



Bioacumulación de plomo y su efecto en plantas cultivadas de *Zea Mays* en un vertedero municipal

Bioaccumulation of lead and its effect on cultivated *Zea Mays* plants in a municipal landfill

Lozano-Carranza, Carlos Mauricio^{1*}

Huamán-Berru, Yonny¹

Lozano-Chung, Andi²

Aniceto-Ahumada, Jessica Priscilla³

¹Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú

²Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

³Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú

Recibido: 12 Oct. 2023 | **Aceptado:** 15 Dic. 2023 | **Publicado:** 10 Ene 2024

Autor de correspondencia*: carmau.loc@gmail.com

Como citar este artículo: Lozano-Carranza, C. M., Huamán-Berru, Y., Lozano-Chung, A. & Aniceto-Ahumada, J. P. (2024). Bioacumulación de plomo y su efecto en plantas cultivadas de *Zea Mays* en un vertedero municipal. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3 (1), e626. <https://doi.org/10.51252/reacae.v3i1.e626>

RESUMEN

Con el objetivo de mitigar la contaminación del suelo por el metal pesado plomo, el estudio buscó determinar el efecto de la bioacumulación en la *Zea Mays*, una planta fitorremediadora. Para ello, se utilizó 360 kg de suelo proveniente del vertedero de Cuñumbuqui, distribuido en 18 macetas de 20 kg cada una, en las cuales se sembraron un total de 72 semillas, con 4 semillas por maceta, durante un período de crecimiento de 8 semanas. Posteriormente, se recolectaron las 18 muestras correspondientes a los 6 tratamientos triplicados y las plantas de maíz para su análisis de laboratorio utilizando el método de digestión ácida y lectura de absorción atómica (ECA 3051A). Los resultados fueron procesados mediante programas estadísticos que incluyeron análisis de varianza y prueba de medias. Se observó una mayor acumulación de plomo en el sistema radicular del maíz, con valores promedio superiores a 5 ppm, lo que sugiere que la *Zea Mays* actúa como una planta hiperacumuladora de plomo.

Palabras clave: biorremediación; contaminación; enmiendas orgánicas; maíz; suelo

ABSTRACT

With the aim of mitigating soil contamination by the heavy metal lead, the study sought to determine the effect of bioaccumulation in *Zea Mays*, a phytoremediating plant. To achieve this, 360 kg of soil from the Cuñumbuqui landfill was used, distributed in 18 pots of 20 kg each, in which a total of 72 seeds were planted, with 4 seeds per pot, during an 8-week growth period. Subsequently, the 18 samples corresponding to the 6 triplicated treatments and the maize plants were collected for laboratory analysis using the acid digestion and atomic absorption reading method (ECA 3051A). The results were processed using statistical programs that included analysis of variance and mean comparison tests. A higher accumulation of lead was observed in the maize root system, with average values exceeding 5 ppm, suggesting that *Zea Mays* acts as a hyperaccumulator plant for lead.

Keywords: bioremediation; organic amendments; soil; contamination; corn



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo mediante los metales pesados es un problema medioambiental considerable en todo el mundo (Yang et al., 2018). Cuando las concentraciones del contaminante pesado supera lo establecido en los estándares de calidad ambiental, los microorganismos pueden verse afectados (Imseng et al., 2019); además, la fecundidad, la producción y las condiciones morfológicas del cultivo también pueden reducirse y a la vez acumular estos elementos en los vegetales, generando toxicidad en los seres vivos cuando es consumido (Li et al., 2020).

Por ello, se han estudiado métodos para descontaminar suelos con la presencia del contaminante pesado (Liu et al., 2018). Dentro de las diversas técnicas se menciona la bioacumulación, considerada como un enfoque eficiente y rentable para eliminar, estabilizar o hacer menos tóxico el metal pesado; este recibió más importancia en estos años recientes (Cordero Casallas, 2015) donde destaca la bioconcentración como estrategia adecuada para evaluar la capacidad extractora de plomo (Pb) en las plantas (Moreno-Osuna et al., 2021).

El Factor de Bioconcentración (BCF) de Pb en *Z. Mays* generalmente aumentan con el incremento de la concentración de dicho metal. Múltiples investigaciones indican además que la capacidad de bioacumulación de Pb de *Z. Mays* está a la par con otras plantas hiperacumuladoras. *Z. Mays* es una planta de cereal anual de la familia Gramineae originaria de México, es uno de los cereales más antiguos y ampliamente cultivados y sirve como alimento para los seres vivos. La capacidad de las plantas para acumular metales y posiblemente otros contaminantes varía según la naturaleza de la planta, especie y la naturaleza del contaminante metálico. En este caso, *Z. Mays* (maíz) se conoce que son buenos acumuladores de contaminantes.

Mediante esta investigación se pretende descubrir los beneficios y el provecho que tiene la bioacumulación del *Z. Mays* para el tratamiento de los metales pesados, lo contundente es enfocar y entender la procedencia de este problema, debido a que, los poblados se desarrollan más con el pasar de los días lo cual origina que las ciudades consuman más alimentos cosechados, por ende, con fines de mayor producción se utilicen sustancias que contaminan los recursos con metaloides pesados. En consecuencia, una alta cantidad de estos en el área agrícola puede aumentar su absorción por plantas, forrajes y granos, lo que genera posibles riesgos para la salud de los consumidores (Mng'ong'o et al., 2021).

En el Perú la basura generada al año es colocada en más de 1400 botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios, la mayoría de ellos son tratados inadecuadamente por lo que atrae diferentes problemas que causa contaminación ambiental y a la misma vez afecta a la salud de los pobladores. En el país este problema viene en aumento debido a la carencia de educación y cultura ambiental a causa de que en los habitantes la costumbre común hace referencia a utilizar y desechar, por lo que el país viene generando aproximadamente 23 millones de kilos de residuos sólidos (RS) diariamente, del cual un porcentaje del 15/100 es aprovechado (reciclado), asimismo, se cuentan con 12 rellenos sanitarios con autorización en todo el país, ocasionando que en promedio un porcentaje del 90 de estos RS generados, terminen en los diversos botaderos, entre estos 1250 ilegales (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2019).

El distrito de Cuñumbuqui no es ajena a esta situación, ya que la inadecuada gestión de los RS ha generado un incremento en la contaminación del suelo con metales pesados, especialmente Pb, a través de la lixiviación de los desechos. Esta problemática ambiental repercute directamente en la calidad del suelo en la zona del vertedero. Por consiguiente, la investigación se centra en la ejecución del tratamiento de metales pesados en los suelos del vertedero municipal de Cuñumbuqui, utilizando *Z. Mays*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se abarcó una investigación aplicada de enfoque cuantitativo y nivel explicativo. El diseño fue experimental, ya que se manipuló la variable independiente (bioconcentración de Pb) para estudiar su consecuencia sobre la variable dependiente (efectos de suelo con enmiendas orgánicas). A continuación, se muestra el diseño experimental (Tabla 1):

Tabla 1.

Resumen de diseño experimental

Tratamiento	Niveles de Pb (mg/kg)	Enmiendas
T1	0	-
T2	10	-
T3	15	-
T4	0	Compost
T5	10	Compost
T6	15	Compost

Se aplicaron 6 tratamientos, cada tratamiento contenía 3 repeticiones, también se utilizó un total de 360 kg de suelo, 72 semillas de Zea Mays y 2,25 kg de compost para cada tratamiento. Se utilizó 20 kg de suelo para cada maceta, se sembró 4 semillas por maceta Zea Mays y se añadieron 250 gramos de compost en los tratamientos T4, T5 y T6.

2.1. Procedimientos

Extracción de suelo y recolección de muestra testigo

Se recolectaron 340 kg de suelo superficial (0 – 30 cm) del botadero del distrito de Cuñumbuqui, en las coordenadas UTM este 336340 y norte 9280760 los que posteriormente fueron transportados al área de estudio, en las coordenadas UTM este 344389 y norte 9286550, donde posteriormente se realizó la experimentación (Ahmed et al., 2021).

Recolección de muestra testigo

La muestra testigo se obtuvo extrayendo 1 kg de suelo, el cual fue depositado en una bolsa ziploc y posteriormente trasladado al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín para someterlo a análisis. Para obtener la muestra testigo, se localizó inicialmente el punto mediante el uso de un GPS, se emplearon palas especializadas para recoger las muestras y se excavó a la profundidad requerida para la recolección.

Armado del invernadero

Para la construcción del invernadero, se adquirió madera en la maderera Milagros, ubicada en el distrito de Tarapoto. Estos materiales fueron transportados a la zona de estudio. Posteriormente, se utilizó un tramo de 8 m de plástico para cubrir el techo del invernadero, y se empleó una malla para cerrar el perímetro del área de estudio.

Contaminación de suelo con Pb

Se emplearon concentraciones de Pb de 0, 10 y 15 ppm en un total de 12 macetas. Se contaminaron 6 macetas con 10 ppm de Pb cada una y otras 6 macetas con 15 ppm de Pb. El Pb utilizado fue obtenido en el laboratorio de la Universidad Nacional de San Martín, suministrado por el responsable. Las distintas concentraciones obtenidas se emplearon para contaminar las muestras de suelo recolectadas, siguiendo los niveles de contaminación requeridos. La contaminación artificial del suelo con Pb se llevó a cabo en un

recipiente de 20 kg. Después de la contaminación, se selló el recipiente y se dejó en reposo durante una semana.

Cultivo de *Z. Mays*

Las semillas empleadas fueron adquiridas en una agroveterinaria del mercado número 2 de Tarapoto. Se sembraron 4 semillas de *Z. mays* por macetero de 20 kg, y posteriormente, se seleccionaron las 2 plántulas más vigorosas para llevar a cabo el estudio, siguiendo el protocolo de Munive et al. (2018). El experimento se desarrolló en un terreno situado en el distrito de Tarapoto, que proporcionó las condiciones de temperatura ambiente ideales para el crecimiento de las plantas.

Enmiendas orgánicas

La dosis aplicada correspondió al 2 por ciento (20 g por kg de suelo), según lo recomendado por Munive et al. (2018). El compost utilizado fue obtenido del Distrito de Morales y proporcionado por el encargado de la compostera de la Municipalidad Distrital de Morales.

Extracción de suelo en las macetas para determinar la concentración de Pb

Se realizó la extracción de suelo de las macetas experimentales, tanto aquellas con enmiendas como las sin enmiendas. Este proceso consistió en recoger 500 gramos de suelo de cada tratamiento, utilizando palas especializadas. Posteriormente, se depositó el suelo recogido en bolsas ziploc, listo para ser transportado al laboratorio, siguiendo el procedimiento descrito por Munive et al. (2018).

Recolección de la planta *Zea Mays* para determinar la concentración de Pb

Con el fin de determinar la presencia de Pb en la planta, tanto en el tallo como en la raíz, se procedió a extraer una muestra de cada tratamiento. Luego, estas muestras fueron trasladadas al laboratorio, donde fueron evaluadas por especialistas a cargo del análisis.

2.2. Análisis de datos

Se llevó a cabo la prueba de normalidad de datos mediante la utilización de la prueba de Shapiro-Wilks, ya que los datos no superan los 50. La elección de esta prueba se fundamentó en la necesidad de determinar la distribución paramétrica. Para confirmar la normalidad de los datos, se considera que el p-valor debe ser superior al nivel de significancia ($p\text{-valor} > 0,05$); de lo contrario, los datos no seguirán una distribución normal ($p\text{-valor} < 0,05$).

Asimismo, se implementó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 6 tratamientos y 3 repeticiones. Se llevará a cabo un DCA para cada observación con el objetivo de evaluar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. En caso de que el valor de F calculado sea igual o mayor que el valor F de la tabla, se concluirá que, al nivel de significancia establecido (5%), las medias de los tratamientos no son iguales. Por el contrario, si $F \text{ calculado} < F \text{ de la tabla}$, se concluirá que los tratamientos son estadísticamente iguales (Bustos et al., 2008).

Finalmente, los resultados fueron sometidos a la prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$). Esta prueba se llevó a cabo con el propósito de identificar la naturaleza de las diferencias entre los tratamientos. La representación de los resultados se realizó mediante tablas y gráficos, facilitando así una visualización práctica de los hallazgos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Identificación de nivel de Pb en plantas de *Z. Mays*

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedio de todos los análisis de laboratorio, abarcando suelo, raíz y tallo de la planta de *Z. Mays*. Además, se detallan los niveles de Pb en el suelo, destacando que los tratamientos T1 y T4 experimentaron una disminución en la concentración de Pb en comparación con la muestra testigo inicial.

Tabla 2.

Resultado promedio de concentraciones de Pb en los tratamientos

Tratamientos	Pb en suelo (ppm)	Pb en raíz (ppm)	Pb en tallo (ppm)
T1 (0 ppm pb)	10,87	5,28	4,31
T2 (10 ppm pb)	17,25	5,53	4,51
T3 (15 ppm pb)	22,58	6,37	5,2
T4 (0 ppm pb + compost)	10,9	6,28	5,86
T5 (10 ppm pb + compost)	18,33	6,58	6,21
T6 (15 ppm pb + compost)	21,82	7,13	6,93

En relación al maíz, se observa una notoria acumulación de Pb tanto en el tallo como en la raíz, destacándose una mayor concentración de este contaminante después de la aplicación de la enmienda orgánica de compost en los tratamientos T4, T5 y T6. Esto sugiere que dichos tratamientos fueron más efectivos en el proceso de acumulación de Pb en la planta.

Respecto a la normalidad de los datos, se observa una distribución paramétrica, dado que el p-valor es > 0,05. En consecuencia, los datos referentes a suelo, tallo y raíz exhiben una completa normalidad.

Tabla 3.

Resultado promedio de concentraciones de Pb en los tratamientos

Variable	p-Valor	Decisión
Pb en suelo	0,9308	0,9308 > 0,05 Presenta normalidad
Pb en tallo	0,6956	0,6956 > 0,05 Presenta normalidad
Pb en raíz	0,1825	0,1825 > 0,05 Presenta normalidad

3.2. Identificación del efecto de las enmiendas orgánicas en plantas de *Z. Mays*

Nivel de Pb en el suelo

De acuerdo a la Tabla 4, el análisis de varianza (ANOVA) revela un p-valor inferior a 0,0001, por debajo del nivel de significancia establecido en 0,05. Por lo tanto, se concluye que los tratamientos son altamente significativos y tienen efectos distintos. Esta evidencia sugiere que el uso de compost impacta en la absorción de Pb por parte del maíz. Además, se observa un bajo coeficiente de variación del 0,20%, indicando que los resultados son consistentes y confiables.

Tabla 4.

Análisis de varianza de la concentración de Pb en el suelo

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F calculado	p-valor
Tratamiento	5	2102,56	420,51	157,75	<0,0001
Error	6	15,99	2,67		
Total	11	2118,56			

Por otra parte, la prueba de medias de Tukey respalda los resultados obtenidos en el ANOVA, evidenciando diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la concentración de Pb en el suelo. Se

identifican cinco agrupaciones (A, B, C, D y E) con respecto a esta variable (Figura 1). La elección del tratamiento óptimo se basa en la búsqueda de la menor concentración posible de Pb en el suelo, excluyendo a T4 y T1, que no fueron sometidos a contaminación. Por lo tanto, el tratamiento óptimo se identifica como T2 (10 ppm de Pb), que muestra un valor de 17,25 ppm de Pb. En contraste, T3 (15 ppm de Pb) presenta una concentración más elevada de 22,58 ppm. La agrupación E exhibe los valores más bajos de ppm de Pb (T4=10,90 y T1=10,87) ya que no fueron sometidos a contaminación con dicho elemento.

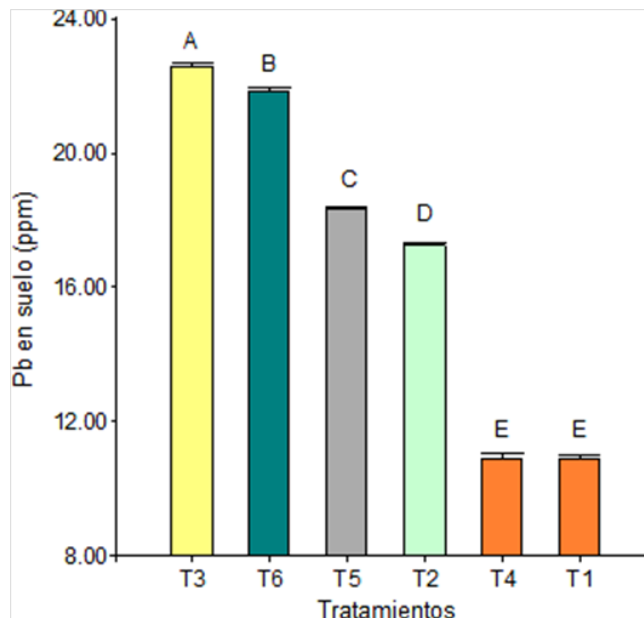


Figura 1. Promedio de concentraciones de Pb en los tratamientos del suelo

Nivel de Pb en la raíz

El ANOVA arrojó un p-valor de <0,0001, menor al nivel de significancia establecido en 0,05. Esta diferencia significativa respalda la afirmación de que los tratamientos poseen efectos diferentes, indicando que el uso de compost está influyendo en la absorción de Pb por parte del maíz. Además, se observa un bajo coeficiente de variación del 0,20 %, lo cual refleja que los resultados son confiables y consistentes (Tabla 5).

Tabla 5.

Análisis de varianza de la concentración de Pb en la raíz

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F calculado	p-valor
Tratamiento	5	2102,56	420,51	157,75	<0,0001
Error	6	15,99	2,67		
Total	11	2118,56			

La prueba de medias de Tukey valida la información del ANOVA, resaltando las diferencias significativas entre los tratamientos en relación con la concentración de Pb en la raíz. En consecuencia, se excluyen T4 y T1 debido a que no fueron sometidos a contaminación. Por lo tanto, se identifica como tratamiento óptimo a T6 (15 ppm de Pb + 250 g de compost), que muestra un valor de 7,13 ppm de Pb. Por otro lado, la agrupación E presenta los valores más bajos de ppm de Pb (T1=5,28 ppm de Pb), ya que no fueron sometidos a contaminación con dicho elemento (Figura 2).

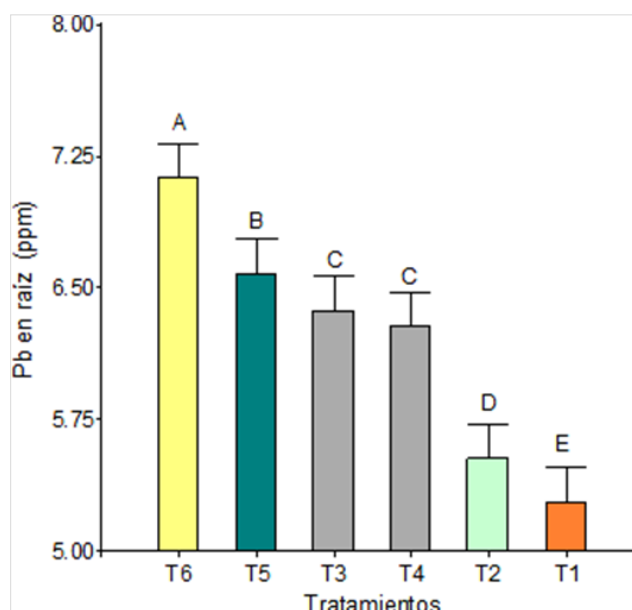


Figura 2. Promedio de concentraciones de Pb en los tratamientos de la raíz

Nivel de Pb en el tallo

De acuerdo con los resultados de la Tabla 6, el ANOVA exhibe un p-valor menor a <0,0001, por debajo del nivel de significancia establecido en 0,05. Esta discrepancia respalda la afirmación de que los tratamientos son altamente significativos, indicando que tienen efectos distintos. Este hallazgo sugiere que la presencia de compost en el cultivo de maíz está ejerciendo una influencia en la absorción de Pb. Asimismo, se observa un bajo coeficiente de variación del 0,20%, lo cual evidencia la confiabilidad de los resultados.

Tabla 6.

Análisis de varianza de la concentración de Pb en el tallo

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	Valor F calculado	p-valor
Tratamiento	5	2102,56	420,51	157,75	<0,0001
Error	6	15,99	2,67		
Total	11	2118,56			

Adicionalmente, la prueba de medias de Tukey respalda los resultados del ANOVA, destacando las diferencias significativas entre los tratamientos en relación con la concentración de Pb en el tallo. Se identifican seis agrupaciones (A, B, C, D, E y F) según esta variable. La elección del tratamiento óptimo se basa en aquel con el mayor valor de media, ya que el objetivo de la investigación es lograr la mayor concentración posible de Pb en el tallo. En consecuencia, se excluyen T4 y T1, que no fueron sometidos a contaminación. Por lo tanto, se identifica como tratamiento óptimo a T6 (15 ppm de Pb + 250 g de compost), que muestra un valor de 6,93 ppm de Pb. En contraste, la agrupación F exhibe los valores más bajos de ppm de Pb (T1=4,31 ppm de Pb), ya que no fueron sometidos a contaminación con dicho elemento.

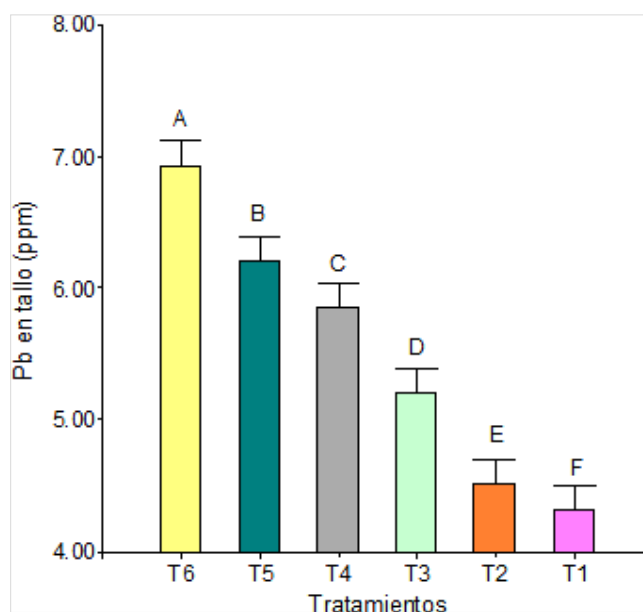


Figura 3. Promedio de concentraciones de Pb en los tratamientos del tallo

4. DISCUSIÓN

Referente a la identificación del nivel de Pb en plantas de *Z. Mays*, se observa que los tratamientos T1 y T4, que no fueron contaminados, disminuyeron las concentraciones iniciales de Pb en el suelo de 14,75 ppm a 10,87 ppm y 10,90 ppm respectivamente. La normalidad del suelo, indicada por el p-valor (0,9308), confirma la validez de los resultados. Estos hallazgos coinciden con Irfan et al. (2021), quien encontró que la aplicación de enmiendas al suelo redujo significativamente el contenido de Pb. Por otro lado, Cordero Casallas (2015) señaló que el maíz crecido en suelo no modificado presentó concentraciones de Pb superiores al límite seguro, indicando la acumulación en tallo y raíz.

En cuanto al efecto de las enmiendas orgánicas en plantas de *Z. Mays*, se destaca que el nivel de Pb en el suelo muestra un p-valor significativo (<0,0001), confirmando que los tratamientos son altamente significativos y tienen diferentes efectos. El tratamiento óptimo identificado fue T2 (10 ppm de Pb), con una concentración de 17,25 ppm de Pb, en comparación con T3 (15 ppm de Pb) que registró 22,58 ppm. Estos resultados encuentran respaldo en la investigación de Irfan et al. (2021) que demostró una reducción del contenido de Pb en el suelo al agregar compost. Respecto a la concentración de Pb en la raíz, se evidencia que el tratamiento óptimo fue T6 (15 ppm de Pb + 250 g. compost) con 7,13 ppm de Pb, mientras que la agrupación E (T1=5,28 ppm Pb) muestra los valores más bajos debido a la ausencia de contaminación. Estos resultados difieren con Anjum et al. (2020), quien observó una significativa reducción de las concentraciones de Pb en las raíces al aplicar compost.

En relación al Pb en el tallo, se confirma la influencia positiva del compost en la absorción, con el tratamiento óptimo siendo T6 (15 ppm de Pb + 250 g. compost) con 6,93 ppm de Pb. Estos resultados son consistentes con Munive et al. (2018), quienes obtuvieron una disminución de las concentraciones de Pb en el tallo al aplicar compost. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la aplicación de compost favorece la bioacumulación de Pb en la raíz de *Z. Mays*, demostrando adaptación al suelo contaminado del botadero.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que la aplicación de compost en el cultivo de *Z. Mays* es una estrategia efectiva para mitigar la acumulación de Pb en suelo contaminado. La disminución significativa de las concentraciones de Pb en suelo, raíz y tallo en los tratamientos con compost indica un potencial impacto positivo en la salud

del cultivo y, por extensión, en la seguridad alimentaria. Estos hallazgos respaldan la viabilidad de utilizar enmiendas orgánicas como medida de biorremediación, ofreciendo una solución sostenible y eco amigable para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados.

Se sugiere profundizar en investigaciones futuras para explorar la viabilidad a largo plazo de la aplicación de compost en diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas. Además, sería beneficioso evaluar el impacto de la biorremediación con compost en otros cultivos y su interacción con la microbiota del suelo. La implementación práctica de estas estrategias debe considerar factores como la disponibilidad y costo del compost, así como la adaptabilidad de la planta a condiciones específicas. También se recomienda realizar análisis continuos para monitorear la calidad del suelo y la acumulación de plomo en las plantas a lo largo del tiempo, con el fin de ajustar las estrategias de biorremediación según sea necesario.

FINANCIAMIENTO

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

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, administración del proyecto, software, supervisión, validación, visualización, redacción -borrador original y redacción -revisión y edición: Lozano-Carranza, C. M., Huamán-Berru, Y., Lozano-Chung, A. y Aniceto-Ahumada, J. P.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, F., Fakhruddin, A. N. M., Fardous, Z., Chowdhury, M. A. Z., Rahman, M. M., & Kabir, M. M. (2021). Accumulation and Translocation of Chromium (Cr) and Lead (Pb) in Chilli Plants (*Capsicum annum* L.) Grown on Artificially Contaminated Soil. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(1), 63–70. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i01.007>
- Anjum, F., Ahmad, K., Khan, Z. I., Nazar, S., Bashir, H., Ahmad, T., Ashfaq, A., Munir, M., Awan, M. U. F., Hussain, K., Nadeem, M., Nadeem, M., Alkahtani, J., Alwahibi, M. S., Alnasrawi, A. M. A., & Arshad, R. (2020). Appraisal of Metal Uptake in Wheat Treated with Different Doses of Municipal Solid Waste. *Revista de Chimie*, 71(12), 164–177. <https://www.revistadechimie.ro/pdf/16 FAIZA 12 20.pdf>
- Bustos, D. M., Bustamante, C. A., & Iglesias, A. A. (2008). Involvement of non-phosphorylating glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase in response to oxidative stress. *Journal of Plant Physiology*, 165(4), 456–461. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2007.06.005>
- Cordero Casallas, J. K. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de útica (cundinamarca)* [Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7958/Fitorremediacióninsituparalaremediacióndemetalespesados%28plomoycadmio%29yevaluacióndeel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Imseng, M., Wigenhauser, M., Müller, M., Keller, A., Frossard, E., Wilcke, W., & Bigalke, M. (2019). The Fate of Zn in Agricultural Soils: A Stable Isotope Approach to Anthropogenic Impact, Soil Formation, and Soil-Plant Cycling. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4140–4149. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03675>

- Irfan, M., Mudassir, M., Khan, M. J., Dawar, K. M., Muhammad, D., Mian, I. A., Ali, W., Fahad, S., Saud, S., Hayat, Z., Nawaz, T., Khan, S. A., Alam, S., Ali, B., Banout, J., Ahmed, S., Mubeen, S., Danish, S., Datta, R., ... Dewil, R. (2021). Heavy metals immobilization and improvement in maize (*Zea mays* L.) growth amended with biochar and compost. *Scientific Reports*, *11*(1), 18416. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97525-8>
- Li, L., Zhang, Y., Ippolito, J. A., Xing, W., Qiu, K., & Yang, H. (2020). Lead smelting effects heavy metal concentrations in soils, wheat, and potentially humans. *Environmental Pollution*, *257*, 113641. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113641>
- Liu, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*, *633*, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2019). Declaran en emergencia la gestión y manejo de residuos sólidos en los distritos de Huanchaco, El Porvenir, Salaverry, La Esperanza, Victor Larco, Moche, Laredo, Florencia de Mora y Trujillo, de la provincia de Trujillo. *Resolución Ministerial N° 221-2019-MINAM. 8 de Enero de 2020. El Peruano*. <https://dataonline.gacetajuridica.com.pe/gaceta/admin/elperuano/812020/08-01-2020.pdf>
- Mng'ong'o, M., Munishi, L. K., Ndakidemi, P. A., Blake, W., Comber, S., & Hutchinson, T. H. (2021). Accumulation and bioconcentration of heavy metals in two phases from agricultural soil to plants in Usangu agroecosystem-Tanzania. *Heliyon*, *7*(7), e07514. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07514>
- Moreno-Osuna, F., Soto-Robles, C. A., Rodríguez-Meza, G. D., Rodríguez-Apodaca, J. R., Nava-Pérez, E., Valenzuela-Quiñonez, W., & Lugo-Medina, E. (2021). Acumulación de metales pesados en plantas desarrolladas en el Norte de Sinaloa para propósitos de fitorremediación. *Latin American Journal of Applied Engineering*, *6*(1), 1–8.
- 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>
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., & Bi, J. (2018). A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Science of The Total Environment*, *642*, 690–700. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.068>