

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



Una Institución Adventista

Inmovilización de plomo por biochar y microorganismos benéficos (MOBs) de suelos agrícolas contaminados de San Mateo – Huarochirí

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Noemi Luz Carranza Gallardo
Claudia Beatriz Rejano García

Asesor:

Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, agosto de 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Ing. Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Inmovilización de plomo por biochar y microorganismos benéficos (MOBs) de suelos agrícolas contaminados de San Mateo – Huarochirí”** constituye la memoria que presenta las Bachilleres Noemi Luz Carranza Gallardo y Claudia Beatriz Rejano García para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 26 días del mes de agosto del año 2022.



Nombres y apellidos del asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 26 días día(s) del mes de agosto del año 2022 siendo las 8:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, y los demás miembros: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo** e **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Inmovilización de plomo por biochar y Microorganismos benéficos (mobs) de suelos agrícolas contaminados de San Mateo – Huarochiri",

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **CLAUDIA BEATRIZ REJANO GARCIA**

.....b) **NOEMI LUZ CARRANZA GALLARDO**

.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): **CLAUDIA BEATRIZ REJANO GARCIA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A -	Muy bueno	sobresaliente


Candidato (b): **NOEMI LUZ CARRANZA GALLARDO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A -	Muy bueno	sobresaliente

(*) 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. Milda Amparo
Cruz Huaranga



Secretario
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas

Miembro
Ing. Cesar Asbel
Aranda Castillo

Miembro
Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Candidato/a (a)
Claudia Beatriz
Rejano Garcia

Candidato/a (b)
Noemi Luz Carranza
Gallardo

Inmovilización de plomo por biochar y microorganismos benéficos (MOBs) de suelos agrícolas contaminados de San Mateo – Huarochirí

Carranza Gallardo, Noemi Luz; Rejano García, Claudia Beatriz; Fernández Rojas, Joel Hugo

RESUMEN

Los suelos destinados a cultivos vienen siendo afectados por actividades antropogénicas llegando a presentar alto grado de degradación, siendo los metales pesados uno de los principales contaminantes. La aplicación de técnicas de remediación ecoamigables se consolida como una propuesta eficiente, por ello el propósito de esta investigación es evaluar la inmovilización de plomo (Pb) por biochar y microorganismos benéficos (MOBs) de suelos agrícolas contaminados. Se utilizó restos vegetales de molle seco para la producción de biochar mediante pirólisis lenta y se obtuvieron los MOBs de una muestra biológica, estos fueron agregados a las macetas con suelo contaminado con Pb, el tratamiento duró 90 días. Los resultados obtenidos evidencian un porcentaje de inmovilización mayor al 90% en la muestra blanca y la muestra con menor concentración de Pb inicial en el suelo (C1) para ambos tratamientos, además, todas las concentraciones obtuvieron un promedio mayor al 50% de inmovilización. Asimismo, se sembraron lechugas para comprobar la movilidad del metal, y las concentraciones más altas obtuvieron mejor escenario con 5.5% de absorción de Pb por parte las lechugas para el biochar y 11.5% para MOBs. Se concluye que tanto el biochar como los MOBs pueden lograr inmovilizar el plomo, teniendo mejores resultados en concentraciones bajas.

Palabras Clave: Metal Pesado, enmiendas Orgánicas, lechuga

ABSTRACT

The soils destined for cultivation have been affected by anthropogenic activities, presenting a high degree of degradation, with heavy metals being one of the main contaminants. The application of eco-friendly remediation techniques is consolidated as an efficient proposal, therefore the purpose of this research is to evaluate the immobilization of lead by biochar and beneficial microorganisms (MOBs) from contaminated agricultural soils. Dry plant remains were used for the production of biochar by slow pyrolysis and beneficial microorganisms were obtained from a biological sample, these were added to the pots with soil contaminated with Pb, the treatment lasted 90 days. The results obtained show an immobilization percentage greater than 90% in the white sample (WS) and the sample with the lowest initial Pb concentration in the soil (C1) for both treatments, in addition, all concentrations obtained an average greater than 50% immobilization. Likewise, lettuces were planted to check the mobility of the metal, and the highest concentrations obtained a better scenario with 5.5% Pb absorption by lettuces for biochar and 11.5% for MOBs. It is concluded that both biochar and MOBs can immobilize lead, having better results at low concentrations.

Index Words: Heavy Metals, organic Amendments, lettuce

INTRODUCCIÓN

La calidad y salud del suelo se determinan por sus propiedades y procesos para utilizarlos como bioindicadores, además de su capacidad para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y promover el crecimiento de las plantas y salud animal (Bünemann et al., 2018).

Según FAO y ITPS (2015) se considera que un suelo está contaminado cuando hay presencia de sustancias químicas en concentraciones superiores a las tolerables, las cuales tienen efectos adversos sobre cualquier organismo no objetivo. Las principales fuentes de contaminación del suelo son antropogénicas, causadas por la minería, las industrias, y crecimiento poblacional, provocando la alteración de sus propiedades, siendo los metales pesados uno de los contaminantes más resaltantes, puesto que, tienen la capacidad de acumularse en diferentes organismos, por su baja biodegradabilidad (A. Cardona, Cabañas, y Zepeda, 2013) y alto grado de toxicidad biológica (Su, Jiang y Zhang, 2014; Tomassoni, Ferreira, Samways, Carpinsk y Da Silveira, 2014; Kasassi et al., 2008), esto representa una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

La alteración del suelo por actividades mineras, se debe a una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción por el incremento de microelementos, los cuales afectan negativamente el número, diversidad y actividad de los organismos y por consecuencia, la calidad de suelo (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006). Entre los metales más tóxicos se encuentra el Pb, debido a que el tamaño de sus partículas pueden ser suspendidas, transportadas por el viento (Astete et al., 2009) depositadas en el suelo, y ser movilizados mediante mecanismos químicos y biológicos, llegando a contaminar los suelos agrícolas (Madueño, 2017); según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2007) los suelos contaminados pueden ser remediados mediante diversos métodos, clasificándose de acuerdo al lugar en que se realice el

proceso, la estrategia y tipo de tratamiento. Uno de estos tratamientos es la inmovilización o aislamiento del contaminante, el cual es estabilizado con el uso de otros métodos fisicoquímicos y biológicos para degradar, transformar o remover los contaminantes (INECC, 2007).

La inmovilización de Pb en el suelo mediante el biochar y microorganismos benéficos, es una solución potencial porque no implican una alteración en el medio local (Chávez, 2014). El biochar está vinculado a la producción energética de biomasa, lo que favorece a la reutilización de residuos y en consecuencia, la reducción de emisiones de CO₂, consolidándose como una técnica de descontaminación in situ respetuosa con el medio ambiente (Álvarez, 2019). Los MOBs están compuestos por bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp*), bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas spp*), levaduras (*Saccharomyces spp*) y hongos de fermentación (*Aspergillus oryzae*), que presentan relaciones sinérgicas, de cooperación y co-metabolismo al pertenecer al mismo ecosistema, resultando ser benéficos para incrementar la diversidad microbiana de los suelos y las plantas (Tintin, 2018; Higa & Parr, 2019), logrando inmovilizar los metales pesados presentes en el suelo (Álvarez, 2019).

El objetivo de este artículo es evaluar la inmovilización de Plomo por biochar y MOBs de suelos agrícolas contaminados en San Mateo – Huarochirí.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de las muestras de suelo se obtuvo de tres puntos del distrito de San Mateo de Huánchor de la provincia de Huarochirí, lugar donde la actividad minera es muy arraigada.

Tabla 1: Puntos de recolección de muestras

Puntos	Puntos de muestreo San Mateo - Huarochirí	
	Coordenadas	
	Este	Sur
1	357793.1	8698289.2
2	357934.53	8698783.97
3	357868.09	8698729.91

Procedimiento

Adquisición y preparación del biochar

La técnica utilizada para la producción del biochar fue la pirólisis lenta a base de residuos vegetales de molle seco (Tripathi, Sahu, & Ganesan, 2016). El biochar obtenido fue molido y tamizado para obtener partículas más finas (De la Cruz, 2018; Sun et al., 2013).

Activación de MOBs

Para la producción de MOBs se utilizó un procedimiento que cuenta con dos fases, la primera consta de la selección de MOBs en base a una muestra biológica de chancaca, hígado de pollo y col fresca, la segunda trata de la recuperación de los MOBs luego de que la muestra sea incubada con el inóculo madre (Cabello, Alegría, Cobeña, & García, 2017),

Preparación de Muestras y Tratamiento

Se utilizó 3 kilos de suelo por cada macetero donde se agregó el 15% del peso del suelo en biochar al inicio de la investigación, y se aplicó 250 mililitros de MOBs de manera interdiaria con agua destilada, los resultados obtenidos después de 90 días se compararon con las muestras testigo que contaron con un mínimo de concentración de Pb. Igualmente, se realizaron 3 repeticiones por cada concentración de Pb en el suelo inicial: blanco, concentración baja (C1), media (C2) y alta (C3).

Análisis Estadístico

El diseño experimental que se utilizó es el Diseño de Bloques Completamente al Azar, como se muestra a continuación:

Tabla 2: Diseño Experimental de la Investigación

Tratamiento	Concentración de Pb (mg/kg)	REPETICIONES		
		Lechuga 1	Lechuga 2	Lechuga 3
Biochar	C1 (116.004)			
	C2 (388.76)			
	C3 (505)			
	Blanco (65.047)			
MOBs	C1 (116.004)			
	C2 (388.76)			
	C3 (505)			
	Blanco (65.047)			

RESULTADOS

Evaluación de la composición fisicoquímica del biochar

Tabla 3: Resultados de la composición de biochar a partir de residuos vegetales

pH	Relación C/N	Ceniza (%)
11.03	5.48	2.7

Los resultados del análisis del biochar muestran que es de apariencia carbonosa, de estado sólido, color negro cenizo, su pH es de 11.03 determinándose como alcalino, y la relación de C/N es de 5.48.

Evaluación de la composición fisicoquímica del suelo

Los resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos del suelo con el tratamiento de biochar se muestran en la tabla 4, el suelo pre tratado es levemente ácido teniendo un mínimo aumento después del tratamiento. En el material orgánico hubo una disminución para todas las muestras. Respecto al nitrógeno, la muestra blanca y las concentraciones C1, C2, C3 se mantuvieron cerca del valor inicial. En el porcentaje de fósforo, solo la concentración C1 tuvo una disminución relevante a comparación de las otras, y respecto al potasio, los valores aumentaron en la muestra blanca, C2 y C3, mientras que la C1 disminuyó.

Tabla 4: Resultados de los parámetros fisicoquímicos realizados al suelo contaminado con Pb y suelo con adición de biochar

Suelo con Tratamiento (Biochar)										
Suelo	pH		MO (%)		N (%)		P (ppm)		K (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Codificación										
blanco	6.8	7	18.74	10.76	0.58	0.49	746.2	734.4	5300	7820
blanco	6.85	6.95	18.74	9.31	0.585	0.49	723.85	708.95	5300	7820
blanco	6.9	6.9	18.74	7.86	0.59	0.49	701.5	683.5	5700	7760
c1	6	7.8	11.76	9.28	0.63	0.61	611.9	129.1	2800	1890
c1	6	7.5	11.76	9.54	0.63	0.64	611.9	68.8	2800	1820
c1	6	7.1	11.76	9.02	0.63	0.64	611.9	75.2	2800	1710
c2	6.5	7	6.57	6.9	0.38	0.46	156.7	96.7	548	910
c2	6.5	8.5	6.57	6.32	0.38	0.38	156.7	109.9	548	850
c2	6.5	7.5	6.57	5.86	0.38	0.41	156.7	160.1	548	1020
c3	6.1	8	2.82	3.61	0.18	0.23	97.5	60.2	391	602
c3	6.1	7.1	2.82	3.74	0.18	0.24	97.5	82	391	680
c3	6.1	7	2.82	4.12	0.18	0.33	97.5	69.6	391	798

En la figura 1 se muestra la variación de los parámetros analizados con el tratamiento de Biochar.

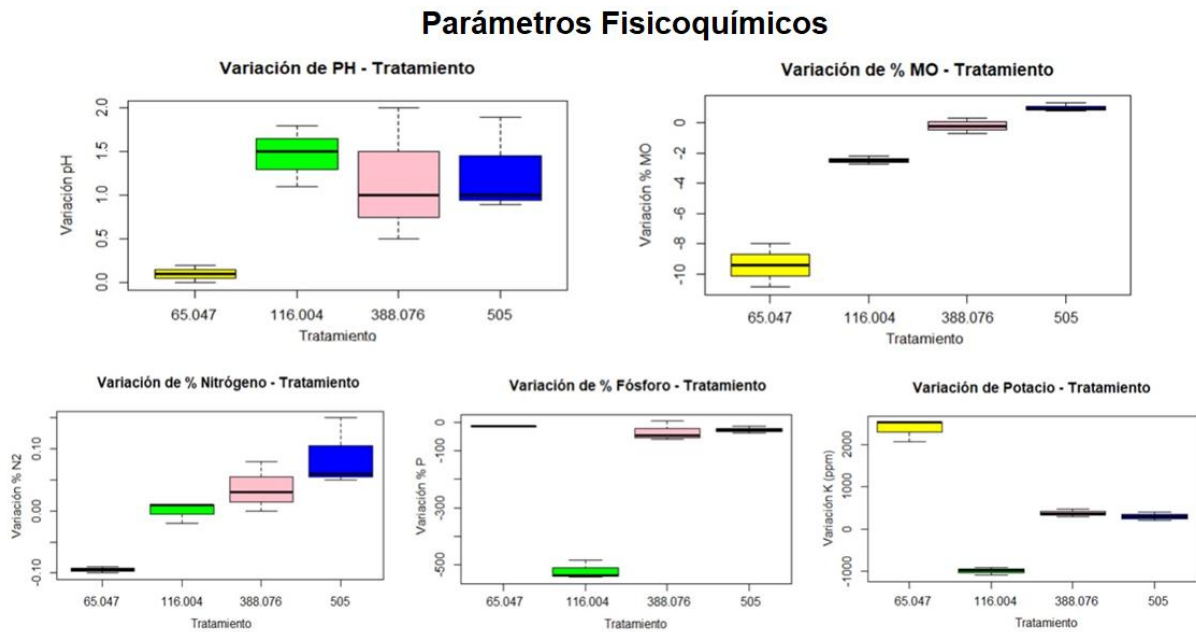


Figura 1: Resultados de parámetros físicoquímicos realizados al suelo con tratamiento Biochar

Los resultados de los parámetros físicoquímicos del análisis del suelo con el tratamiento de MOB se muestran la tabla 5, determinan que el suelo es ligeramente ácido, lo cual es ideal para el crecimiento de las hortalizas. En el material orgánico hubo una disminución en la muestra blanca y en las concentraciones C1 y C2, mientras que la C3 incrementó su valor inicial de manera mínima.

Hubo una leve disminución en el porcentaje de nitrógeno de la muestra blanca y de las concentraciones C1 y C2, mientras que la C3 aumentó levemente. Asimismo, se incrementó el fósforo tanto en la muestra blanca como en sus tres concentraciones, al igual que el potasio.

Tabla 5: Resultados de los parámetros fisicoquímicos realizados al suelo contaminado con Pb y suelo con adición de MOB.

Suelo con Tratamiento (MOBs)										
Suelo CODIFICACIÓN	pH		MO (%)		N (%)		P (ppm)		K (ppm)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
blanco	6.8	6.2	18.74	13.08	0.75	0.74	125.3	397	869.7	2120
blanco	6.75	6.15	18.74	11.505	0.74	0.715	131.85	444.1	907.45	2125
blanco	6.7	6.1	18.74	9.93	0.73	0.69	138.4	491.2	945.2	2130
c1	6	6.5	11.76	11.15	0.63	0.57	611.9	820.4	2800	7000
c1	6	6	11.76	9.6	0.63	0.53	611.9	778.9	2800	5250
c1	6	6.2	11.76	9.41	0.63	0.6	611.9	854.3	2800	5530
c2	6.5	6.1	6.57	5.41	0.38	0.37	156.7	555.3	548	5460
c2	6.5	6	6.57	5.16	0.38	0.34	156.7	427.1	548	4940
c2	6.5	6	6.57	4.83	0.38	0.31	156.7	512	548	7540
c3	6.1	6.4	2.82	3.84	0.18	0.19	97.5	478	391	4870
c3	6.1	6.2	2.82	3.03	0.18	0.23	97.5	455.4	391	4130
c3	6.1	6.1	2.82	2.84	0.18	0.23	97.5	463	391	6000

En la figura 2 se puede ver los resultados de los parámetros fisicoquímicos con el tratamiento de MOB.

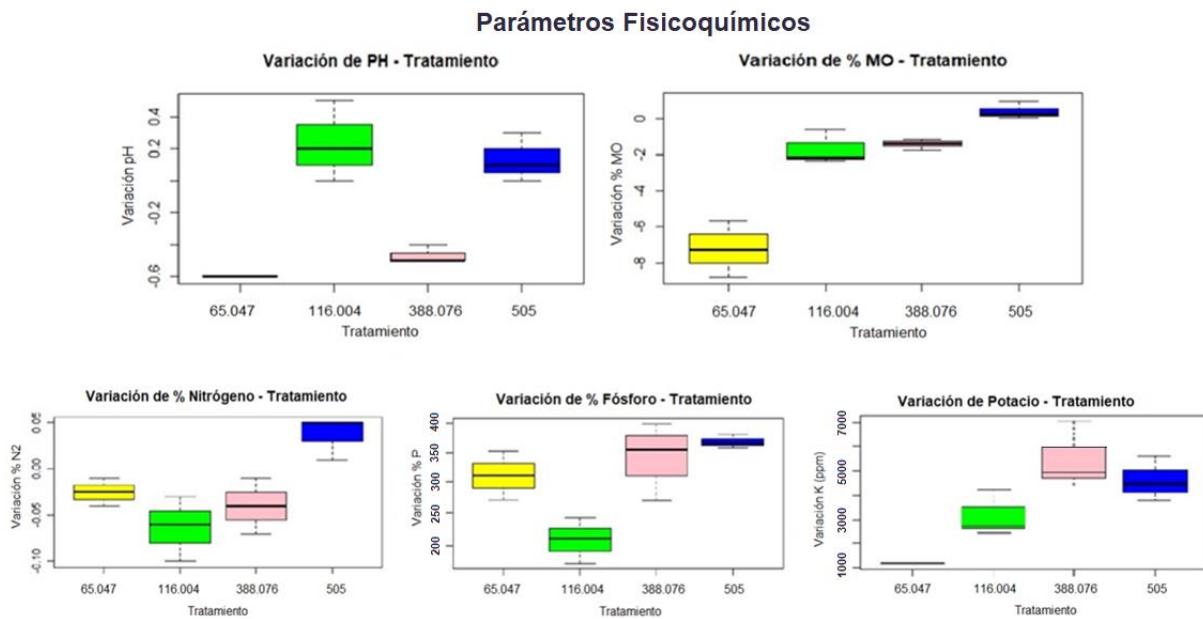


Figura 2: Resultados de parámetros fisicoquímicos realizados al suelo con tratamiento de MOB.

Inmovilización de Plomo

En la figura 3, se puede observar el porcentaje de inmovilización de Pb para ambos tratamientos; el tratamiento con biochar, no logró una buena inmovilización a concentraciones más altas, teniendo para la concentración C2 y C3 una inmovilización que varía entre 50% y 65% solo la concentración C1 y la muestra blanca lograron un a resultado óptimo mayor al 93%.

En caso de los MOBs, la concentración C1 logró una mayor inmovilización de Pb con respecto a los demás tratamientos, alcanzándose un porcentaje superior al 95%; la concentración C2 logró una inmovilización cerca del 85%, mientras que la concentración C3 obtuvo la menor eficiencia con un porcentaje que varía entre el 50% y 60%. En relación a la muestra blanca que logró una inmovilización del 90%.

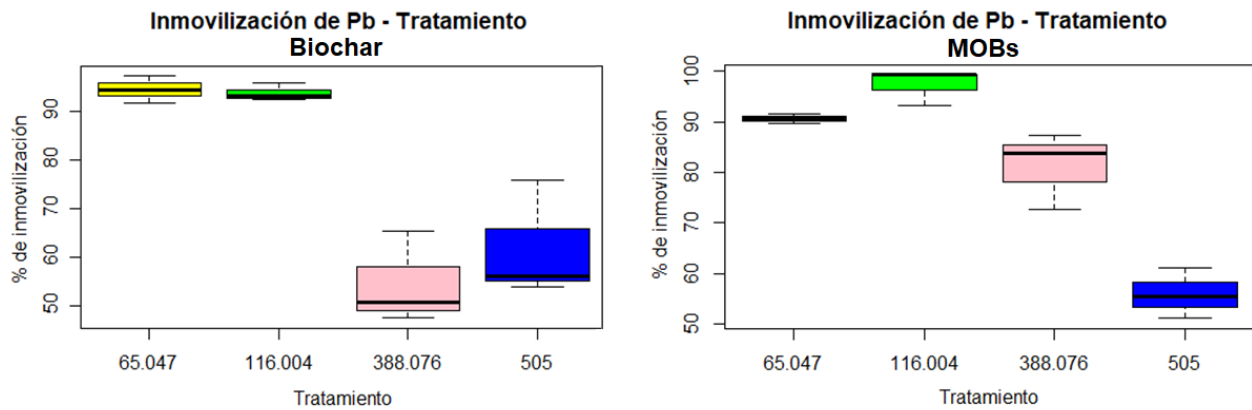


Figura 3: Inmovilización de Pb por Biochar y MOBs

Absorción de Lechugas

En la figura 4 se muestra el Pb (mg/kg) absorbido por las lechugas posterior al tratamiento con biochar y MOBs para cada una de las concentraciones; con el tratamiento del biochar, las lechugas con la concentración C1 absorbieron entre 32 y 33 mg/kg de Pb del suelo, lo que representa cerca del 28%, en la concentración C2 absorbieron entre 16.75 y 21.33 mg/kg

representando un porcentaje menor al 5.5 % de la concentración de Pb inicial del suelo, en la C3 absorbieron un promedio de 3.27% con valores entre 15.75 y 17.28 mg/kg de Pb, respecto a la muestra blanca, las lechugas absorbieron 15.5 mg/kg que representa el 23.83 %. Las concentraciones con mejor escenario son la C2 y C3, es decir, se puede observar un menor porcentaje de absorción del Pb en las lechugas a mayor concentración de Pb en el suelo inicial.

Con el tratamiento MOBs, las lechugas con la concentración C1 absorbieron entre 16.7 y 48.75 mg/kg de Pb del suelo lo que representa entre el 14% y 42%, en la concentración C2 absorbieron entre 19.52 y 42.25 mg/kg siendo un rango de 5 - 11 % de la concentración de Pb inicial del suelo, en la C3 absorbieron un promedio de 10.82 % con valores entre 49.1 y 58 mg/kg de Pb, en cuanto a la muestra blanca, las lechugas absorbieron 75 % del Pb del suelo. Las concentraciones con mejor resultados son la C2 y C3, es decir, se puede observar un menor resultado de absorción del Pb a mayor concentración en el suelo inicial.

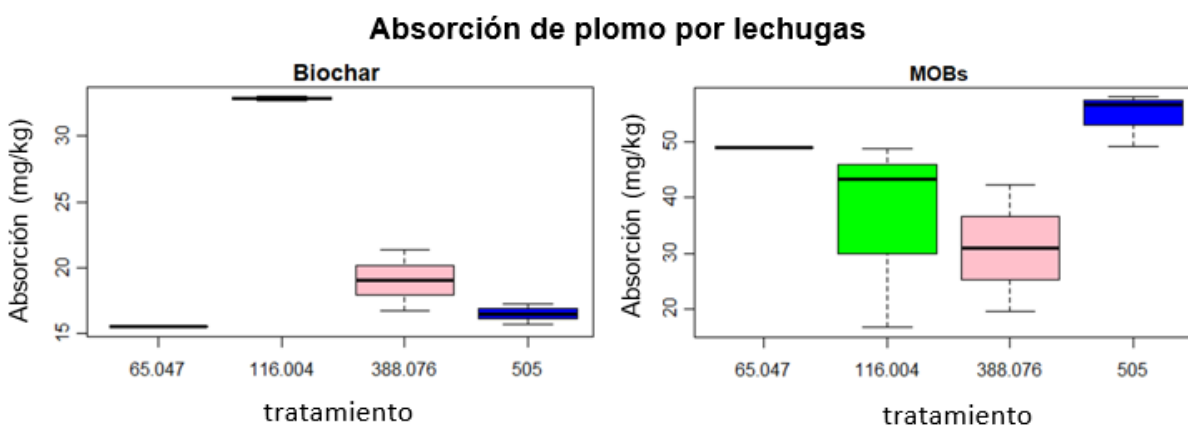


Figura 4: Absorción de Plomo por Lechugas con tratamiento de Biochar y MOBs

DISCUSIONES

Se demuestra que el biochar con dosis de 15% aplicado al suelo contaminado con plomo tuvo un efecto significativo en la inmovilización del metal, según el ANOVA aplicado a los tratamientos (p -valor = 0.000321), previa comprobación de normalidad (p -valor = 0.9235) y homocedasticidad (p -valor = 0.62863), se verificó que tuvo mejor rendimiento a menor concentración inicial en el suelo, logrando más del 93% de efectividad para la muestra testigo y la concentración C1, sin embargo, al sembrar las lechugas las concentraciones menores tuvieron mayor porcentaje de absorción, en cambio, las concentraciones C2 y C3 lograron un porcentaje menor al 5.5 % de absorción de Pb por las lechugas.

Cabe mencionar que no existe una dosis exacta de aplicación del biochar en el suelo, aunque diversos estudios han obtenido efectos positivos con 20%, como De la Cruz (2018) que obtuvo un resultado del 50.29% de eficiencia en la inmovilización de Pb en el suelo con biochar preparado de residuos de poda del arbusto de molle costeño, asimismo Romero (2017) obtuvo una eficiencia de inmovilización del 70% con una dosis similar del 20% con biochar generado a partir de residuos de excretas porcinas, por otro lado García & Perez (2019) obtuvieron mejores resultados con una dosis del 40 - 45% de biochar elaborado a partir de cáscara de naranja, no obstante, hay que tener en cuenta la gran variedad de materias primas con las que se puede elaborar el biochar, así como las condiciones y el tipo de pirólisis, haciendo que este varíe en su naturaleza y consecuentemente tendrán influencia sobre la dosis de aplicación y los resultados (Venegas, 2015; Escalante et al., 2016).

La aplicación del biochar en suelos contaminados tiene la capacidad de incrementar el pH, mejorar la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico, infiltración de agua, estructura, rendimiento agrícola y beneficia a la neutralización de suelos ácidos (Escalante et al., 2016), dado

que, posee una microporosidad elevada que proporciona superficies reactivas donde pueden adsorberse tanto nutrientes como metales pesados. Los mecanismos de la inmovilización de metales por biochar abarcan el intercambio iónico, la adsorción física y la precipitación (Meddeb et al., 2018).

Los valores de pH del suelo en el tiempo cero estuvieron en un rango de 6-6.9 determinándose como levemente ácido y posterior al tratamiento 6.9 a 8, llegando a ser de neutro a levemente alcalino; el aumento del pH es otro mecanismo de inmovilización por parte del biochar (Meddeb et al., 2018) porque está relacionado a la movilidad y adsorción (Álvarez, 2019) las condiciones ácidas se relacionan a un incremento de la concentración de metales pesados en forma de cationes libres en solución, a causa de la competencia por sitios de sorción de la fase sólida del suelo (Venegas, 2015), esto genera mayor movilización del metal, y en consecuencia, mayor facilidad de incorporarse a las cadenas tróficas. Por el contrario, ambientes neutros o levemente alcalinos se asocian a una menor solubilidad de los metales pesados, teniendo un efecto de menor movilidad.

Según el análisis del biochar, su pH es de 11.03, este resultado depende de las características de materia prima y la temperatura de pirólisis utilizada para el proceso de producción, con temperaturas de producción más bajas usualmente se obtiene un biochar más ácido que con temperaturas más altas (Balta, 2019); la relación de C/N es de 5.48 lo cual ayuda con la proliferación de microorganismos que mineralizan la materia orgánica, y el porcentaje de cenizas es de 2.7 % que representa la fracción no orgánica del biochar libre de humedad, se asocia con las sustancias minerales y nutrientes en la biomasa, e influye por su cantidad y su composición en algunas propiedades del biochar (Guerra, 2014).

Para los MOBs, el ANOVA (p-value =0.0000132) indica que los tratamientos tienen un efecto significativo, teniendo como resultado una distribución normal (p-value = 0.9984) y

homocedasticidad (p -valor = 0.85298) pese a que existe variación en los datos del resultado en las tres diferentes concentraciones, se demostró que existe un mejor rendimiento cuando la concentración de Pb en el suelo es menor, logrando más del 95% de efectividad en la muestra blanco y C1, y esto se debe a que los MOBs inmovilizan metales pesados en el suelo, por su capacidad de minimizar la toxicidad y la biodisponibilidad, puesto a que son resistentes a elevadas concentraciones debido a la carga negativa de sus paredes celulares y sistema digestivo (Beltrán & Gómez, 2016), de esta forma los MOBs pueden llegar a constituir biofertilizantes, biocontroladores y biotransformadores de metales en el suelo, reduciendo los contaminantes y ayudando a movilizar nutrientes a la planta (Álvarez, 2019), después de analizar las lechugas sembradas como medidor de movilización de Pb, se obtuvo que la absorción en concentraciones mayores fue más elevada que en las concentraciones menores, y esto se debe a los factores externos como pH, composición capacidad de intercambio (catiónico y/o aniónico), materia orgánica, presencia de carbonatos, textura, variación de temperatura (suelo y ambiente) y humedad en los suelos que pudieron influir (Febres, 2019).

Los valores del pH del suelo se mantuvieron en un rango de 6 a 6.8 antes, durante y después del tratamiento determinándose como un pH ligeramente ácido, el pH juega uno de los papeles más importantes en la según criterios de remediación, restauración o inmovilización por lo cual el pH debe oscilar entre 6 a 8 (Guartantanga & Siguencia, 2019), además, el pH ligeramente ácido es ideal el crecimiento de las hortalizas (Bárbaro, Karlanian, & Mata, 2005); los MOBs suelen desarrollarse en un pH que puede variar entre 5 a 9 dependiendo su especie, como ejemplo los hongos se desarrollan preferencialmente en un pH ácido que oscila entre 5 a 6,5, que cuentan con la capacidad para inmovilizar hasta a un 70% de Pb en el suelo (Muñoz, Olivera, Santillán, & Tamariz, 2019).

CONCLUSIONES

Se concluye que los MOBs y el biochar poseen la capacidad de inmovilizar el Pb en el suelo a través de su sistema metabólico y en su estructura molecular, y esto se demostró en todos los tratamientos (Blanco, C1, C2, C3) reduciendo la concentración del metal pesado disponible para ser absorbido por la hortaliza sembrada.

La máxima eficacia del Biochar elaborado a partir de restos de poda es en la muestra testigo y C1, llegando a inmovilizar un promedio del 94.5% y 93.8% respectivamente con la aplicación al 15% del peso inicial de suelo aplicado, la C2 fue la que obtuvo una menor inmovilización con 54.5%, por lo que, el biochar tuvo mejor porcentaje de inmovilización a menor concentración de Pb inicial en el suelo, asimismo, la absorción de Pb por las lechugas se dio en menor porcentaje con las repeticiones de las concentraciones C2 y C3 llegando a ser menor del 5.5 %.

Los MOBs lograron obtener una inmovilización mayor al 90% en las muestras C1 y el blanco, es decir los MOBs tienen mayor rendimiento cuando las concentraciones de Pb en el suelo son bajas, a diferencia de la C3 que tuvo un promedio de inmovilización del 55%; en cuanto la absorción de Pb por las lechugas, la C2 y C3 lograron un 8% y 10% en promedio de sus repeticiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, M. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., ... Rodríguez, F. (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 15–19.
- Balta, R. (2019). *El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (Solaneum lycopersicum L.) bajo el invernadero*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bárbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (2005). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Instituto de Floricultura CIRN*, 1–15.
- Beltrán, M., & Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G., De Goede, R., ...
Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120(January), 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cabello, R., Alegría, C., Cobeña, E., & García, Y. (2017). *Informe de Proccucción de MOBs, Ensilados y Genkydamas*. Lima.
- Cardona, A., Cabañas, D., & Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1–9.
- Chávez, L. (2014). *Fitorremediación con Especies Nativas en Suelos Contaminados por Plomo*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- De la Cruz, L. (2018). *Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar*

- plomo en el suelo a nivel laboratorio*. Universidad César Vallejo. Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20520>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- FAO & ITPS. (2015). *Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report*. Rome, Italy. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>
- Febres, S. (2019). Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas., 102.
- García, J., & Perez, Y. (2019). *Eficiencia de diversas dosis de biochar elaborado con cáscara de naranja para la adsorción de plomo en suelos contaminados de la ribera del Rio Rímac - 2019*. Universidad César Vallejo.
- Guartantanga, E., & Siguencia, K. (2019). Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento Guarumales - Corporación Hidroeléctrica del Ecuador, Celec EP - Unidad de Negocio Hidropaute. *Universidad Politécnica Salesiana*, 1–109.
- Guerra, P. (2014). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 101.
- Higa, T., & Parr, J. (2019). Microorganismos benéficos y Efectivos para una Agricultura y Medio Ambiente Sostenible. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- INECC. (2007). Tecnologías de remediación. Retrieved from [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html#:~:text=Entre las tecnologías fisicoquímicas para,estabilización \(S%2FE\)](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/tecnolog.html#:~:text=Entre las tecnologías fisicoquímicas para,estabilización (S%2FE))
- Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., & Tzafeiropoulou, K. (2008). Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. *Bioresource Technology*, 99(18), 8578–8584. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.010>
- Madueño, F. (2017). *Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (Lactuca sativa) en mercados del Cono Norte, Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana. Universidad Nacional Mayor De San Marcos Facultad De Farmacia Y Bioquímica E.a.P. De Toxicología.*
- Meddeb, S., Hassine, H., Tangour, D., Aichi, H., Álvarez, M. de la R., & López, R. (2018). Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados. *VIII Congreso Ibérico de Las Ciencias Del Suelo*, 335–338.
- Muñoz, L., Olivera, P., Santillán, M., & Tamariz, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26(1), 109–118. <https://doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15914>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5((1-2)), 149–155.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
- Romero, J. (2017). *Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima.* Universidad César Vallejo.

- Su, C., Jiang, L., & Zhang, W. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide : Situation , impact and remediation techniques, 3(2), 24–38.
- Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., ... Yang, L. (2013). Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chemical Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.081>
- Tomassoni, F., Ferreira, R., Samways, F., Carpinski, M., & Da Silveira, L. (2014). Técnica de biorremediação do solo. *Acta Iguazu*, 3(3), 46–56.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
- Venegas, A. (2015). *Evaluación de la adición de materiales de origen orgánico para la remediación de suelos contaminados con metales pesados*. Universidad de Barcelona.