



Eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays* L. en la remoción de plomo en suelos contaminados

Efficiency between *Helianthus annuus* and *Zea mays* L. in the removal of lead in contaminated soils

Eficiência entre *Helianthus annuus* e *Zea mays* L. na remoção de chumbo em solos contaminados

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.301>

Carmen Rosa Velarde Espinoza¹
N00205653@upn.pe

Angela Margarita Mostacero Rodriguez¹
N00217206@upn.pe

Marcos Alejandro Robles Lora²
robles@ucvvirtual.edu.pe

Jean Carlos Escurra Lagos¹
jean.escurra@upn.pe

¹Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú

²Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú

Artículo recibido 16 de junio 2024 / Arbitrado 19 de agosto 2024 / Publicado 20 de septiembre 2024

RESUMEN

El presente estudio comparó la eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays* L. como especies fitorremediadoras, por **objetivo** se compara la eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays* L. en la remoción de plomo en suelos contaminados por relaves mineros en Huamachuco. La **metodología** fue de tipo experimental, diseño transversal, enfoque cuantitativo, la población fue el total de volumen del suelo y la muestra consistió en 15 kg del suelo contaminado. El instrumento utilizado fue la ficha de recopilación de datos y Microsoft Excel. Además, se utilizó SPSS 28 y la prueba T para el procesamiento de datos, para el cálculo de metales en la superficie se empleó el método EPA 3050B en las muestras con datos previos y posteriores al tratamiento. Los **resultados** muestran que, *Zea mays* L. es la especie con mayor eficiencia de remoción logrando el 62.85% a comparación del *Helianthus annuus* con un 53.57% de remoción.

Palabras clave: Fitorremediación; Impacto ambiental; Metales pesados, Suelos contaminados; Concentración

ABSTRACT

The present study compared the efficiency between *Helianthus annuus* and *Zea mays* L. as phytoremediation species, with the **objective** of comparing the efficiency between *Helianthus annuus* and *Zea mays* L. in the removal of lead in soils contaminated by mine tailings in Huamachuco. The **methodology** was experimental, cross-sectional design, quantitative approach, the population was the total volume of the soil and the sample consisted of 15 kg of contaminated soil. The instrument used was the data collection form and Microsoft Excel. In addition, SPSS 28 and the T test were used for data processing; to calculate metals on the surface, the EPA 3050B method was used in the samples with pre- and post-treatment data. The **results** show that *Zea mays* L. is the species with the highest removal efficiency, achieving 62.85% compared to *Helianthus annuus* with 53.57% removal.

Key words: Phytoremediation; Environmental impact; Heavy metals; Contaminated soils, Concentration

RESUMO

O presente estudo comparou a eficiência entre *Helianthus annuus* e *Zea mays* L. como espécies fitorremediadoras, com o **objetivo** de comparar a eficiência entre *Helianthus annuus* e *Zea mays* L. na remoção de chumbo em solos contaminados por rejeitos de mineração em Huamachuco. A **metodologia** foi experimental, delineamento transversal, abordagem quantitativa, a população foi o volume total do solo e a amostra foi composta por 15 kg de solo contaminado. O instrumento utilizado foi o formulário de coleta de dados e o Microsoft Excel. Além disso, foram utilizados o SPSS 28 e o teste T para processamento de dados; para cálculo de metais na superfície, o método EPA 3050B foi utilizado nas amostras com dados de pré e pós-tratamento. Os **resultados** mostram que *Zea mays* L. é a espécie com maior eficiência de remoção, atingindo 62,85% em comparação com *Helianthus annuus* com 53,57% de remoção.

Palavras-chave: Fitorremediação; Impacto ambiental; Metais pesados; Solos contaminados; Concentração

INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los principales problemas medioambientales es la contaminación del suelo. A inicios del siglo XX la contaminación del suelo por metales pesados se incrementó considerablemente (1), como resultado de distintas actividades antropogénicas tal como es la minería. La minería es una actividad que aporta al crecimiento económico; sin embargo, genera riesgos coligados a los relaves, que tienen gran acumulación de metales tóxicos como Pb, As, Hg y Cd (2), causando daños ambientales. En contraste con los contaminantes orgánicos, estos compuestos químicos no son biodegradables (1), teniendo en consideración que los metales pesados tienden a ser retenidos en el suelo a través de diversos mecanismos tales como precipitación, adsorción e intercambio iónico, dificultando su eliminación (3). Este problema puede llegar a amenazar a ecosistemas con la pérdida de biodiversidad, así como, la salud de las personas (4). Por un lado, la existencia de metales pesados en la superficie en altas concentraciones afecta negativamente el desarrollo de las plantas por ende reducción en la producción agrícola (5), entre otras actividades económicas. Por otro lado, el plomo es un elemento metálico sin labor biológica y es uno de los metales pesados más tóxicos; se ha comprobado que la exposición al plomo tiene efectos negativos en la salud de las personas tales como problemas de coordinación muscular, daño al sistema nervioso y cerebral (6).

Se puede evidenciar la contaminación de suelos como es el caso de los 41.25 km² de los alrededores de la localidad de Huanan en China se encontraron elementos altamente tóxicos tales como U, Cr, As, Pb y Mn, procedentes de los pasivos mineros de la zona (7). Así también, en el distrito minero de San Antonio en México, las antiguas actividades mineras, dejaron gran contaminación por metales pesados de los lodos mineros que fueron derramados en el medio ambiente (8). En los últimos años se han reportado la ejecución de planes mineros en Perú como el acontecimiento en La Libertad, ha ocasionado que la polución por metales pesados incrementa significativamente (9), donde se encontró una concentración 3416.00 mg/kg de Pb en la quebrada Cushmun y 0.0020 mg/kg de Pb en el Área minera Virgen de la Puerta, así como con otros metales pesados (9).

En el Perú, la minería informal está liderado por las regiones de Ica, Puno, Madre de Dios y La Libertad. En esta última región dicha actividad se desarrolla de manera considerable en las jurisdicciones de Santiago de Chuco, Pataz, Otuzco y Sánchez Carrión (10). En la localidad de SC, resalta el Cerro "El Toro", en el que se explota oro hace un poco más de dos décadas con procedimientos artesanales (informal), empleando insumos inadecuados (11). Hallaron elevadas concentraciones de Pb, Fe, Cu, As, Cn y Hg, así como en los alimentos, el suelo y en las fuentes de agua cercanas al cerro "El Toro"; asegurando que debido a la continuidad de estas

actividades mineras estos componentes metálicos se filtran y acumulan en las capas superficiales del suelo, que con el tiempo se convierten en elementos muy peligrosos para la salud (12).

Ante este problema medioambiental se vienen desarrollando diferentes tecnologías de remediación tal como la adsorción (13), el lavado de suelos (14) y la remediación electrónica (15). Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías son muy costosas, requieren trabajo constante y pueden generar efectos adversos (1). Entre las técnicas para la desintoxicación del suelo, la fitorremediación es una alternativa llamativa por el poco importe para recuperar las propiedades del suelo y es eco amigable (16). Esta tecnología se fundamenta en el empleo de plantas para trasladar, detener y mermar los contaminantes en el ecosistema a través de diferentes mecanismos (16), como la rizodegradación la fitoextracción, la fitovolatilización y la fitoestabilización (17).

En el estudio de Alarcón et al. (10), obtuvo diferentes concentraciones de Zn, Pb y As en Chamiz y Shicamarca, estudiaron plantas capaces de crecer y acumular los metales en sus tejidos a través de la fitoestabilización (10). Asimismo, Ahmad et al., (18) estudiaron a *Zea Mays L.* juntamente con el biocarbón cargado de fósforo, obteniendo concentraciones de Cu, Mn y Pb en las raíces.

Por otro lado, Munive et al., (19), utilizaron *Zea Mays L.* para suelos degradados por Pb y Cd, acumulo plomo en las raíces hasta 80%. De igual

modo, Huaranga et al., (20) utilizaron *Zea mays L.* (Maíz) y la *Beta vulgaris L.* (Beterrga) para extraer metales pesados como el Pb, As y Cd, donde las especies obtuvieron una eficiencia de reducción de 27,33%.

En la investigación de Govarthanan et al. (21), empleó *Helianthus annuus* con hongos para suelos contaminados con As y Pb, al inicio del estudio se encontró una concentración de 100 mg/L cada contaminante, logrando eliminar el mayor porcentaje de concentración de los metales. De igual modo, Alaboudi et al., (1), aplicaron *Helianthus annuus L.* en superficies contaminadas con Pb y Cd, la cual lograron reducir el mayor porcentaje de los metales, acumulándose en los brotes y raíz de la planta.

Paredes (22), en su investigación aledaña a la zona, luego del análisis fisicoquímico de las muestras, corrobora la alta acumulación de metales pesados en el relave minero, obtuvo concentraciones significativas de Sb, As, Cd, Cu, Ag y Pb, los cuales superan los ECA suelo (mg/kg).

Además, Clemente et al. (23), determinaron que vegetal *Helianthus annuus L.* es un fitoestabilizador de metales pesados, con una absorción óptima en raíz, tallo y hojas. En la misma línea, Huaranga et al. (24), investigaron a la especie vegetal *Helianthus annuus L.* para la cuantificación de la absorción de los metales Cu, Pb, As y Cd presentes en los suelos agrícolas contaminados, teniendo resultados efectivos (25).

Estudios anteriormente mencionados, afirman que la especie *Helianthus annuus* es utilizada para el proceso de fitorremediación, ya que es capaz de asentar a los minerales almacenados en sus tejidos (26,27). Además, esta especie saca mayor proporción de Pb y Cd cuando el territorio representa más concentración, los factores de bioacumulación presentan un comportamiento estabilizador (28). Es recomendable monitorear semanalmente el crecimiento de la planta, considerando la altura desde el borde del suelo hasta el ápice del tallo, para luego poder medir la concentración de metales de acuerdo con lo que nos presenta (29). Por otro lado, *Zea Mays L.* Alrededor de los cuatro meses la planta alcanza su madurez fisiológica en relación con la aglomeración de plomo en los órganos del maíz, en las raíces se acumula un 80%, hojas 15% y tallos 5% (19).

Por estas razones el presente estudio, tenía como objetivo comparar la eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays L.* en la reducción de concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros; donde se reconoce el área contaminada por plomo para emplear la propuesta ambiental, además se mide la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros mediante el tratamiento de la *Helianthus annuus* y *Zea mays L.* Por consiguiente, se planteó la hipótesis, que *Zea mays L.* tiene mayor eficiencia que *Helianthus*

annuus para la reducción de plomo en suelos contaminados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación posee un diseño experimental, con un corte transversal. Por lo tanto, tiene un enfoque cuantitativo, ya que se realizan cálculos numéricos.

La población está definida por el volumen total de suelos contaminados con Pb provenientes de los relaves de Huamachuco, La Libertad. La muestra consiste en aproximadamente 15 kg de suelo contaminado con plomo originario de los relaves mineros recolectados en Huamachuco.

Este estudio incluye un tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia.

Se tuvo en cuenta el D.S. N° 002-2013 (26) esto indica que para áreas contaminadas de forma irregular desde menos de 1.000 m² hasta 5.000 m², se pueden identificar hasta cinco puntos de muestreo. considerados en las actuales directrices de investigación.

La observación experimental fue la técnica que se utilizó para la toma de datos de la investigación. De igual manera, se utilizó una hoja o ficha de recolección de datos como instrumento para la recopilación de datos. Además, se utilizó herramientas de Microsoft Excel para la elaboración de tablas de modo que se logró analizar y calcular los datos.

Cálculo de Metales pesados en suelos

Para el cálculo de los metales en la superficie de la tierra se hace uso del método EPA 3050B que es la digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos; este procedimiento tiene la finalidad de proveer dos métodos de digestión para la disposición de sedimentos, lodos y muestras de suelo para exámenes por espectrometría de emisión atómica con plasma ajustado inductivamente (ICP-OES), este método se basa en una fuerte digestión ácida de la muestra, que va a deshacer la mayoría de elementos que se podrían estar libres en el medio ambiente (24).

Con los resultados de los muestreos realizados se calculó el porcentaje de reducción hacienda uso de la siguiente formula:

$$\% \text{reducción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \quad (1)$$

Donde:

C_i = concentración inicial del metal pesado.

C_f = concentración final del metal pesado.

Para el procesamiento estadístico de los datos obtenidos en campo se utilizó el programa SPSS 28. Para el análisis de variables, primero se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de

Kolmogorov-Smirnov para evaluar si los datos obtenidos son de distribución normal. Esto varía de acuerdo al tamaño de la muestra. Menos de 50 datos corresponden a Shapiro-Wilk. Por otro lado, según la regla de decisión, si el valor $p > \alpha$ ($\alpha=0,05$), no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. Se determinó que el valor p para *Zea Mays I* es 0,363 y el valor p para *Helianthus annuus* es 0.463. Este resultado confirmó que los datos están distribuidos normalmente. Para esto, aplicamos el test T Student para un par de muestras relacionadas de datos previos y posteriores a la aplicación para las especies *Helianthus annuus* y *Zea Mays I*. Se recogieron y se realizaron tres repeticiones para los grupos experimentales.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se observa la acumulación de concentración final de plomo del suelo de Huamachuco, por las especies *Helianthus annuus* y *Zea mays L.* Con la especie *Zea mays L.*, se presenta una mayor eficiencia de reducción de concentración de plomo 62.85 % en comparación con la especie *Helianthus annuus* se presenta una menor eficiencia de reducción 53.57%. *Zea mays L.* fue la especie con mayor eficiencia de reducción de plomo para los suelos de Huamachuco.

Tabla 1. Concentración final de plomo.

Muestras	Helianthus annuus	Zea mays L.
	%	%
1	50.93	63.68
2	57.56	61.90
3	52.21	62.99
Media	53.57	62.85
N	3	3
Desviación estándar	2.08	7.93
Media de error estándar	1.2	4.58
ECA (mg/Kg)	70	

Para contrastar este resultado se realizó un análisis estadístico aplicando la “t student” para muestras independientes, obteniendo un valor de significancia asintótica bilateral de 0.003 siendo esta menor a la significancia establecida deduciendo que *Zea Mays L.* es más eficiente en cuanto a la disminución de concentración de Pb. Todo lo anterior mencionado, muestra que no

hay evidencia para rechazar de la hipótesis, *Zea mays L.* es más eficiente que la *Helianthus annuus* para lograr la reducción de concentración de Pb en suelos contaminados por relaves mineros, puesto que *Zea mays L.* arrojó un nivel elevado de reducción de porcentaje de la concentración de Pb.

Tabla 2. Prueba T para la concentración de plomo.

Especie	N	Media	p-valor
<i>Helianthus annuus</i>	3	0.83%	0.138
<i>Zea mays L.</i>	3	4.74%	

Según Huaranga et al., (25), investigaron a la especie vegetal *Helianthus annuus L.* para la cuantificación de la absorción de los metales Cu, Pb, As y Cd presentes en los suelos agrícolas contaminados, teniendo una efectividad de 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente. Por otro lado, Clemente et al. (23) determinaron que vegetal *Helianthus annuus L.* es un fitoestabilizador de

metales pesados, concentración aproximada de absorción en raíz, tallo y hojas de 200 mg/kg. Asimismo, Ahmad et al., (18), estudiaron a *Zea Mays L.* juntamente con el biocarbón cargado de fósforo, las concentraciones de Cu, Mn y Pb en las raíces obtuvieron una disminución de 472,66; 260,70 y 176,28 mg/kg.

El área que se reconoció para la implementación de la propuesta ambiental se encuentra contaminada con metales pesados,

donde se encontró una concentración de Pb de 400 mg/kg, y superan los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para suelo (ECA-Suelo).

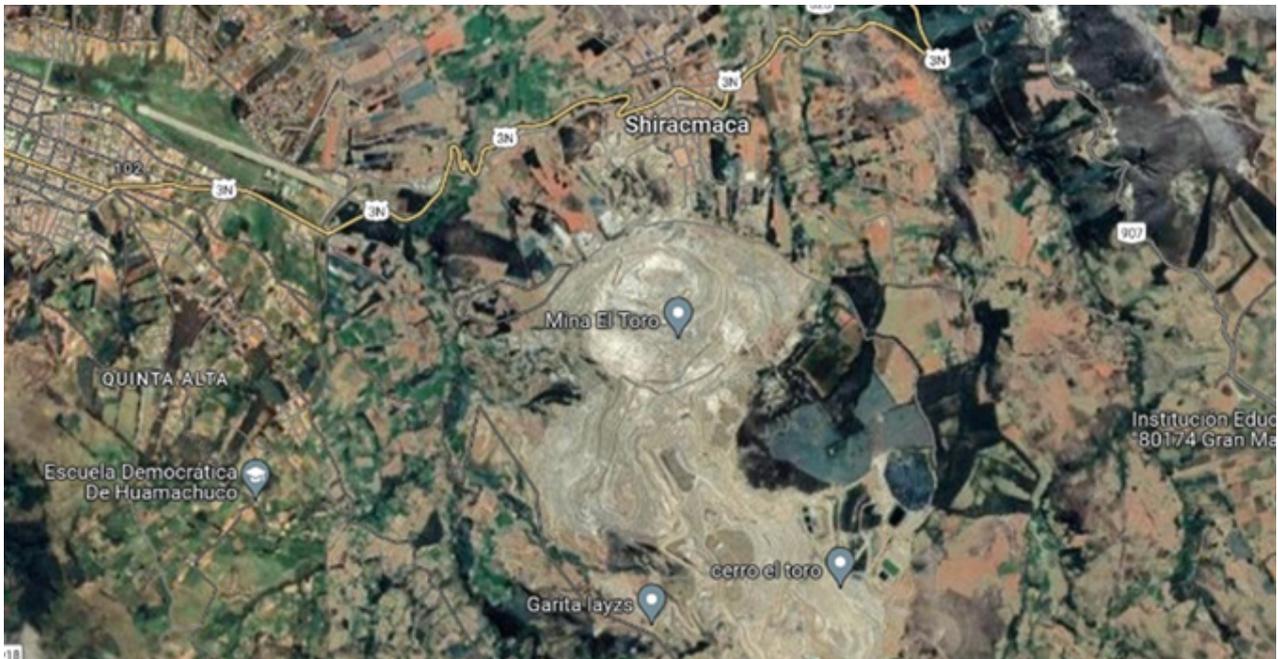


Figura 1. Ubicación geográfica con coordenadas del área de estudio.

Según Alarcón y Peláez (10) obtuvo concentraciones de Zn, Pb y As alcanzando hasta 10463 mg/kg, 7458 mg/kg y 1014 mg/kg respectivamente en Chamiz y Shicamarca, estudiaron plantas capaces de crecer y acumular los metales en sus tejidos a través de la fitoestabilización. Además, Huaranga et al. (24) en su investigación aledaña a la zona, luego del análisis fisicoquímico de las muestras, corroboró la alta acumulación de metales pesados en el relave minero, obtuvo concentraciones de Sb (298.1 mg/kg), As (2202.0 mg/kg), Cd (36.52 mg/kg), Cu (5460.5 mg/kg), Ag (61.6 mg/kg) y Pb (2933.5 mg/kg), los cuales superan los ECA (mg/kg). De igual

manera, Huanvumba et al. (9) estudiaron más de 20 elementos químicos estudiados en el material del relave minero de la quebrada Cushmun, más de una docena de metales sobrepasarían los LMP, sobresaliendo el Al (3582 mg/kg), Pb (3416 mg/kg) y As (1874 mg/kg).

Asimismo, se aportará a estudiantes, entidades tanto públicas como privadas como información fidedigna y bases teóricas para a futuro se realicen investigaciones que beneficien al medio ambiente y a las personas.

Para medir la concentración de plomo, antes y después del tratamiento con la especie de la *Helianthus annuus*, se aplicó el método EPA 3050B

que es la digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos. En la Tabla 3, se expone la concentración de plomo del suelo de Huamachuco. Hallando una concentración media de Pb de 401 mg/kg, cuyo valor sobrepasa el ECA suelo para dicho elemento

(70 mg/kg). Luego de 3 meses de tratamiento, se encontró una absorción promedio de plomo del suelo de 186.2 mg/kg, cuyo valor indica que la especie removió un 53.57% de la cantidad de plomo.

Tabla 3. Concentración final de plomo.

Muestras	Pre-Tratamiento	Post-Tratamiento	
	mg/kg	mg/kg	%
1	400	196.30	50.93
2	401	170.20	57.56
3	402	192.10	52.21
Media	401	186.20	53.57
N	3		3
Desviación estándar	1		2.08
Media de error estándar	0.57		1.2
ECA (mg/Kg)	70		

Según Govarthanan et al. (21) utilizaron *Helianthus annuus* con hongos para suelos contaminados con As y Pb, eliminó 70% de los metales con una concentración inicial de 100 mg/L cada uno. Por otro lado, Alaboudi et al., (1) aplicaron *Helianthus annuus* en suelos contaminados con Plomo y Cadmio, redujo hasta el 76,6% y 64,3%; 88.5% y 80.80% respectivamente en los brotes y raíz de la planta. Asimismo, Pourfadakari et al. (14) investigaron la cuantificación de la absorción de los metales Cu, Pb, As y Cd presentes en los suelos agrícolas contaminados, teniendo una efectividad de 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente.

Por otro lado, se muestra que ser una alternativa accesible y económica para la población. Además, económicamente a la

población de los caseríos que se dedica a la agricultura, ya que habrá un aumento de la producción

Para medir la concentración de plomo, antes y después del tratamiento con la especie de la *Zea mays L.*, se realizó el método EPA 3050B que es la digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos. La Tabla 4, muestra la concentración de Pb en los suelos de Huamachuco. Se halló una concentración media de Pb de 401 mg/kg, cuyo valor sobrepasa el ECA suelo para dicho metal (70 mg/kg). Luego de 3 meses del tratamiento con el maíz, se identificó una absorción promedio de plomo del suelo de 148.97 mg/kg, cuyo valor indica que la especie removió una mayor concentración de plomo con 62.85 %.

Tabla 4. Concentración de plomo antes y después del tratamiento con la especie de la *Zea mays L*

Muestras	Pre-Tratamiento	Post-Tratamiento	
	mg/kg	mg/kg	%
1	400	145.30	63.68
2	401	152.80	61.90
3	402	148.80	62.99
Media	401	148.97	62.85
N	3		3
Desviación estándar	1		7.93
Media de error estándar	0.57		4.58
ECA (mg/Kg)	70		

Según Munive et al. (19) utilizaron *Zea Mays L.* para suelos degradados por Pb y Cd, acumulo plomo en las raíces hasta 80%. Por otro lado, Huaranga et al. (20) utilizaron *Zea mays L.* “Maíz” y la Beta vulgaris L. “Beterraga” para extraer metales pesados Pb, As y Cd con concentraciones de 432,95 mg/kg para Plomo, 3,89 mg/kg para Arsénico y 13,88 mg/kg para Cadmio, las especies obtuvieron una eficiencia de reducción de 27,33%. Asimismo, Ahmad et al. (18) estudiaron a *Zae Mays L.* juntamente con el biocarbón cargado de fósforo, las concentraciones de Cu, Mn y Pb en las raíces obtuvieron una disminución de 472,66; 260,70 y 176,28 mg/kg.

Además, el tratamiento puede ser proyectado de manera industrial, aparte de ser estudiada y practicada en laboratorio, se podrá recuperar parte de la superficie contaminada.

DISCUSIÓN

En primer lugar, se comparó la eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays L.* en la

reducción de la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros. Asimismo, López et al. (30) menciona que la solución eficaz para tratar el suelo contaminado por metales es la aplicación de la fitorremediación, ya que descompone, asimila y desintoxica los minerales, utilizando plantas y microorganismos. Con base en el análisis estadístico de prueba t se obtuvo un valor de significancia asintótica bilateral 0.138, es decir no existe una diferencia significativa como tal entre dichos tratamientos, por ende, en las dos plantas se halló una aglomeración de Pb semejante, luego de la aplicación de dichos tratamientos, con la especie *Zea mays L.*, se demuestra una eficiencia de reducción de concentración de plomo de 10.72%, por otro lado, la especie *Helianthus annuus* en su eficiencia de reducción fue de 1.25%, en el tiempo de 45 días.

Por otro lado, Samamé et al., (31), obtuvieron 14.89% de remoción de plomo con la especie *Zea mays L.*; y Buendía et al. (32) encontraron 58.36% de remoción de plomo con la especie *Helianthus*

annuus, las diferencias de eficiencia se deben al tiempo de cada tratamiento, al tipo de riego, clima entre otros factores. Dado ello, *Zea mays L.* fue la especie con mayor eficiencia en la reducción de plomo para los suelos. Las limitaciones encontradas en los tratamientos aplicados es el tiempo de estudio, ya que las especies necesitan llegar a una etapa adulta para actuar como extractoras de metales, además, las condiciones climáticas ya que las altas temperaturas pueden poner en riesgo la germinación, la fotosíntesis y el metabolismo propio de cada especie. La implicancia, los resultados de la presente serán base teórica para investigaciones futuras de tal forma prosperar con el conocimiento de la línea de investigación.

Por otro lado, se reconocer el área contaminada por plomo para emplear la propuesta ambiental, el sitio de estudio, el cual tiene las coordenadas: (829031.00 E; 9134483.00 S), (829078.00 E; 9134413.00 S), (830036.00 E; 9134566.00 S), (830051.00 E; 9134501.00 S) y (830101.00 E; 9134391.00 S) del distrito de Sánchez Carrión, esta se encuentra cerca de la mina ilegal en el cerro El Toro. Los resultados presentados se reconoce la comparación de las concentraciones con los valores establecidos por D.S N.º 011-2017 MINAM ECA para suelo; el área presenta contaminación por metales pesados, sin embargo, en el presente estudio solo se trabajó con plomo, se reconoció que el suelo del área de estudio tiene 400 mg/kg de Plomo. Puesto a lo anteriormente

mencionado se puede afirmar que el área estudio está contaminada con metales pesados como el plomo.

En el estudio de Figueroa y Hurtado (33), determinaron una concentración de 218.20 mg/kg de plomo en los socavones aledaños al cerro El Toro, debido que el plomo tiene contacto con el suelo, este se adhiere a las partículas del suelo permaneciendo indefinidamente en la superficie. Por otro lado, Flores (34) encontró una concentración de plomo de 110 mg/kg en el área de estudio esta diferencia posiblemente es, porque se tomó la muestra en la cabeza del relave el cerro El Toro. La principal limitación fue el método de muestreo para la selección de la muestra, ya que no representa con exactitud a la población, ello conlleva a un sesgo de muestreo. Asimismo, la implicancia es que aportara a estudiantes, entidades tanto públicas como privadas como información fidedigna y bases teóricas para una futura investigación que beneficien al medio ambiente y a las personas.

Asimismo, en este estudio al calcular la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros mediante el tratamiento de la *Helianthus annuus*. Según Gómez et al., (29), la especie es capaz almacenar los minerales en sus tejidos; por ello, se emplea en los procesos de fitorremediación. Sé realizo una prueba t, donde se obtuvo una concentración media de Pb de 401 mg/kg, cuyo valor sobrepasa el ECA suelo para

dicho elemento (70 mg/kg). Luego del tratamiento con el girasol, se encontró una reducción media de concentración de plomo en el suelo de 397.66 mg/kg, cuyo valor indica que la especie no retuvo una adecuada cantidad de plomo. En la investigación de Buendía et al. (32), encontraron una concentración inicial de plomo de 156.6 mg/kg, luego de aplicar la especie fitorremediadora, obtuvo una concentración de 65.2 mg/kg; debido a la absorción, lixiviación y dilución del metal.

Por su parte, Julca (35) determino una concentración de inicial de Pb de 79.82 mg/kg y al término del tratamiento 46.68 mg/kg, debido a que logra bioacumular metales pesados en la masa foliar. Por ello, corroboramos que las plantas herbáceas como el girasol tiene la facultad de acumular y desintoxicar metales pesados, mediante sus fases metabólicas. La principal limitación, fue el tiempo de análisis del tratamiento, ya que el periodo promedio del desarrollo adecuado de la especie es de tres meses. Como consecuencia no se obtuvo una reducción optima de plomo. Por otro lado, la implicancia, es que muestra ser una alternativa accesible y económica. Además, la beneficiará a la población que se dedica a la agricultura, ya que habrá un aumento de la producción y sus cosechas serán de buena calidad.

Por último, el objetivo específico calcular la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros mediante el tratamiento de la

Zea mays. Según Mojiri (36), *Zea Mays L.* tiene la capacidad de absorber gran cantidad de cadmio y plomo como el *Helianthus annuus*. Se realizó la prueba, donde se obtuvo una concentración media de plomo de 401 mg/kg, cuyo valor sobrepasa el ECA suelo para dicho metal (70 mg/kg). Luego del tratamiento con el maíz, se identificó una reducción media de plomo del suelo de 391 mg/kg, cuyo valor indica que la especie retuvo una mayor concentración de plomo. Asimismo, (31) obtuvieron una concentración inicial de plomo de 2679.07 mg/kg, luego de aplicar la especie fitorremediadora, se obtuvo una concentración de 2280.08 mg/kg. En el estudio, (35) determino una concentración inicial de Pb de 75.59 mg/kg y al término del tratamiento 42.00 mg/kg, debido a que la especie de maíz retira y asimila el Pb y los demás metales pesados en la biomasa radicular como es la biomasa del área de la planta. Por ello, confirmamos que la planta gramínea como es el maíz tiene la facultad de acumular y desintoxicar metales pesados, mediante sus fases metabólicas. Teniendo en cuenta que la limitación fue el tiempo de análisis del tratamiento, ya que el periodo promedio de crecimiento de la especie es de 4 meses aproximadamente. Asimismo, la implicancia, beneficiará el ingreso económico a la población de los caseríos que se dedica a la agricultura, ya que habrá un aumento de la producción. Por otro lado, si es proyectado de manera industrial, aparte de ser estudiada y

practicada en laboratorio, se podrá recuperar gran parte de la superficie contaminada.

CONCLUSIONES

Para comparar la eficiencia entre *Helianthus annuus* y *Zea mays L.* en la reducción de concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros, donde se concluye que *Zea mays L.* es la especie eficiente en la reducción de plomo ya que logró un 62.85% de reducción de la concentración a comparación del *Helianthus Annuus* con un 53.57% de reducción de la concentración de plomo.

Además, al reconocer el área contaminada por plomo para emplear la propuesta ambiental, en corroboración de estudios anteriormente realizados se hallaron concentraciones de plomo de 400 mg/kg, por lo tanto, se concluye que las zonas cercanas a la relavera de la minería ilegal del Cerro El Toro es el escenario adecuado para la implementación de la propuesta ambiental.

Por otro, al calcular la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros mediante el tratamiento de la *Helianthus annuus*; concluyendo que la especie redujo en menor cantidad el plomo, ya que la concentración pre-tratamiento fue de 401mg/kg, cuyo valor sobrepasa el ECA suelo (70 mg/kg). La concentración post-tratamiento fue de 186.20 mg/kg, equivalente a una reducción del 53.57%.

Finalmente, al calcular la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves mineros mediante el tratamiento de la *Zea mays L.* concluyendo que especie redujo una adecuada cantidad de plomo para poder implementarla en la recuperación de suelos contaminados, ya que la concentración pre- tratamiento fue de 401 mg/kg cuyo valor sobrepasa el ECA suelo (70 mg/kg). Y la concentración post- tratamiento fue de 148.97mg/kg, equivalente a una reducción del 62.85%.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alaboudi K, Ahmed B, Brodie G. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*. 2018; 63 (1): 123-127. <https://acortar.link/dhJSgg>
2. Canales A, Belizario G, Chui H, Roque B. Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 2022; 48(3): 267-273. <https://acortar.link/SZXfNd>
3. Villen M, Cerrillo M, Paz J, Vereda C, Gomez C, Rodriguez M. Enhanced electrokinetic remediation of a real lead – contaminated soil by Chelating agent addition. *Quim. Nova*. 2020; 43, (8): 1078-1085. <https://acortar.link/taudb2>
4. Huamvumba R, Mataa M, Mutiti A. Evaluation of Sunflower (*Helianthus annuus L.*), Sorghum (*Sorghum bicolor L.*) and Chinese Cabbage (*Brassica chinensis*) for Phytoremediation of lead contaminated soils. *Environment and Pollution*. 2017; 3(2). <https://acortar.link/enh1pZ>

5. Toromanovic M, Jogić V, Ibrahimpašić J, Džaferović A, Dedić S, Makic H. Phytoremediation of soil contaminated with heavy metals using the sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Quality of life*. 2021; 12(3-4):77-84. <https://acortar.link/WBIZMu>
6. USEPA. Human health and lead. 2013. <https://acortar.link/4nWBLC>
7. Hudson E, Kulesa B, Edwards P, Williams T y Walsh R. Integrated hydrological and geophysical characterisation of surface and subsurface water contamination at abandoned metal mines. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2018; 229 (8): 256. <https://acortar.link/FM8txl>
8. Frascoli F, Hudson-Edwards K. Geochemistry, mineralogy and microbiology of molybdenum in mining-affected environments. *Minerals*. 2018; 8(2): 42. <https://acortar.link/UjAodk>
9. Huaranga F, Rodríguez E, Méndez E, Bernuí F. Especies bioindicadoras de contaminación por relaves mineros en el Sector Samne, La Libertad – Perú, 2021. *Arnaldoa*. 2021; 28 (3): 633-650. <https://acortar.link/5BwlRo>
10. Alarcón N, Peláez F. Transferencia de metales suelo-planta en el cerro “El Toro”, Huamachuco, Perú. *Manglar*. 2019; 16(2): 143-149. <https://acortar.link/P9rmk4>
11. SPDA (Sociedad Peruana De Derecho Ambiental). La realidad de la minería ilegal en países amazónicos. Lima, Perú. 2014. <https://acortar.link/zvSHHi>
12. Regalado F, Peláez F. Determinación de contaminantes químicos en alimentos cultivados procedentes de la minería en Shiracmaca Huamachuco - La Libertad 2012-2013. *Rev. ciencia y tecn*. 2019;15(2):27-40. <https://acortar.link/aldGFb>
13. Chen L, Yang J, Wang D. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sunflower (*Helianthus annuus* L.) enhanced with biodegradable chelating agents. *Journal of cleaner production*. 2020; 263. <https://acortar.link/daZPx6>
14. Pourfadakari S, Ahmadi M, Jaafarzadeh N, Takdastan A, Alkazem N, Ghafari S, Jorfi S. Remediation of PAHs contaminated soil using a sequence of soil washing with biosurfactant produced by *Pseudomonas aeruginosa* strain PF2 and electrokinetic oxidation of desorbed solution, effect of electrode modification with Fe₃O₄ nanoparticles. *Journal of Hazardous Materials*. 2019; 379. <https://acortar.link/0mXAQ8>
15. Guedes P, Lopes V, Couto N, Mateus E, Silva C, Ribeiro A. Electrokinetic remediation of contaminants of emergent concern in clay soil: Effect of operating parameters. *Environmental Pollution*. 2019; 253: 625-635. <https://acortar.link/Enayyk>
16. Hernández I, Navas G, Infante C. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrus maximus*. *Rev. Int. Contam. Ambien*. 2017; 33(3): 495-503. <https://acortar.link/c6weFW>
17. Yavari S, Malakahmad A y Sapari N. A review on Phytoremediation of crude oil spills. *Water Air Soil Poll*. 2015; 226 (279). <https://acortar.link/i2s4UY>
18. Ahmad M, Usman A, Al-Faraj A, Ahmad M, Sallam, A. y Al-Wabel M. Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (*Zea mays* L.) plants. *Chemosphere*. 2018; 94: 327-339. <https://acortar.link/oiuHaJ>
19. Munive R, Loli O, Azabache A. y Gamarra G. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*. 2018; 9(4): 551–560. <https://acortar.link/Z6HaVA>
20. Huaranga F, Méndez E, Bernuí F, Castilla N y Huaranga F. Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el “maíz” (*Zea mays* L.) y “beterraga” (*Beta vulgaris* L.). *Arnaldoa*. 2022; 29 (1): 99-118. <https://acortar.link/G5YY5X>
21. Govarathanan M, Mythili R, Selvankumar T, Kamala-Kannan S, Kim H. Myco-phytoremediation of arsenic- and lead-contaminated soil by *Helianthus annuus* and Wood rot fungi, *Trichoderma* sp. Isolated from decayed Wood. *Ecotoxicology and environmental Safety*. 2018; 151: 279-284. <https://acortar.link/qUtrGi>
22. Paredes J. Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en

- fitorremediación de relaves mineros. Revista ECIPerú. 2015; 11(2). <https://acortar.link/n6JqX3>
- 23.** Clemente J, Medina J, Laura J, Pariona L, Gutiérrez P. Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). Acta Agronómica. 2021; 70(2). <https://acortar.link/GHcooi>
- 24.** Edgell K. USEPA - Método SW-846 3050 Digestión ácida de sedimentos, Lodos y Suelos. United states enviromental protección agency. 1988; Contrato EPA No. 68-03-3254. <https://acortar.link/CHLCTa>
- 25.** Huaranga F, Méndez E, Quilcat V, Bernui F, Costilla F. y Huaranga F. Cuantificación de Cu, Pb, A s y Cd absorbidos por el “girasol” *Helianthus annuus* (Asteraceae) presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros. Arneloa. 2022; 29 (1). <https://acortar.link/BATBO2>
- 26.** Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. DECRETO SUPREMO N° 002- 2013 del Ministerio del Ambiente. Normas Legales del El Peruano, (25-03-2013). <https://acortar.link/lrSF8i>
- 27.** Munive R, Gamarra G, Munive Y, Puertas F, Valdiviezo L, Cabello R. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. Scientia Agropecuaria. 2020; 11(2): 177-86. <https://acortar.link/eU5uiE>
- 28.** Polanía C, Cardona F, Castañeda G, Vargas I, Calvache O, Abanto W. Metodología de investigación Cuantitativa & Cualitativa. Santiago de Cali: Institución Universitaria Antonio José Camacho; 2020. <https://acortar.link/aOZk5c>
- 29.** Gómez L, Contreras A, Bolonio D, Quintana J, Oñate-Sánchez L, Merino I. Chapter Ten- Phytoremediation with tres. Advances in Botanical Research. 2019; 89 (1): 281-321. <https://acortar.link/vjpsww>
- 30.** Lopez S, Gallezgos M, Pérez L, Gutierrez M. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 2005; 21 (2): 91-100. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/22565>
- 31.** Samamé E, Quispe J, Díaz Y. Fitorremediación con *Zea mays* para la remoción de plomo y cadmio del suelo contaminado por relave minero de la planta concentradora UNI. 2022. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7277>
- 32.** Buendía H, Cruz F, Meza C, Arévalo J. Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo, Ciencias Sociales. 2014. Universidad Agraria La Molina. Perú., 1,113,121. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/alma/article/download/11873/10595/41331>
- 33.** Figueroa J, Hurtado M. Determinació de la concentración de Plomo de socavones en la Minería Artesanal del cerro El Toro, Shiracmaca–Huamachuco, La Libertad–2011”. 2011. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstreams/c7e89537-8ee6-4de3-b765-0fbd8c2aff82/download>
- 34.** Flores S. Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de cerro el toro de huamachuco para el desarrollo sostenible. 2019. Tesis para optar grado de Magíster en Ingeniería Metalúrgica con mención en Metalurgia Extractiva. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10899/Flores_chs.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 35.** Julca J. “Capacidad fitorremediadora del maíz y el girasol en suelos contaminados del botadero municipal de lucma”. 2022. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31486/Julca%20Casta%c3%b1eda%20Jhack%20Jhelsin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 36.** Mojiri A. The potential of corn (*Zea mays*) for phytoremediation of soil contaminated with cadmium and lead. Journal of Biological and Environmental sciences. BIOL. ENVIRON. 2011; 5(13): 17-22. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/497746>