

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



**Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento
en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas.**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Autor:

Kiara Melissa Rios Paima

Asesor:

Ing. Mg Sc. Andrés Erick Gonzales López

Tarapoto, mayo del 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Andrés Erick Gonzales López, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**APLICACIÓN DE HUMUS DE LOMBRIZ, COMO TRATAMIENTO DE CONFINAMIENTO EN SUELOS CONTAMINADOS CON CADMIO, DISTRITO DE YURIMAGUAS**” del autor Kiara Melissa Rios Paima tiene un índice de similitud de 20% 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 Tarapoto, a los 6 días del mes de mayo del año 2025



Ing.Mg Sc. Andrés Erick Gonzales López

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

00159

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 28 día(s) del mes de abril del año 2025 siendo las 16:00 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Ceila Pasquita Lao Olivares

secretario(a): Ing. Sorye Rengifo Arévalo y los demás miembros.

Mtra. Betsabete Tarata Padilla Macedo, Mtro. Carmelino Almorstar Villegas y el (la) asesor(a) Mg. Andres Erick Gonzalez Lopez

titulado: Aplicación de humus de lombriz como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados en caduco, distrito de Yunimaguas.

del(los) bachiller/es: a) Kiara Melissa Rios Paima

b) _____

c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental

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): Kiara Melissa Rios Paima

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>APROBADO</u>	<u>16</u>	<u>B</u>	<u>BUENO</u>	<u>MUY BUENO</u>

Bachiller -(b): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller -(c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	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.

Presidente/a

Asesor/a

Bachiller (a)

Miembro

Bachiller (b)

Secretario/a

Miembro

Bachiller (c)

Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica, conforme al reglamento general de grados y títulos.

INDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS	2
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. METODOLOGIA.....	8
2.1. Diseño de la investigación	8
2.2. Preparación de semilla.....	8
2.3. Preparación de la solución de cadmio	8
2.4. Proceso de germinación de las especies vegetales.....	9
2.5. Análisis de Laboratorio	9
2.6. Análisis de datos	10
3. RESULTADOS	10
3.1. pH.....	10
3.2. Concentración Cadmio en el suelo	11
3.3. Total, de cadmio por macetas	12
3.4. Concentración de Cadmio en la planta.....	13
3.5. Cadmio total en plantas	14
3.6. Peso seco	15
3.7. Altura de la planta	15
3.8. Profundidad de raíces	16
3.9. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta. 17	
3.9.1. Correlación entre la concentración cadmio en la planta y peso seco	17
3.9.2. Correlación entre la concentración cadmio en el suelo y peso seco.....	18
4. DISCUSIÓN.....	19
4.1. Concentración de Cadmio en el Suelo	19
4.2. Ph, Humus y Movilidad de Cadmio.....	20
4.3. Concentración de Cadmio en Plantas.....	20
4.4. Concentración de peso seco	20
5. CONCLUSIONES	21
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas.

Application of worm humus as a confinement treatment in soils contaminated with cadmium, Yurimaguas district.

Kiara Ríos <https://orcid.org/0000-0003-1130-554X> - kiarapaima24@gmail.com

1*

Andrés Gonzales <https://orcid.org/0000-0002-4744-9927> -
andres.gonzales@upeu.edu.pe

RESUMEN

Introducción: La investigación sobre la contaminación por cadmio en suelos agrícolas ha ganado relevancia significativa demostrando que las enmiendas orgánicas son efectivas para inmovilizar el cadmio. En este estudio se seleccionó la especie brizanta (*Brachiaria brizantha*), pasto utilizado en las actividades ganaderas, estudiada como planta fitorremediadora. **Objetivo:** Evaluar la efectividad del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminados con cadmio, utilizando *Brachiaria brizantha* como indicador biológico en la ciudad de Yurimaguas. **Métodos:** En un campo se diseñó un experimento aleatorio con cuatro tratamientos: un control sin humus (T0) y tres dosis de humus de lombriz (T1: 5000g/m², T2: 10000g/m², T3: 15000g/m²) en suelos con 1.5 ppm de cadmio. Durante cuatro meses se monitorearon el crecimiento vegetal y las concentraciones de cadmio. **Resultados:** Los resultados mostraron que T3 retuvo más cadmio en el suelo (0.4467 mg/kg), mientras que T2 y T0 presentaron mayor acumulación en las plantas (1.3367 mg/kg y 1.0367 mg/kg, respectivamente). Se observó una correlación negativa significativa entre el cadmio en suelo y planta ($r=-0.714$, $p=0.009$), y aunque no hubo diferencias significativas en el crecimiento, la relación entre el cadmio en planta y el peso seco ($r=-0.620$, $p=0.031$) sugiere efectos fitotóxicos. **Conclusiones:** Se concluye que el humus de lombriz puede modificar la biodisponibilidad del cadmio, ofreciendo una alternativa viable para la remediación de suelos contaminados con metales pesados. Así mismo, no influyen significativamente, la correlación de cadmio en la planta y peso seco, lo que indica que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

Palabras clave: Metales pesados, contaminación por cadmio, inmovilización de metales, *Brachiaria brizantha*

ABSTRACT

Introduction: Research on cadmium contamination in agricultural soils has gained significant relevance, demonstrating that organic amendments are effective for immobilizing cadmium. In this study, the species *brizanta* (*Brachiaria brizantha*), a grass used in livestock activities, was selected as a phytoremediation plant. Objective: To evaluate the effectiveness of vermicompost in the remediation of soils contaminated with cadmium, using *Brachiaria brizantha* as a biological indicator in the city of Yurimaguas. Methods: In a field, a randomized experiment was designed with four treatments: a control without vermicompost (T0) and three doses of vermicompost (T1: 5000g/m², T2: 10000g/m², T3: 15000g/m²) in soils with 1.5 ppm of cadmium. Plant growth and cadmium concentrations were monitored for four months. **Results**: The results showed that T3 retained more cadmium in the soil (0.4467 mg/kg), while T2 and T0 presented greater accumulation in the plants (1.3367 mg/kg and 1.0367 mg/kg, respectively). A significant negative correlation was observed between cadmium in soil and plant ($r=-0.714$, $p=0.009$), and although there were no significant differences in growth, the relationship between cadmium in plant and dry weight ($r=-0.620$, $p=0.031$) suggests phytotoxic effects. Conclusions: It is concluded that vermicompost can modify the bioavailability of cadmium, offering a viable alternative for the remediation of soils contaminated with heavy metals. Likewise, the correlation of cadmium in the plant and dry weight does not significantly influence, indicating that as dry weight increases, the cadmium concentration of the plant decreases.

Keywords: Heavy metals, cadmium contamination, metal immobilization, Brachiaria brizantha

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, la investigación sobre la contaminación por cadmio en suelos agrícolas ha ganado relevancia significativa. (Huaraca-Fernandez, 2020) demostraron que las enmiendas orgánicas son efectivas para inmovilizar el cadmio, destacando que los materiales orgánicos con alto contenido de grupos funcionales y pH alcalino presentan mayor capacidad de adsorción. Por su parte, (Noe & Lourdes, 2019) evaluó específicamente el efecto de tres enmiendas orgánicas en suelos cacaoteros, encontrando que el humus de lombriz logró la mayor reducción en la biodisponibilidad del cadmio, con una eficiencia del 89.47%. Complementariamente, (Marcano et al., 2019) estudiaron los efectos tóxicos del cadmio en lombrices *Eisenia sp.*, evidenciando daños celulares significativos en concentraciones superiores a 200 µg/mL, lo que resalta la importancia de estos organismos como bioindicadores de contaminación y su papel en la producción de enmiendas orgánicas para la remediación de suelos.

El crecimiento del sector industrial y la intensificación de las prácticas agrícolas han generado una preocupante degradación de los suelos, en gran parte es debido al almacenamiento de metales pesados como el cadmio. Este fenómeno representa un desafío ambiental de alcance global y persistente (Huaraca *et al.*, 2020).

El cadmio para (Marwa A Ismael, 2019) es uno de los contaminantes más tóxicos y peligrosos para el medio ambiente, ocupando el tercer lugar. Esta se encuentra absolutamente distribuido y se libera al ambiente a través de actividades industriales y la antropización (Hernandez-Baramda, 2019).

La degradación de suelos por cadmio se relaciona con eventos desencadenados por la ejecución de actividades industriales y supone riesgos significativos para la calidad de los recursos naturales, los alimentos y la salud humana, puesto que provoca el deterioro de la calidad del suelo debido a que actúa como agotador de los nutrientes e inhibidor de la actividad microbiana afectando los cultivos y comprometiendo la seguridad alimentaria (Munive et al., 2020).

La Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria ha informado que la ingesta media de cadmio en países europeos supera el límite semanal recomendado de 2.5 µg/kg de peso corporal, llegando a duplicarse en algunos grupos poblacionales. Además, el 7% de las tierras agrícolas en China se han encontrado contaminadas con cadmio, y cada año se reporta la contaminación de casi 12 millones de toneladas de cereales con metales tóxicos. Por

ello, se destaca la necesidad de reducir la exposición al cadmio en la población (Furcal-Beriguete & Torres-Morales, 2020).

Así mismo, el cadmio es un metal pesado muy nocivo y tiene la capacidad de acumularse en los organismos vivos llegando a provocar una alteración tubular renal, nefrolitiasis, cambios en la homeostasis del calcio y de los huesos, así como anomalías en los sistemas endocrino, reproductor y respiratorio. También el cadmio se introduce en la dieta humana a través del consumo de plantas y productos animales, pues, los cultivos agrícolas pueden absorber eficientemente Cd en diferentes formas, como cloruro de cadmio, Sulfato de cadmio a través del sistema radicular, luego migrar a los brotes de las plantas y translocarse a las semillas (Nieves *et al.*, 2019).

Dentro de la Amazonía peruana se registran valores altos de cadmio en plantaciones, los cuales exceden el límite máximo permisible establecidos por la legislación peruana y la OMS (Irigoin & Trigos, 2022). Debido al uso de pesticidas, se introducen metales pesados al suelo, como cadmio, cromo y plomo, que resultan altamente perjudiciales para el medio ambiente, los animales y las personas (Verástegui, 2021). La producción agrícola en la región de Loreto se caracteriza por el uso intensivo de fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas, lo que genera contaminación tanto del entorno como de los cultivos destinados a la alimentación (Napuchi *et al.*, 2022).

Sobre la base de la evidencia expuesta anteriormente, existe una necesidad urgente de adoptar mecanismos de remediación rentables y respetuosos con el ambiente para mitigar eficazmente la contaminación por cadmio, como la aplicación de abonos orgánicos por su relación directa con la reducción de metales pesados, pues ante mayor materia orgánica mayor adsorción de cadmio. El humus de lombriz, es una alternativa de tratamiento de suelos contaminados con cadmio, debido a que está compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, y constituye una importante reserva de materia orgánica en el suelo (Florida & Escobar, 2019) Así mismo, la gramínea (*Brachiaria brizantha*) es una especie forrajera que se utiliza principalmente para pastoreo, y suele crecer en terrenos agrícolas, donde junto con otras plantas como arroz, maíz, tomate, frijol, se ve afectada por la presencia de metales pesados provenientes de agroquímicos, lo que muchas veces impide que esta gramínea se desarrolle adecuadamente y sea utilizada en actividades ganaderas, ya que últimamente se ha reportado la presencia de cadmio en leche y productos lácteos.

Ante esta situación, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminado con cadmio en el distrito de Yurimaguas.

2. METODOLOGIA

El estudio se realizó en el fundo “Belén” ubicado en el Km6 de la carretera de Yurimaguas – Tarapoto, distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, región de Loreto – Perú. Las condiciones climáticas del lugar varían entre los meses de octubre del 2023 a marzo del 2024, por lo cual presenta una precipitación anual promedio de 2 086.2 mm, una media anual de temperatura máxima y mínima es 21.58°C y 31.7°, las mayores precipitaciones se producen entre septiembre a mayo, y las mínimas en agosto (Weather Spark, 2018). Yurimaguas está considerada como parte de Selva Baja (Figura 1).

2.1. Diseño de la investigación

El diseño experimental es un diseño completamente al azar con dos tratamientos, un testigo y tres repeticiones (Poma & Quiñonez, 2021). El diseño según (Gonzales et al., 2021) consistió en el establecer de tres tratamientos, los cuales estuvieron divididos en: T0: tratamiento testigo con 0 de humus de lombriz, T1: 5000g/m² de humus de lombriz, T2: 10000g/m² de humus de lombriz y T3: 15000g/m² de humus de lombriz. (Figura 2).

2.2. Preparación de semilla.

Las semillas *Brachiaria brizantha* fueron semillas certificadas adquiridas en una agropecuaria, las cuales, se sembró 4 semillas en cada repetición correspondiente.

2.3. Preparación de la solución de cadmio.

Previo a la contaminación del suelo con cadmio, para obtener una distribución homogénea del contaminante en el perfil del suelo, se determinó el porcentaje de porosidad, y posteriormente se preparó las disoluciones de nitrato de Cadmio Cd(NO₃)₂.

Lo cual fue contaminado con 1.5 ppm de cadmio homogenizado durante 4 días y asegurando que la concentración estuviera por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para suelo (ECA - Decreto Supremo N° 011-2017 -MINAM).

2.4. Proceso de germinación de las especies vegetales.

La germinación de la brizantha se dio a los 7 y 5 días respectivamente y fueron puestas bajo condiciones ambientales normales. Se llevó un control del agua administrada tanto por riego como por secano. Ya que debido a las altas temperaturas donde se desarrolló la investigación el riesgo de marchitez de las plantas fue elevado. Una vez cumplido el tiempo aproximado de 4 meses, debido a la madurez fisiológica del cultivo del *Brachiaria brizantha* y duración del proyecto (Munive et al., 2018). Se extrajo una muestra de suelo de cada tratamiento aplicado, en consideración de las especificaciones de la Guía para el muestreo de suelos contaminados, en el marco del Decreto Supremo N°002-2013, que consiste en cuartear la muestra mezclada y volver a reiterar el proceso hasta alcanzar la cantidad requerida de material a analizar con el fin de obtener una muestra compuesta representativa, de la cual se seleccionó 1Kg de muestra de cada unidad experimental, que fueron analizadas en las Instalaciones del Laboratorio de suelos del Instituto de Cultivos Tropicales, obteniendo la concentración final de cadmio en el suelo por cada tratamiento.

2.5. Análisis de Laboratorio

En el laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas, fertilizantes y alimentos - Instituto de Cultivos Tropicales se realizó la caracterización física química.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos previo al tratamiento con dosis de humus de lombriz, 2024.

Caracterización del suelo y metal pesado							
Campo	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Clase textua	CIC	Fósfor o	Potasi o
Muestra 1	4,58	0,02	2,35	Fra-Arc-Are	3,57	10,49	28,04

Los suelos contaminados por la actividad antrópica actualmente se encuentran considerablemente afectados, de tal manera que de acuerdo al análisis correspondiente de los parámetros físicoquímicos se obtuvo un pH de 4.58, mostrando un suelo ácido debido a los contaminantes existentes, 0.02 dS/m de conductividad eléctrica considerada una conductividad baja para cultivos en salinidad, 2.35 % de materia orgánica considerada clase media para suelos fértiles, la clase textural fue franco arcillo arenoso, la CIC fue 3.5 Cmol(+)/kg, la cual es considerado como bajo para el suelo de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que existe, 10.49 % de fósforo estando en condiciones óptimas, 28.04 % de potasio está en condiciones bajas para suelos de alta calidad.

2.6. Análisis de datos

Se examinaron los datos utilizando el programa estadístico SPSS 23, se reconocieron los promedios, se ejecutó un estudio de ANOVA, luego se procedió a realizar la prueba de Tukey para hacer los análisis de comparación de medias. Realizando correlaciones de Pearson's, para un segundo análisis de las variables estudiadas.

3. RESULTADOS

3.1. pH

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el pH entre los tratamientos, con un valor de significancia estadística muy bajo ($p < 0.001$). Esto permite rechazar la hipótesis nula, confirmando que los tratamientos tienen un efecto significativo en el pH del suelo. Además, el alto valor del estadístico F (46.357) y la mayor suma de cuadrados intergrupos (12.115) en comparación con la intragrupos (0.653) refuerzan que las diferencias entre tratamientos son más relevantes que las variaciones dentro de cada grupo, lo que sugiere que el pH aumenta con mayores dosis de humus de lombriz.

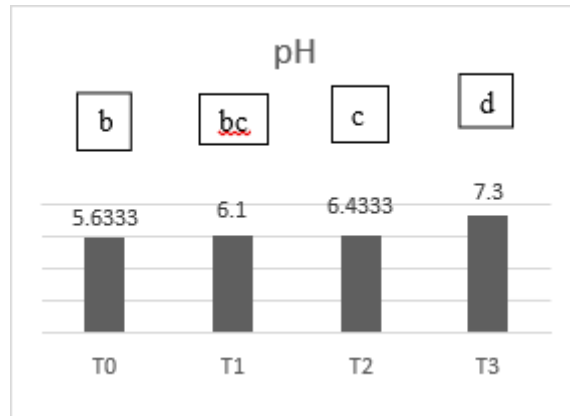


Figura 2: pH del suelo en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c, d) indican diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos con subconjuntos diferentes presentan diferencias significativas, mientras que aquellos con subconjuntos compartidos no muestran diferencias significativas entre sí.

En la Figura 2, se observa que el pH del suelo aumenta significativamente con mayores dosis de humus de lombriz. El tratamiento con la dosis más alta (T3) presenta el pH más alto, mientras que el control sin humus (T0) tiene el pH más bajo. Cabe

destacar que, antes de contaminar el suelo, la muestra inicial (Ti) tenía un pH aún más bajo (4.58), lo que indica que tanto la contaminación con cadmio como la aplicación de humus modificaron significativamente el pH del suelo. Esto indica que el humus de lombriz ayuda a aumentar el pH de manera dependiente de la dosis aplicada.

3.2. Concentración Cadmio en el suelo.

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en la concentración de cadmio retenido en el suelo entre los tratamientos ($F = 298.46$, $p < 0.001$), el tratamiento T3(0.4467 mg/kg) seguido de los tratamientos T1(0.2133mg/kg), T2 (0.21mg/kg) y el tratamiento con menor concentración fue el T0 (0.1467mg/kg). La variación entre el tratamiento testigo y el T3 fue de 0.3 mg/kg.

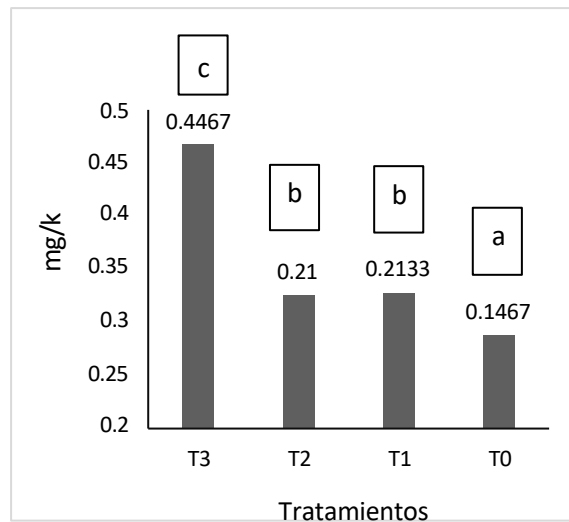


Figura 3: Concentración de cadmio en el suelo en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

La figura 3, se muestra la concentración de cadmio en el suelo, en función a los diferentes tratamientos utilizados (diferentes concentraciones de humus de lombriz). Los subconjuntos indican que T0 difiere significativamente de T1, T2 y T3, mientras que T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí difieren de T3. Esto indica que la aplicación de humus de lombriz modifica la retención de cadmio en el suelo de manera dependiente de la dosis aplicada.

3.3. Total, de cadmio por macetas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el total de cadmio acumulado por maceta entre los tratamientos ($F = 298.46$, $p < 0.001$), siendo el tratamiento con mayor acumulación de cadmio por macetas, el T0 (8.04 mg), seguido de los tratamientos T1 (3.84 mg), T2 (3.78 mg) y el tratamiento con menor acumulación fue el T3 (2.64 mg). La variación entre el tratamiento 3 y el tratamiento testigo fue de 5.4 mg.

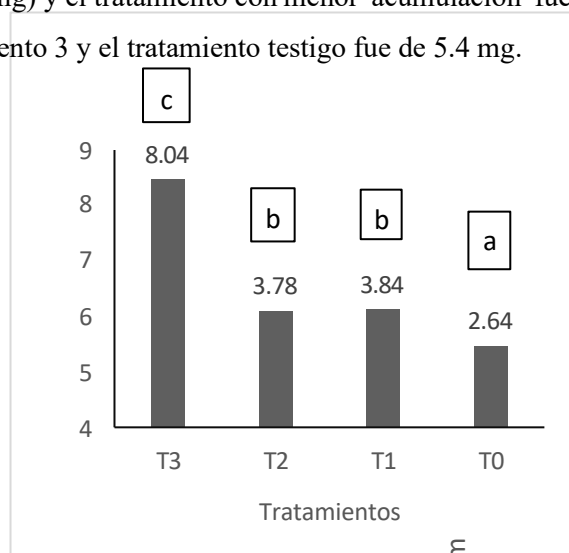


Figura 4: Total de cadmio por macetas en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

La figura 4, se muestra el total de cadmio por macetas en función a los diferentes tratamientos utilizados. (diferentes concentraciones de humus de lombriz). los subconjuntos indican que T0 difiere significativamente de T1, T2 y T3, mientras que T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí difieren de T3. Esto sugiere que la aplicación de humus de lombriz modifica la retención de cadmio en el suelo de manera dependiente de la dosis aplicada.

3.4. Concentración de Cadmio en la planta

Según el análisis de varianza en la concentración de cadmio en la planta se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos ($F = 17.717$, $p = 0.001$), siendo los tratamientos con mayor concentración de cadmio en planta, los tratamientos T2(1.3367 mg/kg) y T0(1.0367mg/kg) seguido del T1(0.9167mg/kg) y el tratamiento con menor concentración fue el T3 (0.59mg/kg). La variación entre el testigo 0 y el T3 fue de 0.4467 mg/kg

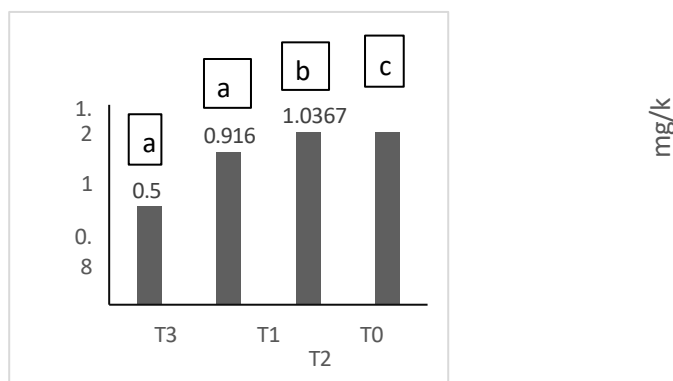


Figura 5. Concentración de cadmio en la planta en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c, d) indican diferencias estadísticamente significativas. Tratamientos con subconjuntos diferentes presentan diferencias significativas, mientras que aquellos con subconjuntos compartidos no muestran diferencias significativas entre si.

La figura 5, se muestra la concentración de cadmio en la planta en función a los diferentes tratamientos utilizados (diferentes concentraciones de humus de lombriz). Los subconjuntos

indican que T3 (a) difiere significativamente de T0 (bc) y T2 (c), mientras que T1 (ab) no presenta diferencias significativas con T3

ni con T0. Esto sugiere que la aplicación de humus de lombriz reduce la absorción de cadmio por las plantas, siendo más efectivo a mayor dosis (T3).

3.5. Cadmio total en plantas

Según el análisis de varianza de cadmio total en plantas se obtuvo. El análisis estadístico del cadmio total en plantas arrojó un p-valor de 0.244, que es mayor a $\alpha = 0.05$, indicando que no existe diferencia entre los tratamientos.

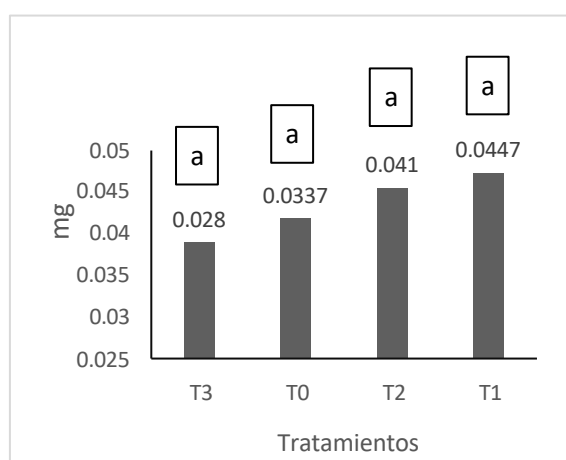


Figura 6: Cadmio total en plantas en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Único subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 6 muestra los niveles de cadmio en plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 0.0337 y 0.0447. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la acumulación de cadmio entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo tiende a absorber una mayor cantidad de cadmio en relación al tratamiento T3.

3.6. Peso seco

El análisis de varianza del peso seco total de la planta arrojó un p-valor de 0.086, que es mayor a $\alpha = 0.05$, indicando que no hay diferencia entre los tratamientos

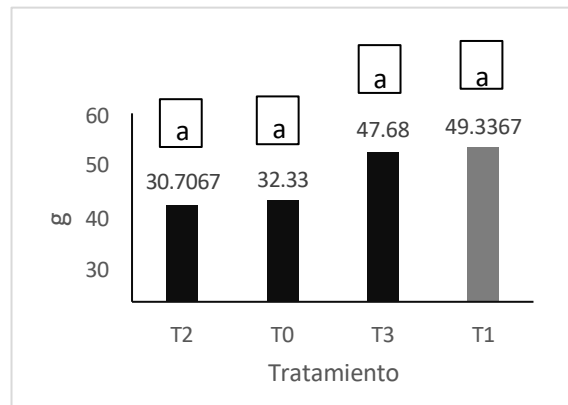


Figura 7: Peso seco en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Único subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 7 muestra el peso seco de las plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 30.7067 y 49.3367. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en el peso seco entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo tiende a tener un menor peso seco en comparación con los tratamientos donde se utilizó la enmienda orgánica.

3.7. Altura de la planta

El análisis de varianza de la altura de la planta arrojó un p-valor de 0.196, que es mayor a $\alpha = 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

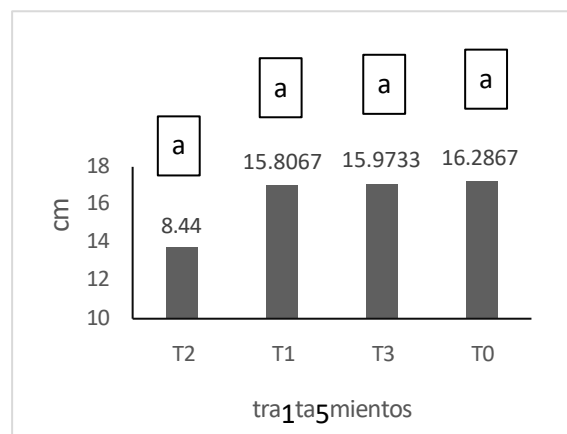


Figura 8: Altura de las plantas en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Único subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas

La Figura 8 muestra la altura de las plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 8.44 y 16.2867. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la altura entre ellos.

3.8. Profundidad de raíces

El análisis de varianza de la altura de la planta arrojó un p-valor de 0.598, que es mayor a $\alpha = 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

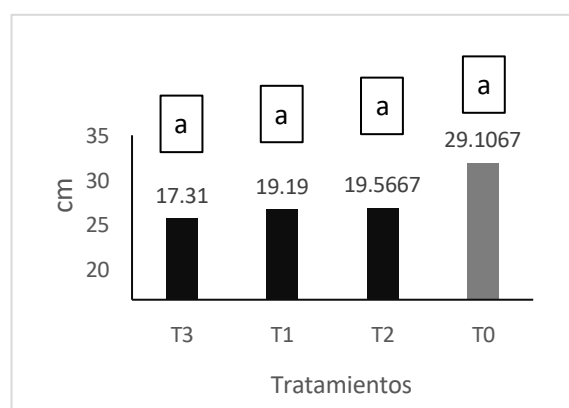


Figura 9. Profundidad de raíces en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Único subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 9 muestra la profundidad de las raíces para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 17.31 y 29.1067. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la profundidad de las raíces entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo presenta la mayor profundidad de raíces, en comparación con los tratamientos que incluyen humus de lombriz.

3.9. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta.

El análisis estadístico de la correlación entre la concentración cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta. Se ha encontrado una correlación significativa, ($p=0.009$) con un coeficiente de correlación de Pearson de $r = -0.714$.

Tabla 10. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta.

	Coeficiente	p	N
	<u>Pearson</u>		
Cadmio en la planta – Cadmio en el suelo	-0.714	0.009	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

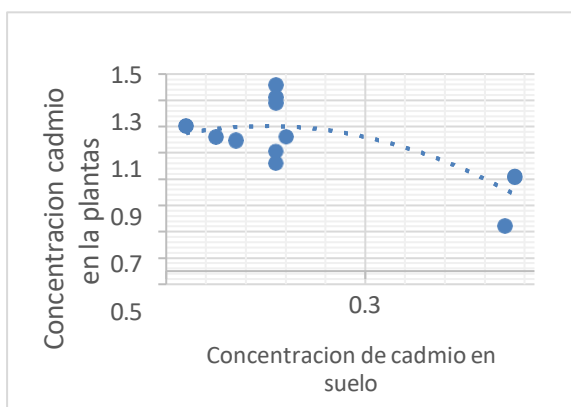


Figura 10: Correlación entre las variables de cadmio en plantas y cadmio en suelo.

La figura 10, se observa una correlación negativa considerable, lo que indica que a medida que aumenta la concentración de cadmio de suelo la concentración de cadmio en la planta disminuye.

3.9.1. Correlación entre la concentración cadmio en la planta y peso seco

Según el análisis estadístico, se observa que la concentración de cadmio en la planta y el peso seco es de $r = -0.620$, Sin embargo, el valor de $p = 0.031$ es menor que el umbral de significancia de 0.05, lo que sugiere que esta correlación si es estadísticamente significativa (Tabla 11).

Tabla 11. Correlación de cadmio en la planta y peso seco

	Coficiente	p	N
	Pearson		
Cadmio en la planta - peso seco	-0.620	0.031	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

La figura 11, se observa una correlación negativa consistente, lo que indica que a medida que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

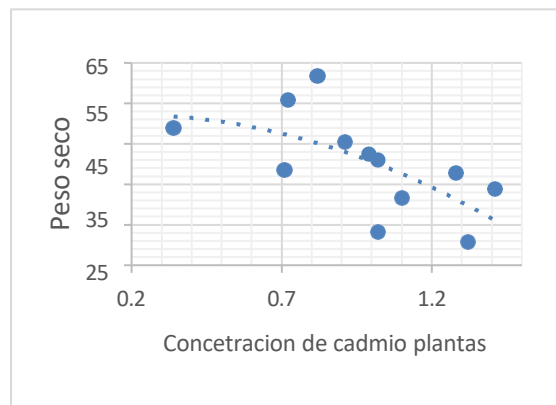


Figura 11: Correlación de la concentración de cadmio en la planta y peso seco.

3.9.2. Correlación entre la concentración cadmio en el suelo y peso seco

Según el análisis estadístico, se observa que entre la concentración de cadmio en el suelo y el peso seco es de $r = 0.446$, no obstante, el valor de $p = 0.147$ supera el umbral de significancia de 0.05 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Correlación cadmio en el suelo y peso seco

	Coficiente	p	N
	Pearson		
Cadmio en el suelo- peso seco	0.446	0.147	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

La figura 12, se observa una correlación positiva moderada, lo que infiere que cuando la concentración del cadmio en el suelo aumenta, peso seco también tiende a aumentar.

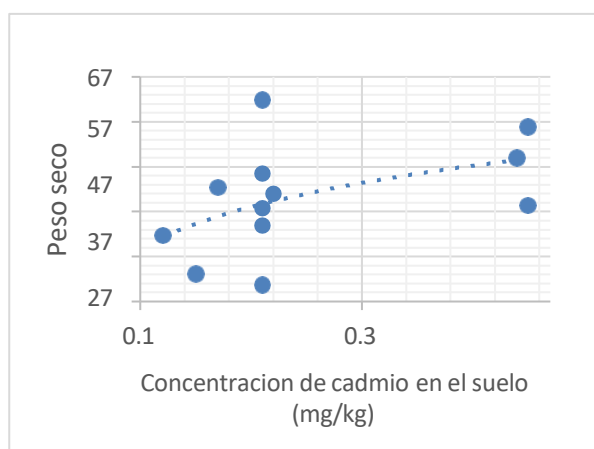


Figura 12: Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y peso seco.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de (Cerrón et al., 2020) reafirman que el uso de plantas de girasol en combinación con enmiendas orgánicas puede ser una estrategia efectiva para la fitoestabilización de suelos contaminados con Pb y Cd. La acumulación de los metales pesados principalmente en las raíces de las plantas de girasol y la mejora en la solubilización de los metales gracias a las enmiendas orgánicas son aspectos clave para el éxito de esta técnica de remediación.

Asimismo, dentro del estudio la *Brachiaria brizantha* alcanzó una altura máxima de 16.28 cm, algunas investigaciones del comportamiento de esta especie en la selva peruana, en suelos no contaminados, indican que la altura varían entre 79 a 83 cm (Pérego, 2021).

Por otro lado (Peña et al., 2021) comenta que las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por tener una mayor cantidad de proteínas transportadas y una alta selectividad en la absorción de metales pesados. Estos conocimientos son fundamentales para el desarrollo de técnicas de fitoextracción y la limpieza de suelos.

4.1. Concentración de Cadmio en el Suelo:

El tratamiento T3 (mayor concentración de humus) presentó la mayor concentración de Cd (0.4467 mg/kg), mientras que T0 mostró la menor (0.1467 mg/kg). Por lo que Liu *et al.* (2021)

sugieren que el humus puede formar complejos órgano-metálicos que alteran la movilidad del Cd, explicando la mayor concentración detectada en T3. Esta variación también podría atribuirse a los cambios en el pH y la capacidad de intercambio catiónico inducidos por el humus (Zhang *et al.*, 2022).

4.2. **Ph, Humus y Movilidad de Cadmio**

El tratamiento T3, con mayor concentración de humus, mostró los valores más altos de pH. Esto coincide con Zhang *et al.* (2022), quienes indican que el humus, pueden alterar el pH y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, influyendo en la movilidad y biodisponibilidad de metales pesados como el cadmio.

Adicionalmente, Liu *et al.* (2021) proponen que el humus puede formar complejos órgano-metálicos que alteran la movilidad del cadmio en el suelo. Esto explicaría la mayor concentración de cadmio detectada en el tratamiento T3 y a medida que el pH aumenta en función a los tratamientos.

4.3. **Concentración de Cadmio en Plantas:**

La concentración de Cd en plantas, fue mayor en T2 (1.3367 mg/kg) y T0 (1.0367 mg/kg), y menor en T3 (0.59 mg/kg). Estos coinciden con Chen *et al.* (2019), donde altas concentraciones de materia orgánica redujeron la biodisponibilidad del Cd, y con Wang *et al.* (2020), sobre como las enmiendas orgánicas reducen la biodisponibilidad del Cd. La *Brachiaria brizantha* demostró capacidad de acumulación de Cd, similar a lo reportado por Rodríguez-Eugenio *et al.* (2023) en otras gramíneas forrajeras tropicales.

4.4. **Concentración de peso seco:**

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en peso seco ($p=0.086$), altura ($p=0.196$) y profundidad de raíces ($p=0.598$), se observó una tendencia en los tratamientos con humus. Esto concuerda con Kumar *et al.* (2021), quienes documentaron efectos beneficiosos de las enmiendas orgánicas en el desarrollo vegetal bajo estrés por metales pesados, atribuyéndolo a la mejora en las propiedades físicas y nutricionales del suelo.

Por otro lado, la correlación negativa significativa entre la concentración cadmio en el suelo y concentración en la planta ($r=-0.714$, $p=0.009$), lo que evidencia que la planta posiblemente posee mecanismos de defensa que limitan la absorción del metal cuando hay altas concentraciones en el suelo, activando sistemas de exclusión para protegerse de la toxicidad y

regulando activamente el transporte del cadmio desde las raíces hacia otros tejidos. Este fenómeno fue similarmente documentado por Li *et al.* (2022) en estudios de fitorremediación.

La correlación negativa entre la concentración cadmio en planta y peso seco ($r=-0.620$, $p=0.031$), indica un efecto fitotóxico del metal sobre el crecimiento, consistente con los hallazgos de Park *et al.* (2023).

La correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y peso seco, resulto ser no significativa ($r=0.446$, $p=0.147$) lo que sugiere que el humus podría estar mitigando los efectos tóxicos del metal, como proponen Yang *et al.* (2021).

5. CONCLUSIONES

El estudio demostró que el uso de humus de lombriz en el suelo influye significativamente en la concentración de cadmio tanto en el suelo como en las plantas.

Los resultados demostraron que el humus juega un papel fundamental en la modificación de la biodisponibilidad del cadmio en el suelo, formando complejos órgano-metálicos que alteran significativamente las propiedades químicas del sustrato.

Se concluyo que en este proyecto debido a los resultados obtenidos influyen significativamente, la correlación de cadmio en el suelo y cadmio en la planta, lo que señala que aumenta la concentración de cadmio en el suelo, la concentración de cadmio en la planta disminuye.

Así mismo, no influyen significativamente, la correlación de cadmio en la planta y peso seco, lo que indica que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

Por lo tanto, supera la significancia, la concentración cadmio en el suelo y peso seco, lo que infiere la concentración del cadmio en el suelo aumento, peso seco tiende aumentar.

El tratamiento con humus de lombriz presentó mayor similitud al T3, por esta razón, se pudo determinar que aplicando humus de lombriz al cultivo se garantiza una mejor tolerancia de la planta en presencia de cadmio, y también un efecto superior en la dinámica de crecimiento.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alanya de la Cruz, V., Clemente Huaman, O., Castañeda Campos, C., Ancasi Esteban, C. E., & Ramos Mendoza, V. R. (2023). Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de

suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 785-801.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430 Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot,

S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39,1-15.

<https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x> Buendia, H., Cruz, F., Meza, C., y Arevalo, J. (2014).

Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *ALMA MÁTER*, Junio 2014 VOL 1 N°1.

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/download/11873/10595/41331>

Bustamante, Manuel (2018). Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo, en un cultivo de maíz del distrito de Orcotuna, Concepción-2016. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental.

<https://core.ac.uk/reader/266973070>

Castañeda, Susan y Canchan, Shalmery (2023). Efecto de dos enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por dos plantas cultivadas en suelo contaminado. Sincos. 2022. Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental.

Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13300/1/IV_FIN_107_T

E_Casta%C3%B1eda_Canchan_2023.pdf Castillo Sánchez, J. G., & Chimbo Solórzano, J. E.

(2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80–99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>

Chen, L., Yang, X., Wang, D., Luo, X., Feng, Y., & Liu, Y. (2019). The role of organic acids and amino acids in metal-organic complexes: Implications for cadmium bioavailability in soil. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 2465-2474.

Cheng, Q., Lu, C., Shen, H., Yang, Y., & Chen, H. (2021). The dual beneficial effects of vermiremediation: Reducing soil bioavailability of cadmium (Cd) and improving soil fertility by earthworm (*Eisenia fetida*) modified by seasonality. *The Science of the Total Environment*, 755(142631), 142631.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142631>

Clemente Huachen, Josué Pedro, Medina Contreras, Jefferson, Pfuño, Johel Daniel Laura, Pariona Aguilar, Luis Angel, & Gutiérrez Vílchez, Pedro Pablo. (2021). Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica*, 70(2), 163-170. Epub April 28, 2022. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.94208>

Domínguez, J., Aira, M., Crandall, K. A., & Pérez-Losada, M. (2021). Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. *Scientific Reports*, 11(1), 15556.

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>

Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao*

L. en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137.

<https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027> 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(124212), 124212.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124212>

Gravand, F., Rahnavard, A., & Pour, G. M. (2021). Investigation of vetiver grass capability in phytoremediation of contaminated soils with heavy metals (Pb, Cd, Mn, and Ni). *Soil & Sediment Contamination*, 30(2), 163–186.

<https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1819959>.

Gonzales, A. E., Sanchez, Y. J., & Vilcas, C. I. (2021). Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (*Brachiaria brizantha*) y maíz (*Zea mays*). Universidad Peruana Unión.

- Guo, F., Ding, C., Zhou, Z., Han, F., Tang, R., Huang, G., & Wang, X. (2020). Assessment of the immobilization effectiveness of several amendments on a cadmium-contaminated soil using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189(109948), 109948.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109948>
- Hernandez-Baramda, Y. R.-H.-I.-H.-R. (01 de septiembre de 2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*. 40(3). Recuperado el 03 de octubre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es.
- Huaraca Fernández, R., Valdez Nuñez, RA, Siche, R., & Castro, W. (2020). Evaluación de metales pesados en suelos de un humedal de altura andino restaurado. *SN Ciencias Aplicadas*, 2(9), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03296-8>
- Huaraca-Fernandez, J., Pérez-Sosa, L., Bustinza- Cabala, L., & Pampa-Quispe, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139-152.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Jampasri, K., & Saeng-Ngam, S. (2019). Phytoremediation and accumulation of cadmium from contaminated saline soils by vetiver grass. *Environment Control in Biology*, 57(3), 61–67. <https://doi.org/10.2525/ecb.57.61>
- Karagöz, F. P., Dursun, A., Tekiner, N., Kul, R., & Kotan, R. (2019). Efficacy of vermicompost and/or plant growth promoting bacteria on the plant growth and development in gladiolus. *Ornamental horticulture*, 25, 180-188.
<https://doi.org/10.14295/oh.v25i2.2023> Kumar, S., Prasad, S., & Kumar, A. (2021). Earthworm-derived organic amendments enhance plant growth and reduce metal toxicity in contaminated soils: A comprehensive review. *Environmental Pollution*, 278, 116851.

Li, X., Zhang, H., Chen, J., Liu, P., & Yang, R. (2022). Mechanisms of heavy metal immobilization by organic amendments in contaminated soils: A molecular-level investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127418.

Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>

Liu, Y., Wang, H., Li, X., & Li, J. (2021). Characterization of heavy metal binding to vermicompost: A mechanistic study on biosorption. *Bioresource Technology*, 319, 124147.

Marcano, L., León, A. C., Arrieché, D., Zapata- Vivenes, E. (2019). Toxicidad del cadmio en celomocitos de lombriz de tierra *Eisenia sp.*: Ensayo in vitro. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 53(1), 54-69. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/viewFile/30006/31037>

Marwa A Ismael, A. M. (20 de febrero de 2019). Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. 11(255-277). doi:<https://doi.org/10.1039/c8mt00247a> Milanés Figueredo Masgloiris, Rodríguez González

Horacio, Ramos Gálvez Raúl, Rivera Amita María Magdalena. Efectos del compost vegetal y humus de lombriz en la producción sostenible de capítulos florales en *Calendula officinalis L.* y *Matricaria recutita L.* *Rev Cubana Plant Med* [Internet]. 2005 Abr [citado 2024 Jun 25]; 10(1): . Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962005000100008&lng=es.

Molina Rostran, J. L., Delgado Carrion, J. R., and Hernandez Fuentes, J. H. (2003). Determinación de dosis de humus de lombriz para el óptimo desarrollo en el cultivo de Pipían (*Cucúrbita pepo*) Campus Agropecuario UNAN-LEON Presentado por :Br . Hugo José Fuentes Hernández . Asesor : Msc . Ana Cristina Rostràn ., 33. Retrieved from

<http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/924/1/199253.pdf>

Munive Cerrón, Rubén, Gamarra Sánchez, Gilberto, Munive Yachachi, Yveth, Puertas Ramos, Fernando, Valdiviezo Gonzales, Lorgio, & Cabello Torres, Rita. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2),177-186.

<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.20.20.02.04>

Munive Cerrón, Rubén, Loli Figueroa, Oscar, Azabache Leyton, Andrés, & Gamarra Sánchez, Gilberto. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560.

<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.20.18.04.11>

Noe, H. F. J., & Lourdes, P. S. (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://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_70353bc67f60842ceae4d10c930abce6?utm_source

Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., & Choppala,

G. (2023). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils. *Chemosphere*, 291, 132757.

Cerrón, R. M., Sánchez, G. G., Yachachi, Y. M., Ramos, F. P., Gonzales, L. V., & Torres, R. C. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177–186.

<https://doi.org/10.17268/SCIAGROPECU.20.20.02.04>

Gonzales, A. E., Sanchez, Y. J., & Vilcas, C. I. (2021). Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (*Brachiaria brizantha*) y maíz (*Zea mays*). *Universidad Peruana Unión*.

Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados.

Scientia Agropecuaria, 9(4), 551–560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>

- Peña, K., Carrillo, ; Manuel, Durango, W., Orozco, P., & Peña, A. (2021). *Mitigacion de Cadmio por fitorremediacion*.
- Pérego, J. (2021). Brachiaria brizantha, implantación, manejo y producción. *Producción Animal*, 1–5.
- Poma, A., & Quiñonez, C. (2021). Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays l. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021. *Repositorio Institucional - UC, Cusco - Perú, Tesis de Pregrado*, 193.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm Eisenia foetida. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
- Rodríguez-Eugenio, N., Villaseñor, J., & McLaughlin, M. J. (2023). Phytoremediation potential of tropical forage grasses in metal-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 12-28.
- Saboya Rios, X. V. (2021). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Revista Muro de la Investigación*, 6(1), 60–83. <https://doi.org/10.17162/rmi.v6i1.1439>
- Sapaico, Yosselyn (2020) Efecto de la cal, materia orgánica y EM en el contenido de cadmio de un suelo contaminado en el centro poblado de Huancaní, distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja – 2019. Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8166/3/IV_FIN_107_TE_Sapaico_Chancasanampa_2020.pdf
- Singh, J., Eisenhauer, N., Schädler, M., & Cesarz, S. (2021). Earthworm gut passage reinforces land-use effects on soil microbial communities across climate treatments. *Applied Soil Ecology*, 164, 103919. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103919>
- Usmani, Z., Kumar, V., Rani, R., Gupta, P., & Chandra, A. (2019). Changes in physico-chemical, microbiological and biochemical parameters during composting and vermicomposting of coal fly ash: a comparative study. *International journal of*


environmental science and technology, 16, 4647-4664.
<https://doi.org/10.1007/s13762->

018-1893-6

- Vizconde Suárez, J. Y. (2023). La fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros a través de *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum*. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad nacional mayor de San Marcos (Impresa), 26(52), e25283. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.2528> 3
- Wang, L., Yang, K., Cai, C., & Liu, Y. (2020). Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic greenhouse soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, 106719.
- Wu, Y., Chen, C., Wang, G., Xiong, B., Zhou, W., Xue, F., Qi, W., Qiu, C., & Liu, Z. (2020). Mechanism underlying earthworm on the remediation of cadmium-contaminated soil. *The Science of the Total Environment*, 728(138904), 138904.
- Mechanism underlying earthworm on the remediation of cadmium-contaminated soil. *The Science of the Total Environment*, 728(138904), 138904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138904>
- Yang, X., Li, Q., Tang, Y., & Zhang, X. (2021). Role of organic amendments in reducing metal toxicity and improving plant growth in contaminated soils: Mechanisms and applications. *Environmental Pollution*, 268, 115859.
- Zhang, M., Wang, J., Bolan, N., & Kirkham, M. B. (2022). Mechanisms of heavy metal immobilization by organic amendments in contaminated soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(5), 541-590.

KIARA RIOS

Tesis Kiara.docx

 Universidad Peruana Union

Document Details

Submission ID

trn:oid::29566:457849461

Submission Date

May 11, 2025, 7:55 AM GMT-5

Download Date

May 11, 2025, 7:56 AM GMT-5

File Name

Tesis Kiara.docx

File Size

236.5 KB

18 Pages

6,930 Words

39,754 Characters




5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 15 words)

Top Sources

- 4%  Internet sources
- 0%  Publications
- 3%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 4% Internet sources
- 0% Publications
- 3% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="background-color: #e91e63; color: white; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px;">1</div> <div style="background-color: #fce4ec; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; font-weight: bold; font-size: 0.9em;">Internet</div> </div> <p>repositorio.upeu.edu.pe</p>	4%
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="background-color: #2196f3; color: white; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px;">2</div> <div style="background-color: #bbdefb; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; font-weight: bold; font-size: 0.9em;">Internet</div> </div> <p>alicia.concytec.gob.pe</p>	<1%
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="background-color: #4caf50; color: white; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px;">3</div> <div style="background-color: #e8f5e9; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; font-weight: bold; font-size: 0.9em;">Submitted works</div> </div> <p>Universidad Cesar Vallejo on 2017-07-23</p>	<1%
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="background-color: #9c27b0; color: white; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px;">4</div> <div style="background-color: #e1bee7; border-radius: 10px; padding: 2px 10px; font-weight: bold; font-size: 0.9em;">Submitted works</div> </div> <p>Universidad Nacional Agraria de la Selva on 2022-12-21</p>	<1%

Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas.

Application of worm humus as a confinement treatment in soils contaminated with cadmium, Yurimaguas district.

Aplicação de húmus de minhoca como tratamento de contenção em solos contaminados com cádmio, distrito de Yurimaguas.

Kiara Ríos <https://orcid.org/0000-0003-1130-554X> - kiarapaima24@gmail.com

1*

Andrés Gonzales <https://orcid.org/0000-0002-4744-9927> - andres.gonzales@upeu.edu.pe

2*

DOI:

RESUMEN

Introducción: La investigación sobre la contaminación por cadmio en suelos agrícolas ha ganado relevancia significativa demostrando que las enmiendas orgánicas son efectivas para inmovilizar el cadmio. En este estudio se seleccionó la especie brizanta (*Brachiaria brizantha*), pasto utilizado en las actividades ganaderas, estudiada como planta fitorremediadora. **Objetivo:** Evaluar la efectividad del humus de lombriz en la remediación de suelos contaminados con cadmio, utilizando *Brachiaria brizantha* como indicador biológico en la ciudad de Yurimaguas. **Métodos:** En un campo se diseñó un experimento aleatorio con cuatro tratamientos: un control sin humus (T0) y tres dosis de humus de lombriz (T1: 5000g/m², T2: 10000g/m², T3: 15000g/m²) en suelos con 1.5 ppm de cadmio. Durante cuatro meses se monitorearon el crecimiento vegetal y las concentraciones de cadmio. **Resultados:** Los resultados mostraron que T3 retuvo más cadmio en el suelo (0.4467 mg/kg), mientras que T2 y T0 presentaron mayor acumulación en las plantas (1.3367 mg/kg y 1.0367 mg/kg, respectivamente). Se observó una correlación negativa significativa entre el cadmio en suelo y planta ($r=-0.714$, $p=0.009$), y aunque no hubo diferencias significativas en el crecimiento, la relación entre el cadmio en planta y el peso seco ($r=-0.620$,

¹ (Kiara Melissa Ríos Paima) Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú; kiarapaima24@gmail.com

² (Andrés Gonzales) Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú; andres.gonzales@upeu.edu.pe

p=0.031) sugiere efectos fitotóxicos. **Conclusiones:** Se concluye que el humus de lombriz puede modificar la biodisponibilidad del cadmio, ofreciendo una alternativa viable para la remediación de suelos contaminados con metales pesados. Así mismo, no influyen significativamente, la correlación de cadmio en la planta y peso seco, lo que indica que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

Palabras clave: Metales pesados, contaminación por cadmio, inmovilización de metales, *Brachiaria brizantha*

ABSTRACT

Introduction: Research on cadmium contamination in agricultural soils has gained significant relevance, demonstrating that organic amendments are effective for immobilizing cadmium. In this study, the species brizanta (*Brachiaria brizantha*), a grass used in livestock activities, was selected as a phytoremediation plant. **Objective:** To evaluate the effectiveness of vermicompost in the remediation of soils contaminated with cadmium, using *Brachiaria brizantha* as a biological indicator in the city of Yurimaguas. **Methods:** In a field, a randomized experiment was designed with four treatments: a control without vermicompost (T0) and three doses of vermicompost (T1: 5000g/m², T2: 10000g/m², T3: 15000g/m²) in soils with 1.5 ppm of cadmium. Plant growth and cadmium concentrations were monitored for four months. ****Results**:** The results showed that T3 retained more cadmium in the soil (0.4467 mg/kg), while T2 and T0 presented greater accumulation in the plants (1.3367 mg/kg and 1.0367 mg/kg, respectively). A significant negative correlation was observed between cadmium in soil and plant ($r=-0.714$, $p=0.009$), and although there were no significant differences in growth, the relationship between cadmium in plant and dry weight ($r=-0.620$, $p=0.031$) suggests phytotoxic effects. **Conclusions:** It is concluded that vermicompost can modify the bioavailability of cadmium, offering a viable alternative for the remediation of soils contaminated with heavy metals. Likewise, the correlation of cadmium in the plant and dry weight does not significantly influence, indicating that as dry weight increases, the cadmium concentration of the plant decreases.

Keywords: Heavy metals, cadmium contamination, metal immobilization, *Brachiaria brizantha*

RESUMO

Introdução: A pesquisa sobre contaminação por cádmio em solos agrícolas ganhou relevância significativa, demonstrando que as emendas orgânicas são eficazes para imobilizar o cádmio. Neste estudo, a espécie brizanta (*Brachiaria brizantha*), gramínea utilizada em atividades pecuárias, foi selecionada como planta fitorremediadora. **Objetivo:** Avaliar a eficácia do húmus de minhoca na remediação de solos contaminados com cádmio, utilizando *Brachiaria brizantha* como indicador biológico na cidade de Yurimaguas. **Métodos:** Em campo, foi desenhado um experimento aleatorizado com quatro tratamentos: um controle sem húmus (T0) e três doses de húmus de minhoca (T1: 5000g/m², T2: 10000g/m², T3: 15000g/m²) em solos com 1,5 ppm de cádmio. O crescimento das plantas e as concentrações de cádmio foram monitorados durante quatro meses. **Resultados:** Os resultados mostraram que T3 reteve mais cádmio no solo (0,4467 mg/kg), enquanto T2 e T0 apresentaram maior acumulação nas plantas (1,3367 mg/kg e 1,0367 mg/kg, respectivamente). Observou-se uma correlação negativa significativa entre o cádmio no solo e na planta ($r=-0,714$, $p=0,009$), e embora não houvesse diferenças significativas no crescimento, a relação entre o cádmio na planta e o peso seco ($r=-0,620$, $p=0,031$) sugere efeitos fitotóxicos. **Conclusões:** Conclui-se que o húmus de minhoca pode modificar a biodisponibilidade do cádmio, oferecendo uma alternativa viável para a remediação de solos contaminados com metais pesados. Da mesma forma, a correlação de cádmio na planta e peso seco não influencia significativamente, indicando que à medida que o peso seco aumenta, a concentração de cádmio da planta diminui.

Palavras-chave: Metais pesados, contaminação por cádmio, imobilização de metais, *Brachiaria brizantha*

INTRODUCCIÓN

En la última década, la investigación sobre la contaminación por cadmio en suelos agrícolas ha ganado relevancia significativa. (Huaraca-Fernandez, 2020) demostraron que las enmiendas orgánicas son efectivas para inmovilizar el cadmio, destacando que los materiales orgánicos con alto contenido de grupos funcionales y pH alcalino presentan mayor capacidad de adsorción. Por su parte, (Noe & Lourdes, 2019) evaluó específicamente el efecto de tres enmiendas orgánicas en suelos cacaoteros, encontrando que el humus de lombriz logró la mayor reducción en la biodisponibilidad del cadmio, con una eficiencia del 89.47%. Complementariamente, (Marcano et al., 2019) estudiaron los efectos tóxicos del cadmio en lombrices *Eisenia sp.*, evidenciando daños celulares significativos en concentraciones superiores a 200 µg/mL, lo que resalta la importancia de estos organismos como bioindicadores de contaminación y su papel en la producción de enmiendas orgánicas para la remediación de suelos.

El crecimiento del sector industrial y la intensificación de las prácticas agrícolas han generado una preocupante degradación de los suelos, en gran parte es debido al almacenamiento de metales pesados como el cadmio. Este fenómeno representa un desafío ambiental de alcance global y persistente (Huaraca *et al.*, 2020).

El cadmio para (Marwa A Ismael, 2019) es uno de los contaminantes más tóxicos y peligrosos para el medio ambiente, ocupando el tercer lugar. Esta se encuentra absolutamente distribuido y se libera al ambiente a través de actividades industriales y la antropización (Hernandez-Baramda, 2019).

La degradación de suelos por cadmio se relaciona con eventos desencadenados por la ejecución de actividades industriales y supone riesgos significativos para la calidad de los recursos

naturales, los alimentos y la salud humana, puesto que provoca el deterioro de la calidad del suelo debido a que actúa como agotador de los nutrientes e inhibidor de la actividad microbiana afectando los cultivos y comprometiendo la seguridad alimentaria (Munive et al., 2020).

La Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria ha informado que la ingesta media de cadmio en países europeos supera el límite semanal recomendado de 2.5 µg/kg de peso corporal, llegando a duplicarse en algunos grupos poblacionales. Además, el 7% de las tierras agrícolas en China se han encontrado contaminadas con cadmio, y cada año se reporta la contaminación de casi 12 millones de toneladas de cereales con metales tóxicos. Por ello, se destaca la necesidad de reducir la exposición al cadmio en la población (Furcal-Beriguete & Torres-Morales, 2020).

Así mismo, el cadmio es un metal pesado muy nocivo y tiene la capacidad de acumularse en los organismos vivos llegando a provocar una alteración tubular renal, nefrolitiasis, cambios en la homeostasis del calcio y de los huesos, así como anomalías en los sistemas endocrino, reproductor y respiratorio. También el cadmio se introduce en la dieta humana a través del consumo de plantas y productos animales, pues, los cultivos agrícolas pueden absorber eficientemente Cd en diferentes formas, como cloruro de cadmio, Sulfato de cadmio a través del sistema radicular, luego migrar a los brotes de las plantas y translocarse a las semillas (Nieves *et al.*, 2019).

Dentro de la Amazonía peruana se registran valores altos de cadmio en plantaciones, los cuales exceden el límite máximo permisible establecidos por la legislación peruana y la OMS (Irigoin & Trigo, 2022). Debido al uso de pesticidas, se introducen metales pesados al suelo, como cadmio, cromo y plomo, que resultan altamente perjudiciales para el

medio ambiente, los animales y las personas (Verástegui, 2021). La producción agrícola en la región de Loreto se caracteriza por el uso intensivo de fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas, lo que genera contaminación tanto del entorno como de los cultivos destinados a la alimentación (Napuchi *et al.*, 2022).

Sobre la base de la evidencia expuesta anteriormente, existe una necesidad urgente de adoptar mecanismos de remediación rentables y respetuosos con el ambiente para mitigar eficazmente la contaminación por cadmio, como la aplicación de abonos orgánicos por su relación directa con la reducción de metales pesados, pues ante mayor materia orgánica mayor adsorción de cadmio. El humus de lombriz, es una alternativa de tratamiento de suelos contaminados con cadmio, debido a que está compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, y constituye una importante reserva de materia orgánica en el suelo (Florida & Escobar, 2019). Así mismo, la gramínea (*Brachiaria brizantha*) es una especie forrajera que se utiliza principalmente para pastoreo, y suele crecer en terrenos agrícolas, donde junto con otras plantas como arroz, maíz, tomate, frijol, se ve afectada por la presencia de metales pesados provenientes de agroquímicos, lo que muchas veces impide que esta gramínea se desarrolle adecuadamente y sea utilizada en actividades ganaderas, ya que últimamente se ha reportado la presencia de cadmio en leche y productos lácteos.

Ante esta situación, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio en el distrito de Yurimaguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el fundo “Belén” ubicado en el Km6 de la carretera de Yurimaguas – Tarapoto, distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, región de Loreto – Perú. Las condiciones climáticas

del lugar varían entre los meses de octubre del 2023 a marzo del 2024, por lo cual presenta una precipitación anual promedio de 2 086.2 mm, una media anual de temperatura máxima y mínima es 21.58°C y 31.7°, las mayores precipitaciones se producen entre septiembre a mayo, y las mínimas en agosto (Weather Spark, 2018). Yurimaguas está considerada como parte de Selva Baja (Figura 1).

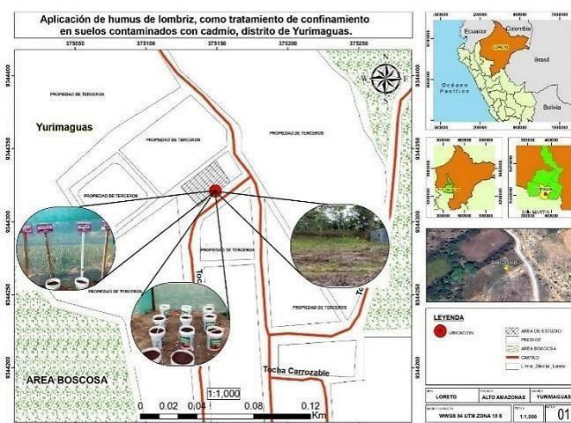


Figura 1. Ubicación del proceso de tratamiento del suelo contaminado con cadmio.

Diseño de la investigación

El diseño experimental es un diseño completamente al azar con dos tratamientos, un testigo y tres repeticiones (Poma & Quiñonez, 2021).

El diseño según (Gonzales *et al.*, 2021) consistió en el establecer de tres tratamientos, los cuales estuvieron divididos en: T0: tratamiento testigo con 0 de humus de lombriz, T1: 5000g/m² de humus de lombriz, T2: 10000g/m² de humus de lombriz y T3: 15000g/m² de humus de lombriz. (Figura 2).

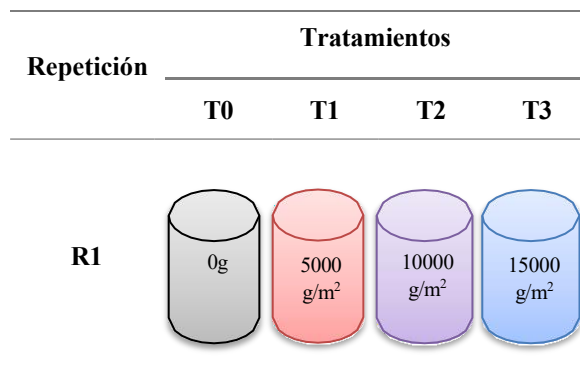




Figura 2. Distribución de las unidades experimentales completos al azar de los tratamientos de cadmio.

Instalación del experimento

Preparacion de semilla.

1 La semillas Brachiaria brizantha fueron semillas certificadas adquiridas en una agropecuaria, las cuales, se sembro 4 semillas en cada repeticion correspondiente.

Preparacion de la solucion de cadmio.

cadmio, Cadmio Cd(

1 Lo cual fue contaminado con 1.5 ppm de cadmio homogenizado durante 4 dias y asegurando que la concentracion estuviera por encima de los Estandares de Calidad Ambiental para suelo (ECA - Decreto Supremo N° 011-2017 -MINAM).

1 Proceso de germinacion de las especies vegetales.

4 La germinacion de la brizanta se dio a los 7 y 5 dias respectivamente y fueron puestas bajo condiciones ambientales normales. Se llevó un control del agua administrada tanto por riego como por secano. Ya que

debido a las altas temperaturas donde se desarrolló la investigación el riesgo de marchitez de las plantas fue elevado. Una vez cumplido el tiempo aproximado de 4 meses, debido a la madurez fisiológica del cultivo del Brachiaria brizantha y duración del proyecto (Munive et al., 2018). Se extrajo una muestra de suelo de cada tratamiento aplicado, en consideración de las especificaciones de la Guía para el muestreo de suelos contaminados, en el marco del Decreto Supremo N°002-2013 , que consiste en cuartear la muestra mezclada y volver a reiterar el proceso hasta alcanzar la cantidad requerida de material a analizar con el fin cadmio

Diferencias entre compost y humus de lombriz

El compost es una abono organico valioso que se obtiene a partir de la descomposicion de residuos organicos. Su proceso de compostanje requiere control de factores ambientales para lograr un producto final de calidad. El unso principal del compost es como fertilizante organico, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas; puede considerse como una solucion respetuosa con el medio ambiente al minimizar la necesidad de aplicaciones quimicas (Poma & Quiñonez, 2021). El uso de humus de lombriz tiene como finalidad de transformar del estiércol compostado usando lombriz roja californiana. Posee una gran riqueza en flora microbiana que incorpora el suelo aumentndo la fertilidad biologica.

Análisis de Laboratorio

En el laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas, fertilizantes y alimentos - Instituto de Cultivos Tropicales se realizó la caracterización física químico.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los suelos previo al tratamiento con dosis de humus de lombriz, 2024.

Caracterización del suelo y metal pesado							
Campo	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Clase textural	CIC	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)
Muestra 1	4,58	0,02	2,35	Fra-Arc-Are	3,57	10,49	28,04

Los suelos contaminados por la actividad antrópica actualmente se encuentran considerablemente afectados, de tal manera que de acuerdo al análisis correspondiente de los parámetros fisicoquímicos se obtuvo un pH de 4.58, mostrando un suelo ácido debido a los contaminantes existentes, 0.02 dS/m de conductividad eléctrica considerada una conductividad baja para cultivos en salinidad, 2.35 % de materia orgánica considerada clase media para suelos fértiles, la clase textural fue franco arcillo arenoso, la CIC fue 3.5 Cmol(+)/kg, la cual es considerado como bajo para el suelo de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que existe, 10.49 % de fósforo estando en condiciones óptimas, 28.04 % de potasio está en condiciones bajas para suelos de alta calidad.

Análisis de datos

Se examinaron los datos utilizando el programa estadístico SPSS 23, se reconocieron los promedios, se ejecutó un estudio de ANOVA, luego se procedió a realizar la prueba de Tukey para hacer los análisis de comparación de medias. Realizando correlaciones de Pearson’s, para un segundo análisis de las variables estudiadas.

RESULTADOS

pH

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el pH entre los tratamientos, con un valor de significancia estadística muy bajo ($p < 0.001$). Esto permite rechazar la hipótesis nula, confirmando que los tratamientos tienen un efecto significativo en el pH del suelo. Además, el alto valor del estadístico F (46.357) y la mayor suma de cuadrados intergrupos (12.115) en comparación con la intragrupos (0.653) refuerzan que las diferencias entre tratamientos son más relevantes que las variaciones dentro de cada grupo, lo que sugiere que el pH aumenta con mayores dosis de humus de lombriz.

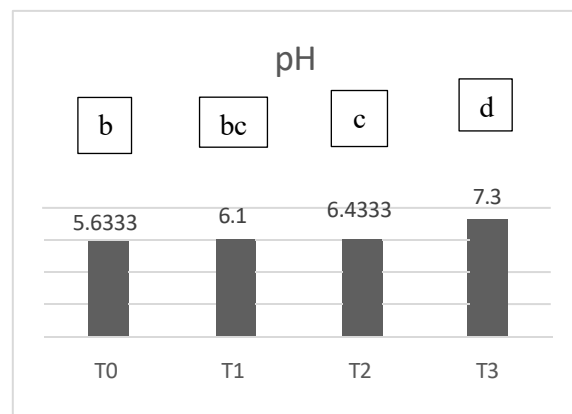


Figura 2: pH del suelo en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c, d) indican diferencias estadísticamente significativas.

Tratamientos con subconjuntos diferentes presentan diferencias significativas, mientras que aquellos con subconjuntos compartidos no muestran diferencias significativas entre sí.

En la Figura 2, se observa que el pH del suelo aumenta significativamente con mayores dosis de humus de lombriz. El tratamiento con la dosis más alta (T3) presenta el pH más alto, mientras que el control sin humus (T0) tiene el pH más bajo. Cabe

destacar que, antes de contaminar el suelo, la muestra inicial (Ti) tenía un pH aún más bajo (4.58), lo que indica que tanto la contaminación con cadmio como la aplicación de humus modificaron significativamente el pH del suelo. Esto indica que el humus de lombriz ayuda a aumentar el pH de manera dependiente de la dosis aplicada.

Concentración Cadmio en el suelo.

El análisis estadístico reveló diferencias significativas en la concentración de cadmio retenido en el suelo entre los tratamientos ($F = 298.46, p < 0.001$), el tratamiento T3(0.4467 mg/kg) seguido de los tratamientos T1(0.2133mg/kg), T2 (0.21mg/kg) y el tratamiento con menor concentración fue el T0 (0.1467mg/kg). La variación entre el tratamiento testigo y el T3 fue de 0.3 mg/kg.

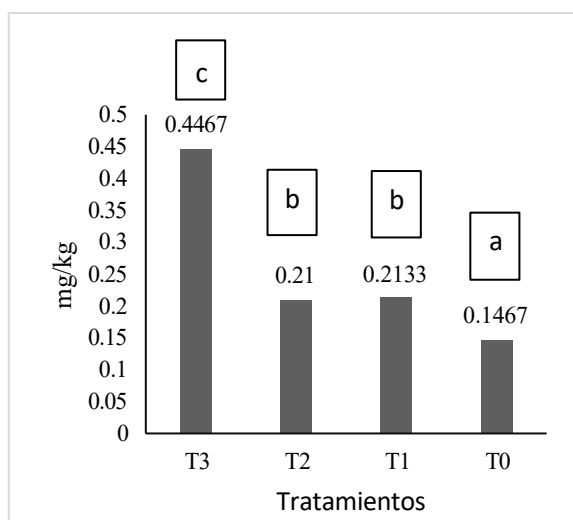


Figura 3: Concentración de cadmio en el suelo en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

La figura 3, se muestra la concentración de cadmio en el suelo, en función a los diferentes tratamientos utilizados (diferentes concentraciones de humus de lombriz). Los subconjuntos indican que T0 difiere significativamente de T1, T2 y T3, mientras que T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre sí,

pero sí difieren de T3. Esto indica que la aplicación de humus de lombriz modifica la retención de cadmio en el suelo de manera dependiente de la dosis aplicada.

Total, de cadmio por macetas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el total de cadmio acumulado por maceta entre los tratamientos ($F = 298.46, p < 0.001$), siendo el tratamiento con mayor acumulación de cadmio por macetas, el T0 (8.04 mg), seguido de los tratamientos T1(3.84 mg), T2 (3.78 mg) y el tratamiento con menor acumulación fue el T3(2.64 mg). La variación entre el tratamiento 3 y el tratamiento testigo fue de 5.4 mg.

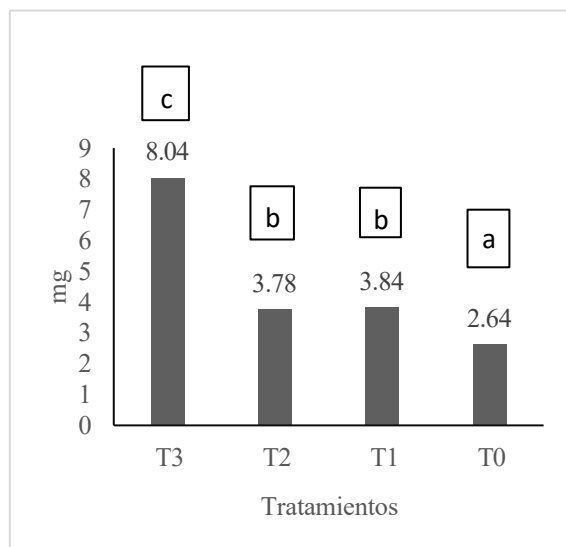


Figura 4: Total de cadmio por macetas en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

La figura 4, se muestra el total de cadmio por macetas en función a los diferentes tratamientos utilizados. (diferentes concentraciones de humus de lombriz). los subconjuntos indican que T0 difiere significativamente de T1, T2 y T3, mientras que T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí difieren de T3. Esto sugiere que la aplicación

de humus de lombriz modifica la retención de cadmio en el suelo de manera dependiente de la dosis aplicada.

Concentración de Cadmio en la planta

Según el análisis de varianza en la concentración de cadmio en la planta se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos ($F = 17.717$, $p = 0.001$), siendo los tratamientos con mayor concentración de cadmio en planta, los tratamientos T2 (1.3367 mg/kg) y T0 (1.0367 mg/kg) seguido del T1 (0.9167 mg/kg) y el tratamiento con menor concentración fue el T3 (0.59 mg/kg). La variación entre el testigo 0 y el T3 fue de 0.4467 mg/kg.

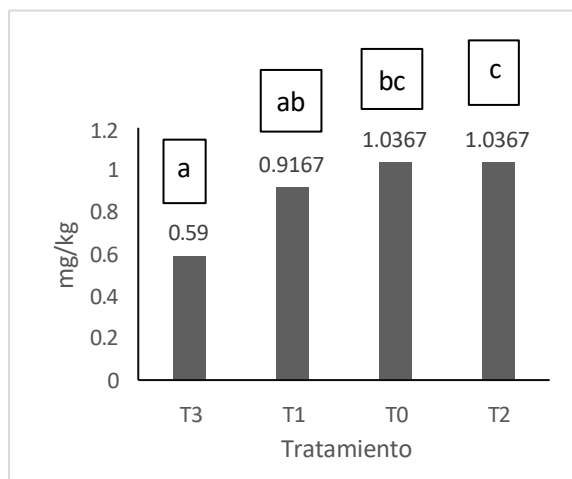


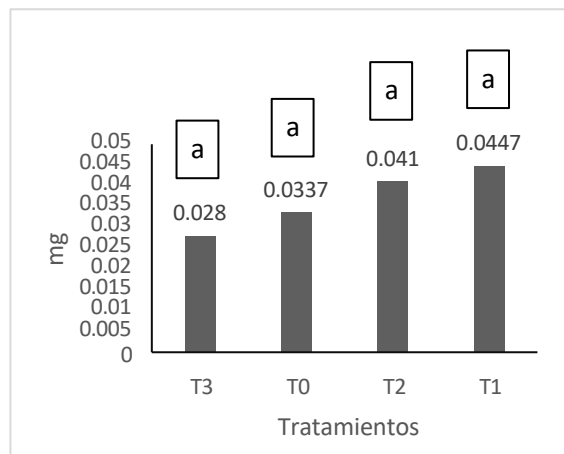
Figura 5. Concentración de cadmio en la planta en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Los subconjuntos (a, b, c, d) indican diferencias estadísticamente significativas. Tratamientos con subconjuntos diferentes presentan diferencias significativas, mientras que aquellos con subconjuntos compartidos no muestran diferencias significativas entre si.

La figura 5, se muestra la concentración de cadmio en la planta en función a los diferentes tratamientos utilizados (diferentes concentraciones de humus de lombriz). Los subconjuntos indican que T3 (a) difiere significativamente de T0 (bc) y T2 (c), mientras que T1 (ab) no presenta diferencias significativas con T3

ni con T0. Esto sugiere que la aplicación de humus de lombriz reduce la absorción de cadmio por las plantas, siendo más efectivo a mayor dosis (T3).

Cadmio total en plantas

Según el análisis de varianza de cadmio total en plantas se obtuvo. El análisis estadístico del cadmio total en plantas arrojó un p-valor de 0.244, que es mayor a $\alpha = 0.05$, indicando que no existe diferencia



entre los tratamientos.

Figura 6: Cadmio total en plantas en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Unico subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 6 muestra los niveles de cadmio en plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 0.0337 y 0.0447. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la acumulación de cadmio entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo tiende a absorber una mayor cantidad de cadmio en relación al tratamiento T3.

Peso seco

El análisis de varianza del peso seco total de la planta arrojó un p-valor de 0.086, que es mayor a $\alpha = 0.05$, indicando que no hay diferencia entre los tratamientos

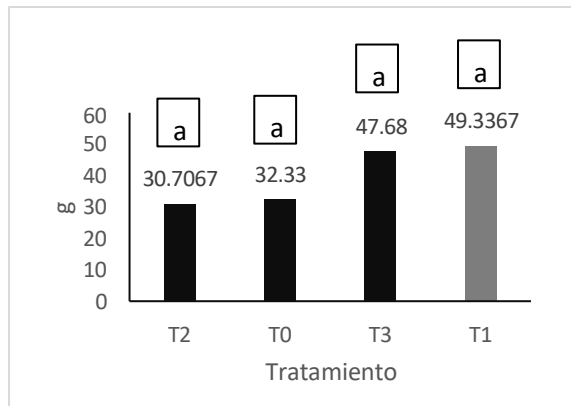


Figura 7: Peso seco en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Unico subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 7 muestra el peso seco de las plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 30.7067 y 49.3367. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en el peso seco entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo tiende a tener un menor peso seco en comparación con los tratamientos donde se utilizó la enmienda orgánica.

Altura de la planta

El análisis de varianza de la altura de la planta arrojó un p-valor de 0.196, que es mayor a $\alpha = 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

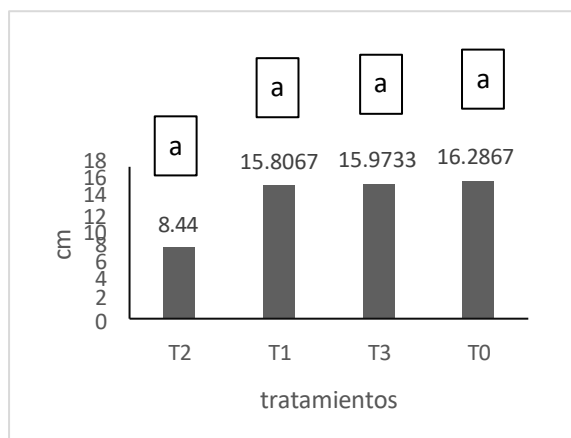


Figura 8: Altura de las plantas en los diferentes

tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Unico subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 8 muestra la altura de las plantas para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 8.44 y 16.2867. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la altura entre ellos.

Profundidad de raíces

El análisis de varianza de la altura de la planta arrojó un p-valor de 0.598, que es mayor a $\alpha = 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

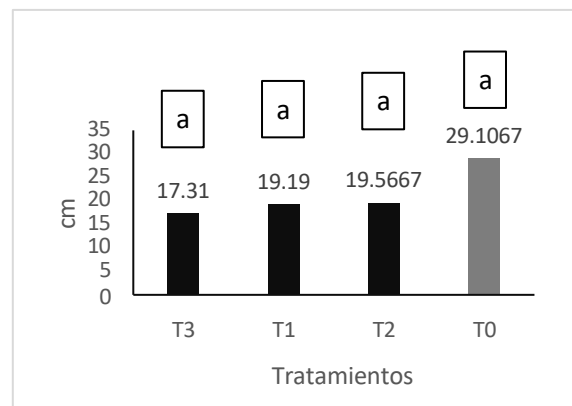


Figura 9. Profundidad de raíces en los diferentes tratamientos (T0 = control sin humus, T1 = 5000 g/m², T2 = 10000 g/m², T3 = 15000 g/m²). Unico subconjunto (a), indica que no existen diferencias estadísticamente significativas.

La Figura 9 muestra la profundidad de las raíces para los tratamientos T0, T1, T2 y T3, con valores entre 17.31 y 29.1067. Aunque todos los tratamientos pertenecen al mismo subconjunto (a) con $p \geq 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas en la profundidad de las raíces entre ellos, se observa una tendencia en la que el tratamiento testigo presenta la mayor profundidad de raíces, en comparación con los tratamientos que incluyen humus de lombriz.

Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta

El análisis estadístico de la correlación entre la concentración cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta. Se ha encontrado una correlación significativa, ($p=0.009$) con un coeficiente de correlación de Pearson de $r = -0.714$.

Tabla 10. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta.

	<u>Coefficiente Pearson</u>	p	N
Cadmio en la planta – Cadmio en el suelo	-0.714	0.009	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

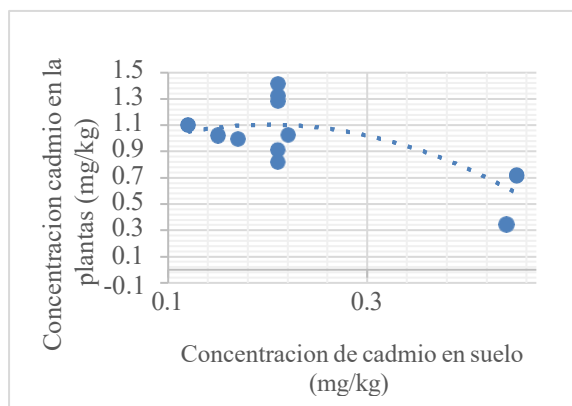


Figura 10: Correlación entre las variables de cadmio en plantas y cadmio en suelo.

La figura 10, se observa una correlación negativa considerable, lo que indica que a medida que aumenta la concentración de cadmio de suelo la concentración de cadmio en la planta disminuye.

Correlación entre la concentración cadmio en la planta y peso seco

Según el análisis estadístico, se observa que la concentración de cadmio en la planta y el peso seco es de $r = -0.620$, Sin embargo, el valor de $p = 0.031$ es menor que el umbral de significancia de 0.05, lo que sugiere que esta correlación si es estadísticamente significativa (Tabla 11).

Tabla 11. Correlación de cadmio en la planta y peso seco

	<u>Coefficiente Pearson</u>	p	N
Cadmio en la planta - peso seco	-0.620	0.031	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

La figura 11, se observa una correlación negativa consistente, lo que indica que a medida que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

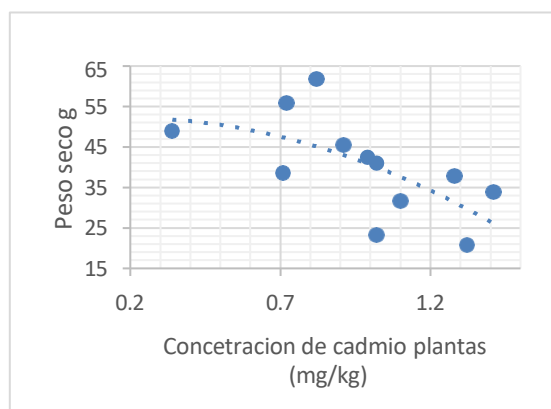


Figura 11: Correlación de la concentración de cadmio en la planta y peso seco.

Correlación entre la concentración cadmio en el suelo y peso seco

Según el análisis estadístico, se observa que entre la concentración de cadmio en el suelo y el peso seco es de $r = 0.446$, no obstante, el valor de $p = 0.147$ supera el umbral de significancia de 0.05 (Cuadro 12).

Cuadro 12. Correlación cadmio en el suelo y peso seco

	<u>Coefficiente Pearson</u>	p	N
Cadmio en el suelo- peso seco	0.446	0.147	12

p = Valor p (significancia estadística), N = Tamaño de la muestra.

La figura 12, se observa una correlación positiva moderada, lo que infiere que cuando la concentración

del cadmio en el suelo aumenta, peso seco también tiende a aumentar.

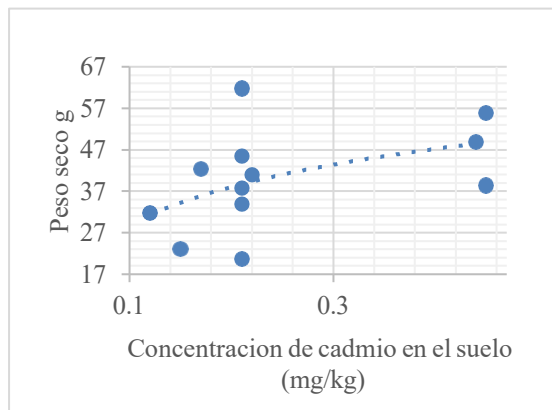


Figura 12: Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y peso seco.

DISCUSIÓN

Los resultados de (Cerrón et al., 2020) reafirman que el uso de plantas de girasol en combinación con enmiendas orgánicas puede ser una estrategia efectiva para la fitoestabilización de suelos contaminados con Pb y Cd. La acumulación de los metales pesados principalmente en las raíces de las plantas de girasol y la mejora en la solubilización de los metales gracias a las enmiendas orgánicas son aspectos clave para el éxito de esta técnica de remediación.

Asimismo, dentro del estudio la *Brachiaria brizantha* alcanzo una altura maxima de 16.28 cm, algunas investigaciones del comportamiento de esta especie en la selva peruana, en suelos no contaminados, indican que la altura varian entre 79 a 83 cm (Pérego, 2021).

Por otro lado (Peña et al., 2021) comenta que las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por tener una mayor cantidad de proteínas transportadas y una alta selectividad en la absorción de metales pesados. Estos conocimientos son fundamentales para el desarrollo de técnicas de fitoextracción y la limpieza de suelos.

Concentración de Cadmio en el Suelo:

El tratamiento T3 (mayor concentración de humus) presentó la mayor concentración de Cd (0.4467 mg/kg), mientras que T0 mostró la menor (0.1467 mg/kg). Por lo que Liu *et al.* (2021) sugieren que el humus puede formar complejos órgano-metálicos que alteran la movilidad del Cd, explicando la mayor concentración detectada en T3. Esta variación también podría atribuirse a los cambios en el pH y la capacidad de intercambio catiónico inducidos por el humus (Zhang *et al.*, 2022).

Ph, Humus y Movilidad de Cadmio

El tratamiento T3, con mayor concentración de humus, mostró los valores más altos de pH. Esto coincide con Zhang *et al.* (2022), quienes indican que el humus, pueden alterar el pH y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, influyendo en la movilidad y biodisponibilidad de metales pesados como el cadmio.

Adicionalmente, Liu *et al.* (2021) proponen que el humus puede formar complejos órgano-metálicos que alteran la movilidad del cadmio en el suelo. Esto explicaría la mayor concentración de cadmio detectada en el tratamiento T3 y a medida que el pH aumenta en función a los tratamientos.

Concentración de Cadmio en Plantas:

La concentración de Cd en plantas, fue mayor en T2 (1.3367 mg/kg) y T0 (1.0367 mg/kg), y menor en T3 (0.59 mg/kg). Estos coinciden con Chen *et al.* (2019), donde altas concentraciones de materia orgánica redujeron la biodisponibilidad del Cd, y con Wang *et al.* (2020), sobre como las enmiendas orgánicas reducen la biodisponibilidad del Cd. La *Brachiaria brizantha* demostró capacidad de acumulación de Cd, similar a lo reportado por Rodríguez-Eugenio *et al.* (2023) en otras gramíneas forrajeras tropicales.

Concentración de peso seco:

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en peso seco ($p=0.086$), altura ($p=0.196$) y profundidad de raíces ($p=0.598$), se observó una tendencia en los tratamientos con humus. Esto concuerda con Kumar *et al.* (2021), quienes documentaron efectos beneficiosos de las enmiendas orgánicas en el desarrollo vegetal bajo estrés por metales pesados, atribuyéndolo a la mejora en las propiedades físicas y nutricionales del suelo.

Por otro lado, la correlación negativa significativa entre la concentración de cadmio en el suelo y concentración en la planta ($r=-0.714$, $p=0.009$), lo que evidencia que la planta posiblemente posee mecanismos de defensa que limitan la absorción del metal cuando hay altas concentraciones en el suelo, activando sistemas de exclusión para protegerse de la toxicidad y regulando activamente el transporte del cadmio desde las raíces hacia otros tejidos. Este fenómeno fue similarmente documentado por Li *et al.* (2022) en estudios de fitorremediación.

La correlación negativa entre la concentración de cadmio en planta y peso seco ($r=-0.620$, $p=0.031$), indica un efecto fitotóxico del metal sobre el crecimiento, consistente con los hallazgos de Park *et al.* (2023).

La correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y peso seco, resultó ser no significativa ($r=0.446$, $p=0.147$) lo que sugiere que el humus podría estar mitigando los efectos tóxicos del metal, como proponen Yang *et al.* (2021).

CONCLUSIONES

El estudio demostró que el uso de humus de lombriz en el suelo influye significativamente en la concentración de cadmio tanto en el suelo como en las plantas.

Los resultados demostraron que el humus juega un

papel fundamental en la modificación de la biodisponibilidad del cadmio en el suelo, formando complejos órgano-metálicos que alteran significativamente las propiedades químicas del sustrato.

Se concluyó que en este proyecto debido a los resultados obtenidos influyen significativamente, la correlación de cadmio en el suelo y cadmio en la planta, lo que señala que aumenta la concentración de cadmio en el suelo, la concentración de cadmio en la planta disminuye.

Así mismo, no influyen significativamente, la correlación de cadmio en la planta y peso seco, lo que indica que aumenta el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

Por lo tanto, supera la significancia, la concentración de cadmio en el suelo y peso seco, lo que infiere la concentración del cadmio en el suelo aumento, peso seco tiende a aumentar.

El tratamiento con humus de lombriz presentó mayor similitud al T3, por esta razón, se pudo determinar que aplicando humus de lombriz al cultivo se garantiza una mejor tolerancia de la planta en presencia de cadmio, y también un efecto superior en la dinámica de crecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alanya de la Cruz, V., Clemente Huaman, O., Castañeda Campos, C., Anccasi Esteban, C. E., & Ramos Mendoza, V. R. (2023). Uso de estiércol y aserrín en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo, Huancavelica, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 785-801. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4430
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-

- analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Buendía, H., Cruz, F., Meza, C., y Arevalo, J. (2014). Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *ALMA MÁTER*, Junio 2014 VOL 1 N°1. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/download/11873/10595/41331>
- Bustamante, Manuel (2018). Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo, en un cultivo de maíz del distrito de Orcotuna, Concepción-2016. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental. <https://core.ac.uk/reader/266973070>
- Castañeda, Susan y Canchan, Shalmery (2023). Efecto de dos enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por dos plantas cultivadas en suelo contaminado. *Sincos*. 2022. Para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13300/1/IV_FIN_107_T_E_Casta%C3%B1eda_Canchan_2023.pdf
- Castillo Sánchez, J. G., & Chimbo Solórzano, J. E. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80–99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Chen, L., Yang, X., Wang, D., Luo, X., Feng, Y., & Liu, Y. (2019). The role of organic acids and amino acids in metal-organic complexes: Implications for cadmium bioavailability in soil. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 2465-2474.
- Cheng, Q., Lu, C., Shen, H., Yang, Y., & Chen, H. (2021). The dual beneficial effects of vermiremediation: Reducing soil bioavailability of cadmium (Cd) and improving soil fertility by earthworm (*Eisenia fetida*) modified by seasonality. *The Science of the Total Environment*, 755(142631), 142631. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142631>
- Clemente Huachen, Josué Pedro, Medina Contreras, Jefferson, Pfuño, Johel Daniel Laura, Pariona Aguilar, Luis Angel, & Gutiérrez Vilchez, Pedro Pablo. (2021). Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica*, 70(2), 163-170. Epub April 28, 2022. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.94208>
- Domínguez, J., Aira, M., Crandall, K. A., & Pérez-Losada, M. (2021). Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. *Scientific Reports*, 11(1), 15556. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 33(1), 122-137. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- 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(124212), 124212. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124212>

- 12
- Gravand, F., Rahnavard, A., & Pour, G. M. (2021). Investigation of vetiver grass capability in phytoremediation of contaminated soils with heavy metals (Pb, Cd, Mn, and Ni). *Soil & Sediment Contamination*, 30(2), 163–186. <https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1819959>.
- Gonzales, A. E., Sanchez, Y. J., & Vilcas, C. I. (2021). Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (*Brachiaria brizantha*) y maíz (*Zea mays*). Universidad Peruana Unión.
- Guo, F., Ding, C., Zhou, Z., Han, F., Tang, R., Huang, G., & Wang, X. (2020). Assessment of the immobilization effectiveness of several amendments on a cadmium-contaminated soil using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189(109948), 109948. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109948>
- Hernandez-Baramda, Y. R.-H.-I.-H.-R. (01 de septiembre de 2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*. 40(3). Recuperado el 03 de octubre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&tlng=es.
- Huaraca Fernández, R., Valdez Nuñez, RA, Siche, R., & Castro, W. (2020). Evaluación de metales pesados en suelos de un humedal de altura andino restaurado. *SN Ciencias Aplicadas*, 2(9), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03296-8>
- Huaraca-Fernandez, J., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L., & Pampa-Quispe, N. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139-152. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Jampasri, K., & Saeng-Ngam, S. (2019). Phytoremediation and accumulation of cadmium from contaminated saline soils by vetiver grass. *Environment Control in Biology*, 57(3), 61–67. <https://doi.org/10.2525/ecb.57.61>
- Karagöz, F. P., Dursun, A., Tekiner, N., Kul, R., & Kotan, R. (2019). Efficacy of vermicompost and/or plant growth promoting bacteria on the plant growth and development in gladiolus. *Ornamental horticulture*, 25, 180-188. <https://doi.org/10.14295/oh.v25i2.2023>
- Kumar, S., Prasad, S., & Kumar, A. (2021). Earthworm-derived organic amendments enhance plant growth and reduce metal toxicity in contaminated soils: A comprehensive review. *Environmental Pollution*, 278, 116851.
- Li, X., Zhang, H., Chen, J., Liu, P., & Yang, R. (2022). Mechanisms of heavy metal immobilization by organic amendments in contaminated soils: A molecular-level investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127418.
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Liu, Y., Wang, H., Li, X., & Li, J. (2021). Characterization of heavy metal binding to vermicompost: A mechanistic study on biosorption. *Bioresource Technology*, 319,

- 124147.
- Marcano, L., León, A. C., Arrieche, D., Zapata-Vívenes, E. (2019). Toxicidad del cadmio en celomocitos de lombriz de tierra *Eisenia sp.*: Ensayo in vitro. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 53(1), 54-69. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/viewFile/30006/31037>
- Marwa A Ismael, A. M. (20 de febrero de 2019). Cadmium in plants: uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. 11(255-277). doi:<https://doi.org/10.1039/c8mt00247a>
- Milanés Figueredo Masgloiris, Rodríguez González Horacio, Ramos Gálvez Raúl, Rivera Amita María Magdalena. Efectos del compost vegetal y humus de lombriz en la producción sostenible de capítulos florales en *Calendula officinalis L.* y *Matricaria recutita L.* *Rev Cubana Plant Med [Internet]*. 2005 Abr [citado 2024 Jun 25]; 10(1):. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962005000100008&lng=es.
- Molina Rostran, J. L., Delgado Carrion, J. R., and Hernandez Fuentes, J. H. (2003). Determinación de dosis de humus de lombriz para el óptimo desarrollo en el cultivo de Pipían (Cucúrbita pepo) Campus Agropecuario UNAN-LEON Presentado por :Br . Hugo José Fuentes Hernández . Asesor : Msc . Ana Cristina Rostràn ., 33. Retrieved from <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/924/1/199253.pdf>
- Munive Cerrón, Rubén, Gamarra Sánchez, Gilberto, Munive Yachachi, Yveth, Puertas Ramos, Fernando, Valdiviezo Gonzales, Lorgio, & Cabello Torres, Rita. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Munive Cerrón, Rubén, Loli Figueroa, Oscar, Azabache Leyton, Andrés, & Gamarra Sánchez, Gilberto. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Noe, H. F. J., & Lourdes, P. S. (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://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_70353bc67f60842ceae4d10c930abce6?utm_source
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., & Choppala, G. (2023). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils. *Chemosphere*, 291, 132757.
- Cerrón, R. M., Sánchez, G. G., Yachachi, Y. M., Ramos, F. P., Gonzales, L. V., & Torres, R. C. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.04>

- Gonzales, A. E., Sanchez, Y. J., & Vilcas, C. I. (2021). Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (*Brachiaria brizantha*) y maíz (*Zea mays*). *Universidad Peruana Unión*.
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551–560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04>.
- Peña, K., Carrillo, ; Manuel, Durango, W., Orozco, P., & Peña, A. (2021). *Mitigacion de Cadmio por fitorremediacion*.
- Pérego, J. (2021). *Brachiaria brizantha, implantación, manejo y producción. Producción Animal*, 1–5.
- Poma, A., & Quiñonez, C. (2021). Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Zea mays* l. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021. *Repositorio Institucional - UC, Cusco - Perú, Tesis de Pregrado*, 193.
- Ramnarain, Y. I., Ansari, A. A., & Ori, L. (2019). Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 23-36. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>
- Rodríguez-Eugenio, N., Villaseñor, J., & McLaughlin, M. J. (2023). Phytoremediation potential of tropical forage grasses in metal-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 12-28.
- Saboya Rios, X. V. (2021). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Revista Muro de la Investigación*, 6(1), 60–83. <https://doi.org/10.17162/rmi.v6i1.1439>
- Sapaico, Yosselyn (2020) Efecto de la cal, materia orgánica y EM en el contenido de cadmio de un suelo contaminado en el centro poblado de Huancaní, distrito de Leonor Ordoñez, provincia de Jauja – 2019. Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8166/3/IV_FIN_107_TE_Sapaico_Chancasanampa_2020.pdf
- Singh, J., Eisenhauer, N., Schädler, M., & Cesarz, S. (2021). Earthworm gut passage reinforces land-use effects on soil microbial communities across climate treatments. *Applied Soil Ecology*, 164, 103919. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103919>
- Usmani, Z., Kumar, V., Rani, R., Gupta, P., & Chandra, A. (2019). Changes in physico-chemical, microbiological and biochemical parameters during composting and vermicomposting of coal fly ash: a comparative study. *International journal of environmental science and technology*, 16, 4647-4664. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1893-6>
- Vizconde Suárez, J. Y. (2023). La fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros a través de *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum*. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad nacional mayor de San Marcos (Impresa)*, 26(52), e25283. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25283>
- Wang, L., Yang, K., Cai, C., & Liu, Y. (2020).

Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic greenhouse soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, 106719.

Wu, Y., Chen, C., Wang, G., Xiong, B., Zhou, W., Xue, F., Qi, W., Qiu, C., & Liu, Z. (2020). Mechanism underlying earthworm on the remediation of cadmium-contaminated soil. *The Science of the Total Environment*, 728(138904), 138904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138904>

Yang, X., Li, Q., Tang, Y., & Zhang, X. (2021). Role of organic amendments in reducing metal toxicity and improving plant growth in contaminated soils: Mechanisms and applications. *Environmental Pollution*, 268, 115859.

Zhang, M., Wang, J., Bolan, N., & Kirkham, M. B. (2022). Mechanisms of heavy metal immobilization by organic amendments in contaminated soils. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(5), 541-590.

Evidencia de sumisión

R **Revista Científica Dékamu Agropec UNIFSLB** para mí ▾ lun, 24 mar, 4:58 p.m. (hace 3 días) ☆ 😊 ↶ ⋮

 Traducir al español X

Estimados autores

Se recibió conforme, se remitirá a revisión por pares, le estaremos comunicando por este medio la decisión de los revisores en un plazo máximo de 30 días calendarios.

Saludos cordiales.

R **Revista Científica Dékamu Agropec UNIFSLB** <dekamuagropec@unibagua.edu.pe> para mí ▾ mar, 14 ene, 5:19 p.m. ☆ 😊 ↶ ⋮

Estimados autores;

Se realizó la revisión de forma de su manuscrito titulado "Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas"; consideramos que aporta conocimiento a la comunidad científica, en ese sentido le remitimos algunas observaciones realizadas en revisión de forma para que sean subsanadas con el objetivo que pueda pasar a revisión de pares.

Remitir el documento con las observaciones subsanadas en un plazo máximo de 5 días hábiles.

Adjuntamos manuscrito con las observaciones realizadas, formato de evaluación y plantilla de manuscrito

RESOLUCION DE TESIS



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0137-2025/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña, 15 de abril de 2025

VISTO:

El expediente del (de la) bachiller **Kiara Melissa Rios Paima** identificado(a) con código universitario N° **201910342**, 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 sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas", presentado por el (la) bachiller **Kiara Melissa Rios Paima**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 15 de abril de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito al (a la) bachiller **Kiara Melissa Rios Paima**, para que sustente la tesis en formato artículo titulada "Aplicación de humus de lombriz, como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio, distrito de Yurimaguas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 28 de abril a las 16:00 horas, en la modalidad Virtual u online sincrónica.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mtra. Ceila Paquita Lao Olivares
Secretario: Ing. Seyei Rengifo Arévalo
Asesor: Mag. Andres Erick Gonzales Lopez
Vocal 1: Mtra. Betsabeth Teresa Padilla Macedo
Vocal 2: Mtro. Carmelino Almaster Villegas

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo