

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



Remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar a partir de excretas vacuno y ovino con adición de lombriz roja californiana, en condiciones altiplánicas

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Aydé Yéssica Rios Murga

Rook Mary Lucana Ccallo

Asesor:

Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani

Juliaca, diciembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Verónica Haydeé Pari Mamani, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DEL PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE BIOCHAR A PARTIR DE EXCRETAS VACUNO Y OVINO CON ADICIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA, EN CONDICIONES ALTIPLÁNICAS”** de los autores **Aydé Yéssica Rios Murga** y **Rook Mary Lucana Ccallo** tiene un índice de similitud de 9% verificable en el informe del programa 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 Juliaca a los 26 días del mes de diciembre del año 2023



Verónica Haydeé Pari Mamani

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 21 día(s) del mes de diciembre del año 2023, siendo las 9:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Guela el (la) secretario(a): Msc. Franklyn Elard Zapana Yuora y los demás miembros: Msc. Rose Adeline Gallata Elera
Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera y el (la) asesor(a) Ing. Verónica Naydeli Pari Mamani

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Formación del plomo en suelas contaminador mediante biochar a partir de excretas vacuno y ovino con adición de lombriz roja californiana, en condiciones alliplánicas del(los) bachiller(es): a) Ayde Yessica Riera Murga

b) Rook Mary Lucana Gallo
 c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (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 al (a la) / a (los) (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:

Bachiller (a): Ayde Yessica Riera Murga

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): Rook Mary Lucana Gallo

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (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.

[Firma]
 Presidente/a
[Firma]
 Asesor/a
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretario/a
[Firma]
 Miembro
 Bachiller (c)

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	8
2. Metodología	11
2.1 Acondicionamiento de las lombrices californianas	11
2.2. Recolección de muestras	12
2.3. Producción de biochar vacuno y ovino.....	13
2.4. Determinación de análisis de plomo y porcentaje de remoción	13
2.5. Análisis de datos estadísticos	14
3. Resultados	15
3.1. Características de la lombriz roja californiana	15
3.2 Monitoreo de pH.....	16
3.3. Difracción de rayos X-DRX del biochar	17
3.4. Efectividad de remoción del plomo.....	19
4. Discusiones.....	22
5. Conclusiones	25
6. Referencias Bibliográficas	27
Anexos	30

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Cantidades de BO y BV que conforman para cada tratamiento, de acuerdo a las dosis aplicadas.	14
Tabla 2 Características biológicas evaluadas de la lombriz roja californiana.	15
Tabla 3 Remoción de plomo en suelo contaminado mediante BO y BO con adición de LRC en condiciones altoandinas en un periodo de 20, 40 y 60 días.	20
Tabla 4 Análisis de varianza ANOVA para el BV.	21
Tabla 5 Análisis de varianza ANOVA para el BO + LRC.	21
Figura 1 Dimensiones de contenedores para el acondicionamiento de las lombrices.	12
Figura 2 Variación de pH del biochar de (vacuno y ovino) con adición de lombriz roja californiana.	17
Figura 3 Difractograma de DRX de biochar a partir de excretas vacuno.	18
Figura 4 Difractograma de DRX de biochar a partir de excretas ovino.	18
Figura 5 Efectividad de remoción del biochar (BV y BO) con adición de LRC a los 20, 40 y 60 días.	20

Remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar a partir de excretas vacuno y ovino con adición de lombriz roja californiana, en condiciones altiplánicas

RESUMEN

En el ámbito geográfico del Perú, particularmente en la región de Puno ha experimentado un notable aumento en las actividades mineras, lo que conllevó a la preocupación en torno a la contaminación por metales pesados. En este contexto, es importante desarrollar nuevas estrategias y alternativas para la remoción de metales pesados. El objetivo de la investigación fue evaluar la remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar de excretas de vacuno y ovino con adición de lombrices rojas californianas, en condiciones altiplánicas. La primera fase, consistió en la adaptación de lombrices, seguido con la aplicación de biochar al 10, 20 y 30 %, a las muestras de 3 kg de suelo contaminado (Pb 719.67 ppm), que se colocaron en bandejas, analizando el plomo a los 20, 40 y 60 días y monitoreos de pH y T° en los 12 tratamientos experimentales. La efectividad de remoción presentó resultados significativos por lo que el T8 con el uso de BV mostró mayor remoción de 519.00 ppm, alcanzando una efectividad de 72 %, mientras que el BO en el T5 con la adición de lombriz LRC tuvo una remoción de 501 ppm, logrando una efectividad de 70 %. El empleo de biochar obtenido a partir de excretas de vacuno y ovino más la adición de lombriz roja californiana para la remoción de Pb se establece como una alternativa favorable de absorción. Los resultados revelaron una efectividad de remoción superior al 50 % en todos los tratamientos.

Palabras clave: Contaminación, biochar, metales pesados, lombriz, minería, remoción

Lead removal in contaminated soils using biochar derived from bovine and ovine excreta with the addition of californian red worms in high-altitude conditions

ABSTRACT

In the geographical context of Peru, particularly in the Puno region, there has been a notable increase in mining activities, leading to concerns about heavy metal pollution. In this context, it is important to develop new strategies and alternatives for the removal of heavy metals. The research aimed to assess lead removal in contaminated soils using biochar derived from bovine and ovine excreta, with the addition of Californian red worms, in high-altitude conditions. The first phase involved worm adaptation, followed by the application of biochar at 10, 20, and 30% to 3 kg samples of contaminated soil (Pb 719.67 ppm). These samples were placed in trays, and lead levels were analyzed at 20, 40, and 60 days, along with pH and temperature monitoring in the 12 experimental treatments. The removal effectiveness showed significant results, with Treatment 8 (T8) using biochar demonstrating the highest removal of 519.00 ppm, achieving an effectiveness of 72%. Treatment 5 (T5) with the addition of Californian red worms showed a lead removal of 501 ppm, achieving an effectiveness of 70%. The use of biochar derived from bovine and ovine excreta, combined with the addition of Californian red worms for lead removal, proves to be a favorable absorption alternative. The results revealed a removal effectiveness exceeding 50% in all treatments.

Keywords: pollution, biochar, heavy metals, earthworm, mining, removal.

1. Introducción

La pérdida de los recursos naturales del suelo constituye un problema que ha experimentado un crecimiento progresivo a lo largo de los años como la degradación del suelo, este fenómeno representa una amenaza significativa para la salud de los ecosistemas terrestres y la sostenibilidad ambiental (Romero, 2017). El suelo empezó a cobrar relevancia en la actualidad debido a que es un recurso utilizado por todas las personas, siendo una de sus principales funciones brindar un espacio adecuado para desarrollar la agricultura, ganadería y desarrollo de otras actividades económicas. Así mismo, el suelo proporciona un soporte físico y nutricional, crucial para el crecimiento de plantas y actúa como un filtro natural, purificando el agua y evitando la lixiviación de contaminantes hacia las fuentes de agua subterránea (Munive, 2018).

Liu et al. (2019) menciona que los metales pesados potencialmente tóxicos, originados tanto por procesos industriales como actividades antropogénicas, generan una considerable contaminación ambiental a nivel global. Uno de los metales pesados catalogados como peligrosos con riesgo ambiental es el plomo (Pb), el plomo constituye un problema significativo tanto para la salud pública como para el medio ambiente por su gran toxicidad y dificultad de degradación (Cabello et al., 2021). Según Azcona Cruz et al. (2015) la exposición al plomo puede tener efectos negativos en el sistema nervioso, el sistema inmunológico, el sistema reproductivo y el sistema cardiovascular. La cantidad de plomo absorbida depende de 3 factores: el tránsito gastrointestinal, el estado nutricional y la edad; aproximadamente el 99 % del plomo se retiene en la sangre durante 30-35 días, durante las siguientes 4-6 semanas, se dispersa hacia otros órganos como el hígado, el riñón, la médula ósea y el sistema nervioso central.

En diversas regiones del país el crecimiento de actividades, incluida la minería, ha provocado un riesgo de contaminación para la calidad suelo provocando grandes daños en el territorio peruano (Febres, 2019). En la región de Puno, las actividades mineras actuales representan un claro ejemplo de los problemas ambientales, estas actividades conllevan impactos negativos, como la pérdida de la cobertura vegetal y la disminución de nutrientes en el suelo provocando la muerte de especies nativas perjudicando el desarrollo del ecosistema (Noe y Fernández, 2019).

Frente a esta problemática, se proponen alternativas para la remoción de contaminantes presentes en el suelo (Quiroz et al., 2021). Al utilizar residuos de estiércol de animales, este presenta una alternativa viable en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Febres, 2019).

Valdivieso y Andrade (2020) señalan que el biochar derivado de la biomasa de residuos mediante la transformación térmica por pirolisis lenta (en condiciones limitadas de oxígeno) a temperaturas entre 300 y 500 °C se obtiene en un producto carbonizado con propiedades únicas con los nutrientes necesarios para mejorar la calidad del suelo contaminado, representando un enfoque innovador para la valorización residuos orgánicos. Cabe mencionar que este material se caracteriza por su alta porosidad absorbente (Lahori et al., 2017), gran superficie y alto contenido de carbono (Shi et al., 2021). Alderte (2019) menciona que el biochar de excretas de animales actúa como una esponja, atrayendo y reteniendo iones de plomo en sus estructuras porosas. Esto reduce la disponibilidad de plomo para ser absorbido por las plantas y limitando su entrada en la cadena alimentaria, en síntesis, el plomo se vuelve menos dañino y es menos probable que sea absorbido por las plantas. Según Romero (2017) el aprovechamiento de los

residuos de excretas de animales como vacuno y ovino se presenta como una alternativa favorable para producir biochar.

Cabe señalar que las lombrices rojas californianas (*Eisenia fétida*), se destacan por su capacidad descomponedora de materia orgánica, mejorando la calidad del suelo (Maqueira Reyes et al., 2022) incrementando su actividad microbiológica, consumiendo material orgánico y excretándolo en forma de humus (Gudeta et al., 2023). De acuerdo con Zapata et al. (2016), la lombriz roja californiana es capaz de absorber altas concentraciones de compuestos tóxicos y metales como Cu, Fe, Cd, Pb, Zn. Estas lombrices, absorben partículas de plomo presentes en el sustrato donde se desenvuelven, su cutícula y la epidermis contienen zonas de adsorción que interactúan con los metales pesados, permitiendo su impregnación a través de la superficie corporal (Gudeta et al., 2023).

La combinación del biochar con la lombriz roja californiana presenta una mayor remoción de plomo, ya que son bioacumuladoras capaces de reducir la concentración de contaminantes en el suelo, mejorar la fertilidad del suelo y las propiedades físico-químicas (Gan et al., 2021). Esta mezcla entre el biochar y las lombrices no solo es favorable desde una perspectiva ambiental, sino que también se destaca por su efectividad (Subash et al., 2012).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar obtenido de excretas vacunas y ovinas, con la adición de lombriz roja californiana, en condiciones altiplánicas en el departamento de Puno.

2. Metodología

El presente estudio de investigación se llevó a cabo en el distrito de Juliaca, ubicado en la Región Puno-Perú, con coordenadas UTM de (381593 Este, 8288375 Norte) y una altitud de 3825 metros sobre el nivel del mar. En particular, se empleó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica para la determinación del plomo, adicionalmente, se realizó el ensayo de Difracción de Rayos X – DRX para analizar la composición química de biochar de vacuno (de ahora en adelante BV) y biochar de ovino (de ahora en adelante BO). El equipo utilizado para este propósito fue el Panalytical – modelo aeris. Cabe destacar que el material del ánodo fue de Cobalto (Co) y la longitud de onda prevista se ajustó mediante K-Alpha.

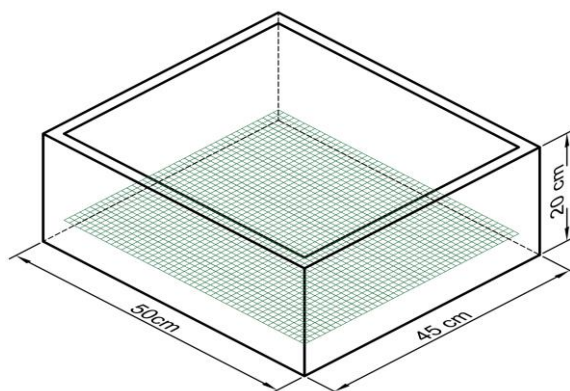
Los monitoreos específicos de plomo fueron realizados a los 20, 40 y 60 días. De manera simultánea, se efectuó mediciones del pH por semana. En total, se llevaron a cabo 12 tratamientos.

2.1. Acondicionamiento de las lombrices californianas

Para el acondicionamiento de las lombrices se prepararon 4 contenedores aireados con una malla plástica tipo raschell para la filtración del exceso de lixiviados, tal como se observa en la figura 1, en cada contenedor se colocó sustrato de tierra y estiércol de ovino, incorporando 150 lombrices para una adaptación de 8 semanas en condiciones altoandinas. Se añadieron aproximadamente 30 a 60 gramos de estiércol en los contenedores por semana para su alimentación y reproducción, la humedad se mantuvo entre 70 a 85 % y la temperatura entre 18 a 19 °C para adaptar las lombrices.

Figura 1.

Dimensiones de contenedores para el acondicionamiento de las lombrices.



2.2. Recolección de muestras

Basándose en antecedentes de investigaciones y monitoreo ambiental propuestos por el autor Argota se tomaron muestras de suelos contaminados con plomo. El muestreo se llevó a cabo de manera aleatoria, mezclando submuestras para formar muestras compuestas.

Las muestras de suelo fueron recolectadas de una zona minera tomando en cuenta la metodología propuesta por Cabello et al. (2021), donde se realizaron calicatas a una profundidad de 20 cm desde la superficie del suelo, extrayendo muestra de 150 kg las cuales posteriormente fueron tamizadas en mallas de 2 mm, se tomaron 2 kg de tierra contaminada para el primer análisis, incluyendo el análisis de plomo (Pb), pH, temperatura y nutrientes (N, P, K).

2.3. Producción de biochar vacuno y ovino

Para la producción de biochar se emplearon 80 kg de estiércol vacuno y 60 kg de estiércol ovino, los cuales fueron reducidos en partículas pequeñas y presecados durante 2 días a temperatura ambiente. Posteriormente, se sometieron a un horno de carbonización mediante a 500 °C con un tiempo aproximado de 2 horas. Finalmente, pasó por un proceso de enfriamiento de 24 horas para obtener el rendimiento del biochar antes de su aplicación en el suelo contaminado, tal como indican los autores Valdivieso y Andrade (2020).

Las muestras de BO y BV pasaron por un análisis de Difracción de rayos X (DRX) la cual caracteriza la composición química de los elementos presentes en las muestras, mostrándonos una información detallada sobre la disposición y la interacción de los componentes cristalinos presentes en el material.

2.4. Determinación de análisis de plomo y porcentaje de remoción

Se implementaron un total de 12 tratamientos con 3 repeticiones, generando así un conjunto de 36 muestras para un análisis detallado. Además, se incluyeron 3 muestras de control de suelo contaminado y 3 muestras de suelo con la adición de LRC, las bandejas aireadas con dimensiones de 24x24 cm de largo y ancho, con una altura de 12 cm fueron provistas con 3 kg de suelo contaminado adicionando 50 LRC y las proporciones de biochar correspondientes para cada tratamiento, tal como se observa en la Tabla 1 donde se detalla las cantidades específicas de biochar destinadas a la aplicación en el suelo.

Tabla 1.

Cantidades de BO y BV que conforman para cada tratamiento, de acuerdo a las dosis aplicadas.

Tratamiento	Porcentaje %	Biochar
BO-BV	10	300 gr
BO-BV	20	600 gr
BO-BV	30	900 gr

Es importante destacar que se llevaron a cabo monitoreos iniciales de los parámetros como el plomo 719.67 ppm, nitrógeno 0.000336 mg/kg, fósforo 0.000672 mg/kg, pH 6.13 y T 18.5 °C. Asimismo, a lo largo de los 60 días del periodo experimental, se realizó la medición de pH de manera semanal con el propósito de mantener un control adecuado.

Se evaluó el porcentaje de efectividad del BV y BO, para determinar la absorción de plomo, cada tratamiento obtuvo diferentes cantidades de biochar a 10, 20 y 30 % de los cuales nos permitió conocer el porcentaje absorbido, se utilizó la formula (1) propuesto por Garcia y Perez, (2019).

$$\% \text{ de eficiencia} = \frac{Ci \left(\frac{mg}{kg}\right) - Cf \left(\frac{mg}{kg}\right)}{Ci \left(\frac{mg}{kg}\right)} \times 100 \quad (1)$$

Ci= Concentración inicial del metal

Cf= Concentración final después del tratamiento

2.5. Análisis de datos estadísticos

Los datos se sometieron a la prueba de análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de

significancia de $p < 0.05$ para así determinar las diferencias significativas en la absorción de plomo presentes en el suelo para cada biochar usando el programa Minitab v18, asimismo se utilizó softwares estadísticos de Microsoft Excel versión 2019.

3. Resultados

3.1. Características de la lombriz roja californiana

La tabla 2 muestra las características biológicas de la LRC durante la experimentación, donde se observaron tamaños adultos en un rango de 2 a 6 mm, alcanzando dimensiones de 50 a 60 mm. El peso promedio de los adultos se registró en 0.65 g con un ciclo de vida aproximado de 90 días. Respecto a las condiciones ambientales, se registró una temperatura entre 18 – 19 °C y la humedad varía entre 80 - 85 %.

Tabla 2.

Características biológicas evaluadas de la lombriz roja californiana.

Características	Unidad de Medida	<i>Eisenia Fetida</i>
Tamaños adultos	mm	2-6* 50 a 60
Pesos medio adultos	g	0.65
Ciclo de vida	Días	90
Temperatura registrada	°C	18-19°C
Humedad registrada	%	80-85

Los niveles iniciales de nitrógeno y fósforo en el suelo contaminado fueron de 0.000336 mg/kg y 0.000672 mg/kg, respectivamente. Tras el tratamiento, se registraron

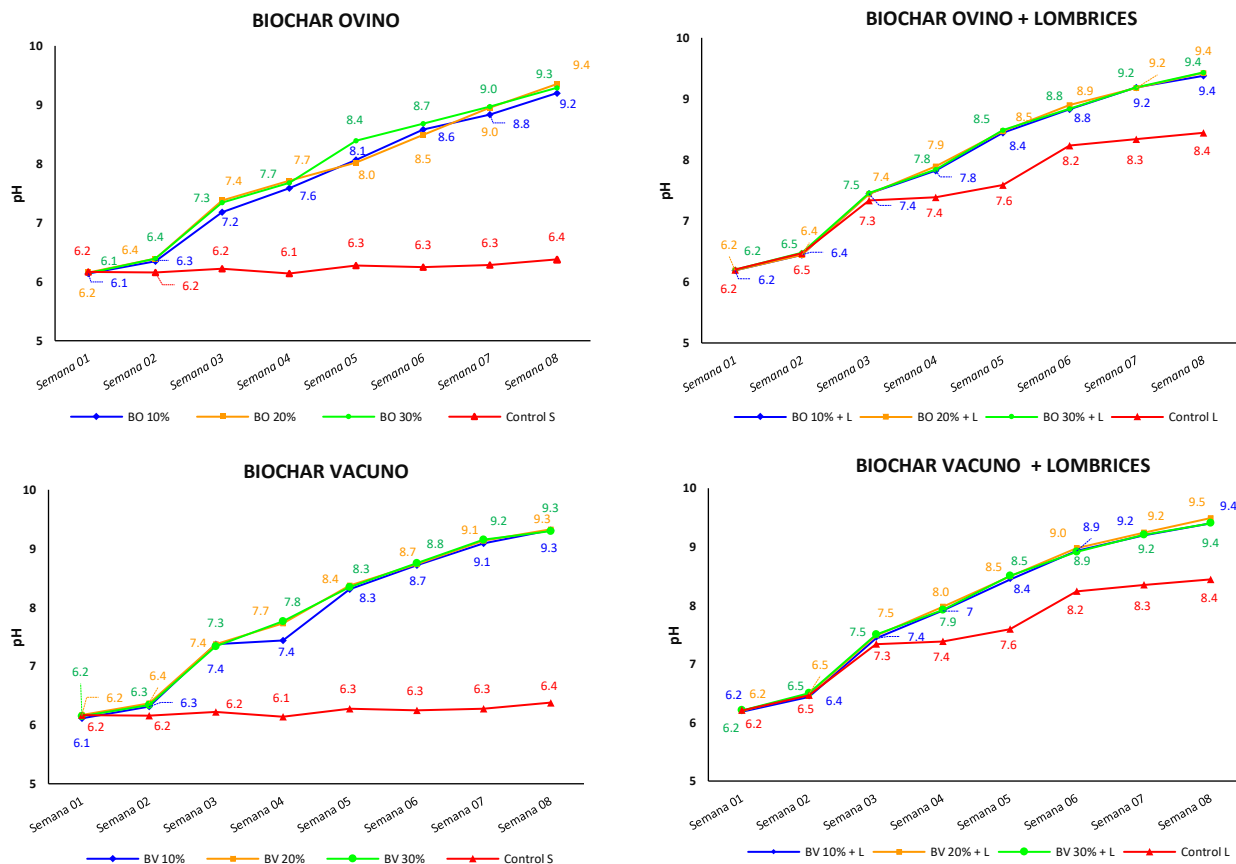
incrementos significativos, alcanzando valores de 62731.5 mg/kg para el nitrógeno y 72574.3 mg/kg para el fósforo.

3.2 Monitoreo de pH

La figura 2 muestra el comportamiento del pH durante el periodo de dos meses, los cuales fueron monitoreados semanalmente. Se observa el incremento del pH para el BO, BV de acuerdo a las proporciones de biochar aplicado, alcanzando un máximo 9.4 de igual forma el resultado se vio reflejado en la adición de LRC. Sin embargo, el control para la LRC ascendió a 8.4, mientras que para el control de suelo contaminando (S) el pH se mantiene hasta el final del periodo experimental.

Figura 2.

Variación de pH del biochar de (vacuno y ovino) con adición de lombriz roja californiana.



3.3. Difracción de rayos X - DRX del biochar

En la figura 3 y 4 se muestra el análisis de la composición química mineralógica obtenidos a través de método de difracción de Rayos X-DRX para las muestras de BV y BO, según los resultados el BV muestra una composición de óxido de silicio (SiO₂) con 2.5 %, por otro lado, el BO obtuvo un porcentaje de 67.6 % de óxido de silicio representando el pico más alto.

El BV presenta minerales como calcio (Ca), nitrógeno (N), zirconio (Zr) y Níquel (Ni)

siendo los compuestos de picos altos encontrados dentro de dicha muestra. El BO presenta compuestos químicos como sodio (Na), Hierro (Fe), Magnesio (Mg), Potasio (K), Silicio (Si), antimonio (Sb) que se presentan en menor proporción. Así mismo, se observaron proporciones elevadas de óxidos vinculados al hierro y silicio, contribuyendo así a mayores contenidos de biocarbón.

Figura 3

Difractograma de DRX de biochar a partir de excretas vacuno.

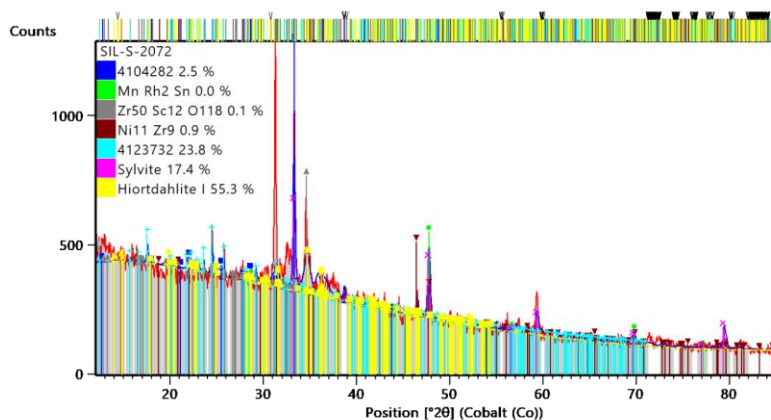
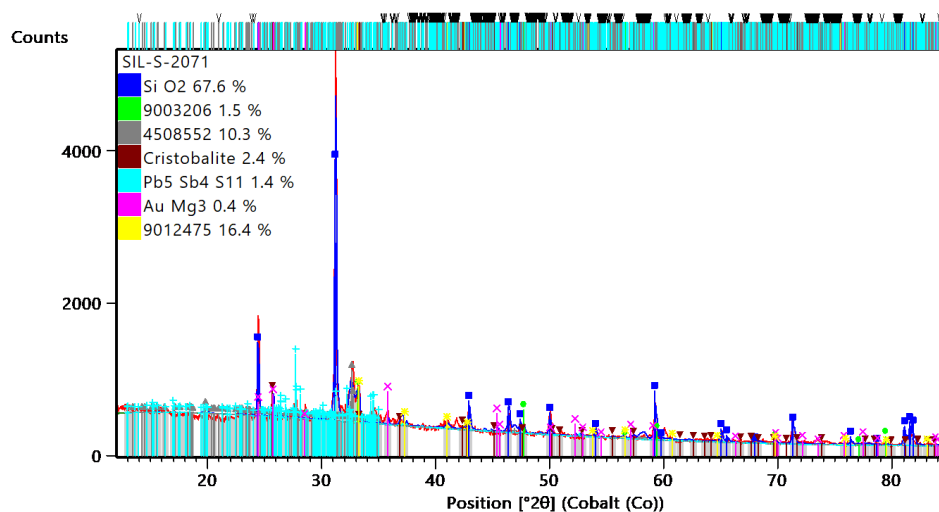


Figura 4.

Difractograma de DRX de biochar a partir de excretas ovino



3.4. Efectividad de remoción del plomo

La tabla 3 muestra el resultado de los análisis de remoción de suelos contaminados por plomo con las proporciones de BO y BV al 10, 20 y 30 % y la adición de LRC, se observa la concentración final de plomo en ppm a los 20, 40 y 60 días, considerando el análisis inicial de Pb 719.67 ppm, el mejor biochar absorbente fue de BV al 20 %, asimismo los resultados con la adición de LRC al BV y BO muestran que el mejor tratamiento fue el BO+LRC a una proporción del 20%.

Los resultados con mayor remoción para el BO y BV sin la adición de la LRC corresponde al BV (T8) donde se mostró una concentración de 469.33 ppm a los 20 días, 356 ppm a los 40 días y 201ppm a los 60 días, donde hubo una diferencia de 114 ppm (0-20 días), 104 ppm (20-40 días) y 105 ppm (40-60 días). Finalmente, a los 60 días la concentración final de plomo en el BV fue menor en comparación al BO, removiendo un total de 519.00 ppm. Por otra parte, se observa el resultado para el BO + LRC y BV + LRC, donde el mayor resultado a los 20, 40 y 60 días muestra el T5 que corresponde al BO+LRC mostrando una efectividad de 34, 47 y 70 % respectivamente, la proporción adecuada de biochar se aplica en el BO al 20 %, logrando una remoción de 414.00 ppm. Los resultados obtenidos fueron significativos al realizar la comparación de ambos residuos de excretas de animales, al usar el BV sin la adición de LRC logro remover 18 ppm más que el BO+LRC.

Tabla 3.

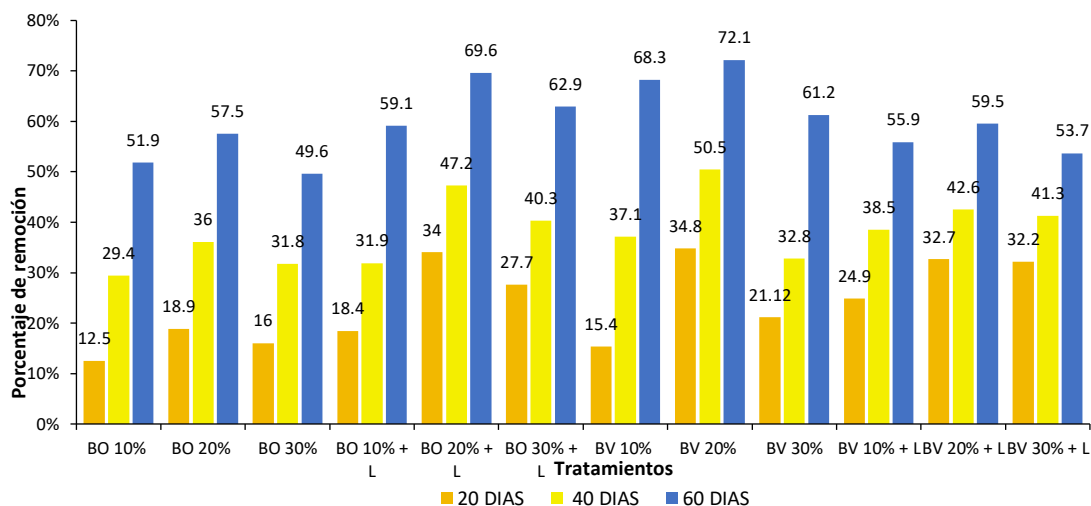
Remoción de plomo en suelo contaminado mediante BO y BV con adición de LRC en condiciones altoandinas en un periodo de 20, 40 y 60 días.

Tratamientos	PB (PPM) 20 días	Efectividad %	PB (PPM) 40 días	Efectividad %	PB (PPM) 60 días	Efectividad %
T1 BO 10%	630.00	12.46%	508.00	29.41%	346.33	51.88%
T2 BO 20%	583.67	18.90%	460.33	36.04%	305.67	57.53%
T3 BO 30%	604.33	16.03%	491.00	31.77%	362.67	49.61%
T4 BO 10% + L	587.33	18.39%	490.33	31.87%	294.00	59.15%
T5 BO 20% + L	474.67	34.04%	379.67	47.24%	218.67	69.62%
T6 BO 30% + L	520.67	27.65%	429.67	40.30%	267.00	62.90%
T7 BV 10%	609.00	15.38%	452.33	37.15%	228.33	68.27%
T8 BV 20%	469.33	34.78%	356.33	50.49%	200.67	72.12%
T9 BV 30%	567.67	21.12%	483.67	32.79%	279.00	61.23%
T10 BV 10% + L	540.67	24.87%	442.33	38.54%	317.67	55.86%
T11 BV 20% + L	484.67	32.65%	413.33	42.57%	291.33	59.52%
T12 BV 30% + L	488.00	32.19%	422.33	41.32%	333.33	53.68%

En la figura 5 se observa la efectividad de remoción a partir de BO y BV con y sin la adición de LRC en función a los días, donde el BV al 20% logra una mayor remoción a los 20, 40 y 60 días, por otra parte, el BO al 10% es quien obtiene el menor porcentaje de remoción a los 20 y 40 días, a los 60 días el BO al 30% obtiene el menor porcentaje de remoción.

Figura 5.

Efectividad de remoción del biochar (BV y BO) con adición de LRC a los 20, 40 y 60 días.



La Tabla 4 se observa el análisis de varianza de los resultados del ANOVA para el BV, donde existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en proporción a la dosis de biochar aplicados y el tiempo de proceso.

Tabla 4.

Análisis de varianza ANOVA para el BV.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de biochar	2	54471	27236	15.46	0.000
Tiempo	2	448790	224395	127.40	0.000
Error	22	38748	1761		
Falta de ajuste	4	12293	3073	2.09	0.124
Error puro	18	26455	1470		
Total	26	542009			

En la Tabla 5 se muestra los resultados de análisis de varianza ANOVA siendo para el BO con adición de LRC donde se observa que si existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para la dosis de biochar y el tiempo de proceso.

Tabla 5.

Análisis de varianza ANOVA para el BO + LRC.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Dosis de biochar	2	44618	22309	12.65	0.000
Tiempo	2	331766	165883	94.08	0.000
Error	22	38791	1763		
Falta de ajuste	4	1804	451	0.22	0.924
Error puro	18	36987	2055		
Total	26	415175			

4. Discusiones

La humedad óptima e ideal para las lombrices oscila entre el 80 y 85 %, ya que por debajo del 55 %, se produce la muerte de estos organismos (Canales et al., 2020). Por este motivo, la humedad se mantuvo en un rango de 70-80 % teniendo condiciones óptimas para su desarrollo y reproducción.

A lo largo del tratamiento se observó el incremento de los nutrientes del suelo (N, P, K) alcanzando valores de 62731.5 mg/kg para el nitrógeno y 72574.3 mg/kg para el fósforo. Estos resultados son corroborados por Silvestre & Solano (2020), quienes aplicaron 1kg de biomasa de ovino junto con *Lupinus mutabilis* por cada 3 kg de suelo salino, dicho tratamiento mostró un aumento del nitrógeno pasando de un nivel inicial de 0.12 a un 0.8%, en el potasio se evidenció un aumento notable pasando de 2443 a 4340.1 mg/kg y en el Fosforo se registró un incremento significativo con valores que pasaron de 985.8 a 2676.8 mg/kg.

Durante el proceso de experimentación la temperatura registrada fue de 18.5 - 19.5 °C, proporcionando así un ambiente favorable para el desarrollo de las lombrices, tal como lo demuestra Gudeta et al. (2023), quien señala que las lombrices actúan eficientemente considerando parámetros como la temperatura y la humedad ya que su adaptación debe ser cercana a 20 °C.

En la Figura 2, se muestra que el pH inicial para todos los tratamientos es de 6.13, tanto para los tratamientos control como para aquellos con la presencia de biochar de vacuno (BV) y biochar de ovino (BO). Los análisis se realizaron semanalmente, y al finalizar la última semana se observó el incremento notable del pH, siendo 9.20 para BO 10 %, 9.35 para BO 20 %, 9.29 para BO 30 %, 9.31 para BV 10 %, 9.33 para BV 20 %, 9.30 para BV 30 %. En los tratamientos

adicionando la lombriz roja californiana (LRC), se obtuvo un pH de 9.38 para BO 10 % +LRC, 9.43 para BO 20 % +LRC, 9.43 para BO 30 % +LRC, 9.40 para BV 10 % +LRC, 9.49 para BV20 % +LRC, 9.40 para BV30 % +LRC. Los resultados obtenidos son confirmados de acuerdo con Ipanaque (2018), quien menciona en su investigación sobre el uso de biochar de excretas porcinas y avícolas en la reducción de cadmio en suelos agrícolas, un aumento en el pH de 6.25 a 8.96 tras la adición del biochar. Asimismo Silvestre & Solano (2020), también observaron variaciones en el pH, con un aumento de 7.1 a 7.86 respectivamente.

En las Figuras 3 y 4 se presenta el análisis de DRX para el biochar de ovino y vacuno, de acuerdo con Delgado (2019) el DRX nos permitirá identificar aspectos clave de un material, incluyendo compuestos cristalinos presentes en una muestra y el comportamiento de éstos a través de la difracción. En el biochar de ovino, se observan picos elevados de 67.60 % de óxido de silicio (SiO_2), seguido de nitrógeno (N) con un 16.40 %. Estos resultados concuerdan con Acero & Ramírez (2018), quienes al realizar análisis de DRX identificaron compuestos como potasio (K), calcio (Ca), y hierro (Fe), de igual forma, el óxido de silicio (SiO_2) presentó picos elevados alcanzando un 60.33 %, este alto contenido de Silicio está asociado a la presencia de sedimentos en el suelo, rocas y arenas. Por otro lado, para el biochar de vacuno, el análisis de DRX mostró una mayor variedad de compuestos con picos elevados para el óxido de silicio (SiO_2) con un 2.5 %, seguido de Níquel (Ni) y Zirconio (Zr) con un 0.90 %. Según Diaz (2017), al realizar DRX, identificó un alto contenido de SiO_2 con un pico característico a $2\theta = 31^\circ$, siendo la estructura cristalográfica más reconocible.

El biochar derivado de las excretas de vacuno y ovino ha revelado proporciones sustanciales de óxidos asociados al hierro y silicio, estos elementos exhiben la capacidad de

formar fases minerales, tales como goethita, hematita y silicatos, las cuales son reconocidas por sus propiedades adsorbentes, especialmente en la retención de metales pesados como el plomo (Benjedim, 2017). El hierro y el silicio, al contribuir a la formación de estas fases, pueden facilitar la adhesión de iones de plomo a la superficie del biochar, potencialmente reduciendo la disponibilidad de plomo en entornos como el suelo. Este fenómeno de adsorción se postula como un mecanismo clave que merece ser explorado y evaluado en estudios más detallados sobre la aplicación práctica del biochar derivado de excretas de vacuno y ovino como agente de remediación ambiental.

Los valores presentados en la Tabla 3 corresponden a los 12 tratamientos, en relación a los resultados obtenidos del BV y BO sin la adición de LRC, el T8 fue quien presentó una mayor reducción de plomo, teniendo una concentración final de 200.67 ppm a los 60 días, logrando una remoción de 519 ppm al 20 % de biochar. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Romero (2017), quien determinó una remoción exitosa de plomo utilizando biochar como absorbente en suelos contaminados, logrando una remoción mayor al 50 % con biochar de excretas de animales. De igual manera, De la Cruz Carpio (2018), obtuvo resultados eficientes con un 50.29% de efectividad al utilizar biochar al 20 %, logrando una mayor reducción en la absorción del plomo en el suelo. Además, el biochar incrementó el pH y la temperatura del suelo debido a sus propiedades y su capacidad de retención de nutrientes, considerando la alta porosidad del biochar, la cual retiene una gran cantidad de Pb.

En relación a los resultados obtenidos del BV y BO con la adición de LRC, el tratamiento con mayor remoción fue el T5 al 20 %, con una concentración final de 219 ppm. Este tratamiento logró una remoción de 501 ppm, una diferencia superior al 50 % con respecto al nivel inicial de

plomo. Ojeda et al. (2019) confirmaron que las LRC son resistentes a los metales pesados, ya que bioacumulan metales en su cuerpo, además Canales et al. (2022) menciona que las lombrices californianas obtuvieron una remoción significativa en un periodo de 80 días, reduciendo un 53.70 % de Pb.

En la Figura 5, se presenta el porcentaje de efectividad de los 12 tratamientos aplicados (BO, BV, BO+L y BV+L) con una proporción de biochar al 10, 20 y 30 %, destacándose una mayor remoción en el T8 con un 72 % de BV al 20 %, seguido del T5 con un 70 % de BO+L, logrando una remoción superior al 50 %. Estos resultados coinciden con otros autores que confirman que la cantidad acumulada de Pb en las lombrices aumenta constantemente con el tiempo de exposición, y con el uso de cada proporción de biochar, el Pb acumulado disminuye entre un 50.8 y 78 % (Shi et al., 2021).

5. Conclusiones

La concentración inicial de plomo en el suelo presentó una diferencia notable en comparación con la efectividad de remoción observada a lo largo de los periodos de 20, 40 y 60 días. En particular, el tratamiento que incorporó (BV) en el T8 mostró una efectividad de remoción de 519 ppm de Pb, logrando una efectividad del 72.12 %. De igual manera, el tratamiento con (BO) con la adición de (LRC) registró una remoción de 501 ppm de Pb, alcanzando una efectividad del 69.62 %, la diferencia porcentual entre ambos tratamientos BV y BO+LRC fue de 2 % a una proporción del 20 % de biochar.

En paralelo, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos en las muestras de suelo contaminado por plomo tras la aplicación de las proporciones de biochar. Se evidenció un

aumento significativo en el pH de 9.23. Además, se observó un incremento en la temperatura de 19.5 °C, estos cambios pueden atribuirse a las propiedades químicas inherentes al biochar, el cual actúa como un material térmico a elevadas temperaturas, potenciando la capacidad de retención de nutrientes en el suelo.

En conclusión, el empleo de biochar obtenido a partir de excretas de animales de vacuno y ovino para la remoción de plomo se establece como una alternativa absorbente. Los resultados revelaron una efectividad de remoción superior al 50 % en todos los tratamientos considerados y a lo largo del tiempo evaluado. Este enfoque no solo ofrece resultados significativos, sino que también destaca la capacidad del biochar para influir positivamente en las propiedades fisicoquímicas del suelo, mejorando su calidad de manera integral, destacando la viabilidad y efectividad de la utilización de biochar en la gestión sostenible de suelos contaminados por plomo.

6. Referencias Bibliográficas

- Alderete Quispe, M. S. (2019). Eficiencia del biochar en la inmovilización del cadmio, en el suelo agrícola Cupiche, Ricardo Palma, 2019. <https://cutt.ly/YwFDbsZW>
- Acero, J., & Ramirez, M. (2018). *Valoración del potencial energetico y de adsorción del biochar obtenido de lodos de PTAR*. 1–26. <https://cutt.ly/vwFDG9aB>
- Azcona Cruz, M., Ramírez Ayala, R., & Vicente Flores, G. (2015). *Efectos tóxicos del plomo. Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72–77. <http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>
- Benjedim, S. (2022). *Preparation of activated carbons by chemical activation of argan seed shell waste. Application for the removal of Paracetamol and Amoxicillin from aqueous solutions*. <https://cutt.ly/VwFDROpb>
- Cabello, R. J., Romero, J. R., Valdiviezo, L., Munive, R., & Castañeda, C. A. (2021). *Biochar derived from pig manure with ability to reduce the availability of Pb in contaminated agricultural soils*. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 461–470. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.050>
- Canales, A., Solís, B., Panca, R., & Quispe Cáceres, B. L. (2020). *Crianza de Eisenia Foetida (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico*. *Ecología Aplicada*, 19(2), 86. <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1559>
- Canales Gutiérrez, A., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H., & Roque Huanca, B. (2022). *Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje*. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 48(3), 267–273. <https://cutt.ly/LwFDLMbQ>
- Delgado, F. (2019). *Evaluación de la respuesta de las propiedades y emisiones de gases efecto invernadero de un suelo agrícola del estado guarico ante la adición de biochar*. <https://cutt.ly/GwFDHsBV>
- De la cruz, L. (2018). *Eficiencia del biochar a partir de residuos de poda para inmovilizar plomo en el suelo a nivel laboratorio UCV, 2018*. Universidad César Vallejo, 1–90. <https://cutt.ly/GwFDTRME>
- Díaz, L. (2017). *Remediación de suelos alterados por actividad de minería del carbón a cielo abierto, mediante aplicación de biochar procedente de residuos biomásicos de la palma de aceite en la zona carbonífera del departamento del cesar*. 13–14. <https://cutt.ly/gwFDAmbE>
- Febres, S. E. (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. <https://cutt.ly/xwFDA4of>

García, J., & Pérez, L. (2019). Eficiencia de diversas dosis de biochar elaborado con cáscara de naranja para la adsorción de plomo en suelos contaminados de la ribera del Río Rímac - 2019. 0–3. <https://cutt.ly/NwFDSp2p>

Gan, X., Huang, J. C., Zhang, M., Zhou, C., He, S., & Zhou, W. (2021). Remediation of selenium-contaminated soil through combined use of earthworm *Eisenia fetida* and organic materials. *Journal of Hazardous Materials*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124212>

Gudeta, K., Kumar, V., Bhagat, A., Julka, J. M., Bhat, S. A., Ameen, F., Qadri, H., Singh, S., & Amarowicz, R. (2023). Ecological adaptation of earthworms for coping with plant polyphenols, heavy metals, and microplastics in the soil: A review. *Heliyon*, e14572. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14572>

Lahori, A. H., Guo, Z., Zhang, Z., Li, R., Mahar, A., Awasthi, M. K., Shen, F., Sial, T. A., Kumbhar, F., Wang, P., & Jiang, S. (2017). Use of Biochar as an Amendment for Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Prospects and Challenges. *Pedosphere*, 27(6), 991–1014. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60490-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60490-9)

Ministerio del Ambiente -MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. El Peruano, 12–15. <https://cutt.ly/ZwFDKvaP>

Munive Cerrón, R. V. (2018). *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3770>

Noe, J., & Fernández, H. (2019). Efecto del humus de lombriz, nutri abonaza y compost en la inmovilidad del cadmio en suelos con plantación del cacao de la Cooperativa Agroindustrial Cacao Alto Huallaga, Huánuco. <https://cutt.ly/TwFDLpsP>

Ojeda, J., Franco, M., & Rodríguez, G. (2019). *Foetida De Los Jales De Mina De Oro En Mocarito* ., 52(250). <https://cutt.ly/SwFDKAZb>

Pérez, G. A., Cáceres, M. E., Coello, H. A., & Iannaccone, J. (2014). Coeficientes biológicos de Fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus Magellanicus Bracteatus* y *Muhlenbergia Angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The biologist*, 12(1), 99-108. <https://cutt.ly/MwFDLlXo>

Quiroz, L. J., Daza, M., Díaz, L., Melo, A., & Peñuela, G. (2021). Biochareffect, mycorrhizae and *Guazuma ulmifolia*, in early mining soil rehabilitation stages. *Terra Latinoamericana*, 39, 1–16. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.709>

- Reyes, D. M., Pérez, D. M., López, M. S. D., Arteaga, Y. R., & Díaz, R. I. (2022). *Comportamiento productivo, reproductivo y morfometría de la lombriz roja californiana en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos*. Revista ECOVIDA, 12(3), 257-266. <https://cutt.ly/HwFDKoLJ>
- Román, G., & Calderón, L. (2019). *Vermicompost una alternativa en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, en zonas altoandinas, Tarma-Junin 2019*. Simposio Peruano de Energía solar y del ambiente, 2013, 18–22. <https://cutt.ly/ywFDJBDM>
- 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*. <https://cutt.ly/uwFDFMw3>
- Shi, Z., Yan, J., Ren, X., Wen, M., Zhao, Y., & Wang, C. (2021). *Effects of biochar and thermally treated biochar on Eisenia fetida survival, growth, lysosomal membrane stability and oxidative stress*. Science of the Total Environment, 770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144778>
- Silvestre Velasquez; Jenrry, & Rosario, S. A. L. (2020). *Biomasa animal de ovino y Lupinus mutabilis para mejorar la calidad de suelos salinos en Santa-Lacramarca, 2020*. En Universidad Andina del Cusco. <https://cutt.ly/KwFDGp2K>
- Subash, U., Dong, D., Kimball, B., Garg, A., & Upadhyay, J. (2012). *Tecnologías para la mitigación del cambio climático – Sector Agropecuario–*. <https://cutt.ly/bwFDHCtO>
- Valdiviezo Vega, K. E., & Andrade Crespo, J. E. (2020). *Elaboración de biochar a partir de estiércol porcino y vacuno y su aplicación en aguas contaminadas con mercurio obtenidas en procesos mineros artesanales en el sector Vizcaya-cantón Zaruma* (Bachelor's thesis). <https://cutt.ly/XwFDJTKf>
- Zapata, I., Martínez, L., Posada, E., González, M. E., & Saldarriaga, J. F. (2016). *Effects of earthworms (Eisenia foetida) on the microorganism growth in pollution soils with mercury of Segovia, Antioquia*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27(1), 77–90. <http://scielo.org.co/pdf/cein/v27n1/v27n1a05.pdf>

Anexos

ANEXO 01: Evidencia de Sumisión

15/12/23, 19:40

[RICA] Envío recibido - lucana.mary123@gmail.com - Gmail



Claudio M. Amescua Garcia <rica@atmosfera.unam.mx>
para mí

15:34 (hace 4 horas)

Rook Mary Lucana Ccallo:

Gracias por enviarnos su manuscrito "REMOCIÓN DEL PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS MEDIANTE BIOCHAR A PARTIR DE EXCRETAS DE VACUNO Y OVINO CON ADICIÓN DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA, EN CONDICIONES ALTIPLÁNICAS" a Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/authorDashboard/submission/55183>

Nombre de usuario/a: rooklucana98

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Claudio M. Amescua Garcia

Revista Internacional de Contaminación Ambiental <https://www.revistascca.unam.mx/rica>

Responder

Reenviar

<https://mail.google.com/mail/u/0/popout?ver=1g3ythb29lwb&search=inbox&th=%23thread-f%3A1785381495347509281&cvid=1>

1/1

ANEXO 02: Copia de la resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de la facultad.



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0516-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 12 de setiembre de 2023

VISTO:

El expediente de **Rook Mary Lucana Ccallo**, identificado(a) con Código Universitario N° 201720163 y **Aydé Yéssica Ríos Murga**, identificado(a) con Código Universitario N° 201812046, 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 **Rook Mary Lucana Ccallo** y **Aydé Yéssica Ríos Murga**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar a partir de excretas vacuno y ovino con adición de lombriz roja californiana, en condiciones altiplánicas" 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 12 de setiembre de 2023, 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 "**Remoción del plomo en suelos contaminados mediante biochar a partir de excretas vacuno y ovino con adición de lombriz roja californiana, en condiciones altiplánicas**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** y **MSc. Rose Adeline Callata Chura**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga
SECRETARIA ACADÉMICA (e)

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo