con humus y la muestra testigo; asimismo a los 56 días se realizó un análisis foliar donde no se encontró diferencias en la acumulación de plomo (<0.3 ppm) en raíz y hojas. Se concluye que la incorporación de enmiendas orgánicas mejora las condiciones del suelo y evita que el Pb se encuentre disponible.

Palabras clave: *Acelga, Contaminación de suelo, Enmiendas, Estabilización, Pak Choi, Plomo.*

Abstract

Lead is a non-biodegradable metal, which seriously affects human health, harms the soil and plant growth, thus being a global problem. The objective of this study was to phytoremediate soil contaminated with lead by means of Beta Vulgaris (Chard) and Brassica rapa (Pak Choi) species with organic amendments. For this, agricultural soil from lucuma plantations was used, whose lead content was 367.88 ppm, exceeding the Environmental Quality Standard (ECA) for the soil. 6 treatments were implemented, two of them being controls, distributed as follows: (T1) Contaminated soil and Swiss Chard, (T2) Soil contaminated with humus and Swiss Chard, (T3) Soil contaminated with compost and Swiss Chard; being the same characteristics for the 3 following treatments for the Pak Choi. The statistical analysis carried out was the completely randomized block design (DBCA) with three repetitions per treatment. The results confirmed that phytoremediation was achieved through the stabilization of the metal in the soil, being the most effective treatment with compost, due to the parameters that influenced such as pH (7.37), organic matter (10.50 %) and NPK (0.52, 10.50 and 147.36) compared to the treatments with humus and the control sample; Likewise, at 56 days, a foliar analysis was carried out where no differences were found in the accumulation of lead (<0.3 ppm) in roots and leaves. It is concluded that the incorporation of organic amendments improves soil conditions and prevents Pb from being available.

Keywords: *Chard, Soil contamination, Amendments, Stabilization, Pak Choi, Lead.*

1. Introducción

Hoy en día, la contaminación de suelos por metales pesados es considerado un dilema y preocupación mundial; la existencia de metales pesados ha sido asociado a actividades industriales, mineras, fundiciones, y afloramientos minerales que son principalmente por origen antropogénico (Zhang et al., 2019) (Rodríguez et al., 2019).

O'Connor et al., (2019) mencionan que el cadmio (Cd), el plomo (Pb), el níquel (Ni) y el mercurio (Hg) son contaminantes más recurrentes en suelo alrededor del mundo, originando problemas de toxicidad, perjudicando el metabolismo y crecimiento de las plantas que ingresan a la cadena alimenticia mediante la absorción, generando reducción en la productividad de los cultivos (Rodríguez et al., 2019) (Hamid et al., 2018).

Por otro lado, Hamid et al., (2018) sostienen que el plomo es un metal no biodegradable, que por su elevada toxicidad afecta a la salud del ser humano. Sun et al., (2021) remarcan que las vías de exposición incluyen la inhalación, la absorción dérmica y la ingestión de polvo de suelos contaminados con Pb, que a su vez provoca problemas físicos y mentales como: el deterioro de la memoria, tiempos de reacción prolongados y capacidad de comprensión reducida. Además, puede llegar a causar retrasos en el desarrollo, deficiencia en el aprendizaje, así como problemas renales y cardiovasculares (Bhat et al., 2022).

En las últimas 4 décadas, las costas peruanas se han visto sometidas a una fuerte presión de contaminación por metales pesados que ha afectado los ecosistemas (Ibárcena, 2019). Mientras tanto, en las zonas altoandinas del Perú es escasa la investigación sobre los impactos socioeconómicos negativos que generan daños irreversibles en la flora, fauna y componentes ambientales (Correa et al., 2021).

Desde el enfoque de la fitorremediación, los investigadores sostienen que la remediación de metales pesados *in situ* es económica y respetuosa con el medio ambiente, sumado a que, las enmiendas orgánicas y aditivos favorecen junto a agentes microbianos en la extracción de los metales pesados del suelo (Rathika et al., 2021).

En ese contexto, Wei et al., (2020) verificaron que las enmiendas orgánicas promueven la remoción de metales pesados del suelo al afectar la adsorción, complejación, reducción y volatilización de los metales. Por ello, se requiere conocer la biología de las plantas para aplicar especies que permitan restaurar de manera efectiva un área contaminada, de modo que transformen los contaminantes orgánicos en sustancias que no presenten toxicidad.

Por tanto, Gul et al., (2020) brindan un aporte señalando que la fitorremediación es considerada como ecológica, factible, técnica económicamente viable, estéticamente agradable y de alta aceptabilidad para el medio ambiente.

Tal como indican Ashraf et al., (2019), los mecanismos de remediación se basan en dos principios, el primero corresponde a la eliminación completa de contaminantes, mientras que el segundo es la transformación de contaminantes en formas menos dañinas o en la estabilización del metal.

Actualmente, se vienen realizando estudios sobre el impacto favorable de la fitorremediación en suelo. Por lo tanto, se planteó los siguientes objetivos: fitorremediar suelo contaminado con plomo mediante las especies "Beta vulgaris" y "Brassica rapa" con enmiendas orgánicas; analizar los parámetros físico-químicos como el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y carbonatos de calcio (CaCo₃) en los sistemas experimentales; realizar el análisis foliar de las dos especies de hortalizas en relación a la concentración de plomo; evaluar el crecimiento de las hortalizas con tratamientos orgánicos para la remoción de plomo.

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del lugar de estudio

La etapa de muestreo se desarrolló en el área de “Los Lúcumos” de la Universidad Peruana Unión, posterior a ello, los tratamientos a escala piloto se dispusieron en un ambiente acondicionado, localizado en el distrito Lurigancho, Chosica. La investigación se realizó durante los meses de febrero a abril, donde dicho período presentó un clima cálido (soleado) con una temperatura promedio de 23.71 °C., humedad de 73.19 %, y lluvias variadas, de moderadas a fuertes.

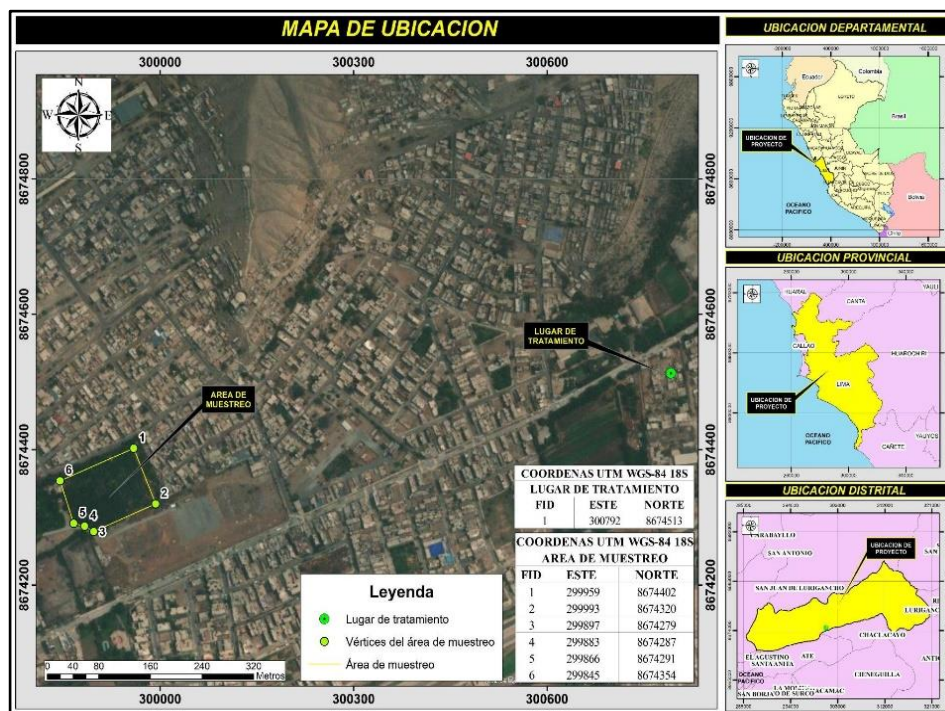


Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto (Arcgis 10.8, 2023).

2.2. Materiales biológicos

Las semillas de Acelga (*Beta vulgaris*) y Pak Choi (*Brassica rapa*), se adquirieron en un mercado local, mientras que, las enmiendas orgánicas en el campo de producción de la Universidad Nacional Agraria La Molina (en adelante, **UNALM**), bajo las siguientes características:

Tabla 1. Composiciones físicas de enmiendas orgánicas.

Tipo de enmienda	Composición
Compost vegetal	Rastrojo vegetal o residuos de poda (hojas y ramas secas de árboles) y desechos orgánicos.
Humus de lombriz	Obtenido de la digestión de lombrices, alimentadas por la mezcla de materia orgánica, de animales y vegetales.

2.3. Metodología

2.3.1. Análisis en área de estudio

Para la toma de muestras se utilizó la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente, la cual proporcionó las pautas necesarias para determinar la técnica adecuada y puntos de

muestreo, según se detalla a continuación:

1. Empleando el muestreo aleatorio, se extrajeron 9 muestras de suelo. Posteriormente, se aplicó el cuarteo con el fin de obtener una muestra representativa de un (1) kg, con el fin de realizar los análisis de los parámetros fisicoquímicos.
2. Asimismo, considerando que el uso del suelo es agrícola, se aplicó una profundidad de muestreo de 40 cm, posterior a haber retirado hojas, desechos y otros elementos dentro de la primera capa de 5 cm.
3. Finalmente, se tomaron 45 kg de suelo obtenidos de los 9 puntos de muestreo.



Figura 2. Muestreo del área de estudio y cuarteo de la muestra representativa.

2.3.2. Instalación de Tratamientos

1. Se empleó 6 bandejas con la diferencia que en las 3 primeras se sembró la Acelga y en las otras 3 el Pak Choi; la distribución fue la siguiente: (T1) 12.5 kg de suelo contaminado, (T2) 12.5 kg de suelo contaminado + 12.5 kg de humus, y (T3) 12.5 kg de suelo contaminado + 12.5 kg de compost.
2. Al principio, se depositó el suelo contaminado y luego se incorporó la enmienda orgánica, realizándose la respectiva homogeneización para cada tratamiento. Luego, se perforó 9 orificios para la salida del agua de riego.
3. Posteriormente, se sembraron 3 plantas de Acelga y 3 plantas de Pak Choi.



Figura 3. Tratamientos instalados para la investigación.

2.3.3. Descripción metodológica de análisis fisicoquímico

Se realizó un análisis de suelo preliminar (día 0), donde se consideró: pH, materia orgánica (M.O.), conductividad eléctrica (C.E.), N, P y K, carbonatos de calcio (CaCO_3) y plomo. Posteriormente, a los 41 y 56 días se analizaron nuevamente los 7 parámetros mencionados, siendo el plomo comparado con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) según Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Las muestras extraídas en cada periodo indicado fueron trasladadas al Laboratorio de la Estación Experimental del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de la UNALM, que empleó métodos de acuerdo con el Manual de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal para obtener los resultados analíticos.

Tabla 2. Metodologías de ensayo para análisis de suelo.

Parámetro	Método de ensayo
pH	Se utilizó la normativa ISO 10390 y EPA
Materia Orgánica	Método de Walkey y Black
Conductividad	Se utilizó el conductímetro
Nitrógeno (N)	Método de Kjeldahl
Fósforo (P)	Método de Olsen
Potasio (K)	La lectura se realizó en el extracto de acetato de amonio.
Carbonatos de Calcio (CaCO ₃)	Se definió la ausencia o presencia de carbonatos, usando ácido clorhídrico.
Plomo (Pb) Suelo	Método de Espectrofotometría de Absorción Atómica, según el EPA 3050.
Plomo (Pb) Análisis foliar	Los métodos fueron: digestión ácida o calcinación por vía húmeda y seca.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3. Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

Parámetro	ECA	Unidad
Plomo	70	ppm

Fuente: ECA para Suelo - Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

2.3.4. Análisis foliar

Culminado el periodo experimental, se retiró una planta de cada tratamiento y fueron llevadas al Laboratorio de la UNALM, para determinar la acumulación de plomo en raíces y hojas de las dos hortalizas usadas en el estudio. Además, para realizar una comparación del desarrollo de las plantas en los tratamientos, se midió la altura de cada plántula con una cinta métrica.

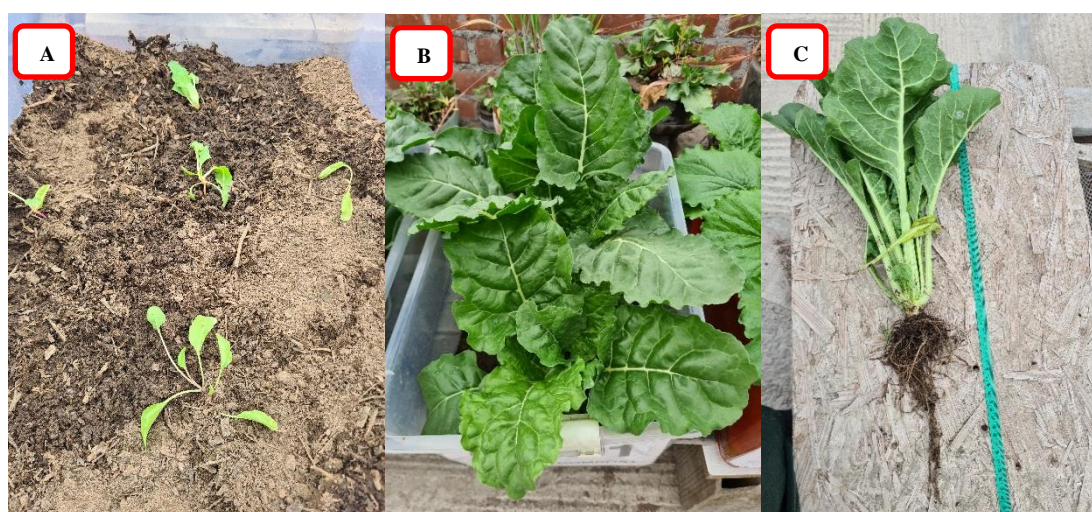


Figura 4. A) Día 0 - Acelga en tratamiento con compost; B) Día 41 - Acelga en tratamiento con compost; C) Día 56 - Acelga extraída del tratamiento con compost para posterior análisis foliar.

2.3.5. Análisis estadístico

Todos los datos fueron procesados con Microsoft Excel y RStudio; el análisis de datos se realizó mediante el diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones. En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de los datos para aplicar el ANOVA considerando los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianza, luego se realizó la comparación múltiple de los parámetros estudiados de los seis tratamientos y los días evaluados aplicando el test de Fisher o LSD a fin de conocer diferencia significativa.

3. Resultados y Discusiones

3.1. Caracterización del sustrato suelo

Las características del sustrato suelo se muestran en la **Tabla 4**, la cual presenta una conductividad eléctrica de 1.67 dS/m, pH de 7.04 y la materia orgánica fue de 3.79 %. Por otro lado, el nitrógeno fue de 0.17 %; fósforo con 61.09 ppm y potasio con 762.6 ppm. Respecto al carbonato de calcio la cantidad fue de 0.8%, mientras que, el contenido de Pb fue de 367.88 ppm, el cual superó el ECA para suelo.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del suelo.

Características	Unidad	Valor	Referencia UNALM	
			Valor	Lectura
Conductividad eléctrica	dS/m	1.67	< 2	Muy ligeramente salino
pH	-	7.04	6.6 – 7.3	Neutro
Materia orgánica	%	3.79	2 – 4	Clase media
Nitrógeno	%	0.17	-	-
Fósforo	ppm	61.09	> 14	Clase alta
Potasio	ppm	762.6	> 240	Clase alta
Carbonato de calcio	%	0.8	< 1	Clase baja
Plomo	ppm	367.88	-	-

Fuente: Análisis del LASMAF de la UNALM.

L. Wang et al., (2020) confirman que los sustratos con metales pesados generalmente carecen de nutrientes como N, P y K, por eso es necesario que se les agregue fertilizantes nitrogenados y fosfatados, como el compost y humus. Asimismo, Delgadillo et al., (2011) y Kushwaha et al., (2018) coinciden que los factores externos influyen en la biodisponibilidad o inmovilización del metal que existe en el suelo, siendo el pH, materia orgánica, minerales arcillosos, enmiendas orgánicas, capacidad de intercambio catiónico, contenidos de carbonato (Romero et al., 2015) y concentración del Pb total (Yan et al., 2017).

3.2. Conductividad eléctrica (C.E.)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo no tuvieron un efecto significativo en el valor final de la C.E. ya que su p-value = 0.06307, por otro lado, en el análisis respecto a los días del experimento se evidenció que hubo un efecto significativo al tener un p-value = 0.00284.

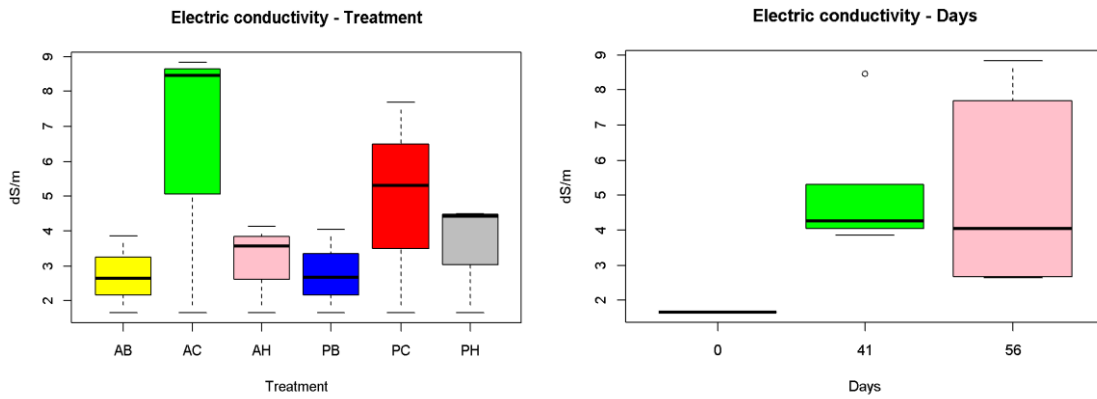


Figura 5. Resultados de bloque de la Conductividad eléctrica por tratamiento y días.

Además, se efectuó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk obteniendo un $p\text{-value} = 0.8243$, mientras que, la prueba de homocedasticidad mostró un $p\text{-value} = 0.60727$, cumplidos estos requisitos se realizó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un $MSE = 2.00664$, indicando que los tratamientos AC y PC son estadísticamente semejantes, de la misma manera los tratamientos PC, PH, AH, PB y AB guardan semejanza en los resultados de la conductividad eléctrica. Con respecto a la relación de las unidades de C.E., se demostró que al inició se tuvo una baja concentración y que al transcurrir de los días se incrementó progresivamente en el suelo.

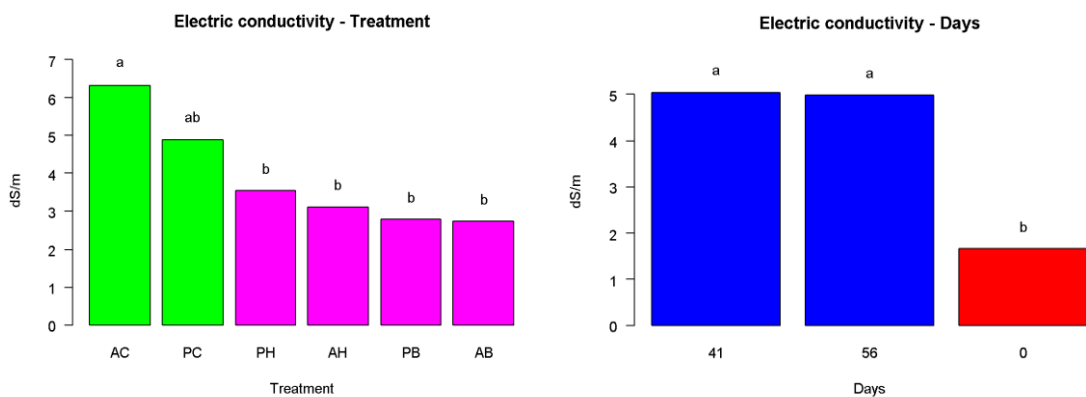


Figura 6. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación.

Los resultados del día 0 se encontraron con una C.E. de 1.67 dS/m, la variación se fue dando en un rango de 3.88 a 8.83 dS/m según cada tratamiento como los días de la investigación, ante ello, Bhuiyan et al., (2016) enfatizan que la concentración de la salinidad en el sustrato dificulta el proceso de fitorremediación, como también afecta el desarrollo de las plantas al inhibir la absorción de agua del suelo, aumentando así el estrés osmótico.

3.3. Potencial de Hidrógeno

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo no tuvieron un efecto significativo en el pH ya que su $p\text{-value} = 0.122732$, asimismo, para los días del experimento mostró que los tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo al tener un $p\text{-value} = 0.000144$.

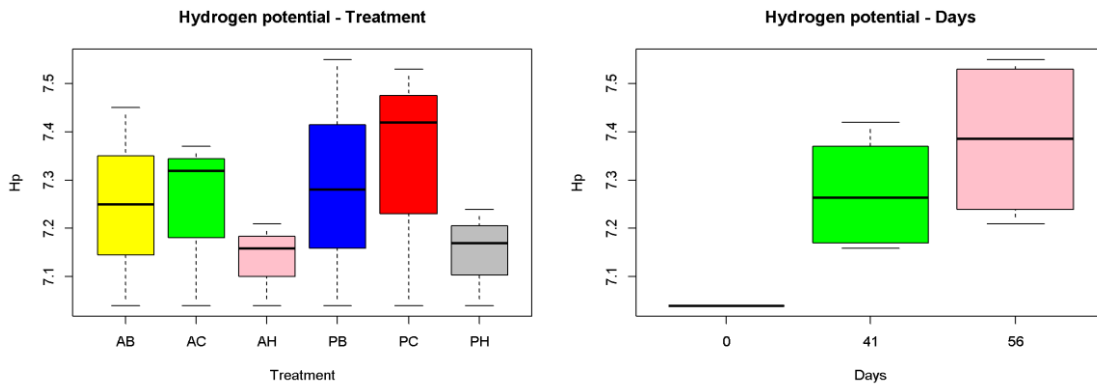


Figura 7. Resultados de bloque del pH por tratamiento y días.

Además, se hizo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk obteniéndose un p-value de 0.1319, mientras que, la prueba de homocedasticidad que mostró un p-value de 0.98847, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un MSE = 0.007592222, indicando que el potencial de hidrógeno (pH) en los tratamientos PC, PB, AB y AC son estadísticamente semejantes entre sí y de la misma manera los tratamientos PH y AH muestran una semejanza. Asimismo, en relación al pH se inició la investigación con una cantidad de 7.04, el cual con el transcurrir de los días, incrementó ligeramente en el suelo.

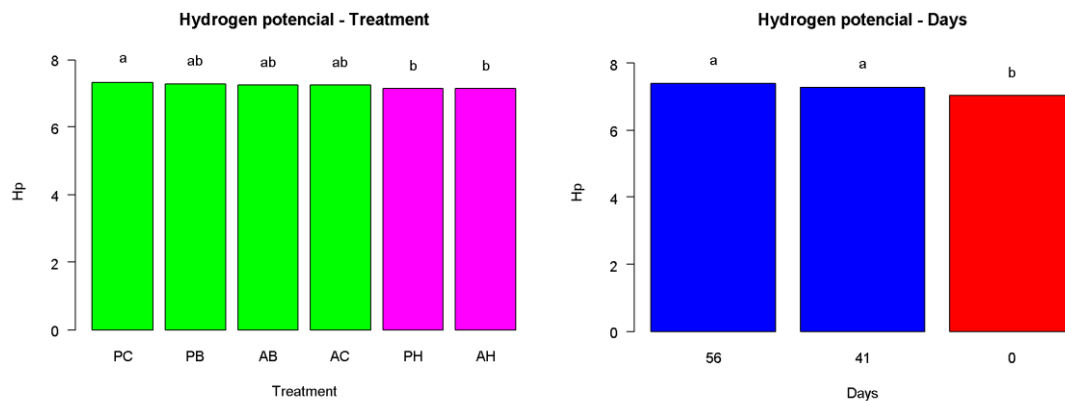


Figura 8. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del pH.

A partir de los resultados, los cuales indicaron que el pH se mantuvo en un rango favorable, se determinó que la incorporación de enmiendas orgánicas fue la influyó en la estabilización del metal en el suelo. Según sostienen Baruah et al., (2020), el pH se considera un factor crítico y regulador de la movilidad y disponibilidad del metal, por lo que, optar por un pH neutro o alcalino beneficia la estabilización de metales como el plomo, a través de procesos, como la sorción del metal en sitios negativos, la precipitación de metales como óxidos, hidróxidos, fosfatos y carbonatos.

Sumado a ello, este parámetro generalmente controla la absorción y retención de metales pesados por las plantas (F. Wang et al., 2020). Tal es así que, puede contribuir en el crecimiento de las mismas al generar disponibilidad de nutrientes, mientras los valores fluctúen entre neutro a ligeramente ácido (Tang et al., 2019).

En definitiva, los resultados son respaldados con el aporte de Solano & Marisol, (2019) quienes señalan que, para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo, el pH es un factor importante.

3.4. Materia Orgánica (M.O.)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo en la materia orgánica teniendo un p-value = 0.03462, asimismo, para los días del experimento mostró que los tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo, al tener un p-value = 0.00429.

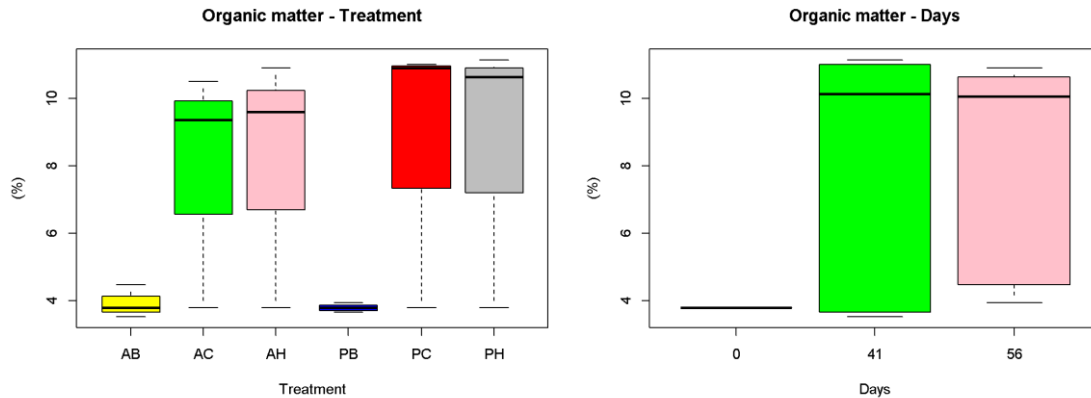


Figura 9. Resultados de bloque de la materia orgánica por tratamiento y días.

Por otro lado, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un p-value = 0.08319, mientras que, la prueba de homocedasticidad también mostró un p-value = 0.8302, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un MSE = 4.145066, indicando que los tratamientos PC, PH, AH y AC son estadísticamente semejantes en la M.O.; en tanto, los tratamientos AB y PB, mantienen semejanza entre sí. Asimismo, al inicio del experimento se tuvo un porcentaje de 3.79 %, el cual con el transcurrir de los días, incrementó notablemente en el suelo.

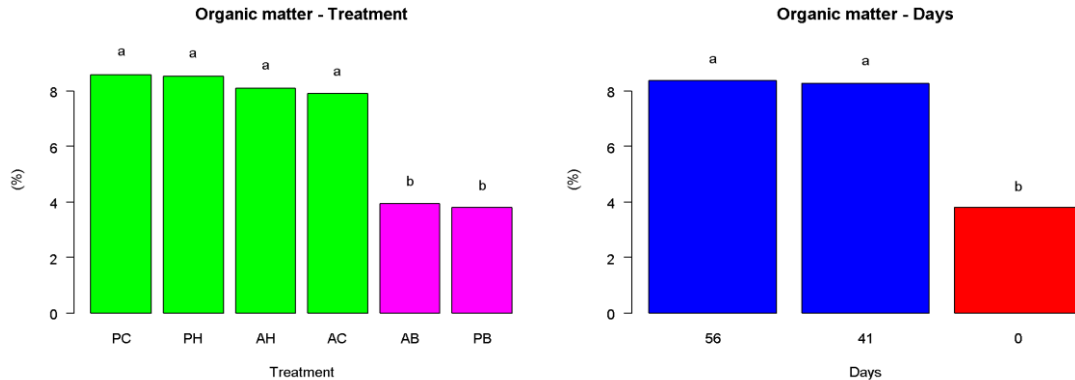


Figura 10. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación de la materia orgánica.

Estudios coinciden que el factor más influyente en la calidad del suelo y su productividad es la materia orgánica. Sobre ello, en la investigación se halló un incremento de la materia orgánica en los días de tratamiento, así como en los experimentos que contienen donde se incorporaron las enmiendas; de acuerdo con Solano & Marisol, (2019), el incremento de la materia orgánica es un indicador que favorecerá al desarrollo de la planta.

García et al., (2002) encontraron que cuando el sustrato presenta concentraciones altas de materia orgánica, los metales no se mueven en la superficie ni a una profundidad de 10 cm debajo del borde del suelo, esto sugiere que las plantas de los cultivos tienen dificultades para absorber los metales a través de las raíces. El plomo se absorbe fuertemente en la M.O. del suelo y contribuye principalmente a la inmovilización, por quelación con ácidos húmicos o fúlvicos (Seki et al., 1990).

3.5. Nitrógeno (N)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo en el nitrógeno al tener un $p\text{-value} = 0.03414$. Asimismo, en cuanto a los días del experimento, mostró que los tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo, ya que su $p\text{-value} = 0.00194$.

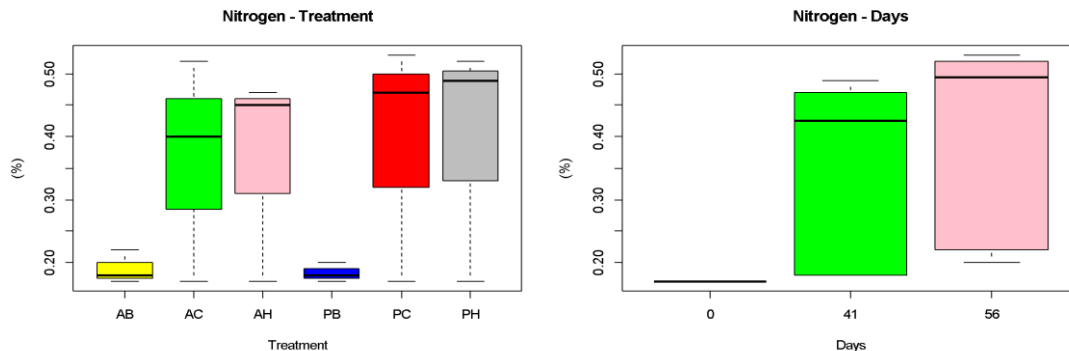


Figura 11. Resultados de bloque del nitrógeno por tratamiento y días.

Por otro lado, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un $p\text{-value} = 0.0692$, mientras que, la prueba de homocedasticidad también mostró un $p\text{-value} = 0.8231$, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un $MSE = 0.007772222$, indicando que los tratamientos PH, PC, AC y AH son estadísticamente semejantes en la concentración de nitrógeno; en tanto, los tratamientos AB y PB, mantienen semejanza entre sí. Asimismo, en relación con los días de la investigación, se reveló al inicio un porcentaje de 0.17 %, el cual con el transcurrir de los días, incrementó notablemente en el suelo.

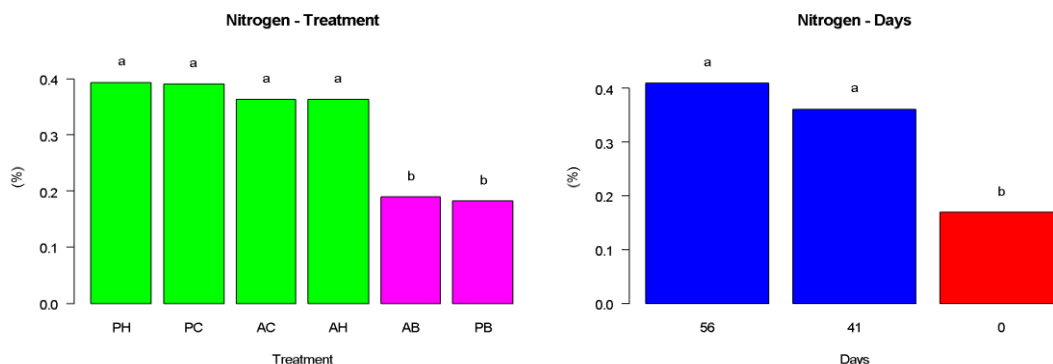


Figura 12. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del nitrógeno.

De acuerdo con S. Wang et al., (2022), el nitrógeno tiene mayor impacto en la disponibilidad de elementos pesados, a causa de que es un nutriente esencial que favorece el desarrollo de las plantas, no obstante, también puede alterar la biodisponibilidad afectando la absorción de metales pesados por las plantas, es decir que, el exceso de fertilizante con N, puede aumentar la actividad de los metales, provocando efectos tóxicos en las plantas e inhibiendo su crecimiento.

3.6. Fósforo (P)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo en la concentración de fósforo, ya que su $p\text{-value} = 0.03373$, de igual manera, en el análisis respecto a los días del experimento, se evidenció un efecto significativo, al tener un $p\text{-value} = 0.00248$.

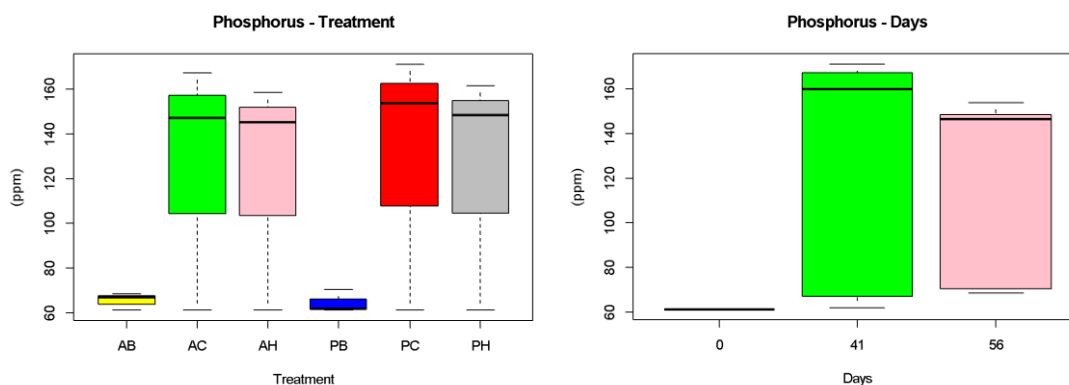


Figura 13. Resultados de bloque del fósforo por tratamiento y días.

Por otro lado, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un p-value = 0.1319, mientras que, la prueba de homocedasticidad mostró un p-value = 0.777, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un MSE = 756.3327, indicando que los tratamientos PC, AC, PH y AH son semejantes entre sí en la concentración de fósforo; en tanto, los tratamientos AB y PB mantienen semejanza entre sí. Asimismo, en relación a los días de la investigación, se reveló al inicio una concentración de 61.09 ppm, el cual con el transcurrir los días incrementó notablemente en el suelo.

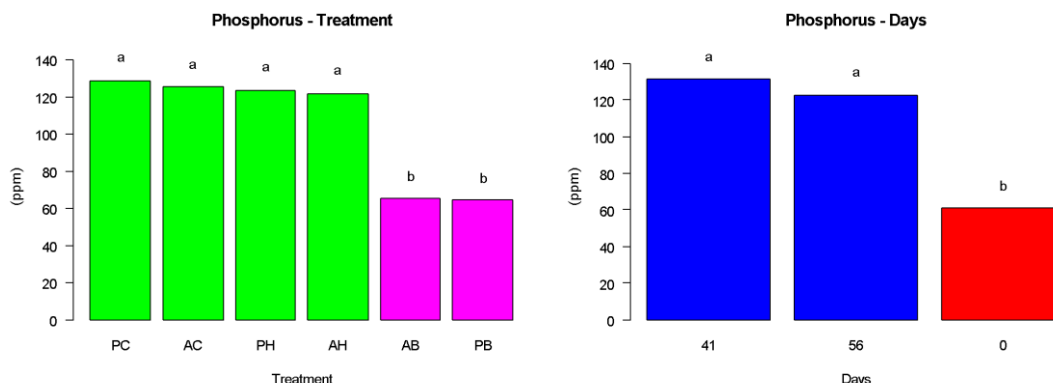


Figura 14. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del fósforo.

En contraste al estudio llevado a cabo por Liu et al., (2019) se encontró que la adición de compost puede aumentar el desarrollo de una especie de hortaliza, y con ello mejorar el efecto nutritivo en el suelo, mediante la disponibilidad de fósforo y la tasa de migración, debido a la alta competencia entre ligandos orgánicos y fosfatos.

Adicionalmente, los compuestos de fosfato estabilizan elementos traza en el suelo, a través de la absorción directa (Mahar et al., 2015). Incluso, la precipitación como fosfatos metálicos ha demostrado ser uno de los principales mecanismos de inmovilización de Pb y Cd en suelos (Bolan et al., 2014). De igual modo, (Hettiarachchi et al., 2000) y (Prieto et al., 2009) avalan que el Pb en suelos contaminados puede ser inhibido mediante la aplicación de fósforo y óxidos de magnesio.

3.7. Potasio (K)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo tuvieron un efecto significativo en la concentración de potasio, ya que su p-value = 0.0378, de igual manera, en el análisis respecto a los días del experimento, se evidenció un efecto significativo al tener un p-value = 0.0440.

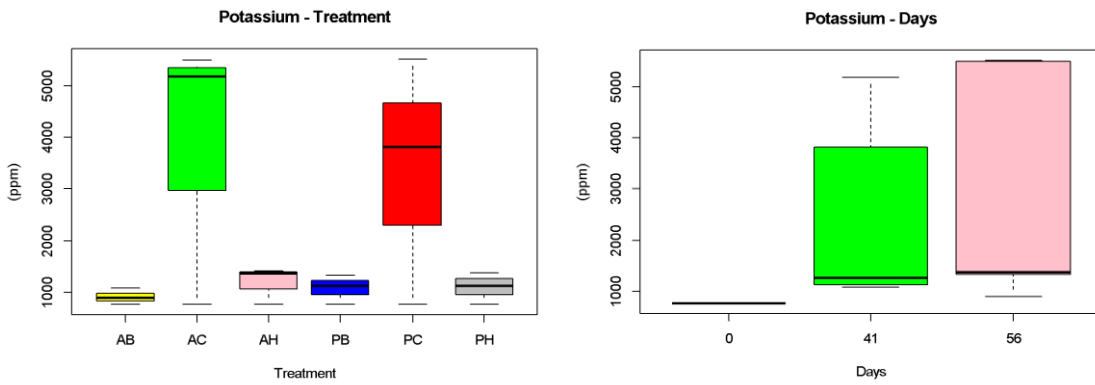


Figura 15. Resultados de bloque del potasio (K) por tratamiento y días.

Por otro lado, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un p-value = 0.2713, mientras que, la prueba de homocedasticidad mostró un p-value = 0.3673.8, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un MSE = 1405973, indicando que los tratamientos AC y PC son estadísticamente semejantes; en tanto, los tratamientos AH, PH, PB y AB, mantienen semejanza entre sí. Asimismo, en relación a los días de la investigación, se reveló al inicio una concentración de 762.600 ppm, el cual con el transcurrir de los días, incrementó notablemente en el suelo.

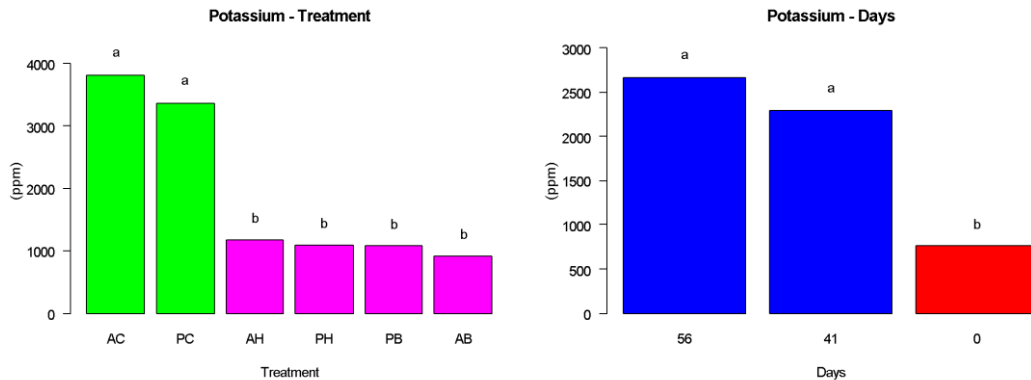


Figura 16. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del potasio.

3.8. Carbonatos de Calcio (CaCO_3)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos aplicados en el suelo no tuvieron un efecto significativo en el porcentaje de carbonatos de calcio (CaCO_3) ya que su p-value = 0.1634, de igual manera, en el análisis respecto a los días del experimento, se evidenció que no tuvieron un efecto significativo al tener un p-value = 0.0707.

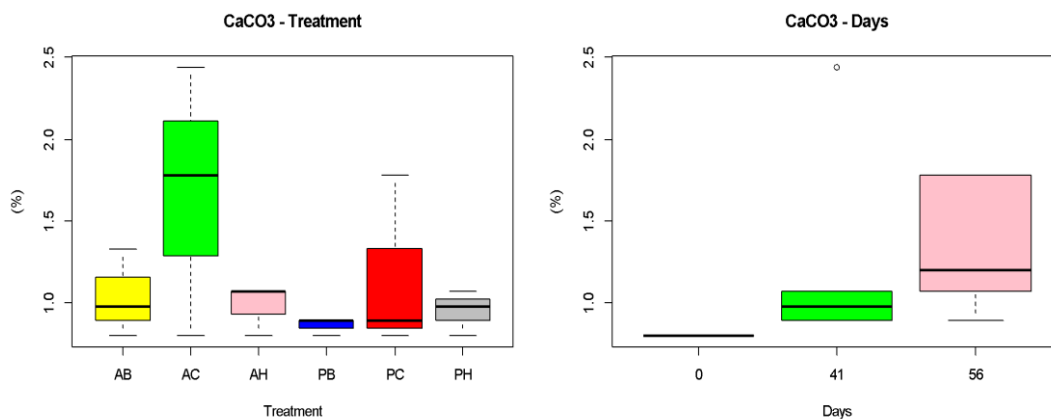


Figura 17. Resultados de bloque del Carbonato de Calcio (CaCO_3) por tratamiento y días.

Por otro lado, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un p-value = 0.4849, mientras que, la prueba de homocedasticidad mostró un p-value de 0.1792, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher, obteniendo un MSE = 0.1286589, indicando que los tratamientos AC, PC y AB son estadísticamente semejantes en el porcentaje de carbonatos de calcio; en tanto, los tratamientos AH, PH y PB, mantienen semejanza entre sí. Asimismo, en relación a los días de la investigación, se reveló al inicio un porcentaje de 0.80, el cual con el transcurrir de los días incrementó progresivamente en el suelo.

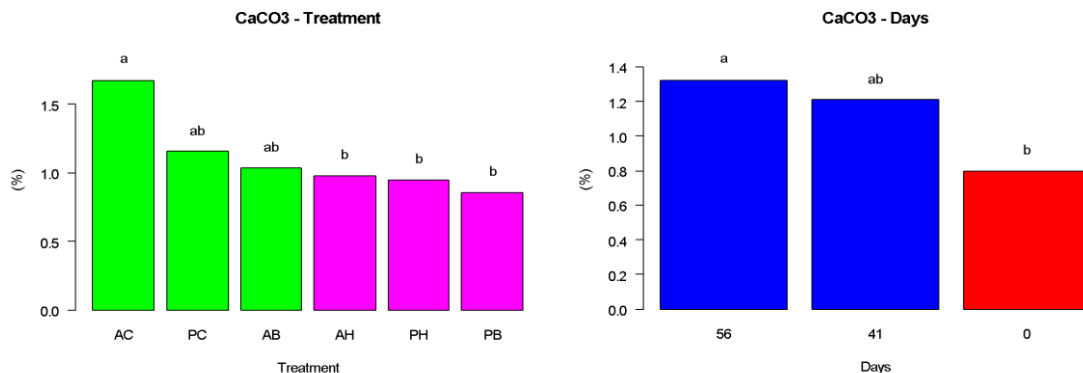


Figura 18. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del Carbonato de Calcio (CaCO₃).

Al respecto, Romero et al., (2015) realizaron su investigación a diferentes toxicidades de plomo, enfatizando que los suelos no carbonatados mostraron una mayor toxicidad a comparación de los suelos con mayor porcentaje de CaCO₃; concluyendo que las principales propiedades del suelo que afectaron la biodisponibilidad y toxicidad del Pb en nuestros suelos de prueba fueron el pH y el contenido de carbonato. Conjuntamente González et al., (2003) corroboran que altas concentraciones de CaCO₃ pueden producir mecanismos de adsorción, promoviendo la nucleación heterogénea de carbonatos de metales pesados y evitando la contaminación del suelo.

3.9. Plomo (Pb)

El análisis de varianza (ANOVA), mostró que los seis tratamientos, tuvieron un efecto significativo en la concentración de plomo total en el suelo, ya que su p-value = 0.04330, de igual manera, en el análisis respecto a los días del experimento, se evidenció un efecto significativo al tener un p-value = 0.00229.

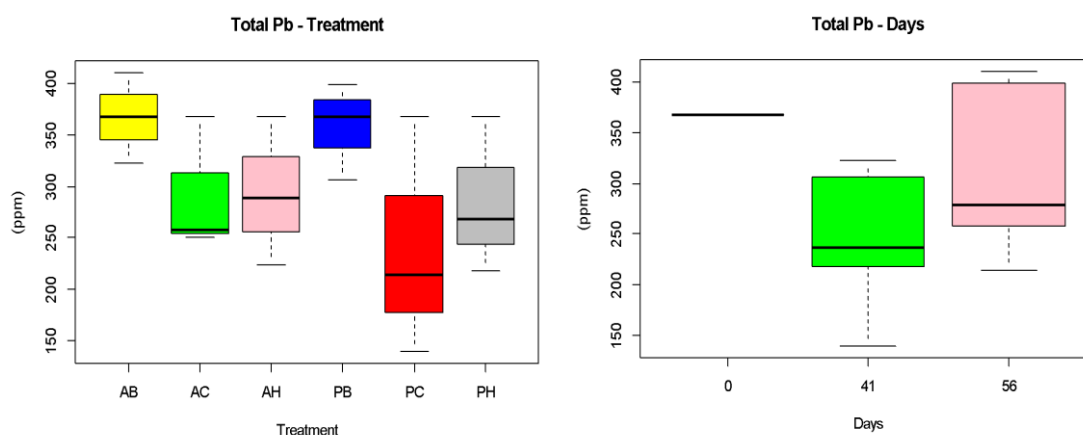


Figura 19. Resultados de bloque del Plomo (Pb) por tratamiento y días.

Además, se hizo la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk la cual obtuvo un p-value = 0.9479, mientras que, la prueba de homocedasticidad mostró un p-value = 0.11807, cumplidos estos requisitos se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de LSD de Fisher obteniendo un MSE

= 1955.635, indicando que el tratamiento PC, ha sido el tratamiento con menor concentración de plomo y a su vez este tratamiento es semejante al tratamiento PH, es decir, se ha removido mayor cantidad en comparación con los otros 5 tratamientos trabajados. Por su parte, los tratamientos AH, AC y PH al mostrar semejanza entre sí, indican que removieron una cantidad menor al PC; finalmente, los tratamientos AB y PB son aquellos, donde existió menor remoción de plomo en el suelo. Asimismo, en la relación a los días del experimento, se reveló al inicio una concentración de 367.88 ppm, lo cual al transcurrir 41 días de tratamiento la concentración de plomo disminuyó; sin embargo, a los 56 días incrementó en el suelo.

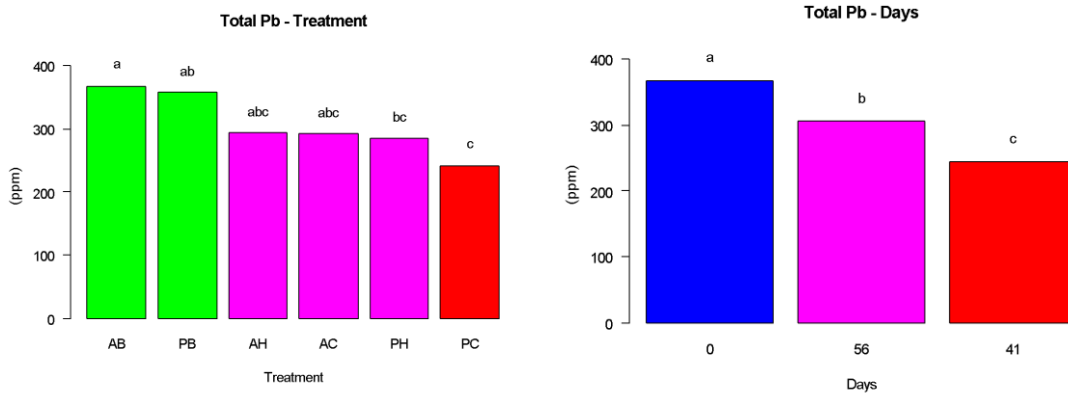
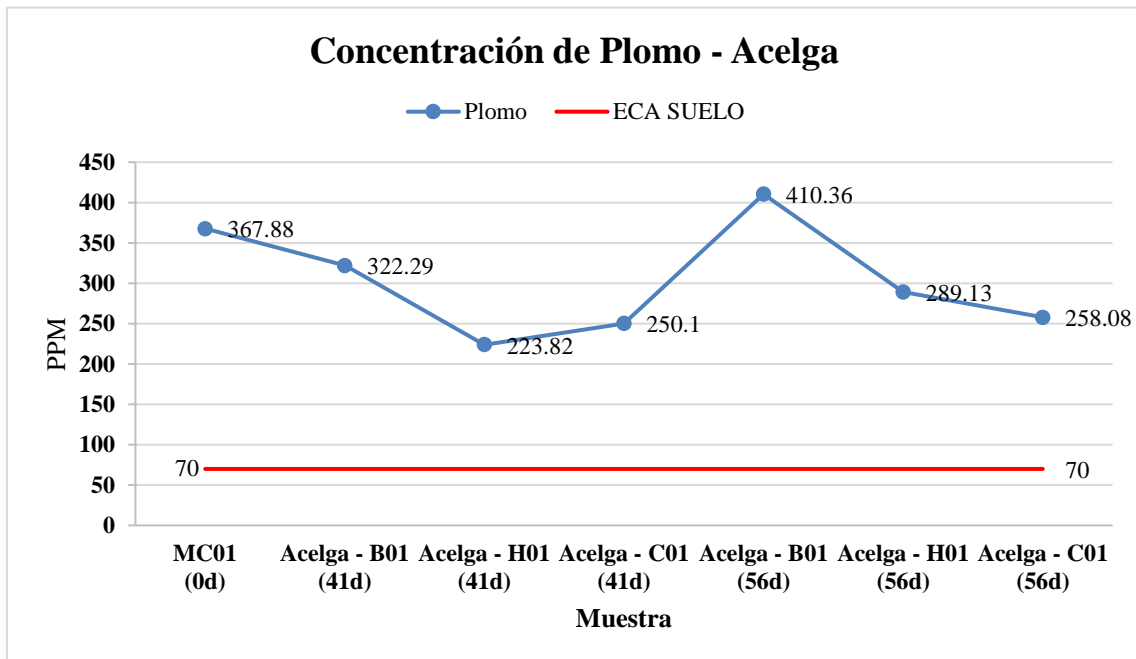


Figura 20. LSD de FISHER para los tratamientos y días de investigación del Plomo (Pb).

La asociación entre los parámetros del suelo con el plomo permitió coincidir con lo expresado por Awasthi et al., (2015) quienes señalan que la riqueza de nutrientes esenciales y la posible descomposición de la materia orgánica en un suelo degradado, mejora significativamente el estado del suelo al reducir la movilidad de los metales, debido a los minerales, ácidos orgánicos y microbios que tienen contribución para promover la estabilización de metales pesados. En ese sentido, la razón por la cual el Pak Choi a los 41 días removió mayor cantidad de plomo en el tratamiento con compost, se debe a su apropiada capacidad de acumular Pb solo en sus raíces; sin embargo, esta planta también tiene un patrón de crecimiento deficiente debido a la concentración de plomo que puede existir en el suelo, es por ello que, a los 56 días del tratamiento expulsó el metal al suelo (Arnold et al., 2020).

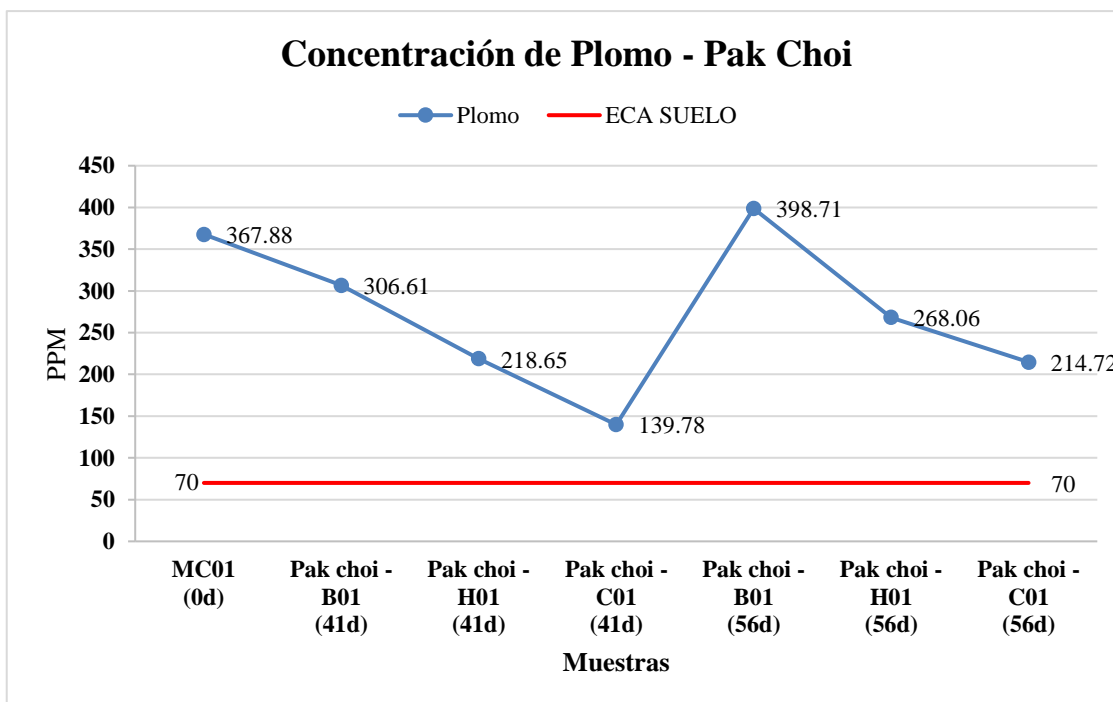


Asimismo, Karami et al., (2011) confirman en su investigación que la eficacia del compost inducido por residuos verdes afecta la fitodisponibilidad de metales como Cu y Pb en tejidos vegetales; es decir, que la incorporación de compost reduce la toxicidad del Pb, al dificultar la

absorción en los tejidos vegetales de las plantas.

Por otro lado, los resultados revelaron que el compost fue la enmienda orgánica que favoreció en el tratamiento del suelo contaminado con plomo, a ello Bashir et al., (2021), afirman que la movilidad de los metales en los suelos puede reducirse mediante enmiendas orgánicas, dentro de ese grupo aparece el compost, que puede disminuir la translocación del metal a la planta, en este caso, tal como ocurrió con la Acelga y Pak Choi. En síntesis, el compost tiene un papel potencial como biosorbente para asimilar metales pesados.

Finalmente, las concentraciones a los 56 días en cada uno de los tratamientos superaron al Estándar de Calidad Ambiental de Suelo establecido por el Ministerio del Ambiente.



3.10. Análisis de foliar

Tabla N° 5. Resultados del análisis en foliar de las plantas empleadas en los tratamientos.

Planta	Tratamiento	Órgano	Resultado	Unidad
Acelga	T1 – T2 – T3	Raíz	< 0.3	ppm
		Hojas	< 0.3	ppm
Pak Choi	T1 – T2 – T3	Raíz	< 0.3	ppm
		Hojas	< 0.3	ppm

Ali & Nas, (2018) mencionan que la biomasa vegetal también puede ser restringida por altas dosis de exposición al plomo, debido a que se someten a severas condiciones de estrés por toxicidad, haciendo que las plantas presenten síntomas evidentes de inhibición en su crecimiento, con menos hojas, más pequeñas y quebradizas; en efecto, cuando el Pb al entrar en contacto con las raíces de una planta fitorremediadora, es captado inmediatamente y transportado a través del xilema a los órganos vegetativos y reproductivos, alterando procesos de síntesis de DNA, mitosis, división celular y germinación, y por ende, afectando drásticamente el crecimiento de la hortaliza. Sumado a ello, Guzmán, (2013) en su investigación descubrió que el efecto negativo también puede producirse en las concentraciones excesivas del metal, el cual puede tener sobre la producción de materia fresca y seca; además, asumen que puede deberse a la relación entre la cantidad de metales translocados a las partes de la planta, que disminuye al aumentar la concentración del plomo, este hecho puede estar vinculado posiblemente a la reducción del transporte del metal que se da desde la raíz hasta la parte aérea.

Un argumento a favor es que la acelga presenta una capacidad de absorción al Pb a través de las

células de sus hojas y que, mediante el lavado de la lluvia, puede acumularse nuevamente en el suelo (Romero et al., 2015).

A esto, H. Ali et al., (2013) advierten que existen factores que pueden afectar la fitorremediación, desde variaciones de temperatura, nutrientes, precipitaciones y humedad, patógenos de plantas, distribución desigual de contaminantes, tipo de suelo, pH y estructura del suelo.

Liu et al., (2018) y Tajudin et al., (2016) alegan que la inmovilización química que consiste en atrapar o inmovilizar contaminantes del suelo, no consigue eliminarlos ni extraerlos, en cambio la movilidad y solubilidad de los metales pesados se reducen drásticamente, minimizando su transporte potencial a plantas, microorganismos y agua. La densidad de plantas puede influir fuertemente en la eficiencia de la remediación al afectar el desarrollo de las plantas y la producción de biomasa (Bani et al., 2015).

Tabla N° 6. Reporte de crecimiento de hortalizas al día 56 de la investigación.

Planta	Órgano	Tratamiento	Longitud (cm)
Acelga	Raíz	T1	12
	Hojas	T1	43
	Raíz	T2	21.5
	Hojas	T2	38
	Raíz	T3	17
	Hojas	T3	48
Pak Choi	Raíz	T1	11.5
	Hojas	T1	42.5
	Raíz	T2	9.3
	Hojas	T2	40.6
	Raíz	T3	9.6
	Hojas	T3	48.9

4. Conclusiones

Se concluye que las hortalizas “Beta vulgaris” y “Brassica rapa” fitorremediaron el suelo contaminado con plomo mediante la estabilización del metal debido a la incorporación de enmiendas orgánicas que favorecieron a las propiedades fisicoquímicas del suelo: pH, materia orgánica y nitrógeno, siendo el tratamiento con compost el más efectivo para lograr la estabilización del plomo en el suelo, especialmente el Pak Choi que fue el que realizó la mayor fitorremediación. Asimismo, del análisis foliar realizado a las dos especies, se obtuvo concentraciones menores a 0.3 ppm en los órganos de cada planta (raíz y hojas); por otro lado, respecto al crecimiento, ambas plantas que fueron sembradas en el tratamiento con compost, presentaron valores de 65 cm para la Acelga y de 57.15 cm para el Pak Choi que, a comparación de los otros tratamientos, las plantas demostraron mayor desarrollo. Finalmente, se podría asumir que los factores externos (tipo de riego y condiciones meteorológicas) y uso de enmiendas orgánicas, influyeron en la investigación.

5. Referencias

- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. In *Chemosphere* (Vol. 91, Issue 7, pp. 869–881). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Ali, M., & Nas, F. S. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: a review. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 3(4). <https://doi.org/10.15406/mojes.2018.03.00098>
- Arnold, G. L., Vladut, N. V., Voicea, I., Vanghele, N. A., & Pruteanu, M. A. (2020). Removal of heavy metals from a contaminated soil using phytoremediation. *MATEC Web of Conferences*, 305, 00061. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030500061>
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z. A., Ashraf, S., & Asghar, H. N. (2019). Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 174, 714–727. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
- Awasthi, M. K., Pandey, A. K., Bundela, P. S., & Khan, J. (2015). Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. *Bioresource Technology*, 182, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.104>
- Bani, A., Echevarria, G., Zhang, X., Benizri, E., Laubie, B., Morel, J. L., & Simonnot, M. O. (2015). The effect of plant density in nickel-phytomining field experiments with *Alyssum murale* in Albania. *Australian Journal of Botany*, 63(2), 72–77. <https://doi.org/10.1071/BT14285>
- Baruah, N., Gogoi, N., & Farooq, M. (2020). Influence of biochar and organic soil amendments on bioavailability and immobilization of copper and lead to common cocklebur in acidic sandy loam soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104480>
- Bashir, S., Bashir, S., Gulshan, A. B., Khan, M. J., Iqbal, J., Sherani, J., Husain, A., Ahmed, N., Shah, A. N., Bukhari, M. A., Alotaibi, S. S., El-Shehawi, A. M., & Diao, Z. H. (2021). The role of different organic amendments to improve maize growth in wastewater irrigated soil. *Journal of King Saud University - Science*, 33(7). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101583>
- Bhat, S., Bashir, O., Ul, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- Bhuiyan, M. S. I., Raman, A., & Hodgkins, D. S. (2016). Plants in remediating salinity-Affected agricultural landscapes. In *Proceedings of the Indian National Science Academy* (Vol. 83, Issue 1, pp. 1–16). Indian National Science Academy. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2016/48857>
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, M. B., & Scheckel, K. (2014). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141–166. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>
- Correa, O., Fuentes, F., & Coral, R. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuena agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 87(1), 26–38. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231023>
- García, C., Moreno, J. L., Hernández, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 125–138.
- González, C., López, A., Moreno, L., Martín, D. C., & López, G. (2003). *Estudio de la influencia de los suelos contaminados por metales pesados en las aguas naturales**. 451–477.

- https://bibliotecavirtual.ranf.com/es/catalogo_imagenes/grupo.do?path=6025870
- Gul, I., Manzoor, M., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2020). Enhanced phytoremediation of lead by soil applied organic and inorganic amendments: Pb phytoavailability, accumulation and metal recovery. *Chemosphere*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127405>
- Guzmán, B. A. (2013). *Capacidad Bioacumuladora de plomo, a diferentes concentraciones, en raíz, tallo y hoja de Taraxacum officinale en condiciones de laboratorio*. 51–60.
- Hamid, Y., Tang, L., Wang, X., Hussain, B., Yaseen, M., Aziz, M. Z., & Yang, X. (2018). Immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field using inorganic and organic additives. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35881-8>
- Hettiarachchi, G. M., Pierzynski, G. M., & Ransom, M. D. (2000). In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide. *Environmental Science and Technology*, 34(21), 4614–4619. <https://doi.org/10.1021/es001228p>
- Ibárcena, W. (2019). *Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna - Perú*. 113–118.
- Karami, N., Clemente, R., Moreno-Jiménez, E., Lepp, N. W., & Beesley, L. (2011). Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*, 191(1–3), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.04.025>
- Kushwaha, A., Hans, N., Kumar, S., & Rani, R. (2018). A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 147, pp. 1035–1045). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.049>
- Liu, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. In *Science of the Total Environment* (Vol. 633, pp. 206–219). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Liu, L., Wang, S., Guo, X., & Wang, H. (2019). Comparison of the effects of different maturity composts on soil nutrient, plant growth and heavy metal mobility in the contaminated soil. *Journal of Environmental Management*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109525>
- Mahar, A., Wang, P., Li, R., & Zhang, Z. (2015). Immobilization of Lead and Cadmium in Contaminated Soil Using Amendments: A Review. *Pedosphere*, 25(4), 555–568. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30036-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30036-9)
- O'Connor, D., Zheng, X., Hou, D., Shen, Z., Li, G., Miao, G., O'Connell, S., & Guo, M. (2019). Phytoremediation: Climate change resilience and sustainability assessment at a coastal brownfield redevelopment. *Environment International*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104945>
- Prieto, M. J., González, R. C., Román, G. A., & Prieto, G. F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Rathika, R., Srinivasan, P., Alkahtani, J., Al-Humaid, L. A., Alwahibi, M. S., Mythili, R., & Selvakumar, T. (2021). Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by Brassica juncea. *Chemosphere*, 271, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129513>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta* (FAO).
- Romero, A., Martin, F. J., & van Gestel, C. A. M. (2015). Effect of soil properties on the toxicity of Pb: Assessment of the appropriateness of guideline values. *Journal of Hazardous Materials*, 289, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.02.034>
- Seki, H., Suzuki, A., & Kashiki, I. (1990). Adsorption of Lead Ions on Immobilized Humic Acid. *Colloid and Interface Science*, 134(1).
- Solano, G., & Marisol, L. (2019). *Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (Medicago sativa) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro*.
- Sun, L., Ng, J. C., Tang, W., Zhang, H., Zhao, Y., & Shu, L. (2021). Assessment of human

- health risk due to lead in urban park soils using in vitro methods. *Chemosphere*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128714>
- Tajudin, S. A. A., Azmi, M. A. M., & Nabila, A. T. A. (2016). Stabilization/Solidification Remediation Method for Contaminated Soil: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 136(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/136/1/012043>
- Tang, L., Hamid, Y., Zehra, A., Sahito, Z. A., He, Z., Hussain, B., Gurajala, H. K., & Yang, X. (2019). Characterization of fava bean (*Vicia faba* L.) genotypes for phytoremediation of cadmium and lead co-contaminated soils coupled with agro-production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.083>
- Wang, F., Zhang, S., Cheng, P., Zhang, S., & Sun, Y. (2020). Effects of soil amendments on heavy metal immobilization and accumulation by maize grown in a multiple-metal-contaminated soil and their potential for safe crop production. *Toxics*, 8(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/toxics8040102>
- Wang, L., Hou, D., Shen, Z., Zhu, J., Jia, X., Ok, Y. S., Tack, F. M. G., & Rinklebe, J. (2020). Field trials of phytomining and phytoremediation: A critical review of influencing factors and effects of additives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(24), 2724–2774. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1705724>
- Wang, S., Niu, X., Di, D., & Huang, D. (2022). Nitrogen and sulfur fertilizers promote the absorption of lead and cadmium with *Salix integra* Thunb. by increasing the bioavailability of heavy metals and regulating rhizosphere microbes. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.945847>
- Wei, Z., Van Le, Q., Peng, W., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., Lam, S. S., & Sonne, C. (2020). A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658>
- Yan, K., Dong, Z., Wijayawardena, M. A. A., Liu, Y., Naidu, R., & Semple, K. (2017). Measurement of soil lead bioavailability and influence of soil types and properties: A review. In *Chemosphere* (Vol. 184, pp. 27–42). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.143>
- Zhang, Q., Yu, R., Fu, S., Wu, Z., Chen, H. Y. H., & Liu, H. (2019). Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36582-y>

6. Anexos

6.1. Evidencia de Sumisión del Artículo

em Environmental Advances Está compartiendo la pantalla Dejar de compartir Orlando Poma Hablando:

Home Main Menu Submit a Manuscript About Help

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Results per page 10

Action	Manuscript Number	Title	Date Submission Began	Status Date	Current Status	Accept Ethics in Publishing?
		Phytoremediation of soil contaminated with lead through the species "beta vulgaris" and "brassica rapa" with organic amendments	Aug 09, 2023	Aug 10, 2023	Building PDF	<input checked="" type="checkbox"/> I accept

em Environmental Advances Está compartiendo la pantalla Dejar de compartir

Home Main Menu Submit a Manuscript About Help

Change Item Type of all Choose files to Choose Change Now Check All Clear All

Order	Item	Description	File Name	Size	Last Modified	Actions	Select
1	*Declaration of Interest Statement	Declaration of Interest Statement	declaration-of-competing-interests (1).docx	18.1 KB	Aug 09, 2023	Download	<input type="checkbox"/>
2	*Manuscript	Manuscript	Phytoremediation of soil contaminated with lead.docx	7.6 MB	Aug 10, 2023	Download	<input type="checkbox"/>
3	*Author Contributions Statement	Author Contributions Statement	Author contribution statement.docx	11.7 KB	Aug 09, 2023	Download	<input type="checkbox"/>

Update File Order Remove Check All Clear All

← Back Proceed →

The order in which the attached items appear is the order established by this publication. You may re-order any items of the same type manually if necessary.

If you are submitting a manuscript because of an Article Transfer Offer to this journal:

- Upload the Response to Reviewers file under the submission item 'Detailed Response to Reviewers'.
- Upload the manuscript file with changes marked (based on the reviewer's comments) under the submission item 'Revised Manuscript with Changes Marked'.

Change Item Type of all files to Check All Clear All

Order	Item	Description	File Name	Last Size	Modified	Actions	Select
1	*Manuscript	Manuscript	Phytoremediation of soil contaminated with lead.docx	7.6 MB	Aug 09, 2023	Download	<input type="checkbox"/>

Check All Clear All



When possible these fields will be populated with information collected from your uploaded submission file. Steps requiring review will be marked with a warning icon. Please review these fields to be sure we found the correct information and fill in any missing details.

Insert Special Character

Title

Full Title (required)

Limit 300 characters Character Count: 127

✂ 📄 📁 📁 📁 ⬅ ➡ 🔍 🔗 📄 🗑

B **I** **U** **S** **x²** **x₂** **I_x** 🌐 💬 Ω Styles

Phytoremediation of soil contaminated with lead through the species "beta vulgaris" and "brassica rapa" with organic amendments

Action <input type="button" value="+"/>	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
Action Links	ENVADV-D-23-00411	Phytoremediation of soil contaminated with lead through the species "beta vulgaris" and "brassica rapa" with organic amendments	Aug 10, 2023	Aug 10, 2023	Manuscript Submitted

6.2. Resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 1040-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 25 de octubre de 2022

VISTO:

El expediente de **Jean Pierre Flores Tique**, identificado(a) con Código Universitario N° 201520720 y **Carlos Daniel Zafra Sánchez**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610913, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Jean Pierre Flores Tique** y **Carlos Daniel Zafra Sánchez**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante las especies "betas vulgaris" y brassica rapa" en su integración con enmiendas orgánicas" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 25 de octubre de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante las especies "betas vulgaris" y brassica rapa" en su integración con enmiendas orgánicas"** y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** como **ASESOR** y **Coasesora: Gina Marita Tito Tolentino** para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo** y **Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo