

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**FITOEXTRACCIÓN DE CADMIO Y ZINC EN SUELOS
CONTAMINADOS UTILIZANDO *Lactuca sativa var. White Boston*,
EN LA ESTACIÓN AGROPECUARIA EXPERIMENTAL EL
MANTARO - JUNÍN 2019**

PRESENTADA POR:

DEYSE VILCAPOMA ARECHE

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Huancayo – Perú

2019

ASESORA
Dra. Flor de María Peña Rivera

DEDICATORIA

A mis familiares, que me motivaron día a día, para el éxito de la presente tesis.

Deyse

AGRADECIMIENTO

Agradecido con el divino todopoderoso por guiarme en el camino recorrido, fortaleciéndome en el aprendizaje de las victorias y desengaños.

A los docentes de posgrado de la FIQ-UNCP, que dedicaron brío y energía, que sembraron en mi la semilla del progreso y el profesionalismo.

A mis compañeros de estudios, con quienes compartimos alegrías y tristeza durante la permanencia en las aulas de clase.

A mis progenitores Dacio & Anita y hermanos, que confiaron en mí, razón de mis superaciones y perseverancia, en el diario caminar de la vida.

A Luchito e hija Katshiumy, fuente de inspiración diaria de amor, para lograr victorias y laureles.

A la Dra. Flor de María Peña, por su estímulo y asidua guía en la culminación de mi tesis.

Deyse

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
ASESORA.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes o marco referencial.....	1
1.2. Bases teóricas y conceptuales.....	3
1.2.1 Contaminación de suelos.....	3
1.2.2 Especies vegetales fito extractoras de contaminantes inorgánicos.....	5
1.2.3 Comportamiento de la especie vegetal en la fitoextracción.....	6
1.2.4 Comportamiento de cadmio y zinc en el suelo.....	8
1.3. Definición de términos básicos.....	10
1.4. Hipótesis de investigación.....	11
1.5. Operacionalización de variables.....	11
CAPÍTULO II.....	13
DISEÑO METODOLÓGICO.....	13
2.1. Tipo y nivel de investigación.....	13
2.2. Métodos de investigación.....	13
2.3. Diseño de investigación.....	13
2.4. Población y muestra.....	14
2.4.1 Población.....	14

2.4.2 Muestra.....	14
2.4.3 Técnica de muestreo	14
2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos	14
2.6. Técnicas de procesamiento de datos.	16
2.6.1 Propiedades del suelo	16
2.6.2 Análisis químico del suelo.....	17
2.6.3 Análisis químico de Lactuca sativa variedad White boston.....	17
CAPÍTULO III	18
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	18
3.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos	18
3.1.1 Resultados de las propiedades fisicoquímico de suelo.....	18
3.1.2 Determinación de la concentración de metales en suelos	19
3.2. Análisis estadístico	20
3.3. Resultados de la capacidad de asimilación de metales pesados por Lactuca sativa var. White Boston.	23
3.4. Factor de translocación.....	23
3.5. Factor de Bioconcentración	24
3.6. Discusión de resultados	25
3.6.1 Caracterización fisicoquímica de suelos	25
3.6.2 Análisis químico de suelos.....	26
3.6.3 Análisis químico de Lactuca sativa var. White boston	27
3.6.4 Factor de translocación.....	27
3.6.5 Factor de Bioconcentracion	28
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de potencial de hidrógeno	16
Tabla 2. Rangos de salinidad de suelo	16
Tabla 3. Rangos de materia orgánica de suelo	16
Tabla 4. Rangos de capacidad de intercambio catiónico.	17
Tabla 5. Rangos de textura de suelos.....	17
Tabla 6. Resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo de las áreas A, B, y C (antes del cultivo).....	18
Tabla 7. Resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo de las áreas A, B, y C (después del cultivo)	19
Tabla 8. Resultados del análisis químico de metales de área A (antes del cultivo) y después de la cosecha.	19
Tabla 9. Resultado del análisis químico de metales del área B (antes del cultivo y después de la cosecha).	20
Tabla 10. Resultado del análisis químico de metales del área C (antes del cultivo y después de la cosecha).	20
Tabla 11. Resumen de los cuadrados medios del análisis de varianza del análisis químico	21
Tabla 12. Resumen de las pruebas de significación de los promedios de metales pesados en las áreas A, B y C. Según Duncan.....	21
Tabla 13. Resumen de las pruebas de significación de los promedios de los metales pesados en los tres monitoreos. Según Duncan.....	21
Tabla 14. Resultados de asimilación de metales pesados por lactuca sativa var. White Boston	23
Tabla 15. Valores del Factor de translocación.	24
Tabla 16. Valores del factor de Bioconcentración	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación botánica de la lechuga	5
Figura 2. Lechuga en estudio. Variedad White Boston instaladas en la E.E.A. M Mantaro - Junín.	6
Figura 3. Fitoextracción de metales pesados	7
Figura 4. Comportamiento de metales pesados.....	7
Figura 5. Cadmio en el suelo (modificado de Mc Laughlin & Singh, 1999)	9
Figura 6. Operacionalización de variables.	12
Figura 7. Terrero para la instalación.....	15
Figura 8. Fotografía del Área A	15
Figura 9. Fotografía del Área B	15
Figura 10. Fotografía del Área C.....	15
Figura 11. Evaluación de la especie vegetal	15

RESUMEN

En el trabajo de investigación “Fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados utilizando *Lactuca sativa* var. *White Boston*, en la EEA el Mantaro - Junín 2019”, que consistió en la absorción de metales pesados por la planta, fueron óptimas. Se trabajó con muestras de tres áreas de terreno, El análisis de caracterización se realizó en la UNALM siendo los resultados: pH (8.26, 8.19 y 8.25), textura, (Franco a Franco arcillosa), CIC (15.20, 17.60, 16.00), Ce (0.70, 0.72, 0.48 dS/m), M.O (1.43,2.26,1.80), CaCO₃(13.80%,11.90%,18.11%). Las concentraciones químicas, de los metales pesados detectados en el área A (mg/kg): cadmio (20.92), zinc (36.7). En el área B(mg/kg): cadmio (6.75), zinc (299.21). Lote C(mg/kg): cadmio (12.30), zinc (202.39) y después la asimilación de los metales se nota en los siguientes resultados: área A(mg/kg): cadmio (3.519), zinc (227.86). En el área B(mg/kg): cadmio (3.39), zinc (221.01). Área C(mg/kg): cadmio (2.67), zinc (149.18); fueron analizados en el laboratorio acreditado CERPER S.A. los resultados de hoja y raíces es, Área A: cadmio (1.14 y 2.47 ppm) zinc (98.95 y 68.93 ppm). área B: cadmio (1.57 y 3.25 ppm), zinc (170.36, 90.93 ppm). área C: cadmio (0.63 y 3.92 ppm), zinc (92.64, 80.07 ppm).

Palabras clave: Fitoextracción, *Lactuca sativa* var. *White Boston*.

ABSTRACT

In the research paper "Phytoextraction of cadmium and zinc in contaminated soils using *Lactuca sativa* var. *White Boston*, in the EEA El Mantaro - Junín 2019", which consisted of the absorption of heavy metals by the plant, were optimal. We worked with samples from three areas of land, the characterization analysis was performed at the UNALM being the results: pH (8.26, 8.19 and 8.25,), texture, (Franco to Franco clay), CIC (15.20, 17.60, 16.00), Ce (0.70, 0.72, 0.48 dS/m), MO (1.43,2.26,1.80), CaCO₃ (13.80%, 11.90%, 18.11%). The chemical concentrations of heavy metals detected in area A (mg / kg): cadmium (20.92), zinc (36.7). In area B (mg / kg): cadmium (6.75), zinc (299.21). Lot C (mg / kg): cadmium (12.30), zinc (202.39) and then the assimilation of metals is noted in the following results: area A (mg / kg): cadmium (3,519), zinc (227.86). In area B (mg / kg): cadmium (3.39), zinc (221.01). Area C (mg / kg): cadmium (2.67), zinc (149.18); were analyzed in the accredited laboratory CERPER S.A. The results of leaf and roots is, Area A: cadmium (1.14 and 2.47 ppm) zinc (98.95 and 68.93 ppm). area B: cadmium (1.57 and 3.25 ppm), zinc (170.36, 90.93 ppm). area C: cadmium (0.63 and 3.92 ppm), zinc (92.64, 80.07 ppm).

Keywords: Phytoextraction, *Lactuca sativa* var. *White Boston*.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del ambiente se está saturando cada día, y como consecuencia, el agua, aire y suelo también, algunas instituciones están empezando con la descontaminación utilizando tecnologías diversas. Las actividades de minería, energía, producción de combustible, la agricultura intensiva, plásticos y residuos sólidos, vertidos son algunas de las numerosas actividades humanas que contaminan los suelos con grandes cantidades de metales tóxicos, se observa que los terrenos agrícolas de la estación experimental el Mantaro y margen izquierda del valle del Mantaro utiliza el riego por inundación con aguas de residuos mineros de la fundición minera la Oroya conocido a nivel nacional e internacional de la misma manera los agricultores aplican una alta dosis de fertilizantes fosfatadas a nivel de suelos, plantas y los plaguicidas para el control de plagas y enfermedades en los diferentes cultivos. Estos tipos de contaminación tienen alta incidencia en la salud de los pobladores, plantas, flora y fauna de nuestro ecosistema. La acumulación de metales pesados en las plantas inhibe o activa algunos procesos enzimáticos que afectan su productividad tanto cualitativa como cuantitativamente. Los metales pesados como: plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), zinc (Zn) y otros metales pesados son los metales más comunes que están presentes en los suelos de nuestro valle del Mantaro, por ello la tecnología de Fitoextracción es para la atracción y acumulación de los metales contaminantes por las raíces de los vegetales y su translocación en tallos y hojas, el objetivo es aplicar la tecnología de Fitoextracción en la Estación Experimental “El Mantaro”; utilizando *Lactuca sativa* var. *White Boston* para erradicar la presencia de cadmio y zinc.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes o marco referencial

La revista Elsevier el año 2019, publicó el trabajo de investigación “Acumulación de arsénico en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa L.*) y haba (*Vicia faba L.*) y su riesgo potencial para el consumo humano”, los autores. Yañez. Alfaro., Avila C y Bovi M, determinaron la absorción de As en frijoles y cultivos de lechuga, cultivados en suelos con contenido de As e irrigados con agua contaminada con este elemento tóxico, en Pastos Chicos, Jujuy (Argentina). El estudio de contaminación, se llevó a cabo en la biomasa seca, suelos, raíces, hojas, vainas y semillas. Con los resultados obtenidos se determinaron los factores de translocación (TF) y bioconcentración (BCF), el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el riesgo carcinogénico (CR). indicaron que ambas plantas tenían menor biomasa, en semillas de frijol y hojas de lechuga (partes comestibles) excedió los límites establecidos por Código Alimentario Argentino, es decir, 0,10 y 0,30 mg/kg, respectivamente. Los valores de THQ para las hojas de lechuga fueron superiores a 1. Además, este tipo de exposición a como implicaba un CR que excedía el nivel de riesgo aceptable de 1×10^{-4} . Finalmente concluyeron que el consumo de lechuga y habas cultivadas en el sitio evaluado conlleva riesgos de salud considerables para los residentes locales.

Existen tratamientos naturales como son el acompañamiento de pajas en plantas acumuladoras de cadmio, un metal pesado muy tóxico, y el objetivo es de promover el crecimiento de las plántulas de lechuga y disminuir su acumulación de Cd. Se utilizaron cuatro variedades de paja: *Siegesbeckia*

orientalis, *Conyza canadensis*, *Eclipta prostrata* y *Solanum photeinocarpum*, sobre el crecimiento y la acumulación de Cd en lechugas cultivadas bajo exposición a Cd. Este tratamiento ayudo a promover el crecimiento de las lechugas, a la fotosíntesis y los contenidos de proteínas solubles y mejoró las actividades de la peroxidasa en las hojas de las plántulas de lechuga. El contenido de Cd en partes comestibles (brotes) de las plantas de lechuga se redujo significativamente en presencia de paja de las especies acumuladoras de Cd, la aplicación de paja de *S. orientalis*, *C. canadensis* y *S. photeinocarpum* puede promover el crecimiento de las plántulas de lechuga y disminuir su acumulación de Cd cuando se cultivan en suelos contaminados con Cd, lo cual es beneficioso para la producción de lechuga segura para el consumo del ser humano (Yi Tang., 2018)

La minería considerada como una actividad extractiva, produce relaves mineros que contaminan el ambiente y la intención de la investigación realizada por Camarillo-Ravelo, Barajas-Aceves, & Rodríguez-Vázquez, el año 2015, trabajaron en cuatro especies fitoextractoras de metales pesados donde se vió el efecto que han causado los relaves mineros abandonados, se adicionaron enmiendas y el grado de contaminación se evaluó a través de la elongación radicular y el porcentaje de germinación de las especies en estudio entre ellas la *Lactuca sativa*.

El riego con agua contaminadas a campos agrícolas, causan contaminación a la cadena trófica, Ruiz, el año 2012, evaluó cadmio en agua de riego, suelo contaminado y en la lechuga que creció en el entorno, y realizo tratamientos de remediación. Al monitoreo le adicionó la fenomenología de *Lactuca sativa* y propiedades fisicoquímicas del suelo como pH y conductividad eléctrica, y después de los tratamientos se logró disminuir la concentración de cadmio y se incrementó el peso en fresco de las especies vegetales.

La universidad de Buenos Aires en Argentina desarrolló el estudio de investigación que consta de ensayos de toxicidad con semillas de lechuga para la evaluación de toxicidad en sedimentos del rio Reconquista. Los resultados manifiestan que en los tratamientos que se realizaron hubo diferencias debido

a la presencia de metales pesados, hidrocarburos y aluminio e indicaron, Ratto, Vanier, Pierini & Giufre., el año 2011, que las especies vegetales presentaron manchas oscuras, alta concentración de cadmio y deficiencia de calcio.

El cadmio (Cd) es un contaminante muy tóxico que se caracteriza, por acumularse en suelos y especies vegetales, especialmente la lechuga que acumula Cd en sus tejidos, los resultados de este estudio reportan que las raíces concentraron dos veces más que en sus brotes, mostrando la variedad "Divina" concentraciones más bajas de Cd que "Melina" en casi todos los tratamientos. Se observó que las especies vegetales no mostraron síntomas de deshidratación, clorosis o necrosis. Este resultado representa una alerta importante para los consumidores y productores de lechuga (Walid Zorrig et al., 2013).

Se realizaron también experimentos para evaluar la fitoextracción de cadmio y plomo utilizando 28 cultivares de *Lactuca sativa*. La conclusión a que se llegó fue que la lechuga estaba en alto riesgo de contaminación por Cd y bajo riesgo de contaminación por Pb. Entre los cultivares probados, cvs. SJGT, YLGC, N518 y KR17 tuvieron las capacidades de acumulación de Cd y Pb más bajas en brotes y, por lo tanto, son material parental importante para cultivar variedades seguras de la contaminación para minimizar la acumulación de Cd y Pb (K. Zhang, J. Yuan, W. Kong, Z. Yang., 2013).

Finalmente debo de indicar que existen trabajos de fitoextracción en los cuales se han seguido utilizando lechugas de otras variedades y han demostrado ser muy buenas acumuladoras de cadmio ello se confirma con el trabajo presentado por Beltrán el año 2001

1.2. Bases teóricas y conceptuales

1.2.1 Contaminación de suelos

La contaminación de suelos es la alteración de la calidad del suelo, por la incorporación de agentes extraños y origen orgánico, inorgánico y biológico.

A. Contaminación inorgánica de suelos

Llámesese contaminación inorgánica de suelo cuando hay presencia de sustancias inorgánicas como son: los metales en forma de cloruros, sulfatos, sulfuros, nitratos y carbonatos. Los nitritos y el amonio son muy inestables y tienden a oxidarse a nitratos.

A.1 Metales pesados

Los químicos denominamos a los elementos metálicos como pesados cuando presentan densidades superiores a 5 g/cm^3 . Los seres vivos necesitan de algunos de ellos porque son esenciales para nuestro organismo pues asimilamos en pequeñas cantidades, como los micronutrientes, pero se vuelven tóxicos cuando están fuera de los límites permisibles, también existen elementos pesados como Cd, Hg o el Pb que se caracterizan porque no son nutrientes, se les considera como elementos tóxicos. Su origen de estos metales es en la corteza terrestre y se presentan como sulfuros, silicatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos. Pero también aparecen por origen antropogénico. Las fuentes directas generadoras de metales pesados, provienen de la combustión, fertilización, pesticidas, lodos de depuradoras, compost etc.

En suelos contaminados, se tiene que considerar las formas o el tipo de especiación química (Mulligan et al., 2001a). Según el tipo de especiación de los metales, el comportamiento del suelo, condicionará: solubilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad. Las propiedades del suelo indican el comportamiento de los metales: Potencial de Hidrógeno y de redox, la presencia de materia orgánica en el suelo influye en su retención a través de mecanismos de adsorción, de la formación de complejos y precipitados. De igual manera la presencia de especies vegetales y microorganismos juegan un papel muy importante porque pueden extraerlos, estabilizarlos, bioacumularlos y transformarlos (Lloyd and Macaskie, 2000).

Se debe tener en cuenta que a los metales pesados no se pueden degradar ni destruir, a través de reacciones químicas solamente los podemos neutralizados.

B. Contaminación orgánica de suelos

Es otro problema que presentan los suelos, los compuestos orgánicos frente a los compuestos inorgánicos son muy numerosos. La producción de hidrocarburos y sus derivados ha traído consecuencias de contaminación. No profundizamos por no ser tema de investigación sino como referencia.

C. Contaminación biológica

Se produce por la acción directa de microorganismos

1.2.2 Especies vegetales fito extractoras de contaminantes inorgánicos

Las especies vegetales Fito extractoras se caracterizan por ser acumuladoras, hiperacumuladoras o estabilizadoras de metales pesados. La taxonomía de los seres vivos, clasificado por Carlos Linneo, considerado el Padre de la Taxonomía; (Ramírez, S., 2007). Con respecto a las plantas tenemos a un grupo de familias que pertenecen a las hortalizas, entre ellas destacaremos a la lechuga, por ser motivo de estudio y tema de investigación.

El manual de producción de lechuga editado por Saavedra G. el año 2017, en el Boletín de INIA-Chile N° 9, en el que nos manifiesta que: “La lechuga (*Lactuca sativa* L.), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo.

Clasificación botánica de *Lactuca sativa*

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Subfamilia	Cichorioideae
Tribu	Lactuceae
Género	Lactuca
Especia	Lactuca sativa L.

Figura 1. Clasificación botánica de la lechuga

Para el trabajo de investigación se utilizó la lechuga de variedad *White boston*, se caracteriza por que forman un cogollo apretado. Sus hojas son delgadas y anchas y suave. Su estado de madurez alcanza entre 30 a 45 días.



Figura 2. Lechuga en estudio. Variedad White Boston instaladas en la E.E.A. M Mantaro - Junín.

1.2.3 Comportamiento de la especie vegetal en la fitoextracción

Fitoextracción

Es la asimilación de iones metálicos por las raíces y parte aérea de la planta. Las plantas tienen simpatía por alguno de los metales o más.

Criterios de selección de plantas para la fitoextracción de metales

Las especies vegetales acumuladoras de metales pesados deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Contar con una buena biomasa
- b. De crecimiento rápido y alta productividad
- c. De cosecha fácil
- d. Tolerar a los contaminantes
- e. Ser híbridos generalmente

Así manifiesta Brooks R., en 1998.

La instalación de la planta, se puede hacer directamente de semillas, almácigos o esquejes.

Los microorganismos del suelo

Las presencias de microorganismos en el suelo influyen en el comportamiento de los metales pesados como es su movilización, acumulación, en los ciclos biogénicos de los elementos traza, son muy sensibles al aumento y disminución de la concentración o se pueden adecuar a estos metales (Mengoni A., Henk, S., Vangrosveld., 2010).

Encontramos microorganismos en la rizósfera del suelo que desempeñan diversas funciones en los procesos del potencial para la captación en la raíz, alterar el estado de oxidación del metal, volatilizar, etc. Además, se pueden dar reacciones de reducción por enzimas a metales en el metabolismo.



Figura 3. Fitoextracción de metales pesados

Metal pesado

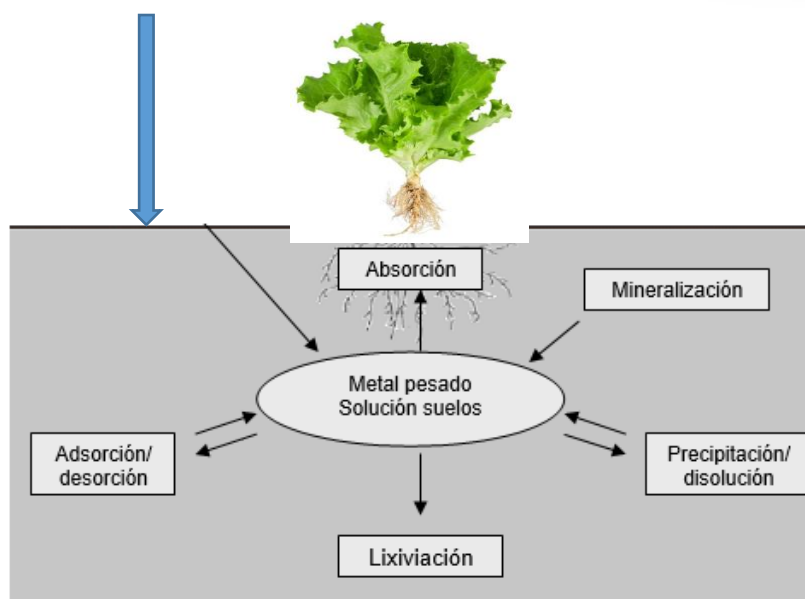


Figura 4. Comportamiento de metales pesados

En el proceso de fitoextracción de metales pesados se realizan las siguientes reacciones químicas:

- a. Reacciones de reducción-oxidación
- b. Reacciones de precipitación
- c. Reacciones de complejación

1.2.4 Comportamiento de cadmio y zinc en el suelo

Cadmio

El cadmio es un metal pesado muy tóxico en su estado de oxidación +2. Se encuentra en forma natural en la corteza terrestre junto a otros metales pesados, como es el zinc. Su movilidad en el suelo depende de varios parámetros como: pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica y la presencia de arcillas y óxidos de hierro. Encontramos cadmio en nuestro ambiente ocasionados por el hombre a través de trabajos industriales. Causa daños de salud como problemas en el riñón, huesos y oncológicos. Es importante el cumplimiento de las normativas referentes al cadmio y el control en los diferentes alimentos que consumimos como es el caso de hortalizas, (Sánchez B., 2016).

Cadmio en plantas

El consumo de vegetales puede ser una de las vías de contaminación de cadmio en el ser humano. Se encuentra en el agua, en el suelo adherido al complejo arcillo húmico, y otros compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos (Barceló et al., 1986). Ver figura 4.

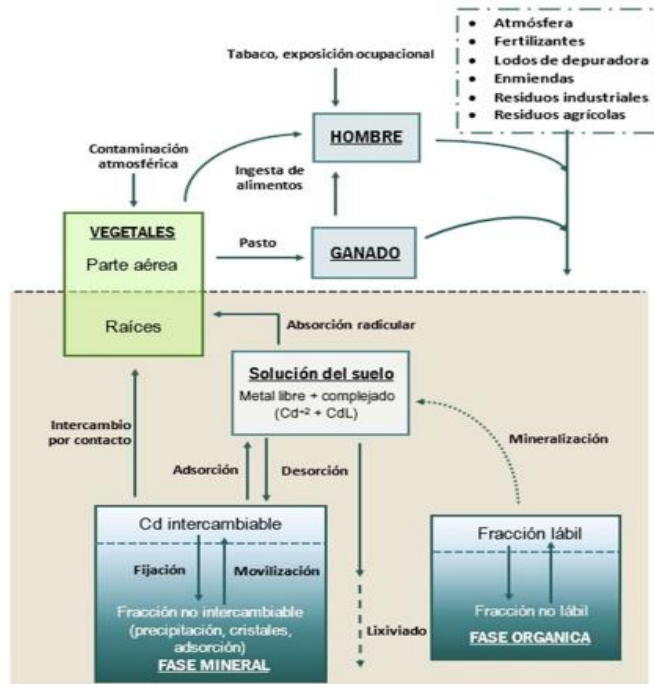
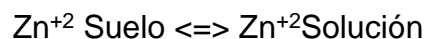


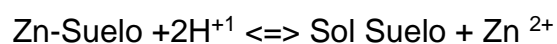
Figura 5. Cadmio en el suelo (modificado de Mc Laughlin & Singh, 1999)

Zinc

El Zn se encuentra en el suelo bajo formas químicas diferentes: solubles en el agua, complejoado, cambiante, extraíble de posiciones no cambiables, precipitado, en organismos y restos orgánicos y constituyendo minerales primarios o secundarios. Entre las diferentes formas existen mecanismos de equilibrio que en general podrían expresarse:



El Zn^{+2} de la solución del suelo y las formas cambiables son fácilmente utilizables por las plantas, mientras que las otras formas son no aprovechables o difícilmente aprovechables. La solubilidad de los compuestos de Zn^{+2} en el suelo disminuye cuando se incrementa el pH. (Norvelí., Lindsay., 1981), estudian la solubilidad de varios minerales de Zn en el suelo, y deducen que por cada unidad que se incrementa el pH disminuye 100 veces la solubilidad de los minerales de Zn estudiados.



Las deficiencias en Zn en suelos se asocian frecuentemente a pH altos (Pickering, 1981), ya que a valores bajos de pH existe Zn^{+2} soluble e intercambiable en el suelo, mientras que, a altos pH, la solubilidad del Zn en el suelo es baja y solo pequeñas cantidades de Zn^{+2} son retenidas por el complejo de cambio.

1.3. Definición de términos básicos

Adsorción:

Se refiere cuando se produce un acercamiento entre las partes más pequeñas de una sustancia en superficies, por ejemplo, ello se puede producir de líquidos a gases, entre sólidos, etc. (Ortiz B., 1986)

Bioacumulación:

Es el proceso a través del cual las sustancias tóxicas persistentes se acumulan dentro de un organismo a partir de fuentes bióticas y abióticas. (Ortiz B., 1986)

Complejación:

Formación de otros compuestos llamados complejos, que se caracteriza de que el metal (catión) se rodea de aniones (ligando) (Ortiz B., 1986).

Especie química:

Sustancia química que han ganado o perdido electrones” (Ortiz B., 1986).

Potencial de oxidación:

En una solución cuando reaccionan dos sustancias una en forma elemental y otra ionizada se producirá ganancia o pérdida de electrones, la sustancia que se reduce se caracteriza por tener mayor capacidad oxidante, y ello se conoce como potencial de oxidación. Los valores máximos del potencial de oxidación, hace que la capacidad oxidante del sistema alcance valores máximo y aumentara la concentración de la forma reducida. La unidad de medida es el voltio (Ortiz B., 1986).

Remediación:

“Proceso de limpieza cuyo fin es de eliminar, reducir y degradar contaminantes” (Ortiz B., 1986).

Suelo contaminado:

“Suelo cuyas propiedades físicas y químicas que se han modificado o alterado por causas naturales o antropogénicas” (PDS-2014).

Suelo agrícola:

“Suelo donde se instalan una diversidad de cultivos. Llamada también como tierra agrícola” (PDS-2014).

Sustancia tóxica:

Cuando una sustancia tiene unas propiedades nocivas o peligrosas (PDS-2014).

Tamizado:

Proceso de separación sólidos gruesos de otros más finos a través de mallas (PDS-2014).

1.4. Hipótesis de investigación**Hipótesis general**

✓ Utilizando *Lactuca sativa var. White Boston* en suelo contaminado por cadmio y zinc se logrará fitoextraer dichos metales.

Hipótesis específicas

- ✓ La alteración de las propiedades físico químico del suelo por presencia de metales pesados indicará la contaminación del suelo.
- ✓ La concentración alta de metales pesados en suelos que sobrepasan los límites del estándar de calidad determina su nivel de contaminación.
- ✓ La acumulación de metales pesados en *Lactuca sativa var. White boston*, clasificará a la especie vegetal como fitoextractora de metales pesados (acumuladora o hiperacumuladora)

1.5. Operacionalización de variables

Variable Independiente: muestras de suelos contaminados.

Variable Dependiente: Fitoextracción de metales por *Lactuca sativa var. White boston*.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	INSTRUMENTOS
Lactuca sativa variedad White boston	La lechuga: es una hortaliza, utilizado para el consumo humano, y el otro aspecto es una hortaliza que fito extrae metales como cadmio y zinc	Desarrollo de la lactuca sativa variedad White boston	Hasta la etapa de madurez, cosecha a los 30 días	Campo	Semillas de variedad White Boston
Suelo contaminado	Suelo contaminado, considerado cuando las propiedades fisicoquímicas han sido alteradas por la contaminación de metales y	Análisis fisicoquímico de suelo Análisis de metales cadmio y zinc	Ph, Conductividad eléctrica, Materia orgánica, textura, capacidad de intercambio iónico	Laboratorio	Ph-metro Conductiméto Bouyoucos, Estectrofotómetro de masas con plasma acoplado inductiblemente

Figura 6. Operacionalización de variables.

CAPÍTULO II

DISEÑO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y nivel de investigación

Aplicada y descriptiva

2.2. Métodos de investigación

Experimental

2.3. Diseño de investigación

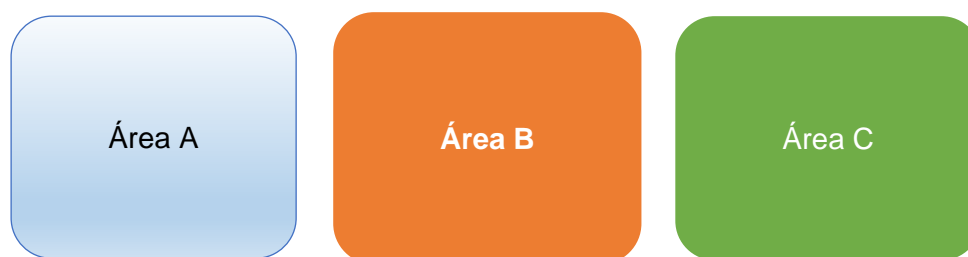
Se consideraron: tres tratamientos con tres repeticiones. Cada área de terreno midió 125 m². Las semillas de *Lactuca sativa var. White boston*, se caracterizan por presentar gran cantidad de biomasa (hojas grandes) y raíz pivotante. La instalación de la especie vegetal se realizó utilizando almácigos. Se instalaron en tres áreas: A, B y C y las muestras de suelos fueron tomadas antes de la instalación del cultivo y cuando se cosechó la especie vegetal. Las muestras de las lechugas instaladas en cada área se cosecharon a los cinco meses, y se secaron a 20 °C, y fueron enviados al laboratorio para su análisis químico. Además, también se tomaron muestras de suelo contaminado para evaluar las propiedades fisicoquímicas y se enviaron al laboratorio para el mencionado análisis. Ver anexo 1. Las concentraciones de metales pesados en suelos contaminados fueron sometidas al análisis estadístico.

2.4. Población y muestra

2.4.1 Población

Suelos agrícolas de la estación experimental agropecuario del Mantaro de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

2.4.2 Muestra



Área A: Ubicado cerca al canal de riego. Profundidad 20 cm.

Área B: Cercana al cultivo de papas. Profundidad 20 cm.

Área C: Cercana a otras hortalizas. Profundidad 20 cm.

2.4.3 Técnica de muestreo

Muestreo de suelos

Para el muestreo de suelos se tomó las instrucciones de La Guía para muestreo de suelos que emitió el Ministerio del Ambiente del Perú el año 2017. Se consideró el muestreo para muestras superficiales, para ello se hicieron 10 calicatas por cada área y se preparó una muestra compuesta representativa para cada área. La profundidad de cada calicata fue de 30 cm.

Muestreo de la especie vegetal

Después de la cosecha de las muestras vegetales, se tomó 10 sub muestras por cada área. Todas las muestras fueron codificadas, para el análisis químico.

2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de datos

La recolección de datos, fue de la determinación de la concentración de metales pesados en partes por millón (ppm), antes de la siembra y después de suelos, de la determinación de las propiedades físicas y químicas realizadas en el laboratorio de suelos y aguas de la universidad Agraria la Molina de la ciudad

de Lima, y del análisis químico de la muestra de las tres áreas de terreno (raíces y parte aérea).



Figura 7. Terrero para la instalación



Figura 8. Fotografía del Área A



Figura 9. Fotografía del Área B

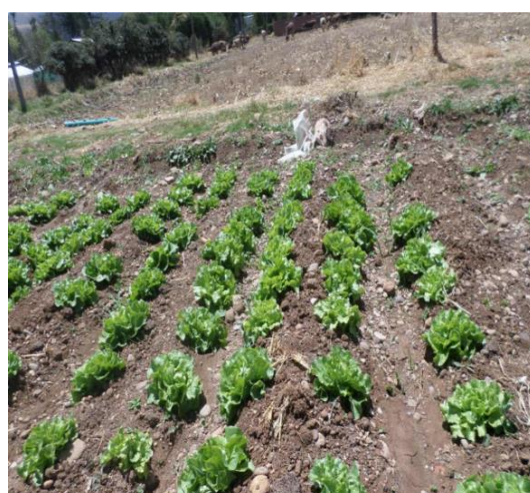


Figura 10. Fotografía del Área C



Figura 11. Evaluación de la especie vegetal

2.6. Técnicas de procesamiento de datos.

2.6.1 Propiedades del suelo

Las propiedades fisicoquímicas que se han evaluados en suelo contaminado son: Potencial de Hidrógeno, Conductividad, Materia orgánica, salinidad y textura. La evaluación de cada propiedad se realizó utilizando tablas validadas por el laboratorio como son:

a. Potencial de Hidrógeno

Tabla 1. Rangos de potencial de hidrógeno

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	<5,0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Fuente. UNALM.

b. Salinidad

Tabla 2. Rangos de salinidad de suelo

Categoría del suelo	Valor (mmhos/cm o dS/m)
No salino	0-20
Poco salino	2.1-4.0
Moderadamente salino	4.1-8.0
Muy salino	8.1-16.0
Extremadamente salino	>16.0

Fuente. UNALM.

c. Materia orgánica

Tabla 3. Rangos de materia orgánica de suelo

MATERIA ORGANICA (%)		
Clase	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 – 16.0	3.6 - 6.0
Muy alto	>16.0	> 6.0

Fuente. UNALM.

d. Capacidad de intercambio

Tabla 4. Rangos de capacidad de intercambio catiónico.

CLASE	CIC (cmol/kg ⁻¹)
Muy alta	< 40
Alta	25 - 40
Media	15 - 25
Baja	3 - 15
Muy baja	>5

Fuente. UNALM.

e. Textura

Tabla 5. Rangos de textura de suelos.

Textura del suelo	C.I.C (meq/100 g de suelo)
Arenas (color blanco)	3 - 5
Arenas (color blanco)	10 - 20
Francos	10 - 15
Franco limoso	15 - 25
Arcilla y franco arcilloso	20 - 50

Fuente. UNALM.

2.6.2 Análisis químico del suelo

Los resultados de la concentración de los metales se expresan en partes por millón (ppm), el límite de detección, muestra el grado de contaminación en suelos.

2.6.3 Análisis químico de Lactuca sativa variedad White boston

El análisis químico instrumental de las muestras de lechugas, se realizó en raíces y la parte aérea.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Presentación, análisis e interpretación de los datos

3.1.1 Resultados de las propiedades fisicoquímico de suelo

Los resultados presentados en la tabla 5, son valores que corresponden a las propiedades fisicoquímicos del suelo, para las tres áreas (antes del cultivo). La tabla 6, muestra resultados de las propiedades después de la cosecha.

Tabla 6. Resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo de las áreas A, B, y C (antes del cultivo)

Monitoreos de los tres lotes					Nivel de referencia
Propiedades	Unidad	Lote A	Lote B	Lote C	
pH		8.26	8.19	8.25	6 - 8
C.E	dS/m	0.70	0.72	0.48	< 2
CaCO ₃	%	13.80	11.90	18.11	>15 tóxico
M.O	%	1.43	2.26	1.80	> 3,9
Arena	%	38	36	34	Fr.
Limo	%	36	36	40	Fr. Ar
Arcilla	%	26	28	26	Fr.
CIC		15.20	17.60	16.00	>11

Nota. pH: Potencial de Hidrógeno, C.E: Conductividad eléctrica, M.O: materia orgánica, P: fósforo, K: potasio, Textura, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 7. Resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo de las áreas A, B, y C (después del cultivo)

Monitoreo de los tres lotes					Nivel de referencia
Propiedades	Unidad	Lote A	Lote B	Lote C	
pH		7.35	7.39	7.05	6 - 8
C.E	dS/m	0.50	0.32	0.18	< 2
CaCO ₃	%	11.21	10.48	15.27	>15 tóxico
M.O	%	2.43	3.14	2.40	> 3,9
Arena	%	38	36	34	Fr.
Limo	%	36	36	40	Fr. Ar
Arcilla	%	26	28	26	Fr.
CIC		16.04	16.36	15.00	>11

Nota. pH: Potencial de Hidrógeno, C.E: Conductividad eléctrica, M.O: materia orgánica, Textura, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

3.1.2 Determinación de la concentración de metales en suelos

Las concentraciones de metales en suelos se muestran en las Tablas 8, 9 y 10, antes del cultivo y después de la cosecha.

Tabla 8. Resultados del análisis químico de metales de área A (antes del cultivo) y después de la cosecha.

METAL PESADO	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA (suelos de uso agrícola) ppm	PRIMER MONITOREO (Antes) ppm	SEGUNDO MONITOREO (Durante) ppm
Arsénico	mg/kg		34.48	29.32
Cadmio	mg/kg	1.4	20.92	3,519
Cromo	mg/kg		15,97	14.17
Plomo	mg/kg	70	50.02	28.47
Zinc	mg/kg		236.7	227.86

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Resultado del análisis químico de metales del área B (antes del cultivo y después de la cosecha).

METAL PESADO	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA (suelos de uso agrícola) ppm	PRIMER MONITOREO (Antes) ppm	SEGUNDO MONITOREO (Durante) ppm
Arsénico	mg/kg	1.4	37.41	31.14
Cadmio	mg/kg	63	6.75	3.39
Cromo	mg/kg		14.39	14.15
Plomo	mg/kg	70	53,13	25.31
Zinc			299.21	221.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resultado del análisis químico de metales del área C (antes del cultivo y después de la cosecha).

METAL PESADO	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA (suelos de uso agrícola) ppm	PRIMER MONITOREO (Antes) ppm	SEGUNDO MONITOREO (Durante) ppm
Arsénico	mg/kg	1.4	27.39	25.54
Cadmio	mg/kg	63	12.30	2.67
Cromo	mg/kg	-	14.00	12.71
Plomo	mg/kg	70	25.38	20.06
Zinc	mg/kg		202.39	149.18

Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico evaluó la presencia de metales en suelo contaminado y para evaluar las propiedades fisicoquímicas del suelo contaminado se utilizó tablas del “Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados”. Las tablas 11, 12 y 13 muestran el diagnóstico estadístico de los resultados obtenidos.

Tabla 11. Resumen de los cuadrados medios del análisis de varianza del análisis químico

F de V	G.L.	Arsénico		Cadmio		Cromo		Plomo		Zinc	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Repeticiones (lotes)	2	21.37	*	16.670	n.s.	0.930	*	121.184	n.s.	2461.530	n.s.
Tratamientos (Monitoreos)	1	1936.54	*	146.033	n.s.	203.500	*	1386.850	n.s.	51245.600	n.s.
Error	2	13.33		17.220		0.410		64.003		923.880	
Desviación estándar		3.651		4.150		0.639		8.000		30.395	
Promedio		20.587		5.464		9.477		22.486		148.483	
Coefficiente de variabilidad (%)		17.73		75.94		6.74		35.58		20.47	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Resumen de las pruebas de significación de los promedios de metales pesados en las áreas A, B y C. Según Duncan.

O.M.	Arsénico			Cadmio			Cromo			Plomo			Zinc		
	Lotes	Promedio	Significación	Lotes	Promedio	Significación	Lotes	Promedio	Significación	Lotes	Promedio	Significación	Lotes	Promedio	Significación
1	B	22.85	a	1	8.02	a	3	10.01	a	2	26.16	a	2	173.41	a
2	A	21.27	a	3	4.99	a	2	9.51	a	1	26.15	a	3	154.85	a
3	C	17.64	a	2	3.38	b	1	8.90	b	3	15.15	b	1	117.19	b
	A.L.S.(D)0.05= 14.22; 14.51			A.L.S.(D)0.05= 13.36; 13.64			A.L.S.(D)0.05= 1.48; 1.51			A.L.S.(D)0.05= 40.66; 41.49			A.L.S.(D)0.05= 0.36; 0.37		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resumen de las pruebas de significación de los promedios de los metales pesados en los tres monitoreos. Según Duncan.

O.M.	Arsénico			Cadmio			Cromo			Plomo			Zinc		
	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación
1	2	33.09	a	1	13.32	a	1	14.79	a	2	42.84	a	2	246.10	a
2	3	28.67	a	2	3.07	b	2	13.64	a	1	24.61	b	1	199.35	b

A.L.S.(D)0.05= 14.22; 14.51

A.L.S.(D)0.05= 13.36; 13.64

A.L.S.(D)0.05= 1.48;1.51

A.L.S.(D)0.05= 40.66; 41.49

A.L.S.(D)0.05= 0.36; 0.37

Fuente: Elaboración propia

3.3. Resultados de la capacidad de asimilación de metales pesados por *Lactuca sativa* var. *White Boston*.

Los resultados de la capacidad de asimilación de metales pesados por la especie vegetal: en raíces y biomasa se muestra en la tabla 13.

Tabla 14. Resultados de asimilación de metales pesados por lactuca sativa var. White Boston

LOTE	METAL	RAÍZ	HOJAS Y TALLOS	TOTAL
A	Arsénico	6.04	5.35	11,39
	Cadmio	1.14	2.47	2,61
	Cromo	2,97	2,84	5,81
	Plomo	19,02	21,02	40,04
	Zinc	98.95	68.93	167.88
B	Arsénico	5,97	4,31	10,28
	Cadmio	1,57	3,25	1,82
	Cromo	1,82	2,79	4,61
	Plomo	15,31	27,72	31,59
	Zinc	170.36	90.93	261.29
C	Arsénico	5,04	3,27	8,31
	Cadmio	0,63	3,92	1,55
	Cromo	1,67	1,80	3,47
	Plomo	12,80	16,68	29,48
	Zinc	92.64	80.07	172.71

Fuente: Elaboración propia

3.4. Factor de translocación

El factor de Translocación está representado en la tabla 14.

Tabla 15. Valores del Factor de translocación.

Lotes	Metal pesado	Concentración de elementos parte aérea (mg/kg)	Concentración de elementos en raíz (mg/kg)	Factor de translocación
A	As	0,35	1.04	0.34
	Cd	2.47	1.14	2.17
	Cr	2,84	2,97	0.95
	Pb	21.02	19,02	1.11
	Zn	68.93	98.95	0.70
B	As	1,31	1,97	0.66
	Cd	3,25	1,57	2.07
	Cr	2,09	2,82	0.74
	Pb	27,72	25.31	1.07
	Zn	90.93	170.36	0.53
C	As	1,27	1,84	0.65
	Cd	3,92	2,63	1.49
	Cr	1,50	1,67	0.89
	Pb	16,68	12,80	1.30
	Zn	80.07	92.64	0.86

Fuente: Elaboración propia

Nota: (*): valores mayores que 1.

3.5. Factor de Bioconcentración

El factor de bioconcentración que relaciona la concentración de metales en raíz con la concentración de la parte aérea, se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Valores del factor de Bioconcentración

Lotes	Metal pesado	Concentración de elementos en raíces (mg/kg)	Concentración inicial de elementos en suelo (mg/kg)	Factor de bioconcentración
A	As	6.04	34.48	0.18
	Cd	1.14	20.92	0.19
	Cr	2,97	15.97	0.19
	Pb	19,02	50.02	0.38
	Zn	98.95	236.7	0.42
B	As	5,97	37.41	0.16
	Cd	1,57	6.75	0.23
	Cr	1,82	14.39	0.12
	Pb	15.31	53,13	0.29
	Zn	170.36	299.21	0.57
C	As	5,04	27.39	0.18
	Cd	0,63	12.30	0.21
	Cr	1,67	14.00	0.12
	Pb	12,80	25.38	0.50
	Zn	92.64	202.39	0.46

Fuente: Elaboración propia

3.6. Discusión de resultados

3.6.1 Caracterización fisicoquímica de suelos

La acidez o basicidad del suelo, indicadora de la contaminación del suelo especialmente de cadmio, cobre y plomo según afirman autores como Basta et al, el año de 1993, estos son más solubles y a pH básicos se vuelven más disponible caso del cromo (VI). El valor obtenido en la investigación corresponde a pH ligeramente alcalino, debido a la presencia de carbonatos en un promedio de 14.60%. Además, generalmente, los metales quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas (Ross, 1994b). No obstante, existen excepciones, pudiendo estar algunos metales, como el As, Se y Cr hexavalente, más biodisponibles a pH básicos (Mc Lean y Bledsoe, 1992). El pH para las tres áreas A, B y C se considera según la NOM-021-RECNAT-2000, como medianamente alcalino lo que nos indica que son generalmente básicos y carbonatados.

Conductividad eléctrica o salinidad

La salinidad, en las tres áreas de investigación antes y después, según la tabla 2 es no salino, la prueba previa de salinidad indica que, pueden presentar problemas de salinidad, al ser la conductividad eléctrica en la suspensión (1:5) superior a 0,2 dS/m (Porta, 1986).

Carbonatos

El porcentaje de carbonatos en el área A (13.80), B (11.9) y C (18.11), indican que de acuerdo a la tabla 3 se considera que los valores están en el límite máximo ello indica que probablemente hubo retención de metales y Sánchez – Camazano et al., en 1998, confirma que hay una estrecha relación entre carbonatos y cadmio y formación de precipitados de CdCO_3 .

Materia orgánica

La materia orgánica se caracteriza por retener porque puede formar complejos o por tener la capacidad de intercambiar (Sauvé et al., 1998;

Adriano.,2001). Los valores mostrados en la tabla 4 son valores que están dentro de lo permisible, notándose una pequeña variación de aumento.

Textura

La textura en el área A y C es Franco, y en los lotes B es Franco Arcilloso, son suelos que caracterizan a nuestro valle del Mantaro, suelos agrícolas con alto grado de contaminación de metales pesados. La arcilla y la materia orgánica, son los parámetros que atraen metales así lo manifiesta (Lee et al., 1997).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico para las tres áreas de investigación, sobrepasa el rango permisible. Los valores del CIC y la concentración de los metales, indican que la capacidad de adsorción de metales por el suelo se incrementa al aumentar la capacidad de intercambio catiónico (Adriano, 2001).

3.6.2 Análisis químico de suelos

Los metales pesados de interés para la investigación fueron cadmio y zinc, pero también se encontraron: Arsénico, Cromo y Plomo.

La Tabla 10, presenta el “Resumen de los cuadrados medios del análisis de varianza del análisis químico de suelo”, se observa que, en la fuente de variabilidad de repeticiones (áreas) los contenidos de los elementos pesados: cadmio, plomo y zinc no muestran significación estadística ($p > 0,05$).

En la fuente de variabilidad de tratamientos (monitoreos), los elementos pesados de cadmio, plomo y zinc no muestran significación estadística ($P > 0,05$); porque la *Lactuca sativa variedad White boston* a fitoextraído a los metales pesados como: cadmio y zinc de preferencia

El coeficiente de variabilidad, que mide la homogeneidad o heterogeneidad en cada monitoreo según el Ingeniero Osorio P., en su

libro de estadística y diseños experimentales el año 2000, indica que para el arsénico y zinc el coeficiente de variabilidad es: 17.73 y 20.47% de acuerdo a su tabla es considerado como bajo, significa que las concentraciones de estos metales son homogéneas y para el plomo y cadmio:35.58 y 75.94%, según la tabla estos valores si son muy altos, y significa heterogeneidad en la concentración de los mismos.

La prueba de significación de los promedios de metales pesados, reportada en la tabla 11, en las áreas (A, B y C), se observa que, el Cadmio y zinc para las áreas A y B no muestran diferencia estadística entre ellos. Sin embargo, en el lote C muestra diferencia significativa.

La prueba de significación de los promedios del análisis químico de suelo de las áreas A, B y C para los dos monitoreos (tratamientos), para cadmio y zinc, se encontró diferencia estadística.

3.6.3 Análisis químico de Lactuca sativa var. White boston

Los resultados de la concentración de metales pesados de Lactuca sativa variedad White boston, se acumula de preferencia en la raíz en mayor concentración el cadmio y transloca a la biomasa a concentraciones más bajas cadmio y zinc, según la literatura nos explica debido a diversos mecanismos de compartimentación extracelular.

3.6.4 Factor de translocación

Para evaluar el factor de translocación, se calculó el Factor de translocación (Ft), ver tabla 14, relacionando la concentración del metal de la biomasa y de la raíz. Baker explica el año 1981, que si el Ft tiene valores mayores a la unidad se produce la translocación de la raíz a la parte aérea, lo cual es característico de las plantas acumuladoras, mientras que si tiene valores menores a la unidad, indica la limitación del desplazamiento a los tejidos aéreos. En las áreas A, B y C, el Ft es mayor que la unidad para cadmio y plomo, ello nos indica que la Lactuca sativa var. White boston, es una especie acumuladora se debe considerar que

el estadio de la especie vegetal aproximadamente en el suelo estuvo 30 días aproximadamente.

3.6.5 Factor de Bioconcentracion

El cálculo del factor de bioconcentración o bioacumulación (FBC) relaciona la concentración de metales pesados de la raíz de la planta con la concentración de metales del suelo contaminado

El factor de bioconcentración para todos los metales pesados son menores que la unidad ello nos indica que la *Lactuca sativa* var. *White boston* no es hiperacumuladora de esos metales especialmente de cadmio y zinc.

CONCLUSIONES

Se logró aplicar la tecnología de Fitoextracción en la EEA “El Mantaro”; utilizando *Lactuca sativa* var. white boston para erradicar la presencia de cadmio y zinc. Además de otros metales pesados como arsénico, cromo y plomo.

La caracterización fisicoquímica del suelo contaminado por metales pesados dio como resultado, para el lote A, B y C: pH 8.26, 8.19 y 8.25, y la salinidad presentan valores bajos. La materia orgánica en un nivel bajo menor a 3.9%, la textura del suelo fue franco arcilloso y la capacidad de intercambio catiónico fue 15.20, 17.60, 16.00 unidades.

Las concentraciones de los metales pesados encontrados en el suelo contaminado fueron: lote A (mg/kg), arsénico (34.48), cadmio (20.92), cromo (15.97), plomo (50.02) y zinc (236.7). En el lote B (mg/kg): arsénico (37.41), cadmio (6.75), cromo (14.39), y plomo (53.13) y zinc (299.21). Lote C(mg/kg): arsénico (27.39), cadmio (12.30), cromo (14.00), plomo y (25.38) y zinc (202.39) y después de la asimilación de los metales se nota la disminución como se puede ver en los siguientes resultados: lote A(mg/kg): arsénico (29.32), cadmio (13.15), cromo (14.17), plomo (28.47) y zinc (227.86). En el lote B(mg/kg): arsénico (31.14), cadmio (3.39), cromo (14.15), y plomo (25.31) y zinc (221.01). Lote C(mg/kg): arsénico (25.54), cadmio (2.67), cromo (12.71), plomo (20.06) y zinc (149.18).

Se evidenció diferentes niveles de concentración de metales según raíz, tallo y hojas, de la planta. Se observó la mayor acumulación de todos los metales en raíces tanto en el lote A, B y C; probablemente a que es un órgano especializado en la absorción además de ser el primero en estar expuesto a la sustancia contaminante. En los lotes A, B y C el cadmio y plomo tienen valores mayores a 1; lo que indica que la *Lactuca sativa* va. white boston, es una especie acumuladora capaz de tolerar altas concentraciones de estos metales. Sin embargo, debido a los pocos meses de edad de las plantas experimentales y comparando sus tasas de translocación; es esperable que las tasas de translocación aumentaran si los experimentos se hubieran prolongado por más tiempo.

RECOMENDACIONES

- ✓ La evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas de la margen izquierda debe de ser periódica y la aplicación de tecnologías de remediación debe darse en forma continua.
- ✓ Extender estudios de fitoextracción de metales pesados, a otras especies vegetales.
- ✓ El origen de las hortalizas que se consumen en el mercado debe tener control de calidad químico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. Springer-Verlag, Nueva York.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrition 3:643-654.
- Basta, N.T.; Pantone, D.J.; Tabatabai, M.A. 1993. Path analysis of heavy metal adsorption by soil. Agronomy Journal, 85, 1054-1057.
- Basta, N.T.; Tabatabai, M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils: II. Effect of pH. Soil Science, 153, 195-204
- Bates. (1983). Determinación de pH (Método de Potenciómetro). New York: Wiley.
- Beltrán, V. M. (2001). Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. *Proyecto de Investigación Para Obtener El Grado de Maestra En Ciencias E Ingeniería Ambientales. UAM-Azcapotzalco*, 176.
- Cala-Rivero, V., J. Rodríguez-Sanchidrian y A. Guerra-Delgado. 1985. Contaminación de metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. (I) Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr. Anal. Edaf. Agrobiol. 32: 1595-1608
- Canet, R.; Pomares, F.; Tarazona, F.; Estela, M. 1998. Sequential fractionation and plant availability of heavy metals as affected by sewage sludge applications to soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 29, 697-716.
- Camarillo-Ravelo, D., Barajas-Aceves, M., & Rodríguez-Vázquez, R. (2015). Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas Como bioindicadoras de metales pesados. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 31(2), 133–143.
- Cano P., 1993. Contenidos totales y formas cambiables de Zn, Cu, Pb Y Cd, en suelos agrícolas de la zona suroccidental de Madrid. Tesis para optar el grado de doctor en Farmacia. Universidad Complutense. España.
- Clemente, R., Walker, D. J., and Bernal, M. P. 2005. Uptake of heavy metals and As by Brassica juncea grown in a contaminated soil in Aznalcóllar (Spain): the effect of soil amendments. Environmental Pollution, 138: 46-58.
- Chen, H.S., Q.Y. Huang, L. Liu, P. Cai, W. Liang y M. Li.2010. Poultry manure compost the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of

- Curtis, L. y B. Smith. 2002. Heavy metal in fertilizers: Considerations for setting regulations in Oregon. Oregon Department of Agriculture, Salem, OR
- EL PERÚANO 2017. DS. N° 011-2017- MINAM. Lima 2 de diciembre, pp 12-15.
- Gabriel S. Del R. Ing. Agrónomo, Ph. D. INIA La Platina Manual de producción de lechuga. Boletín INIA / N° 09 INIA - INDAP, Santiago 2017
- Gabriel Saavedra Del R. Ing. Agrónomo, Ph. D. INIA La Platin ISSN 0717 – 4829.
- Houba, V.J.G.; Lexmond, Th.M.; Novozamsky, I.; van der Lee, J.J. 1996. State of the art and future developments in soil analysis for bioavailability assessment. *The Science of the Total Environment*, 178, 21-28.
- Kabata-Pendias, A. 2004. Soil-plant transfer of trace elements-an environmental issue. *Geoderma*, 122, 143-149.
- Liang, H.M., T.H. Lin, J.M. Chiou y K.C. Yeh. 2009. Model evaluation of the phytoextraction potential of heavy metal hyperaccumulators and non-hyperaccumulators. *Environ. Pollut.* 157, 1945-1952.
- Lindsay, W.L., 1981. Solid Phase-Solution Equilibria in soils. *Chemistry in the Soil Environment*, chap. 10. Soil Science Society of America.
- Lloyd, J. R., and Macaskie, L. E. 2000. Bioremediation of Radionuclide-Containing Wastewaters. In: Lovley, D. R., (Ed.), *Environmental Microbe-Metal Interactions*. American Society for Microbiology. Washington, pp. 277-327.
- Ma, L.Q.; Tan, F.; Harris, W.G. 1997. Concentrations and distributions of eleven metals in Florida soils. *Journal Environmental Quality*, 26, 769-775.
- McLean, J. E. and Bledsoe, B. E. 1992. Behavior of metals in soils. EPA/540/S-92/018, 1-25.
- Mc Laughlin M.J., Singh B.R. 1999. *Cadmium in Soils and Plants*. Springer Science & Business Media.
- Martínez, C.E.; Motto, H.L. 2000. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution*, 107, 153-158.
- Mattigod, S.V. and PAGE, A.L. (1983). *Assessment of Metal Pollution in Soils*. En: *Applied Environmental Geochemistry 1*. Thorton (Edt.).
- Msaky, J.J.; Calvet, R. 1990. Adsorption behavior of copper and zinc in soils: influence of pH on adsorption characteristics. *Soil Science*, 150, 513-522.

- Mulligan, C. N., Yong, R. N., and Gibbs, B. F. 2001a. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*, 60: 193-207
- Mengoni, A.; Henk, S.; Vangronsveld, J. Plants as extreme environments Niresistant bacteria and Ni-hyperaccumulators of serpentine flora. *Plant and Soil*. 331: pp. 5-16, 2010.
- Norvell, W.A. (1972). Equilibria of Metal Chelates in Soil Solution. In J.J. Morvedt, P.M. Giordana and W.L. Lindsay (Eds.). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI. 115-138 p.
- Ortiz B., Sanz G. Dorado V., Villar F. 1986. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía (CITME). Programa Regional de Ciencia y Tecnología de la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid.
- Osorio 2000., P.G. Glosario de Estadística y Diseños experimentales: primera Ed. Huancayo-Perú. pp 5.
- Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Pedosphere* 20(1), 63-70
- Chen, M.; Ma, L.Q.; Harris, W.G. 1999. Baseline concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. *Journal Environmental Quality*, 28, 1173-1181.
- Pérez Vargas, J. G.; García, G.E.; Esparza, F.G. 2002. Papel ecológico de la flora rizosférica en Fitorremediación. *Avance y Perspectiva*. 21: pp. 297-300.
- Porta, J. 1986. Técnicas y experimentos en Edafología. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Catalunya. Barcelona.
- Sánchez B., 2016. Ecotoxicología del Cadmio. Tesis de grado. Universidad Complutense. España.
- Raskin, I. (1998). Phytoextraction. The use plant to remove heavy metals from soil. *Environmental science Technology*. 29, 1232-1238.
- Ramírez, S., 2007. Lineo: A physician's passion for the classification of living creatures. *Rev. Cienc. Salud*. Bogotá (Colombia) 5 (1): 101-103, abril-junio de 2007 / 10.
- Ross SM (1994) Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. In: *Toxic metals in soil-plant systems*. 1a edition. ed. Ross S. M. Ed. John Wiley and Sons. Toronto, Canada. p. 3-26.

- Ruiz, J. (2012). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá.
- Sánchez-Camazano, M.; Sánchez-Martín, M.J.; Lorenzo, L.F. 1998. Significance of soil properties for content and distribution of cadmium and lead in natural calcareous soils. *The Science of the Total Environment*, 218, 217-226.
- Sauvé, S.; McBride, M.; Hendershot, W. 1998. Soil solution speciation of lead (II): effects of organic matter and pH. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 62,618-621.
- Stalikas, C.D.; Pilidis, G.A.; Tzouwara-Karayanni, S.M. 1999. Use of a sequential extraction scheme with data normalisation to assess the metal distribution in agricultural soils irrigated by lake water. *The Science of the Total Environment*, 236, 7-18.
- Walid Zorrig, Amine el Khouni, Tahar Ghnaya, Jean-Claude Davidian, Chedly Abdelly and Berthomieu.P (2013). Lettuce (*Lactuca sativa*): a species with a high capacity for cadmium (Cd) accumulation and growth stimulation in the presence of low Cd concentrations. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (2013) 88 (6) 783–789.
- Willard, H.H., Merritt, L.L. Jr. and Dean, J.A. (1971). *Methods instrumentals de analysis*. 964 pp.
- Yañez, L. M., Alfaro, J. A., Avila Carreras, N. M.E., Bovi Mitre, G. (2019). Arsenic accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broad bean (*Vicia faba* L.) crops and its potential risk for human consumption. *Heliyon* 5 (2019) e01152. doi: 10.1016/j.heliyon.2019. e01152.
- Yi Tang., e. a. (2018). Cadmium-accumulator straw application alleviates cadmium stress of lettuce (*Lactuca sativa*) by promoting photosynthetic activity and antioxidative enzyme activities. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Zhang K, Yuan J, Kong W, Yang Z (2013b) Variaciones genotípicas en el cadmio y las acumulaciones de plomo de lechuga de hoja (*Lactuca sativa* L.) y la detección de cultivares inocuos para la contaminación para la inocuidad de los alimentos. *Impactos del proceso Ambiental Sci* 15: 1245–1255.

ANEXOS