

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



Una Institución Adventista

**Potencial Fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus*
como alternativa para suelo contaminado con Plomo y Cromo**

Por:

Schauny Vivian Ferrua Quispe
Katheryne Micol Aimituma Franco

Asesor:

Ing. Nancy Curasi Rafael

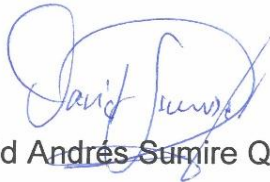
Lima, diciembre de 2019

Potencial Fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus* como alternativa para suelo contaminado con Plomo y Cromo

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental

JURADO CALIFICADOR



Mg. David Andrés Sumire QQuenta

Presidente



Lic. Gina Marita Tito Tolentino

Secretario



Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Vocal



Ing. Orlando Alán Poma Porras

Vocal



Ing. Nancy Curasi Rafael

Asesor

Lima, 02 de diciembre de 2019

Potencial Fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus* como alternativa para suelo contaminado con Plomo y Cromo

POTENTIAL PHYTOREMEDIATOR OF AMARANTHUS CAUDATUS SPECIES AS AN ALTERNATIVE FOR SOIL CONTAMINATED WITH LEAD AND CHROMIUM

Katheryne Micol Aimituma Franco^a, Schauny Vivian Ferrua Quispe ^a.

Recibido: 28 junio de 2019 / Aceptado: 28 junio de 2019

§ *Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Universidad Peruana Unión*

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el potencial fitorremediador de especie *Amaranthus Caudatus* en suelos contaminados por Pb y Cr. Se instalaron, 12 macetas conteniendo cada una 5 semilla de *Amaranthus Caudatus* y 1 kg de suelo fueron utilizados. El tiempo de germinación y maduración fueron a los 20 y 50 días, respectivamente. Previamente el suelo fue analizado para saber su contenido de Pb y Cr. Además, para saber el potencial remediador fueron realizado los siguientes 7 tratamientos en 2 kg de tierra: para Pb 3 tratamientos; T1 (conteniendo 51 mg/kg), T2 (500 mg/kg), T3 (1200 mg/kg), para Cr 3 tratamientos: T4 (9.14 mg/kg), T5 (500 mg/kg), y T6 (1100 mg/kg), y el ultimo tratamiento consistió en la combinación de ambos (Pb y Cr) a 200 mg/kg cada uno (T7). Una vez contaminadas las tierras, las plantas maduras fueron trasplantadas en estas y expuestas por un periodo de 60 días. Para el análisis de datos obtenidos se usó el T-Test en el software R Studio. Los resultados mostraron reducción de 20% de Cr entre la media de los tratamientos de pre y post analizados. De la misma forma fue observado reducción de 75% de Pb entre la media de los tratamientos de pre y post analizados. Entre los tratamientos de Cr se observó que no hubo diferencia significativa. En contraste en los tratamientos de Pb si fueron observadas diferencias significativas ($p < 0.05$). Concluimos que el *Amaranthus Caudatus* presenta Potencial Fitorremediador con mayor remoción en el suelo con Plomo y menor en el suelo con Cromo.

Palabras Clave: *Amaranthus Caudatus*, Fitorremediación, Plomo, Cromo, Suelo, Remoción

Abstract

The objective of this work was to determine the phytoremediation potential of *Amaranthus Caudatus* in soils contaminated by Pb and Cr. To do this, 12 pots each containing 5 *Amaranthus Caudatus* seeds and 1 kg of soil were used. Germination and maturation time were at 20 and 50 days, respectively. Previously the soil was analyzed to know its Pb and Cr content. In addition, to know the remedial potential, the following 7 treatments were performed on 2 kg of soil: for Pb 3 treatments; T1 (containing 51 mg / kg), T2 (500 mg / kg), T3 (1200 mg / kg), for Cr 3 treatments: T4 (9.14 mg / kg), T5 (500 mg / kg), and T6 (1100 mg / kg), and the last treatment consisted of the combination of both (Pb and Cr) at 200 mg / kg each (T7). Once the land was contaminated, mature plants were transplanted in them and exposed for a period of 60 days. For the analysis of data obtained, the T-Test was used in the R Studio software. The results showed a 20% reduction in Cr between the average of pre and post treatments analyzed. In the same way, a reduction of 75% of Pb was observed between the average of the pre and post treatments analyzed. Among Cr treatments it was observed that there was no significant difference. In contrast in the Pb treatments if significant differences were observed ($p < 0.05$). We conclude that *Amaranthus Caudatus* presents Phytoremediation Potential with greater removal in the soil with Lead and less in the soil with Chrome.

Keywords: *Amaranthus Caudatus*, Phytoremediation, Lead, Chromium, Soil, Removal

*Correspondencia de autor: Km 19 Carretera Central, Ñaña, Lurigancho, Lima 15, Perú E-mail: shaunyferrua@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El suelo es recurso natural que posee gran importancia, es el pilar donde se establecen y habitan todos los seres vivos, así también es considerada una fuente elemental de recursos para los seres vivos y compone uno de los elementos básicos del medio ambiente (Vilcapaza, 2018).

Sin embargo, actualmente la contaminación de los suelos es uno de los mayores problemas en materia ambiental de nuestro país, se da principalmente por la presencia de metales pesados en el suelo, esto afecta el medio ambiente y llega a presentar un riesgo para la salud humana y la vida natural. (Cortes et al., 2016).

Los metales pesados y su uso en las actividades de industria, es altamente aplicable en nuestro medio, por lo que viene a convertirse en un grave problema de contaminación y degradación de los suelos y agua, estos presentan un peligro a la salud del hombre. (Yarasca, 2015).

Actividades diferentes como la agricultura, la minería, la fundición y el refinado del oro, además del continuo desarrollo de actividades en minería e industriales además del manejo de sus residuos, así como otras actividades antropogénicas, han aumentado de manera muy progresiva a la aglomeración de metales pesados en el suelo y en otros recursos naturales (Castro, 2013).

En muchos casos la cantidad de metales pesados sobrepasan los límites máximos permitidos, esto conlleva a causar diversos efectos dañinos inmediatos, como por ejemplo la alteración en el crecimiento de plantas y perturbaciones funcionales en otros componentes del ambiente natural, así también llega a ser una causa de la disminución de las poblaciones microbianas existentes en el suelo. La acción directa de los metales pesados en los seres vivos, ocurre mediante el bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática llegando a causar daños irreversibles en los diferentes organismos (Bonilla, 2013).

La elevada toxicidad es una de las características principales de los metales pesados, resulta preocupante el impacto en la salud causado por la exposición prolongada a metales pesados. Dependiendo del tipo de metal es que se producen daños que van desde malestares en órganos vitales hasta enfermedades cancerígenas. Actualmente en nuestro país, se han reportado casos que dan a conocer el tipo de daños por causa de metales pesados, por su exposición indirecta a causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados (Reyes et al., 2016).

Metales pesados como Pb y Cr resultan altamente contaminantes y tóxicos cuando entran en contacto con el suelo en grandes concentraciones, el Pb es usado en diferentes procesos industriales y al mismo tiempo llega a ser un producto de residuo y en la mayoría de casos depositado en agua residuales, el uso desconsiderado de estas aguas puede tener como consecuencia una acumulación excesiva de estos metales en los suelos, deteriorando así de forma definitiva el suelo y modificando sus propiedades físicas. El Pb acumulado en los suelos presenta un peligro que puede causar daños irreversibles, por lo tanto, la implementación de nuevas técnicas accesibles y de bajo costo pueden ayudar a la extracción puede ser apropiadas y convenientes para disminuir el potencial peligro de contaminación por metales pesados (Buendia, 2012).

Los niveles de contaminación de los metales pesados y su impacto requieren la ayuda de alternativas que reduzcan y mitiguen los niveles de contaminación por metales pesados y otros contaminantes presentes en el suelo. Algunas tecnologías de limpieza convencional son generalmente costosas y alteran las propiedades físicas del suelo. La fitorremediación es el uso de plantas para eliminar contaminantes del suelo mediante la acumulación en el tejido vegetal, tal método es una prometedora tecnología de limpieza para una variedad de suelos que contienen metales.

Se hallan estudios actuales que centran su objetivo en dar una solución a la contaminación causada por metales pesados en suelos, mediante diversas estrategias basadas en el uso de plantas que tienen el potencial de acumular metales pesados; proceso que se denomina “fitorremediación” este proceso aprovecha la capacidad que poseen algunas plantas y de esta manera absorber, acumular, estabilizar, degradar y neutralizar compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que llegan a ser tóxicos y causar daño en los suelos (Castro, 2013)

El presente estudio se realizó con el fin de evaluar el Potencial Fitorremediador del *Amaranthus Caudatus* en suelo contaminado con Pb y Cr.

MATERIALES Y MÉTODOS

LUGAR DE ESTUDIO

El estudio de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, cuyas coordenadas geográficas son 11° 58' 17.5" Latitud Sur y 76° 50' 22.6" Longitud Oeste a unos 850 m.s.n.m de altitud. Los análisis del suelo se realizaron en el laboratorio LASPAF (Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas) de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETATIVAS

Precediendo a la experimentación, se realizó una indagación de material bibliográfico para la selección de la especie a implementar, fueron investigadas varias especies vegetativas aplicables, pero la mayoría de especies evaluadas presentaron susceptibilidad en ausencia de agua, por tanto fue elegido el Amarantho, especie utilizada como alimento para humanos muy rica en nutrientes, que además está lista para cosecha en tres meses, desarrollándose en climas fríos a templados; presentan resistencia a plagas y son de rebrote de corta duración.

SEMBRADO DE AMARANTO

Las Semillas de *Amaranthus Caudatus* se colectaron durante el mes de mayo de 2019. Las semillas se colocaron en bolsas de plástico negro (macetas) con 1 kg de suelo, durante la primera semana de junio de 2019. Los semilleros fueron hechos utilizando macetas que fueron de ayuda necesaria para conservar la humedad del suelo, ayudar a la germinación de la semilla y el crecimiento de la planta. Las macetas estuvieron provistas de orificios, que fueron necesarios para drenar el agua en exceso, considerando una temperatura y humedad ambiental máxima promedio de 23°C y una mínima de 8°C. Dentro de cada semillero fue puesta tierra negra sin tratamiento y abono orgánico, los cuales fueron sometidos a iguales condiciones de humedad y temperatura.

Cada semillero consta de 5 semillas de Especie *Amaranthus Caudatus*. La germinación de las plantas fue observada en la semana 3 de sembrado, como se muestra en la Figura 1, las cuales permanecieron dentro del semillero por un lapso de 30 días y en cada uno de ellos se controló la tasa de germinación, crecimiento de las plántulas. El riego de las plantas fue por

aspersión, una vez al día en horas de la mañana, lo cual aseguró la humectación uniforme del suelo.



Figura 1. Germinación de Planta *Amaranthus Caudatus*



Figura 2. Planta de *Amaranthus Caudatus*

APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE PLOMO Y CROMO

Se aplicaron 7 tratamientos o niveles de concentración de Pb y Cr, antes se hizo una caracterización del sustrato utilizado, donde se encontró que los niveles originales de Pb eran de 51 mg/kg y de Cr 9.14 mg/kg, por lo que se plantearon tratamientos con Pb en concentraciones de: 51 mg/kg, 500 mg/kg, 1200 mg/kg y en Cr concentraciones de 9.14 mg/kg, 500 mg/kg, 1100 mg/kg, por otro lado se quiso evaluar el potencial fitorremediador del *Amaranthus Caudatus* con una muestra que contiene Pb y Cr juntos, con concentraciones de 200 mg/kg y 200 mg/kg respectivamente, siendo un total de siete macetas respectivamente. Para alcanzar las concentraciones requeridas se prepararon soluciones de Acetato de Plomo trihidratado y óxido de cromo con agua destilada.

Estas soluciones fueron adicionadas a las macetas antes de realizar el trasplante con la intención de hacer este proceso en suelo húmedo, para lograr una distribución del contaminante a lo largo de todo el perfil de suelo en la maceta se preparó la solución con agua destilada.

TRASPLANTE DE PLANTAS EN MACETAS

Las plantas de *Amaranthus Caudatus* fueron trasplantadas a las macetas de suelo contaminado con Pb y Cr la primera semana del mes de agosto. Después de un lapso de 60 días, fue seleccionado 500 gr de suelo de cada maceta, para posteriormente ser enviado al laboratorio donde se realizó el análisis de concentración Plomo y Cromo en el suelo fitorremediado.



Figura 3. Trasplante de Plantas de *Amaranthus* a suelos contaminados

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 1, se muestran los resultados de las concentraciones de Pb y Cr antes y después del tratamiento utilizando el *Amaranthus Caudatus* como fitorremediador. Se observa en la tabla 3, en Pb una mayor remoción en el T1, de la misma manera (Cotrina Chup et al., 2018) en su estudio de investigación con *Amaranthus*, obtuvieron resultados de 8.16% de remoción de Pb, verificando la capacidad de remoción de Pb del *Amaranthus*; mientras que en el caso de Cr se observó que de todos los tratamientos realizados con este metal, fue el T4 el que tuvo mayor porcentaje de remoción.

Tabla 1. Resultado de los análisis pre – post tratamiento del suelo

METALES	CONCENTRACIONES	UNIDADES	PRETRATAMIENTO	POST-TRATAMIENTO	% REMOCION
PLOMO	T1	mg/kg	51.32	12.6	75%
	T2	mg/kg	500	225	55%
	T3	mg/kg	1200	720	40%
	T4	mg/kg	9.14	7.26	20%
CROMO	T5	mg/kg	500	425	15%
	T6	mg/kg	1100	1001	9%
PLOMO Y CROMO	T7	mg/kg	200	194 Cr - 187 Pb	3%

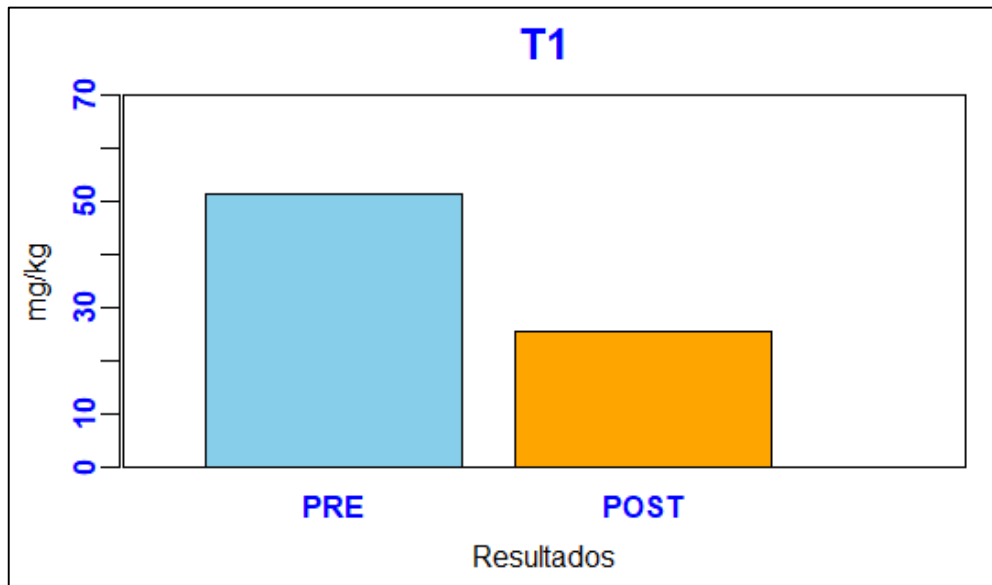


Figura 4. Tratamiento 1 - (Pb)

En la Figura 4 se aprecia que la concentración de Pb en T1 antes y después de su tratamiento con *Amaranthus Caudatus*, con una concentración inicial de 51.32, donde después de ser aplicado el tratamiento disminuyó de 51.32 mg/kg a 12.6 mg/kg, es decir, una reducción de 38 mg/kg al final de 60 días de tratamiento, presentando un porcentaje de remoción de 75%. Para ver si existe diferencia significativa, con una prueba de Test en R, el valor de $P < 0.05$, hallándose diferencia significativa, Ello significa que esta especie tiene capacidad fitorremediadora de Pb. Este resultado coincide con lo reportado por (Opeolu et al., 2005), en sus experiencia con plantas de *Amaranthus Cruentus*, donde se obtuvieron resultados satisfactorios de remoción de Pb del suelo, llegando a remover hasta un 74% de contaminante, dando a conocer así la capacidad de la planta para remover Pb, por ser una especie hiperacumuladora.

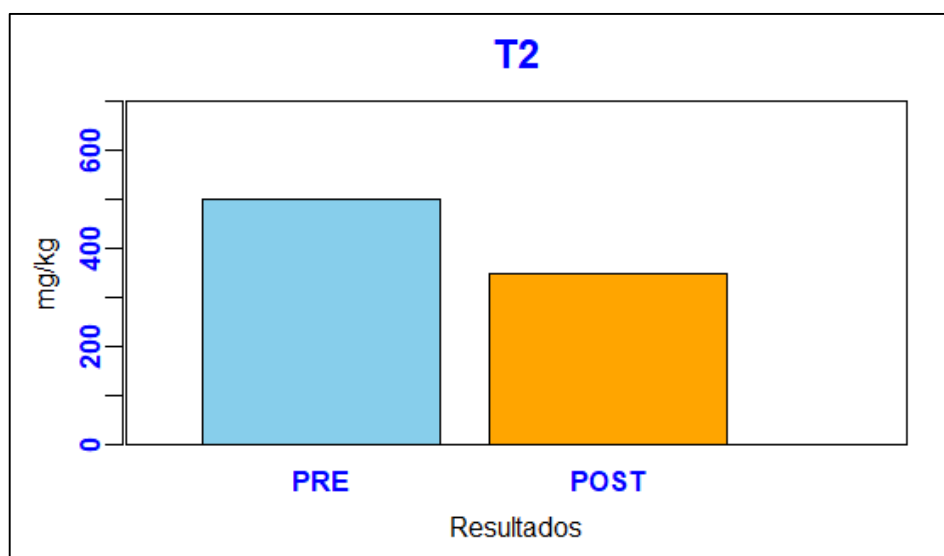


Figura 5. Tratamiento 2 - (Pb)

El tratamiento de suelo contaminado con Pb en el T2 obtuvo una remoción de 55%, con una concentración inicial de 500 mg/kg y 225 mg/kg después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus*, obtuvo una reducción de 275 mg/kg al final de los 60 días de tratamiento tal como se observa en la Figura 5. Para ver la diferencia significativa de tratamiento se realizó una prueba de Test en R, hallándose un valor de $P < 0.05$, indicando efectivamente la existencia de diferencia significativa, en este contexto, estudios como el realizado por (Ortiz Cano et al., 2009), en este trabajo se indica una diferencia significativa de remoción de suelos con Pb y además Cd por la planta *Amaranthus Hybridus*, evaluando su capacidad de concentrar en sus tejidos plomo y cadmio al crecer en suelos contaminados en un periodo de 125 días, describiendo también que hay mayor efectividad de remoción conforme aumenta la edad de la planta.

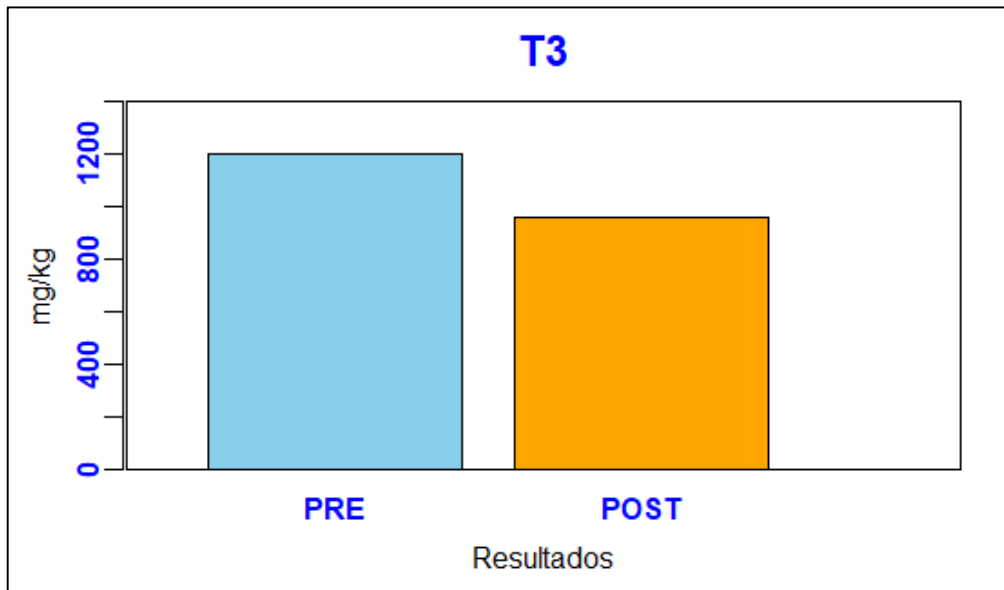


Figura 6. Tratamiento 3 - (Pb)

Para el caso 3 los resultados obtenidos muestran disminución de Pb del suelo en un 40%, como se observa en la Figura 6, la concentración inicial de Pb fue de 1200 mg/kg, después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus* redujo hasta 720 mg/kg, es decir, hubo una remoción de 480 mg/kg al final de los 60 días de tratamiento. Para ver la diferencia significativa de tratamiento se realizó una prueba de Test en R, hallándose un valor de $P < 0.05$, indicando que no existe diferencia significativa en el tratamiento de T3, los resultados coinciden con lo reportado por (Cotrina Chup et al., 2018) en sus experiencias con plantas de *Amaranthus hybridus* obteniendo resultados de remoción con un porcentaje de remoción de Pb 8,16% en un periodo de tiempo corto, además de remover otros metales pesados tales como el As y Cu.

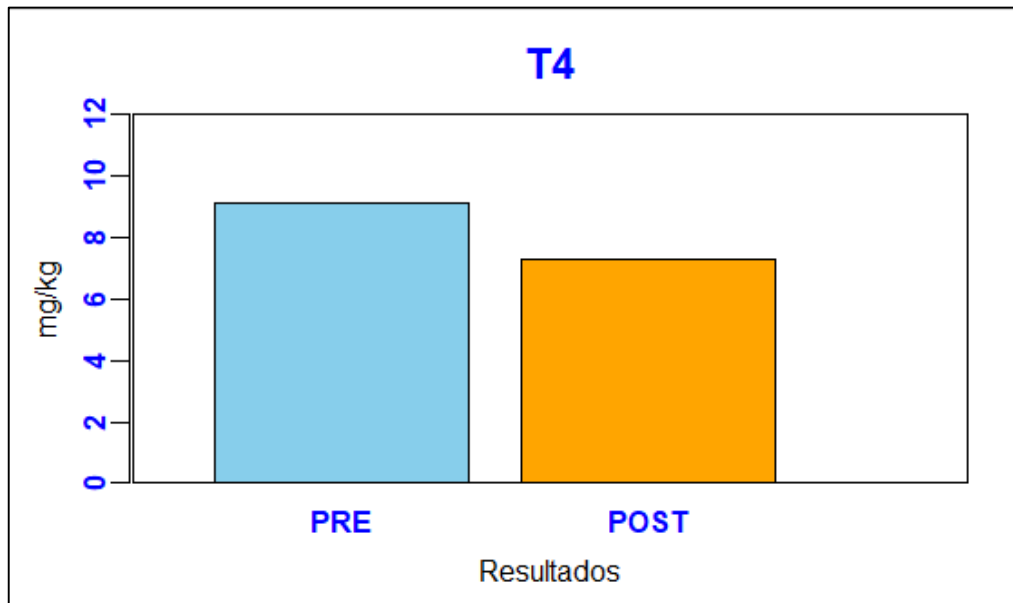


Figura 7. Tratamiento 4 - (Cr)

En la Figura 7 se observa resultados del suelo con concentración inicial de 9.14 mg/kg y 7.26 mg/kg de Cromo después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus*, se muestra los resultados del procesamiento de datos con el Software R donde se obtiene un valor $p > 0.05$ por lo tanto no existe diferencia significativa. A diferencia de la investigación de (Peña and Beltrán, 2017), donde disminuye el cromo hasta un promedio de 5, 63 mg/kg debido especialmente a la extracción por parte de la raíz de *Helianthus annuus* planta fitoextractora. Determinando que la remoción con la planta *Amaranthus Caudatus* en suelos contaminados con Cromo no es eficiente.

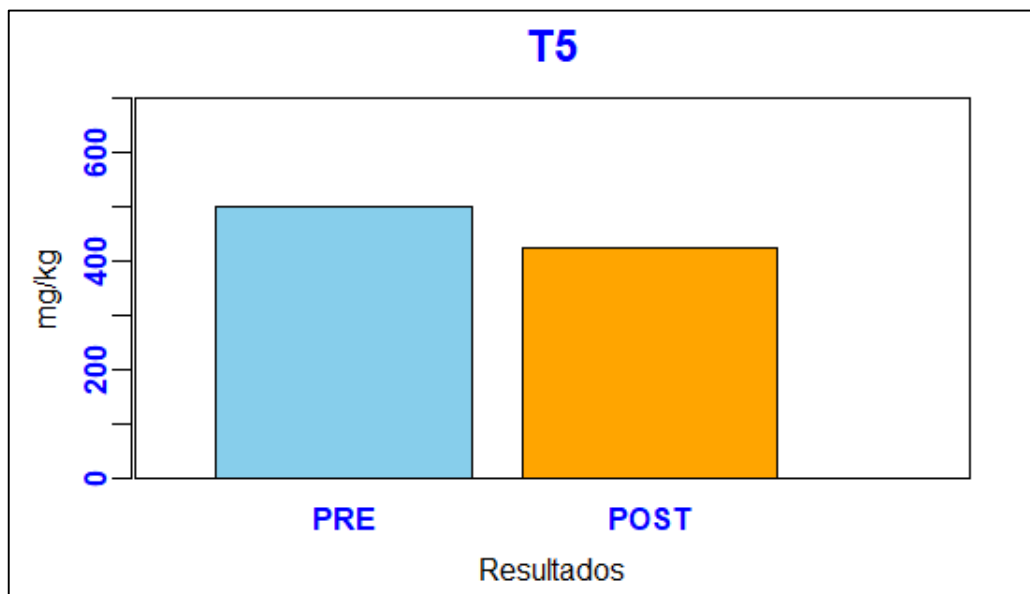


Figura 8. Tratamiento 5 - (Cr)

En el Figura 8 se muestran resultados de suelo en el T5, con una concentración inicial de 500 mg/kg y 425 mg/kg de Cromo después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus*, se muestra los resultados del procesamiento de datos con el Software R donde se

obtiene un valor $p > 0.05$ por lo tanto no existe diferencia significativa, determinando que la remoción con *Amaranthus Caudatus* en suelos contaminados con Cromo no es eficiente. Caso contrario sucede en lo expuesto por (Nancy et al., 2017), donde sustentan que la biomasa de *Amaranthus* mostro una excelente capacidad para bioabsorber Cr , esto se puede deber a que en esta investigación fue usada la biomasa de la planta Amaranthus a diferencia de nosotros que usamos la propia planta para la fitorremediacion de suelo.

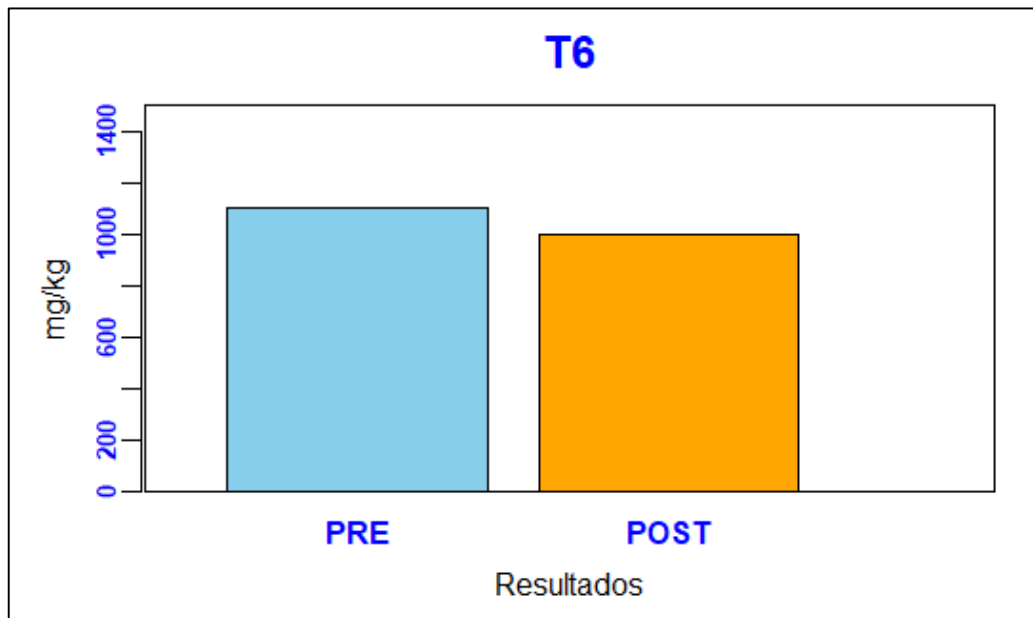


Figura 9. Tratamiento 6 - (Cr)

En la Figura 9, observamos resultados del suelo con concentración inicial de 1100 mg/kg y 1001 mg/kg de Cromo después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus*, se muestra los resultados del procesamiento de datos con el Software R donde se obtiene un valor $p > 0.005$ por lo tanto no existe diferencia significativa, determinando que la remoción con *Amaranthus Caudatus* en suelos contaminados con Cromo no es eficiente. También se observa que en el Tratamiento 4 (T4) y el Tratamiento 5 (T5), el porcentaje de Cromo bajo significativamente, a diferencia de este (T6) que es el que mayor concentración de Cromo contenía, algo similar sucede en la investigación que bien es cierto trabajan con otro tipo de planta pero con similar condiciones, investigación expuesta por (Flores, 2018), donde se concluye que los *Tagetes sp marigol* que contiene la mezcla de 25% logra remover 785 mg/kg de cromo; con la mezcla del 50% remueve 338 ppm de cromo, con la mezcla del 75% remueve 468 mg/kg de Cr y por último el suelo sin mezcla remueve 559 mg/kg de cromo. Determinando que al estar expuesta una planta fitorremediadora a una concentración alta de Cr, su capacidad de remoción es menor.

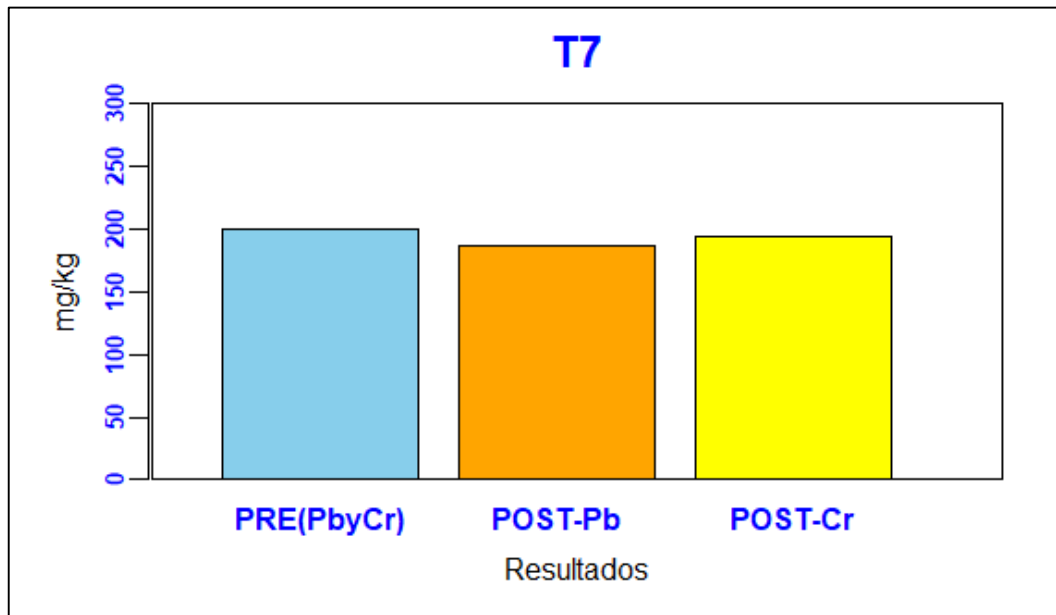


Figura 10. Tratamiento 7 - (Pb y Cr)

En la Figura 9, suelo con concentración inicial de 200 mg/kg de Pb y 200 mg/kg de Cr y 187 mg/kg de Pb y Cr de 194 mg/kg después de ser aplicado el tratamiento con el *Amaranthus Caudatus*, muestra los resultados del procesamiento de datos con el Software R donde se obtiene un valor $p > 0.05$ por lo tanto no existe diferencia significativa, observando que al estar expuesta la planta a suelo contaminado con Pb Cr al mismo tiempo hay muy poca remoción, a su vez la Figura 9 deja ver que a estas condiciones el metal que más se absorbió fue el Plomo. Concordando con la investigación expuesta por (Bonilla, 2013), donde las especies *Amaranthus* presentan mayor capacidad de acumular plomo en sus tejidos a diferencia del Cadmio y Cromo. Determinando que el *Amaranthus Caudatus* posee mayor potencial fitorremediador en suelo contaminado con Plomo.

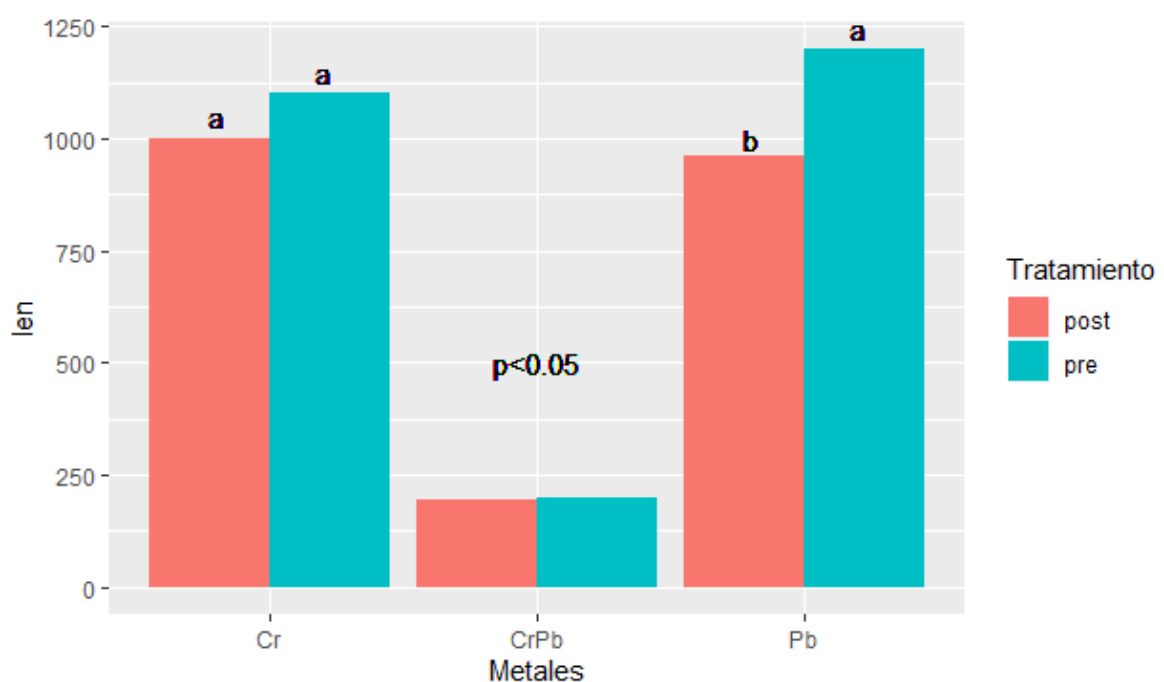


Figura 11. Tratamientos PRE y POST de Pb y Cr

Se presenta el gráfico general donde se observa la fitorremediación usando el *Amaranthus Caudatus* en suelo contaminado con Plomo y Cromo. En la primera columna se observa las concentraciones pre y post en suelo contaminado con Cromo (T4, T5 y T6) donde se observa que no hay una diferencia significativa en la reducción del Cromo usando la planta *Amaranthus Caudatus*. a diferencia de lo expuesto por (Nancy et al., 2017), donde sustentan que la biomasa de Amarantho mostro una excelente capacidad para bioabsorber Cr , dado el caso puede darse a que la remediación de suelo con Cromo se dé mejor usando biomasa de la Planta. En la tercera columna se ve el tratamiento pre y post en el suelo contaminado con Plomo, donde se observa una diferencia significativa al usar esta planta, estos valores concuerdan con estudios de remediación de suelos realizados por (Bonilla, 2013), donde la especie de *Amaranthus Caudatus* presenta la capacidad fitoacumuladora de plomo en sus tejidos, al estar expuesta en suelos contaminados con dicho metal. En la columna del medio se observa el tratamiento pre y post de suelo contaminado con ambos metales: Plomo y cromo al mismo tiempo, observando que el potencial fitorremediador de *Amaranthus Caudatus* disminuye significativamente al trabajar con los dos metales al mismo tiempo. Obteniendo que la planta *Amaranthus Caudatus* tiene un alto potencial fitorremediador en suelo contaminado con Plomo mostrado también en él y no tiene un alto potencial fitorremediar en suelo contaminado con Cromo.

Según el análisis estadístico aplicado se sabe que existe diferencia significativa en los resultados de suelo con Pb, entonces se indica que el *Amaranthus Caudatus* si remueve los metales pesados, en especial Pb, de la misma manera en los resultados estadísticos obtenidos por (Paiva, 2015), quien estudió al *Amaranthus spinosus*, concluyo que esta especie ostenta alta concentración de plomo en sus raíces, demostrando su capacidad de bioacumulación y fitorremediación, además sustenta que esta planta es altamente tolerante a grandes concentraciones de metales donde no presenta ningún estrés, siendo esta familia del *Amaranthus Caudatus*, la cual hace referencia a que el tratamiento aplicado al suelo contaminado si es efectivo, por los porcentajes de plomo acumuladas en la planta en los diferentes días de exposición. En nuestro estudio los resultados se obtuvieron en 60 días, llegando a remover Pb hasta un 75% un porcentaje de remoción promedio debido al periodo de tiempo siendo este nuestro mejor resultado.

4. Conclusiones

La especie *Amaranthus Caudatus* posee potencial fitorremediador para remover metales pesados del suelo, puede concentrar en sus tejidos Plomo y cromo, remueve mejor el Pb según este estudio y de esta manera remediar el suelo contaminado. Un factor importante a considerar en el proceso de fitorremediación es la edad de la planta, en 60 días de tratamiento se llegó a remover hasta un 75% de plomo en el suelo y en cromo hasta un 20%.

La adición de un abono orgánico en el proceso de sembrado previo a la germinación de las especies, fue un factor determinante e importante para la fitorremediación, ya que esto ayudó a que las plantas presenten abundante sistema radicular, es decir un mayor crecimiento, frondosidad de la planta y mejores características al momento de su trasplante al suelo contaminado con metales pesados.

El resultado de remoción en el T7 (Pb y Cr) después del tratamiento con *Amaranthus Caudatus* nos permitió valorar, comparar y determinar que efectivamente esta planta si posee un Potencial Fitorremediador positivo.

Finalmente, es importante mencionar que el proceso de fitorremediación es una técnica relativamente nueva y económicamente rentable, con éste método se puede trabajar con especies menores y de tiempo de crecimiento corto que pueden llegar a captar y remover gran cantidad de metales pesados, depurando y remediando el suelo.

Agradecimiento

Los autores están agradecidos en primer lugar con Dios porque sin su voluntad esta investigación no se habría realizado, en segundo lugar con sus padres por el apoyo brindado en todo momento, por ultimo con sus hermanas debido a ser motivo de alegría y soporte en situaciones adversas.

Referencias

- Bonilla, S.M., 2013. Estudio para Tratamientos de Biorremediación de Suelos Contaminados con Plomo, utilizando el Método de Fitorremediación.
- Buendía, H., 2012. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante compost de aserrín y estiércoles.
- Castro, J., 2013. *Capsicum annum* L. COMO FITORREMIADOR DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS. 83.
- Cortes, L., Bravo, I., Martín, F., Menjívar, J.C., 2016. Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (andisol y vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agron.* 65.
- Cotrina Chup, R., Fonseca Dávalos, E., Sánchez Chávez, L., Zavaleta García, K., 2018. Influencia del *Amaranthus hybridus* en la Remoción de Metales Pesados en Suelos Contaminados por la Minería en Shiracmaca – Huamachuco, La Libertad.
- Flores, J.M., 2018. Propuesta de Simulación de Remoción Parcial de Cromo en Suelos Contaminados utilizando como Fitorremediador el tagete *sp marigold*.
- Nancy, C., Juan, F., Víctor, M., 2017. BIOADSORCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus*). *Av. en Ciencias e Ing.* 8, 11–20.
- Opeolu, B.O., Bamgbose, O., Arowolo, T.A., Kadiri, S.J., 2005. Phyto-remediation of lead-contaminated soil using *Amaranthus cruentus*. *Present. Farm Manag. Assoc. Nigria Conf. Asaba*
- Ortiz Cano, H., Trejo Calzada, R., Valdez Cepeda, R., Arreola Avila, J., Flores Hernandez, A., Lopez Ariza, B., 2009. FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN SUELOS CONTAMINADOS USANDO QUELITE (*Amaranthus hybridus* L.) Y MICORRIZAS. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* XV, 161–168. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.022>
- Paiva, G.M., 2015. Fitorremediación de Suelos Contaminados con Plomo utilizando *Amaranthus spinosus* – *Amaranthaceae*.
- Peña, F.D.M., Beltrán, E., 2017. Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. *Prospect. Univ.* 9, 31. <https://doi.org/10.26490/uncp.1990-7044.2012.1.291>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Cesar, Q., Campos, A., 2006. Contaminación por Metales Pesados en Suelo Provocada por la Industria Minera. *Ecol. Apl.* 5, 149–155. [https://doi.org/*Mineral industries *Pollution *Soils *Metals Regression analysis](https://doi.org/*Mineral%20industries%20*Pollution%20*Soils%20*Metals%20Regression%20analysis)
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., Gonzales, E., 2016. Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Indian J. Pediatr.* 24, 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Vilcapaza, J.R., 2018. Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (*Astragalus arequipensis*) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno.
- Yarasca, J., 2015. MODELO SISTÉMICO PARA EVALUAR LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO EN EL DISTRITO DE CONCEPCIÓN.