

Humus de lombriz como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio de la Región Loreto, Perú

Worm humus as a confining treatment for cadmium-contaminated soils in the Loreto Region, Peru

Ríos-Paima, Kiara Melissa^{1*} ; Gonzales-López, Andrés Erick¹ 

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú

Recibido: 02/12/2024 | Aceptado: 12/06/2025 | Publicado: 27/06/2025

Correspondencia*: kiarapaima24@gmail.com

RESUMEN

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. El objetivo fue 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. Para el método 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. 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. Se concluyó 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

Research on cadmium contamination in agricultural soils has gained significant relevance by demonstrating that organic amendments are effective in immobilizing cadmium. In this study, the species brizanta (*Brachiaria brizantha*), a grass used in livestock activities, was selected and studied as a phytoremediation plant. The objective was to evaluate the effectiveness of earthworm humus in the remediation of cadmium contaminated soils, using *Brachiaria brizantha* as a biological indicator in the city of Yurimaguas. For the method, a randomized experiment was designed with four treatments: a control without humus (T0) and three doses of worm humus (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. 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. 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*

Cómo citar este artículo: Ríos-Paima, K. M. & Gonzales-López, A. E. (2025). Humus de lombriz como tratamiento de confinamiento en suelos contaminados con cadmio de la Región Loreto, Perú. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 6(1), 88-100. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v6i1.343>

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, la investigación sobre la contaminación por cadmio en suelos agrícolas ha ganado relevancia significativa. Huaraca-Fernandez et al. (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, Almerco et al. (2023) evaluaron 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, estudiaron los efectos tóxicos del cadmio en lombrices *Eisenia* sp., evidenciando daños celulares significativos en concentraciones superiores a 200µg/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 (Blouin et al., 2019).

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-Fernandez et al., 2020). El cadmio 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 (Manjarrez-Paba et al., 2008; Bustamante Carrión, 2018).

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 (Gravand et al., 2021). 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).

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 (Lwin et al., 2018). 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 (Palansooriya et al., 2020).

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.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló entre los meses de octubre del 2023 a marzo del 2024, en el fundo “Belen” ubicado en el km 6 de la carretera de Yurimaguas - Tarapoto, distrito de Yurimaguas, Provincia de Alto Amazonas, región de Loreto, Perú. Las condiciones climáticas del sitio, presenta una precipitación anual promedio de 2086.2 mm, una media anual de temperatura máxima y mínima es 21.58°C y 31.7°C, las mayores precipitaciones se producen entre septiembre a mayo, y las mínimas en agosto.

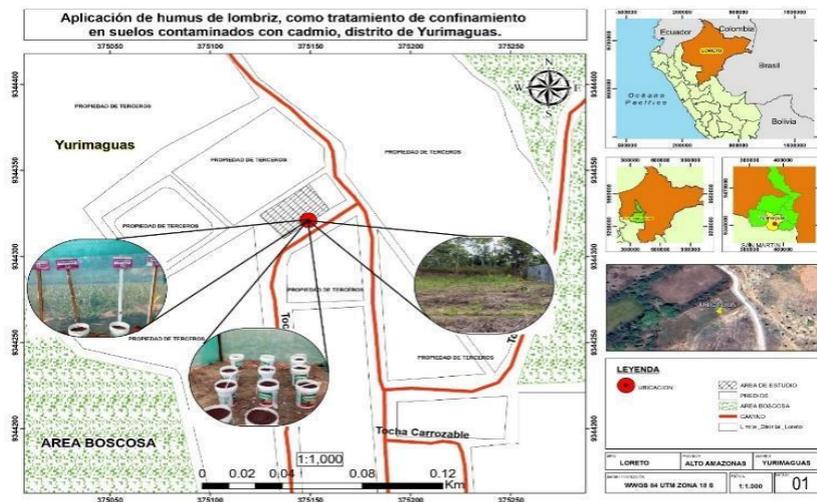


Figura 1. Ubicación del proceso de tratamiento del suelo contaminado con cadmio

2.1. Diseño de la investigación

El estudio es de carácter experimental que consistió en el establecimiento 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. El diseño experimental es el diseño complemente alzar en 3 tratamientos un testigo y 3 repeticiones (Poma Jimenez & Quiñonez Rojas, 2021).

Repetición	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
R1	0g	5000g/m ²	10000g/m ²	15000g/m ²
R2	0g	5000g/m ²	10000g/m ²	15000g/m ²
R3	0g	5000g/m ²	10000g/m ²	15000g/m ²

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

2.2. Instalación del experimento

Preparación de semilla: Las semillas *brachiaria brizantha* fueron semillas certificadas adquiridas en una agropecuaria, las cuales, se sembró 4 semillas en cada repetición correspondiente.

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).

Proceso de germinación de las especies vegetales: La germinación de la *Brachiaria brizantha* se dio a los 7 y 5 días respectivamente y fueron puestas bajo condiciones ambientales normales. Se llevo un control de agua administrada tanto por riesgo 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 maíz 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.

2.3. Análisis de Laboratorio

En el laboratorio de análisis de suelos, agua, plantas, fertilizantes y alimentos – Instituto de cultivos trópicos y realizo la caracterización física químico de acuerdo con lo detallado en la tabla 1.

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

Campo	Caracterización del suelo y metal pesado						
	pH	CE (dS/m)	MO (%)	Clase textual	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 textual 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 están en condiciones bajas para suelos de alta calidad.

2.4. Análisis de datos

Se examinaron los datos utilizando el programa estadístico SPSS23, se reconocieron los promedios, se utilizó ANOVA para realizar el análisis de varianzas, luego se procedió a realizar la prueba de Tuckey para la comparación de medias. Realizando correlaciones de Pearson, para un segundo análisis de las variables estudiadas.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados obtenidos en relación con el PH

En la Tabla 2, los resultados muestran diferencias significativas en el pH entre los tratamientos, con un valor de significancia estadística muy bajo ($p < 0.001$), lo que sugiere que el pH aumenta con mayores dosis de humus de lombriz.

Tabla 2. Análisis de varianza del pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	12.115	4	3.029	46.357	.000
Error experimental	0.653	10	.065		
Total	12.768	14			

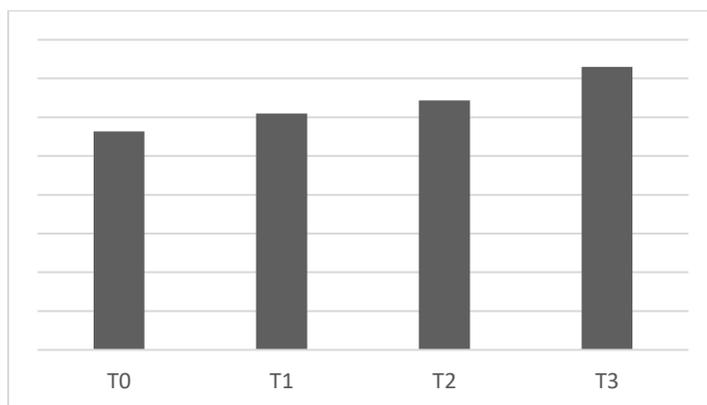


Figura 3. pH de suelo

En la figura 3 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. Concentraciones Cadmio en el suelo

Según el análisis de varianza de la concentración de cadmio en suelo, se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos, siendo el tratamiento con mayores concentraciones de cadmio en suelo, el tratamiento T3 (0.4467 mg/kg) seguido de los tratamientos T1 (0.2133 mg/kg), T2 (0.21 mg/kg) y el tratamiento con menor concentración fue el T0 (0.1467 mg/kg). La variación entre el tratamiento testigo y el T3 fue de 0.3 mg/kg según se detalla en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis de varianza concentración cadmio en el suelo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	0.157	3	0.52	298.46	0
Error Experimental	0.001	8	0		
Total	0.158	11			

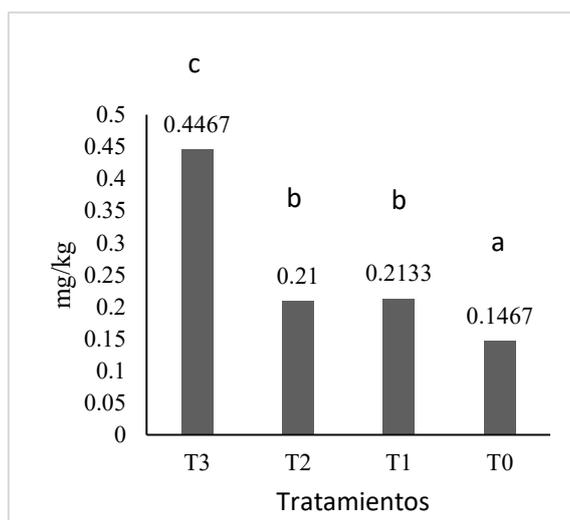


Figura 4. Concentración de cadmio en el suelo en los diferentes tratamientos

La figura 4, 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. 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, 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 (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza de la concentración de cadmio en la planta

	Suma cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	0.858	3	0.286	17.717	0.001
Error Experimental	0.129	8	0.016		
Total	0.988	11			

3.4. 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 (Tabla 5).

Tabla 5. Peso seco

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	875.170	3	291.723	3.156	0.086
Error Experimental	739.590	8	92.449		
Total	1614.759	11			

La figura 5 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.

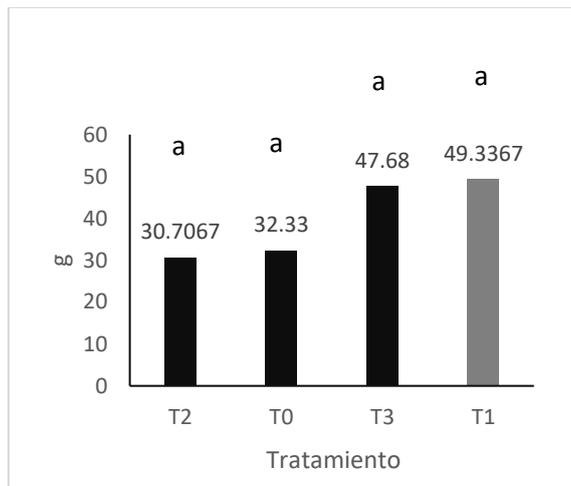


Figura 5. Peso seco en los diferentes tratamientos

3.5. 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 (Tabla 6).

Tabla 6. Altura de la planta

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	129.709	3	43.236	1.979	0.196
Error Experimental	174.756	8	21.845		
Total	304.465	11			

La figura 6 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.

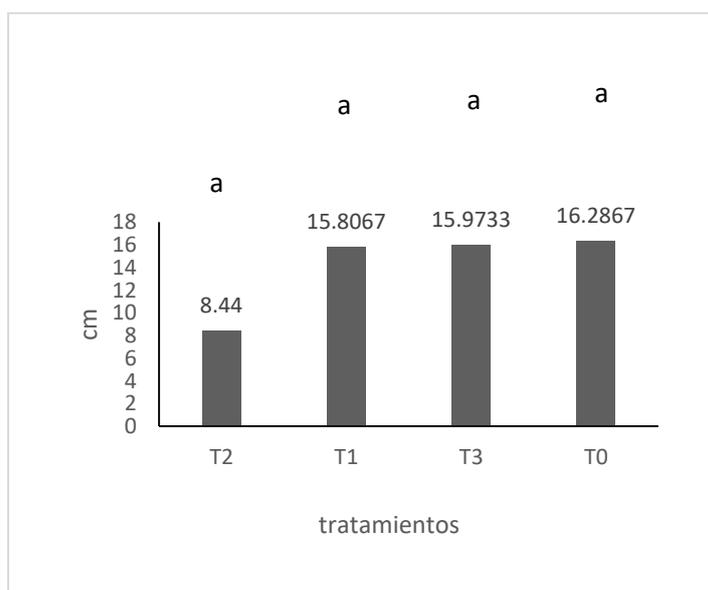


Figura 6. Altura de las plantas en los diferentes tratamientos

3.6. 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 (Tabla 7).

Tabla 7. Profundidad de la planta

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p
Tratamientos	252.962	3	84.321	0.662	0.598
Error Experimental	1018.786	8	127.348		
Total	1271.747	11			

La figura 7 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.

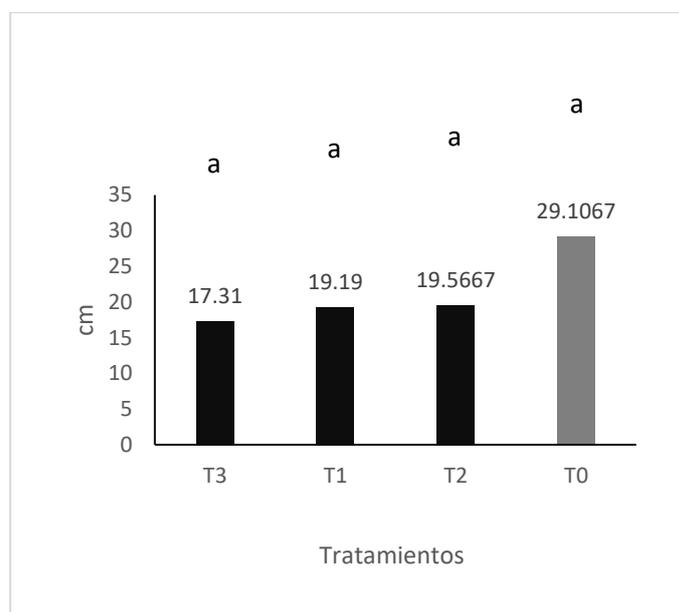


Figura 7. Profundidad de raíces en los diferentes tratamientos

3.7. 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 de 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 8).

Tabla 8. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y la concentración de cadmio en la planta

	Coefficiente Pearson	p	N
Cadmio en la planta – Cadmio en el suelo	-0.714	0.009	12

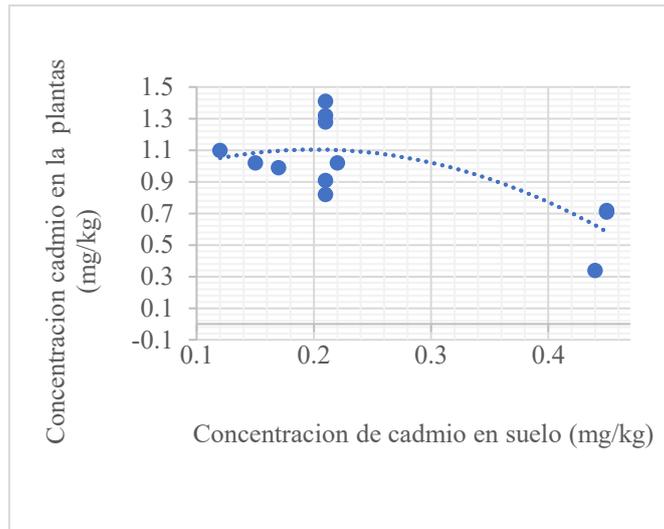


Figura 8. Correlación entre las variables de cadmio en plantas y cadmio en suelo

La figura 8, 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.

3.8. 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 9).

Tabla 9. Correlación de cadmio en la planta y peso seco

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

La figura 9, 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.

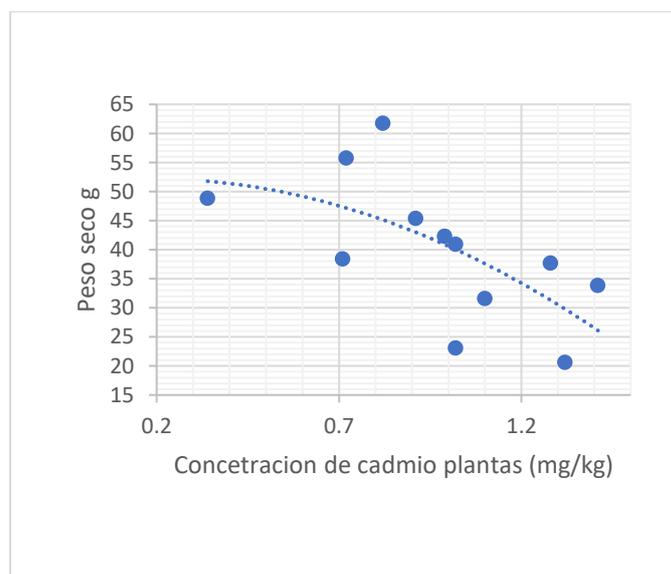


Figura 9. Correlación de la concentración de cadmio en la planta y peso seco

3.9. 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 (Tabla 10).

Tabla 10. Correlación cadmio en el suelo y peso seco

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

La figura 10, 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.

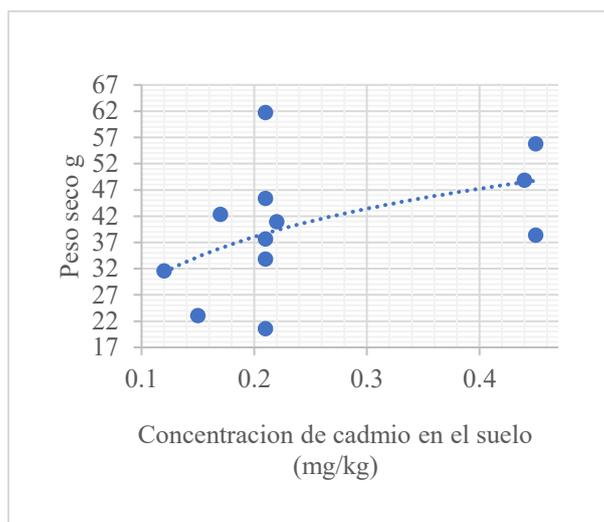


Figura 10. Correlación entre la concentración de cadmio en el suelo y peso seco

4. DISCUSIÓN

Los resultados de Munive 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 varía entre 79 a 83 cm (Pérego, 1999).

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.

El tratamiento T3 (mayor concentración de humus) presentó la mayor concentración de cadmio (0.4467 mg/kg), mientras que T0 mostró la menor (0.1467 mg/kg). Por lo que Abdolali et al. (2015) sugieren que el humus puede formar complejos órgano-metálicos que alteran la movilidad del cadmio, 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).

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 las enmiendas orgánicas, como 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, Abdolali et al. (2015) proponen que el humus puede formar complejos organometálicos 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.

La concentración de cadmio 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 resultados coinciden con los resultados obtenidos por Cheng et al. (2021) quienes observaron que altas concentraciones de materia orgánica pueden reducir la biodisponibilidad del cadmio para las plantas. Asimismo, Wang et al. (2021) en su investigación encontraron que las enmiendas orgánicas reducen la biodisponibilidad del cadmio. La *Brachiaria brizantha* demostró capacidad de acumulación de cadmio, similar a lo reportado por (Farnezi et al., 2022) en otras gramíneas forrajeras tropicales.

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 los resultados obtenidos por Huaraca-Fernandez et al. (2020) 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 (Castaldi et al., 2005) 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., 2011).

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 (Park et al., 2011).

CONCLUSIONES

Se 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. Asimismo, que el humus juega un papel fundamental en la modificación de la biodisponibilidad del cadmio en el suelo, formando complejos organometálicos que alteran significativamente las propiedades químicas del sustrato.

Existe influencia entre el cadmio en el suelo y cadmio en la planta, demostrando que, al aumentar la concentración de cadmio en el suelo, la concentración de cadmio en la planta disminuye. Así mismo, se demostró que no existe influencia entre la correlación de cadmio en la planta y peso seco, puesto que, al aumentar el peso seco, la concentración de cadmio de la planta disminuye.

El tratamiento con humus de lombriz presentó mayor similitud al T3, por esta razón, se logró 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.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron ningún patrocinio para llevar a cabo este estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Software, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición: Ríos-Paima, K. M. & Gonzales-López, A. E.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolali, A., Ngo, H. H., Guo, W., Zhou, J. L., Du, B., Wei, Q., Wang, X. C., & Nguyen, P. D. (2015). Characterization of a multi-metal binding biosorbent: Chemical modification and desorption studies. *Bioresource Technology*, 193, 477–487. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.123>
- Almerco, P., Galvan, L., & Yañac, C. (2023). *Humus de lombriz como alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Compañía Minera Argentum-2023*.
- 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(4), 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Bustamante Carrión, M. E. (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. In *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4650>
- Castaldi, P., Santona, L., & Melis, P. (2005). Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere*, 60(3), 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.098>
- 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. *Science of The Total Environment*, 755, 142631. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142631>
- Farnezi, M. M. de M., Silva, E. de B., Santos, L. L. dos, Silva, A. C., Graziotti, P. H., Alleoni, L. R. F., Silva, W. C., Santos, A. A., Alves, F. A. F., Bezerra, I. R. S., & Miranda, L. C. (2022). Potential of Forage Grasses in Phytoremediation of Lead through Production of Phytoliths in Contaminated Soils. *Land*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.3390/land12010062>
- Furcal-Beriguete, P., & Torres-Morales, J. L. (2020). Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
- 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 and*

Sediment Contamination: An International Journal, 30(2), 163–186.
<https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1819959>

- Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., & Pampa-Quispe, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información Tecnológica*, 31(4), 139–152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>
- Lwin, C. S., Seo, B.-H., Kim, H.-U., Owens, G., & Kim, K.-R. (2018). Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—a critical review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(2), 156–167. <https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1440938>
- Manjarrez-Paba, G., Castro, I., & Utria, L. (2008). Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 7(13), 11–20. www.cep.
- Munive, R., Gamarra, G., Munive, Y., Puertas, F., Valdiviezo, L., & Cabello, R. (2020). Lead and cadmium uptake by sunflower from contaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177–186. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Phytoremediation with corn (*Zea mays* L.) and Stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551–560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Palansooriya, K. N., Shaheen, S. M., Chen, S. S., Tsang, D. C. W., Hashimoto, Y., Hou, D., Bolan, N. S., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment International*, 134, 105046. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105046>
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N., & Chung, J.-W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2–3), 549–574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>
- Peña, K., Carrillo, M., Durango, W., Orozco, P., & Peña, A. (2021). *Mitigación de Cadmio por fitorremediación*. <https://balcon.>
- Pérego, J. L. (1999). *Brachiaria brizantha*, implantación, manejo y producción. *Producción Animal*, 1–5.
- Poma Jimenez, A. A., & Quiñonez Rojas, C. E. (2021). Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Zea mays* L. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021. In *Repositorio Institucional - UC, Cusco - Perú, Tesis de pregrado*.
- Wang, F., Wang, X., & Song, N. (2021). Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 315, 107425. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107425>
- Zhang, D., Li, T., & Wang, Y. (2022). Effects of Soil Amendments Applied on Cd and Pb Immobilization and Environmental Risks under Simulated Acid Rain. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(5), 4953–4963. <https://doi.org/10.15244/pjoes/149712>