

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“FITOEXTRACCION DE PLOMO Y CADMIO EN UN SUELO
AGRÍCOLA CONTAMINADO CON LA *Brassica rapa* L. EN EL
DISTRITO DE EL MANTARO EN EL AÑO 2018”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
GERSON PAUL TENORIO BALDEÓN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

HUANCAYO-PERÚ

2018

**“FITOEXTRACCION DE PLOMO Y CADMIO EN UN SUELO
AGRÍCOLA CONTAMINADO CON LA *Brassica rapa* L EN
EL DISTRITO DE EL MANTARO EN EL AÑO 2018”**

DEDICATORIA:

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo que sin duda es mi familia

AGREDECIMIENTOS:

A Dios por permitirme tener presente a mi familia, en cada avance en el desarrollo de mi tesis, a mis Padres por su apoyo incondicional, sin ellos no hubiera alcanzado mi objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE GRAFICOS	xi
ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Caracterización de la Realidad Problemática	17
1.2. Formulación del Problema	18
1.2.1. Problema General	18
1.2.2. Problemas Específicos	18
1.3. Objetivos de la Investigación	18
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
1.4. Justificación	19
1.5. Importancia	20
1.6. Limitaciones	20

CAPÍTULO II	21
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
2.1. Marco Referencial	21
2.1.1. Antecedentes de la Investigación	21
2.1.2. Referencias Históricas	28
2.2. Marco Legal	29
2.2.1. Ley General del Ambiente N° 28611	29
2.2.2. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	29
2.3. Marco Conceptual	30
2.4. Marco Teórico	37
2.4.1. Contaminación de suelos	37
2.4.1.1 Causas de contaminantes	38
2.4.1.2 Tipos De La Contaminación	40
2.4.1.3 Causa de contaminación del suelo	41
2.4.1.4 Fuentes Contaminantes	41
2.4.1.5 Efectos de la contaminación del suelo	43
2.4.2. Metales pesados	44
2.4.2.1 Toxicidad de metales pesados	46
2.4.2.2 Metales pesados incorporados al suelo	47
2.4.3. Fitorremediación	51
2.4.1.8.1 La fitoextracción	54
2.4.1.8.2 Características de la Fitoextraccion	56
2.4.1.8.3 Evaluación de la Fitoextracción	57
2.4.1.8.4 Taxonomía de la <i>Brassica Rapa</i> L.	60

CAPÍTULO III	62
3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	62
3.1. Metodología	62
3.1.1. Método	62
3.1.1.1. Ubicación del lugar de muestreo del suelo agrícola	62
3.1.1.2. Materiales y Equipos	64
3.1.2. Procedimiento para la ejecución del trabajo de Investigación	65
3.1.2.1 Toma de muestras de suelo.	65
3.1.2.2 Toma de muestras de <i>Brassica Napa L.</i>	65
3.1.2.3 Análisis fisicoquímico de suelo	66
3.1.2.4 pH del suelo	66
3.1.2.5 Conductividad del suelo	66
3.1.2.6 Materia Orgánica	67
3.1.2.7 Textura del suelo	66
3.1.2.8 Capacidad de intercambio catiónico	68
3.1.2.9 Análisis químico de metales pesados en suelos	69
3.1.2.10 Análisis químico de metales pesados en la <i>Brassica Napa L.</i>	69
3.1.3. Tipo de la Investigación	69
3.1.4. Nivel de la Investigación	69
3.2. Diseño de la Investigación.	70
3.3. Hipótesis de la Investigación	70
3.3.1. Hipótesis General	70
3.3.2. Hipótesis Específicas.	70
3.4. Variables	70
3.4.1. Variable Independiente	70

3.4.2.	Variable Dependiente	71
3.5.	Cobertura del Estudio	71
3.5.1.	Universo	71
3.5.2.	Población	71
3.5.3.	Muestra	71
3.5.4.	Muestreo	71
3.6.	Técnicas e Instrumentos	71
3.6.1.	Técnicas de la Investigación.	71
3.6.2.	Instrumentos de la Investigación.	72
3.7.	Procesamiento estadístico de la información.	72
3.7.1.	Estadísticos.	72
3.7.2.	Representación.	72
3.7.3.	Técnica de comprobación de la hipótesis.	72
CAPITULO IV		73
4.	ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
4.1.	Resultados obtenidos en la investigación	73
4.1.1.	Propiedades físicas y químicas del suelo determinadas.	73
4.1.2.	Determinación de metales en el suelo agrícola	75
4.1.3.	Determinación de metales en la planta	75
4.1.4.	Factor de bioconcentración en la raíz de la <i>Brassica Napa</i> L	76
4.1.5.	Factor de bioconcentración en la parte aérea de la <i>Brassica Napa</i> L	76
4.1.6.	Factor de traslocación	77
4.2.	Discusión de resultados	78
4.2.1.	Caracterización fisicoquímica de los suelos	78

4.2.2.	Análisis químico del suelo agrícola	80
4.2.3.	Análisis químico de la <i>Brassica rapa</i> L	81
4.2.4.	Factor de bioconcentración en la raíz de la <i>Brassica Napa</i> L	81
4.2.5.	Factor de bioconcentración en la parte aérea de la <i>Brassica Napa</i> L	82
4.2.6.	Factor de traslocación	82
	CONCLUSIONES	88
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA	90
	ANEXOS	95

INDICE DE ABREVIATURAS

MINAM

Ministerio del Medio Ambiente.

%

Porcentaje

INTEC

Instituto Nacional Técnico

BCF

Factor de Bioconcentración

TF

Factor de traslocación

pH

Potencial de hidrógeno

CE

Conductividad Eléctrica

C.I.C.

Capacidad de intercambio catiónico.

ECA

Estándar de Calidad Ambiental.

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1	Resultados de la caracterización fisicoquímica antes de la siembra de la planta	75
Tabla N°2	Resultados de la caracterización fisicoquímica después de la siembra de la planta	75
Tabla N°3	Resultado de la concentración de plomo y cadmio en el suelo de la parcela agrícola	76
Tabla N°4	Concentración de plomo y cadmio en la <i>Brassica Napa L</i>	76
Tabla N°5	Factor de bioconcentración en la raíz de <i>Brassica Napa L</i> (Yoon, 2006)	77
Tabla N°6	Factor de bioconcentración en la parte aérea de <i>Brassica Napa L</i> (Méndez y Maier, 2008)	77
Tabla N°7	Valores de translocación	78
Tabla N°8	Concentraciones de cadmio de las partes de la <i>Brassica Napa L</i>	84
Tabla N°9	Cuadro de hipótesis para el ANOVA de la concentración de Cadmio de la <i>Brassica Napa L</i> .	84
Tabla N°10	Cuadro ANOVA para las concentraciones de Cd	85
Tabla N°11	Concentraciones de Plomo de las partes de la <i>Brassica Napa L</i>	85
Tabla N°12	Cuadro de hipótesis para el ANOVA de la concentración de Plomo de la <i>Brassica Napa L</i> .	86
Tabla N°13	Cuadro ANOVA para las concentraciones de Pb	87

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Principales estrategias implicadas en la fitorremediación de suelos	55
Figura N° 2	Planta Brassica rapa L.	62
Figura N° 3	Ubicación del lugar donde se realizó el trabajo de investigación.	6364
Figura N° 4	Fotografía de la parcela agrícola	65

INDICE DE GRAFICOS

Grafica N°1	Gráfica de efectos principales para las Concentraciones Promedio de cadmio en la <i>Brassica Napa L.</i>	88
Grafica N°2	donde se aprecia que la mayor concentración de plomo se da en la Raíz (prom de 18.66 ppm).	85

ANEXOS

ANEXO N°1	Lugar de muestreo de suelo – distrito de El Mantaro	97
ANEXO N°2	Parcela con la planta sembrada	98
ANEXO N°3	Canal CIMIRN	99
ANEXO N°4	Preparación de las muestras	100
ANEXO N°5	RESULTADOS DE LABORATORIO	101
ANEXO N°6	RESULTADOS DE LABORATORIO	102

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, lleva como título “Fitoextracción de plomo y cadmio en un suelo agrícola contaminado con la *Brassica rapa* L en el distrito de El Mantaro en el año 2018”, se utilizó la fitoextracción que consiste en la adsorción del plomo y cadmio por la planta de *Brassica rapa* L. La acumulación en las raíces, tallos, hojas y flor, fueron optimas en la descontaminación de estos metales pesados. El trabajo de investigación se realizó in situ, en una parcela agrícola de 92 m², el muestreo de suelo se hizo al azar donde se mezcló y se obtuvo una muestra de 1 Kg para realizar el análisis fisicoquímico teniendo un pH de 6.93, una conductividad eléctrica de 0.62, el % de materia orgánica de 2.53, la textura es Franco Arcilloso y la capacidad de intercambio catiónico es de 16.26. Respecto a la concentración del plomo y cadmio en el suelo se halló inicialmente 11.63 ppm de cadmio y 215.2 ppm de plomo, sobrepasando los Estándades de Calidad Ambiental para suelo que es de 1.4 ppm para el cadmio y 70 ppm para el plomo. La *Brassica rapa* L, es una planta que crece de manera rápida (2 a 3 meses) no necesita mayor cuidado y se desarrolla mejor a alturas mayores a 3000 msnm. La especie vegetal se cosecho aproximadamente a los 45 días, se separó la raíz, hojas, tallo y flor, se secó y se realizó la digestión para realizar la lectura de los metales pesados en un equipo de absorción atómica. Los resultados obtenidos demostraron que la fitoextracción es efectiva en la planta teniendo un mejor comportamiento con el cadmio en la parte aérea y con el plomo en la raíz de la planta. Palabras clave: Fitoextracción, *Brassica rapa* L

ABSTRACT

The present research work is titled "Phytoextraction of lead and cadmium in an agricultural soil contaminated with Brassica rapa L in the district of El Mantaro in 2018", phytoextraction was used, which consists of the adsorption of lead and cadmium by the plant of Brassica rapa L. The accumulation in the roots, stems, leaves and flower, were optimal in the decontamination of these heavy metals. The research work was carried out in situ, on an agricultural plot of 92 m², soil sampling was done at random where it was mixed and a 1 Kg sample was obtained to perform the physicochemical analysis having a pH of 6.93, an electrical conductivity of 0.62, the organic matter% of 2.53, the texture is Franco Arcilloso and the cation exchange capacity is 16.26. Regarding the concentration of lead and cadmium in the soil, 11.63 ppm of cadmium and 215.2 ppm of lead were initially found, exceeding the Environmental Quality Standards for soil, which is 1.4 ppm for cadmium and 70 ppm for lead. The Brassica rapa L, is a plant that grows quickly (2 to 3 months) does not need more care and develops better at heights higher than 3000 meters above sea level. The vegetable species was harvested at approximately 45 days, the root, leaves, stem and flower were separated, dried and the digestion was performed to read the heavy metals in an atomic absorption equipment. The results obtained showed that phytoextraction is effective in the plant, having a better behavior with the cadmium in the aerial part and with the lead in the root of the plant. Keywords: Phytoextraction, Brassica rapa L

INTRODUCCIÓN

Un tema muy preocupante para el valle del Mantaro es la contaminación de suelos en ambas márgenes debido a que es un tema que debe ser estudiado de forma indefinida, con el fin de desarrollar soluciones en pro de mejorar las condiciones de nuestro ambiente. El impacto y el nivel de deterioro de estos tipos de suelo para uso agrícola y ganadería arraiga el uso de metodologías las cuales permitan que en un periodo relativamente corto se mejore la calidad de este y de igual forma se reduzcan los niveles de contaminación del mismo.

Dentro de las metodologías existentes se tiene la fitoextracción el cual es un método que aprovecha las capacidades de las plantas para la reducción de contaminantes en suelo

Para la selección de una alternativa de descontaminación se hace necesario que esta preserve la estructura física, química y las propiedades biológicas del suelo, además de tener en cuenta el tipo de contaminación al que se enfrenta; y las condiciones del suelo y la zona en general. En este estudio se hace referencia a niveles tóxicos de metales pesados los cuales están generando impacto en la etapa de desarrollo de especies y la fertilidad de las mismas en las actividades desarrolladas en la zona de estudio como son la agricultura y la ganadería; además que también pueden estar perjudicando indirectamente la salud humana.

En el Capítulo I, se ha considerado el planteamiento del problema, que consta de la caracterización, formulación, los objetivos planteados, la justificación y limitaciones de la investigación.

En el Capítulo II, se presentan el marco teórico, en el cual se ha considerado los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y conceptuales, la hipótesis y variables e indicadores.

En el Capítulo III, se menciona el tipo de investigación, nivel, métodos, diseño de investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, y las técnicas de procesamiento.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo y agua de riego, la concentración de metales pesados en el suelo y planta, el coeficiente de fitoextracción, translocación y la discusión de los mismos.

El objetivo de la investigación es de Aplicar la tecnología de la Fitoextracción en suelos agrícolas contaminado de “El Mantaro”; utilizando *Brassica rapa L.* para erradicar la presencia del plomo y cadmio.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización de la Realidad Problemática

En el distrito de “El Mantaro” en la provincia de Jauja, los suelos agrícolas tienen producen papa, maíz, cereales y por las características del lugar hasta alcachofas. El riego se realiza con las aguas del río Mantaro, a través del Canal de Irrigación de la Margen Izquierda del Río del Mantaro (CIMIRM), siendo este río considerado como contaminado a través de los efluentes mineros que se encuentran en el trayecto de la Cuenca del Río Mantaro, además también influye el uso de diferentes productos agroquímicos utilizado por los agricultores para la mejora y producción de sus productos agrícolas, todas estas acciones hacen predecir que los suelos en el Valle del Mantaro están contaminados siendo lo más relevante los metales pesados, tales como el plomo, cadmio y arsénico. Esta contaminación afecta en cuento al tamaño, color y sabor del producto.

Por lo expuesto, se requiere realizar análisis de caracterización de suelos, concentración de los metales pesados en el suelo y en la planta que a través de antecedente teóricos es la (*Brassica rapa* L.).

De esta manera aplicar la tecnología de fitoextracción priorizando sus bajos costos y la obtención de mejores resultados a largo plazo.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Es posible aplicar la tecnología de fitoextracción en suelos contaminados con plomo y cadmio utilizando *Brassica rapa L* en los suelos agrícolas de El Mantaro?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Será posible determinar las características fisicoquímicas del suelo agrícola del distrito El Mantaro?
- ¿Será posible determinar el contenido de plomo y cadmio en el suelo agrícola del distrito El Mantaro?
- ¿Será posible determinar la cantidad de plomo y cadmio adsorbida por la *Brassica rapa L*?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Utilizar la tecnología de la Fitoextracción en los suelos contaminados con plomo y cadmio utilizando la *Brassica rapa L* en los suelos agrícolas de El Mantaro.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo agrícola de El Mantaro.
- Determinar la presencia de plomo y cadmio en los suelos agrícolas de El Mantaro.
- Evaluar la remediación de suelos contaminados con plomo y cadmio mediante la fitoextracción con la *Brassica rapa* L. en el distrito El Mantaro.

1.4. Justificación de la Investigación

Este trabajo de investigación, inicia con la necesidad de remediar los suelos agrícolas contaminados con metales pesados utilizando tecnologías de Fitoextracción que se basa en la absorción, teniendo en cuenta que es la menos costosa en comparación a otras tecnologías de remediación y brindarnos alternativas provechosas utilizando especies vegetales como *Brassica rapa* L. que por referencias bibliográficas se sabe que es una planta fitoextractora de metales pesados, asimismo contribuir con el incremento de la productividad de los suelos que se reflejará en la cantidad y calidad de productos agrícolas, así mismo minimizar el uso de productos agroquímicos en cantidades cada vez mayores, además ninguna institución se ha preocupado por descontaminar el canal de riego (CIMIRN), que irriga a ambas márgenes, la izquierda y la margen derecha del Valle del Mantaro con esta aguas irrigan sus campos agrícolas y entre ellos el distrito de El Mantaro.

1.5. Importancia

La importancia de este trabajo radica en la fitoextracción de plomo y cadmio en una especie vegetal que tiene un crecimiento rápido, no requiere mayores cuidados y su valor comercial es bajo, de esta manera se busca absorber los metales pesados del suelo agrícola para luego disponer esta planta en un

adecuado y/o un tratamiento para que estos metales no sean parte de la cadena alimenticia del ser humano, así como animales mayores y menores.

1.6. Limitaciones

El trabajo no presento limitaciones teóricas y metodológicas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes de la Investigación

Título: FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN (Delgadillo A, Scielo, 2011).

Resumen: La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas

técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas.

Título: BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN *Brassica oleracea* SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y *Raphanus sativus* L.

(Guerrero Ana, Sciendo, 2001)

Resumen: El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la concentración de plomo y cadmio por bioacumulación en *Brassica oleracea* subsp. capitata (L.) Metzg. y *Raphanus sativus* L., regadas con aguas a diferentes concentraciones de cada metal. Para ello se trabajó con 20 plantas de *B. oleracea* subsp. capitata (L.) Metzg. Y *R. sativus* L., con 14 días de desarrollo vegetativo, trasplantadas aleatoriamente y de forma individual en pozas experimentales con suelo homogenizado franco arenoso libre de metales plomo y cadmio. Éstas, asimismo, fueron sometidas a tratamientos de 0, 150 y 300 mg/L de cada metal con 4 repeticiones durante 60 días, se recolectaron muestras de suelo, raíz y parte aérea de cada especie vegetal para los análisis correspondientes de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer.

Los resultados con un nivel de confianza del 95% refieren que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. capitata (L.) Metzg., en la raíz de *R. sativus* L., y en el suelo donde fueron cultivadas, existe diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de plomo y cadmio de un tratamiento a otro. Se concluye, por tanto, que en la parte aérea de *B. oleracea* subsp. capitata (L.) Metzg., y en la raíz de *R. sativus* L., el plomo y el cadmio se bioacumulan con mayor concentración en soluciones de 300 mg/L, lo que demuestra que existe

una relación direccional ascendente con las soluciones concentradas de los diferentes tratamientos.

Palabras clave: Bioacumulación, plomo, cadmio.

Título: MEJORAMIENTO DE LA FITOEXTRACCIÓN EN PLANTAS NATIVAS EN SUELOS CONTAMINADOS POR ACTIVIDADES MINERAS EN PUCHUNCAVÍ Y QUINTERO (Gonzales María, 2016)

En esta tesis, se buscó desarrollar una metodología para la remediación a escala real de los suelos afectados históricamente por las emisiones de la Fundición de cobre CODELCO Ventanas (ubicada entre las comunas de Puchuncaví y Quintero, región de Valparaíso). Las emisiones históricas generaron altas concentraciones de Cu y en menor medida de otros metales, en los suelos de la zona aledaña a la Fundición. Estas condiciones representan actualmente un riesgo a la salud de la población y a la biota. Para lograr el objetivo de remediar los suelos, se seleccionó la técnica de fitoextracción, por ser ambientalmente amigable y ser una técnica de bajo costo.

La técnica se basa en la extracción de metales por parte de plantas acumuladoras y su posterior cosecha, lo que, después de una cantidad variable de ciclos de cultivo, permite disminuir las concentraciones de metal a un nivel target (usualmente un valor que no cause riesgo a la salud o biota o un valor cercano al background). Se estableció que un período de una década es aceptable para un proceso de remediación a gran escala. Como base para desarrollar la metodología de fitoextracción se seleccionaron tres especies nativas identificadas anteriormente en el área: *Baccharis linearis*, *Argemone subfusiformis* y *Oenothera picensis*.

Las altas concentraciones de Cu halladas en la biomasa aérea de estas especies en un muestreo exploratorio (promedio 391 y 314 y 600 mg/kg, respectivamente), su adaptación a la zona, y su alta producción de biomasa las definieron como especies con potencial para la fitoextracción. Sin embargo, ensayos iniciales determinaron que se requieren estrategias que mejoren su potencial extractor pues, en condiciones naturales, la proyección del número de ciclos de cultivo que se requeriría para remediar un suelo contaminado por Cu es muy elevado (cientos a miles de años), lo que lo hace inviable en condiciones reales. Para mejorar la capacidad extractora de cobre de las especies seleccionadas se probaron 4 estrategias: la aplicación de enmiendas agrícolas; la definición del momento ideal de cosecha; el mejoramiento genético mediante selección fenotípica y la aplicación de un quelante biodegradable. Las estrategias se probaron en forma separada y luego se seleccionaron, para cada especie, aquellas estrategias que arrojaban resultados positivos sobre la extracción, probándose luego en conjunto en un ensayo final. En el ensayo final se seleccionaron la o las estrategias combinadas más eficientes para cada especie. En base a la mejora de la extracción se calculó nuevamente, para cada especie el número de ciclos de cultivo necesarios para remediar una superficie de suelo contaminado una vez aplicadas las estrategias de mejoramiento. Si el número de ciclos necesarios para remediar un suelo hubiese sido menor a 10 años en duración en alguna de las especies, se consideraría a la técnica como apta para ser aplicable a escala real y se desarrollaría una metodología de fitoextracción, considerando las implicancias técnicas y económicas. Los ensayos se realizaron entre el año 2008 y 2011.

Los resultados y su análisis posterior arrojaron que la aplicación de quelante aumentó significativamente el Cu intercambiable en el suelo

y por lo tanto generó una extracción 6,6 veces la del control. Por otro lado la aplicación de materia orgánica sola y en conjunto con quelante disminuyó significativamente la disponibilidad de Cu en relación al control, y por lo tanto disminuyó la extracción. Esto se atribuye a que el compost adquirido tenía un pH levemente alcalino (circunstancia no prevista ya que la muestra inicial testeada tenía pH neutro). Para *B. linearis* los tratamientos no tuvieron efectos, dependiendo la extracción solo de la concentración de Cu total entre 15-30 cm de profundidad (profundidad donde se concentran las raíces de la planta). Considerando al tratamiento de quelantes como el más exitoso, se calculó nuevamente el número de ciclos necesarios para remediar un suelo contaminado por Cu, utilizando los valores máximos, mínimos y promedio obtenidos en este tratamiento. Si bien los resultados arrojaron una disminución de un 15% del número de ciclos necesarios en relación a la condición sin mejoras; aún el número de ciclos ascendía al orden de siglos, lo que la hace inviable en condiciones reales. Para *B. linearis*, dado que los mejoramientos no tuvieron efecto, no se calculó nuevamente el número de ciclos. Se concluyó entonces que la hipótesis de investigación fue rechazada ya que no se logró disminuir el número de ciclos necesarios para remediar un suelo contaminado por Cu, a un valor menor a 10 ciclos, para ninguna de las especies, utilizando los mejoramientos evaluados. El análisis en profundidad de los resultados permitió proyectar que las dificultades metodológicas probablemente afectaron significativamente los resultados. El aseguramiento del uso de un compost neutro habría evitado la baja del Cu intercambiable, mejorando con ello los resultados del ensayo final. Por otro lado, los ensayos controlados con quelantes evidenciaron que la planta no se veía afectada por la toxicidad del quelante ni por la toxicidad metálica, y que la lixiviación hacia capas profundas era muy reducida. Por ende es probable XIX

que se pudiesen aplicar mayores dosis de quelante, mejorando con ellos los resultados de la extracción. El análisis también sugirió que factores externos como la escasez de precipitaciones influyeron significativamente sobre los resultados. El año 2008, en que se realizaron los primeros ensayos (cultivo en condiciones naturales y ensayo de aplicación de enmiendas) las precipitaciones fueron aproximadamente el doble que en los siguientes años de experimentación, afectando la sobrevivencia y desarrollo, principalmente de *O. affinis* por ser especie herbácea. Se presume que ante un escenario de lluvias normales los resultados de esta tesis podrían haber mejorado significativamente al menos para esta especie. La escasez hídrica aumentó también el ataque de especies roedoras, que consumieron los individuos de *B. linearis* en el primer ensayo, aunque luego de esto se tomaron precauciones para evitar este problema. Si bien no se logró el objetivo, el desarrollo de la tesis permitió conocer las limitantes que presentaría un proceso de fitoextracción a escala real en el ecosistema propio del área de estudio, más allá de las limitantes propias de la técnica.

TITULO: FITORREMEDIACIÓN ASISTIDA CON ENMIENDAS Y FITOESTABILIZACIÓN DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS (Carrillo-Gonzales, 2017)

En esta investigación se concluye que los procesos naturales, como la remediación natural o la atenuación natural para controlar la contaminación **con** elementos potencialmente tóxicos (EPT) pueden tomar mucho tiempo (años) para llegar a un estado de equilibrio. En general, los suelos contaminados **con** EPT presentan limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento y desarrollo de las plantas. En esta situación, la remediación inducida por el hombre

reduce el período de su recuperación. Una alternativa para ayudar en este proceso consiste en adicionar **enmiendas** y reintroducir microorganismos simbióticos benéficos para las plantas. A esta alternativa se le conoce como **fitorremediación** asistida o inducida. En este trabajo se resumen las prácticas de manejo de **enmiendas** que pueden tener alto impacto positivo en la **fitorremediación**.

TITULO: OPTIMIZACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *helianthus annuus* L. (GIRASOL) PARA LA **FITOEXTRACCIÓN** DE **PLOMO**, ZINC Y CADMIO DE RELAVES MINERO ARTESANAL DEL CASERÍO DE ZARUMILLA, PATAZ. (Lizarbe Asmat, K. Y., & Rivera López, Y. S. ,2013)

En esta investigación se evaluó, mediante ensayos controlados, la optimización del crecimiento de *Helianthus annuus* L. (girasol), especie bioacumuladora de metales pesados, mediante la adición de acondicionadores orgánicos e inorgánicos al relave minero artesanal, para la **fitoextracción** de **plomo**, zinc y cadmio. En total se probaron 4 tratamientos de diferentes proporciones relave – acondicionador (100 - 0%, 75 - 25 %, 50 – 50 %, 25 – 75 % respectivamente), **con** 6 repeticiones cada uno, para periodos de tiempo de 30, 60 y 90 días y mediante dos métodos de siembra (directa y trasplante). Se realizaron análisis fisicoquímicos a los tratamientos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible), se registró los parámetros de crecimiento del girasol (longitud de raíz, longitud de tallo, número de hojas y peso seco) y se determinó la concentración de Pb, Zn y Cd en el relave y en los órganos vegetales del girasol. Los resultados muestran que el girasol logró crecer en los tratamientos **con** adición de acondicionador y acumular en sus tejidos

Pb, Zn y Cd; viéndose afectada la concentración de estos metales, **con** respecto al tiempo, por el contenido de materia orgánica de los tratamientos. De los ensayos realizados, el método de siembra directa fue el que logró mayor concentración de Pb, Zn y Cd, siendo la raíz el órgano de mayor bioacumulación de estos metales. Asimismo, se observó que los mejores resultados obtenidos se encuentran en el tratamiento 2 (75% de relave y 25% de acondicionador).

2.1.2. Referencias Históricas

La minería ha sido históricamente importante para la economía del país, sin embargo, el gran volumen de desechos generados por esta industria ha dejado un importante legado de depósitos de relaves distribuidos por toda la zona norte, sur y centro del país. El abandono inadecuado de estos depósitos los ha transformado en focos potenciales de contaminación del entorno, imponiendo diversos riesgos ambientales.

Estudios realizados por el Arzobispado de Huancayo y el proyecto Mantaro Revive revelaron niveles de contaminación con plomo y cadmio en los suelos en algunos sectores de la cuenca del río Mantaro sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental, lo que significa un gran riesgo para la población ubicada en el área de influencia de dichos sectores.

El distrito de El Mantaro no es ajeno a esta realidad, siendo su concentración de cadmio de 18.89 ppm y plomo de 640.01 ppm, a pesar que estos datos se han obtenido hace 10 años atrás, a la fecha se sigue encontrando estos metales en cantidades que sobrepasan los niveles de referencia.

La *Brassica rapa* L. es una planta fitoextractora de plomo y cadmio, su crecimiento es rápido y no requiere mayores cuidados y se desarrolla mejor entre 3000 y 3500 msnm, siendo ideal para la zona de estudio.

2.2. Marco Legal

2.2.1. Ley General del Ambiente N° 28611

Artículo 1°:

“Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes”.

2.2.2. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM

De superarse los ECA para Suelo, en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente.

Lo indicado en el párrafo anterior no aplica cuando la superación de los ECA para Suelo sea inferior a los niveles de fondo, los cuales proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de las sustancias químicas presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio en evaluación.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Metales pesados y la contaminación en suelos:

Miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Se incluyen principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos, y actínidos. Muchas definiciones diferentes han propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que reciben esta designación debido a diversos criterios. De los 118 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales; de estos últimos solamente 40 elementos son metales pesados. Uno de los criterios de clasificación es la densidad, aquellos metales de densidad mayor o igual a 4 g/cm³ son considerados pesados, sin embargo, este valor mínimo varía desde 4,5 hasta 5 g/cm³.

Se pueden distinguir diferentes fuentes de contaminación de los suelos por metales pesados dependiendo de su origen. En ocasiones, la propia naturaleza del material originario y su alteración son los responsables de la contaminación; en este caso, se denomina **contaminación endógena**. Otras veces los aportes contaminantes son externos, frecuentemente como resultado de actividades antropogénicas, denominándose **contaminación exógena**. La contaminación de origen natural es significativamente menos importante que la de origen antropogénico.

Otras causas que contribuyen a la contaminación del suelo por aporte directo, son el uso inadecuado de fertilizantes minerales y productos fitosanitarios, el vertido de los residuos que se generan (estiércol, purines, residuos sólidos urbanos, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales), y la utilización de aguas de calidad inadecuada

para uso agrícola. Los vertidos industriales o la implantación de vertederos donde se acumulan distintos tipos de residuos, son además otras fuentes importantes de contaminación por metales pesados. (Roca Fernández *él. Al.*, 2018)

2.3.2. Adsorción:

La adsorción es un proceso por el cual las moléculas se adhieren a superficies sólidas. La adsorción física no es específica, y las fuerzas que atrae a las moléculas a las superficies de los sólidos son relativamente frágiles. La energía de activación por adsorción física usualmente no es mayor de un Kcal/gmol. En la adsorción, los iones metálicos son secuestrados de la solución a través de algunos mecanismos como intercambio iónico, quelación, adsorción por fuerzas físicas y atrapamiento de iones

Los mecanismos de remoción son diferentes entre las distintas especies de plantas y estarán determinados por el tipo de metal. Sin embargo, la adsorción es sin duda el mecanismo de remoción extracelular más reportado en plantas, especialmente las acuáticas. (Stirk y Staden, 2001)

La biomasa usualmente contiene más de un tipo de sitio disponible para el secuestro de metales y el efecto de la temperatura en cada tipo de sitio puede, además, contribuir al total del metal secuestrado. Esto fue confirmado con la adsorción de Cu a una biomasa microbiana saturada con potasio (Weppen y hornburg, 1995).

2.3.3. Potencial Redox del suelo

Se denomina potencial redox de un suelo a su capacidad reductora u oxidativa. Tal atributo se encuentra estrechamente vinculado con la aireación del sistema edáfico, así como con el pH, ya que ambos condicionan tanto la actividad microbiana como el tipo de reacciones que acaecen en él. El agua influye en estos procesos al modificar la distribución del aire en el suelo, y por ello la difusión del O₂ y la concentración de CO₂. La principal materia reductora del suelo, bajo un buen drenaje, resulta ser la materia orgánica, ya que se suele incorporar de forma reducida en los aportes de la biomasa y necromasa. El metabolismo del suelo tiende a oxidarla, mediante la intervención de otros de sus elementos que pasan así a formas más reducidas. Del mismo modo, el oxígeno es el principal agente oxidante. Entre estos dos extremos, muchos elementos constitutivos del medio edáfico poseen la capacidad de oxidarse o reducirse (a lo que se denomina carga variable) según el ambiente que predomine en el suelo (aireación que induce a la oxidación; encharcamiento o hidromorfía que provoca la carencia de oxígeno y génesis de un ambiente reductor). El potencial redox afecta a aquellos elementos que pueden existir en el suelo en dos o más estados de oxidación, como es el caso del O, C, N, S, Fe, Mn, C y Cu (Dorronsoro. y colaboradores Et. Al., 2017)

2.3.4. Iones inorgánicos:

Pueden ser cationes como el cadmio, plomo, zinc, mercurio, hierro, cobre... de los cuales se considerarán metales pesados aquellos que tienen carácter metálico (y metaloides como As o Sb) con densidad superior a 5 ó 6 g/cm³ y número atómico mayor de 20. Aunque algunos pueden ser esenciales para las plantas como

el Co, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn. Para evaluar la contaminación resultan útil los AEF (factores de enriquecimiento antropogénico) que es la relación entre la abundancia de un isótopo en un material enriquecido y su abundancia en el material original. Para esto se realizan la “Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid”, un libro muy interesante que calcula los niveles naturales de diversos metales en la Comunidad de Madrid y en la que se apoya la legislación regional para decidir si un suelo está o no contaminado (Real Decreto 9/2008).

2.3.5. Acidificación

Resultado de la oxidación de sulfuros minerales y precipitados y de fertilizantes de NH_4^+ , por la fijación biológica de nitrógeno, precipitación atmosférica ácida (SO_x y NO_x) sobre los suelos, descomposición de materia orgánica, agotamiento de bases por lixiviación y vertidos de contaminantes ácidos. Fenómeno consistente en la aparición de un desequilibrio en el suelo que ocasiona la pérdida de cationes (principalmente Ca^{++} et Mg^{++}), y produce la consiguiente disminución del pH. Proceso químico que se manifiesta como resultado de un incremento de la concentración de iones hidronio (H^+) en determinados componentes del medio ambiente. La acidificación se debe generalmente a pérdida por lavado, exportación de las cosechas y adición de productos ácidos.

La acidificación de suelos es un proceso cuya velocidad depende del poder tampón del suelo y de la carga ácida resultante del uso del territorio. El riesgo de acidificación se evalúa en base al pH en agua, porcentaje de saturación de bases, y suma de bases intercambiables. El historial de uso del suelo, y en menor medida el material original,

explican en gran parte la variabilidad en el riesgo de acidificación. Exportaciones netas continuadas del sistema suelo-planta originan un mayor riesgo de acidificación, que disminuye en la medida en que se equilibran exportaciones y entradas. (J.R.Olarieta et. Al 2012)

2.3.6. Fitorremediación

Uso de plantas y de su microbiota asociada para reparar suelos o aguas subterráneas contaminadas. Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y de técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma química que disminuya su disponibilidad química o biológica. Se trata de aprovechar el metabolismo, en este caso de plantas, para sustraer del medio ambiente sustancias contaminantes. Uso de plantas para recuperar suelos contaminados, es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo.

La fitorremediación en conclusión se basa en utilizar plantas y distintos microorganismos asociados a las mismas (bacterias y hongos) para descontaminar. En esta técnica, las plantas son utilizadas para remover, transferir, estabilizar, concentrar o destruir contaminantes dentro de lodos, suelos, y sedimentos. El objetivo primordial de la fitorremediación radica en que los contaminantes sean tomados por la planta y transformados en otras sustancias que no sean nocivas, o bien, atraparlos e inmovilizarlos para mantenerlos fuera del medio ambiente (Agudelo 2006).

La fitorremediación supone el uso de las plantas para eliminar o reducir la toxicidad de los contaminantes del medio ambiente. Las tecnologías principales para la fitorremediación de metales son: (i) la fitoextracción

El uso de plantas para extraer los metales del suelo, trasportarlos y acumularlos en los órganos de la parte aérea, (ii) fitoestabilización - el uso de plantas para minimizar la movilidad de los metales mediante su acumulación en la raíz o su precipitación en la rizosfera (Alkorta et al., 2004)

2.3.7. Fitoestabilización

Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio. Su objetivo es inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales/metaloides contenidos en un suelo contaminado o en desechos mineros masivos, mediante mecanismos de estabilización físicos, químicos y biológicos. Consiste en el uso simultáneo de:

- Plantas tolerantes y excluyentes de metales – metaloides al acumularlos en sus raíces (plantas metalófitas excluyentes).
- Acondicionadores de sustrato, orgánicos e inorgánicos

Las plantas más adecuadas para la fitoestabilización presentan las siguientes características

- Especies nativas o endémicas, adaptadas a las condiciones sitio-específicas.
- Sistema radical denso y extendido.
- Especies tolerantes a las condiciones edáficas imperantes.
- Tolerantes al metal o metaloide.
- Excluyentes del metal o metaloide.

La fitoestabilización utiliza procesos biológicos naturales, por lo tanto la perturbación del lugar y sus alrededores es mínima. Las especies vegetales establecidas contribuyen al paisaje y al medioambiente, promueven la biodiversidad, conservan el ecosistema y mejoran la belleza escénica del lugar. Permiten usos alternativos del sitio. Captura gases de efecto invernadero (CO₂). Controla la erosión, la escorrentía y la infiltración. Reduce las emisiones de material particulado a la atmósfera. (Santibáñez et, al., 2004)

2.3.8. Fitoextracción

Se trata del uso de especies vegetales o plantas para remover contaminantes inorgánicos (como metales) u orgánicos (como aceites y dioxinas). Las plantas acumulan metales pesados esenciales para su crecimiento y desarrollo, los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas, donde son acumulados en formas inocuas, evitando así los efectos tóxicos sobre otros seres vivos e impidiendo que se afecten las napas subterráneas, consideradas como acumuladoras de metales pesados, utilizadas para transportar y concentrar los contaminantes (metales) en el interior de los tallos, hojas, y raíces.

Este método de fitorremediación, también conocido como fitoacumulación, consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Para ello, el primer paso es seleccionar adecuadamente las plantas según los metales que se encuentren presentes así como las características del emplazamiento. Una vez que se ha producido el desarrollo vegetativo de la planta, se corta y se procede a su incineración, trasladando las cenizas a un vertedero de seguridad. La ventaja de la fitoextracción es que el proceso se puede repetir de forma ilimitada hasta que se consiga una concentración de contaminante en el medio aceptable dentro de los

límites considerados. Algunas de las plantas utilizadas en este método de fitorremediación son, entre otras, (Alkorta et al., 2004)

2.4. Marco Teórico

2.4.1. Contaminación de suelos

La contaminación del suelo supone la alteración de la superficie terrestre con sustancias químicas que resultan perjudiciales para la vida en distinta medida, poniendo en peligro los ecosistemas y también nuestra salud. Esta alteración de la calidad de la tierra puede obedecer a muy diferentes causas, y del mismo modo sus consecuencias provocan serios problemas de salubridad que afectan gravemente a la flora, fauna o a la salud humana a lo largo del tiempo.

Lo hacen, por ejemplo, a través de la agricultura o afectando al equilibrio del ecosistema, polucionando el agua potable o el agua de riego, ya sea por entrar en contacto con estos lugares o por el simple hecho de que proceda de ellos. Lamentablemente, no siempre puede solucionarse el problema, y en ocasiones sólo se recupera parcialmente, con la consiguiente degradación del área.

Se define por la presencia de determinado nivel de partículas, sustancias o materiales contaminantes sólidos o líquidos que deterioran la superficie terrestre o la pérdida de una o más de sus funciones. Los contaminantes pueden estar física o químicamente enlazados a las partículas del suelo o atrapados entre éstas.

La creciente industrialización en la economía global durante el último siglo ha conducido a un dramático aumento en la liberación al ambiente de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos, tales

como sales, metales pesados, solventes, hidrocarburos y pesticidas, entre otros. La mayoría de estos contaminantes no se degrada fácilmente, conduciendo a su acumulación en los suelos (Gerhardt y col. 2009).

El suelo puede contener una gran variedad de elementos químicos, por lo que puede resultar difícil establecer a partir de qué momento, un mismo elemento deja de ser beneficioso o indiferente, para pasar a tener la calificación de contaminante (Porta, J.; López-Acevedo, M.; Roquero, C., 1994).

2.4.1.1. Causas de la contaminación

El contacto con el área polucionada no siempre es directo. Es lo que ocurre cuando se entierran sustancias tóxicas bajo el suelo y éstas acaba contaminando aguas subterráneas que luego se utilizan para regar, para beber o acaban intoxicándonos a través de la cadena alimentaria o trófica, al comer pescado, aves o cualquier otro animal contaminado. El almacenamiento incorrecto de residuos, su vertido intencionado o accidental, la acumulación de basuras en su superficie o el enterramiento de los mismos, así como fugas en tanques superficiales o subterráneos por averías o infraestructuras deficientes son algunas de sus principales causas.

Sin embargo, la lista es mucho más larga. Podemos citar otras causas no menos importantes, como las fugas radiactivas, el uso intensivo de pesticidas o abonos

químicos, la minería, las actividades de la industria química, los metales pesados que vomita el tubo de escape del tráfico rodado y las chimeneas de la industria, los materiales de construcción, sobre todo por la escorrentía del agua que disemina los productos nocivos-, el alcantarillado antiguo en mal estado o, sin ir más lejos, la misma lluvia ácida. El suelo se contamina por causa de las actividades del hombre o por otras alteraciones en el ambiente natural del suelo, la superficie de la tierra se daña por efecto de las actividades agrícolas, industriales y domésticas, a partir del uso de pesticidas, de la lixiviación (desplazamiento de sustancias solubles) de los desechos de los vertederos, de la percolación (paso de líquido a través de un material poroso) de las aguas superficiales e incluso de la liberación en las chimeneas de partículas tóxicas que se depositan en el suelo después de estar suspendidas en el aire. (Martínez y otros, 2005)

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables (García, I. y Dorronsoro, C., 2005), de hecho la entrada de metales pesados en el suelo ha ido aumentando desde que comenzó la industrialización (Han, et al., 2003).

2.4.1.2. Tipos de contaminantes

Los tipos de contaminantes y sus orígenes condicionan consecuencias, unas veces detectadas a corto plazo, debido a una contaminación puntual a un tóxico conocido, y otras no detectables con inmediatez, pero con efectos devastadores en el futuro. Los contaminantes pueden ser inorgánicos u orgánicos y su toxicidad puede ser primaria, si procede de la fuente original, o secundaria si es producto de alguna transformación en el interior del suelo.

La denominada contaminación natural, o endógena, de carácter inorgánico se debe al desequilibrio que se produce cuando hay una acumulación de un componente inorgánico del suelo en concentraciones nocivas para las especies vivas. Por ejemplo, como consecuencia de precipitaciones ácidas sobre suelos con altas proporciones de Gipsita, se produce una movilización del Al^{3+} , que origina efectos tóxicos sobre plantas, aguas y animales. También, en suelos desarrollados próximos a zonas ricas en piritas, puede suceder un efecto parecido. La oxidación del sulfuro de hierro puede producir una acidificación del medio que favorece la movilización de metales. No obstante, las situaciones más graves son las que se derivan de la contaminación debida a la actividad humana. (García, I. y Dorronsoro, C., 2005)

2.4.1.3. Causas de contaminación de suelos.

- La disposición inadecuada de residuos peligrosos en terrenos baldíos, bodegas, almacenes e instalaciones industriales.
- Las fugas de materiales peligrosos (en especial los hidrocarburos y sus derivados) de tanques, contenedores subterráneos, tuberías y ductos
- La lixiviación de residuos peligrosos en sitios de almacenamiento y en sitios donde se desarrollan actividades de manejo de residuos peligrosos.
- Los derrames de sustancias químicas por accidentes de transporte
- .La disposición inadecuada de residuos peligrosos o sólidos contaminados con éstos en los sitios de disposición final para residuos sólidos urbanos. (SEMARNAT, 2010)

2.4.1.4. Fuentes de contaminantes

Fuente radiactiva: esta fuente da como resultado la contaminación radiactiva que se desarrolla a través de trabajar o manipular la física atómica. Probablemente este tipo de contaminación es una de la más peligrosa si la encontramos a grandes escalas.

Fuente electromagnética: esta fuente da como resultado la contaminación electromagnética que se produce por la radiación que posee el espectro

electromagnético. Además puede acarrear diferentes peligros como pueden ser los peligros eléctricos, los peligros de incendio y los peligros biológicos.

Fuente genética: este tipo de fuente produce la contaminación genética la cual está creada por una transferencia y modificación de forma incontrolada de sustancias genéticas o de materiales genéticos. Esta contaminación afecta a todos los seres vivos ya que no solo modifican genéticamente el alimento de seres humanos o animales sino que también modifican los genes de animales e incluso de plantas.

Fuente térmica: esta fuente da como resultado la contaminación térmica la cual se desarrolla por los cambios bruscos de temperatura que puede sufrir un ecosistema. Este tipo de contaminación afecta sobre todo a los cuerpos acuáticos.

Fuente acústica: esta fuente desarrolla la contaminación acústica que está creada por una continua y alta intensidad de sonido que provoca un inevitable mal estar en los seres vivos.

Fuente visual: la fuente visual da como resultado la contaminación visual que son todos aquellos objetos, como vallas publicitarias, torres de transporte eléctrico, entre otras cosas, que dañan la vista de los seres vivos.

Fuente lumínica: la fuente lumínica desarrolla la contaminación lumínica que se crea por un uso abusivo de la luz como por ejemplo los miles de farolas que hay en ciudades que malgastan luz. (SEMARNAT, 2010)

2.4.1.5. Efectos de la contaminación del suelo

Pueden tener efectos muy diversos, desde riesgo tóxico para la salud humana hasta pérdidas de recursos naturales y económicos. Los principales peligros de un suelo contaminado son:

Peligros físicos, como explosión o fuego, corrosión de estructuras o alteración en las propiedades mecánicas del suelo.

Peligro toxicológico para la salud humana: Por inhalación: problemas alérgicos y respiratorios.

Por ingestión, por desconocimiento al cultivarse suelos contaminados. -

Por contacto directo con la piel, alergias y problemas cutáneos en trabajadores que manipulan este tipo de suelos.

Contaminación de aguas superficiales y subterráneas y, por tanto, también de los cultivos y animales de granja por utilización de dichas aguas para regadío y en las granjas.

Volatilización de determinados compuestos, con la consiguiente contaminación atmosférica y riesgo para la salud.

Degradación paisajística: Provocada por el vertido indiscriminado de residuos sólidos agrícolas. Las consecuencias y peligros potenciales de los suelos contaminados pueden tardar en manifestarse, tardando en ocasiones incluso décadas.

De esta manera, se puede decir que un suelo está contaminado, cuando las características físicas, químicas o biológicas originales han sido alteradas de manera negativa, debido a la presencia de componentes de carácter peligroso para el ecosistema; en este caso, la productividad que el suelo tenía, se pierde total o parcialmente (Cepeda, 2003).

2.4.2. Metales pesados

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como elementos de rastro, algunos metales pesados (e.g. cobre, selenio, cinc) son esenciales mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento. El envenenamiento por metal pesado podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (e.g. tuberías del plomo), las altas concentraciones en el aire cerca de fuentes de la emisión, o producto vía la cadena de alimento. Los

metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. Se analizan (metabolizado) o se excretan los compuestos acumulan en cosas vivas cualquier momento se toman y se almacenan más rápidamente que ellos. Los metales pesados pueden entrar un abastecimiento de agua por medio de residuos industriales y de deposita corrientes, los lagos, los ríos, etc. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que reciben esta designación debido a diversos criterios. De los 118 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales; de estos últimos solamente 40 elementos son metales pesados. Uno de los criterios de clasificación es la densidad, aquellos metales de densidad mayor o igual a 4 g/cm³ son considerados pesados, sin embargo este valor mínimo varía desde 4,5 hasta 5 g/cm³. (Lenntech, 1998)

Las concentraciones en las cuales los metales pueden ser considerados tóxicos cambian de una especie a otra, para una especie, un elemento es esencial en niveles bajos pero puede ser tóxico para otras. Así, la acción tóxica de los contaminantes está determinada tanto por su accesibilidad al organismo como por la serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan y que en última instancia se manifiestan como signos y síntomas de intoxicación. (Brady & Weil., 2002).

La concentración de metales pesados en los suelos debería tener un origen únicamente en función de la composición litológica y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo, determinando así la cantidad de metales de manera natural. Sin embargo con la actividad

humana se ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo, siendo esta la causa de las concentraciones tóxicas detectadas. (Jiménez Gómez, et. Al, 2017)

2.4.1.6. Toxicidad de metales pesados

La toxicidad de los metales pesados en un ambiente determinado depende de diversos factores, ya sean factores referidos netamente al metal como factores que se relacionan con el medio y la influencia de este sobre los metales pesados. (Ernest., 2003).

Muchos de los metales pesados no son especialmente tóxicos y algunos son elementos esenciales en el ser humano, independientemente de que a determinadas concentraciones puedan ser tóxicos. Sin embargo, hay una serie de elementos que pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos simplemente como "metales pesados". Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en algún caso, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio (Aravena, 2014)

La toxicidad en las plantas puede resultar de la unión de metales a grupos sulfhídricos en proteínas conduciendo a una inhibición de actividades o defectos en la formación de la estructura de las células, o desplazando un elemento

esencial dando como resultado deficiencias en el metabolismo de las plantas.

Además, el exceso de metales pesados puede estimular la formación de especies reactivas de oxígeno, resultando en estrés oxidativo. Las plantas tienen diversos mecanismos potenciales a nivel celular que pueden estar involucrados en la detoxificación y de esta manera en la tolerancia a metales pesados. (Dietz et al., 1972)

2.4.1.7. Los metales pesados incorporados al suelo

Pueden seguir diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (Christie., 2004).

El suelo presenta diferentes mecanismos para retener metales pesados:

- **Cambios en las condiciones redox.** Condiciones oxidantes pueden causar la oxidación y disolución de sulfuros insolubles. A la inversa, condiciones reductoras pueden conducir a la disolución de óxidos y a la liberación de sus elementos traza coprecipitados en la solución. Fortísimas condiciones reductoras también

darán lugar a la precipitación de sulfuros insolubles de elementos traza. (Alloway, 1995).

- Complejación de especies metálicas con ligandos orgánicos.
- Los ligandos son constituyentes químicos que se combinan con los metales en un complejo químico (Novotny, 1995).
- Cambios en la composición iónica de la solución del suelo.
- Que pueden tener un marcado efecto en la adsorción de elementos traza y su incorporación en complejos inorgánicos solubles e insolubles. . (Alloway, 1995).
- **Acidificación.** Resultado de la oxidación de sulfuros minerales y precipitados y de fertilizantes de NH_4^+ , por la fijación biológica de nitrógeno, precipitación atmosférica ácida (SO_x y NO_x) sobre los suelos, descomposición de materia orgánica, agotamiento de bases por lixiviación y vertidos de contaminantes ácidos. . (Alloway, 1995).
- **La Temperatura.** La temperatura influye sobre la solubilidad y la distribución del estado fisiológico en la biota del sistema acuático del que va a depender la respuesta frente al tóxico, los Minerales de arcilla y los hidróxidos de metales presentes en los sedimentos de los cursos de agua pueden influir sobre la toxicidad. Esto

se da debido a las cargas negativas superficiales que adsorben cationes metálicos que existen en el medio. (Mc Grath., 2001).

- **El pH:** Factor esencial, para que la mayoría de los metales, tienden a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos, (Deng., 2004). Afecta a la especiación química y a la movilidad de muchos metales pesados, además de jugar un papel importante en las interacciones con parámetros como la dureza del agua y compuestos orgánicos (Sinhg., 2003).
- **La materia orgánica:** Adsorbe fuertemente metales, como el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente.

- **Aniones Como Cationes:** Pueden tener superficies con cargas negativas, que pueden ser compensadas por cationes absorbidos; los cuales a su vez pueden ser desplazados por otros cationes existentes en el ecosistema. Así, los metales pesados pueden ser extraídos de la solución, pero solo temporalmente. De esta se varía su bioasimilación y su toxicidad (Mc Grath., 2001)
- **Los Iones inorgánicos:** El comportamiento y la acción toxica de los metales pesados está determinada por su accesibilidad al medio en cuestión, como por la serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan y que en última instancia se manifiestan como signos y síntomas de intoxicación (Volke., 2002).
- **Efecto de los Metales Pesados en el Suelo:** En el suelo, los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, las cuales causan daños irreversibles en los diferentes organismos, (Angeles., 2005).

- **Movilización de Metales Pesados en el Suelo:** La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, estos pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Angelova., 2004). La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Xiong., 1997)

2.4.3. Fitorremediación

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, tiene como ventajas que es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo. Ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable y útil para remediar simultáneamente una variedad de contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos.

Además, es un proceso de descontaminación que involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para las especies vegetales, de diferentes familias, de densidad variada.

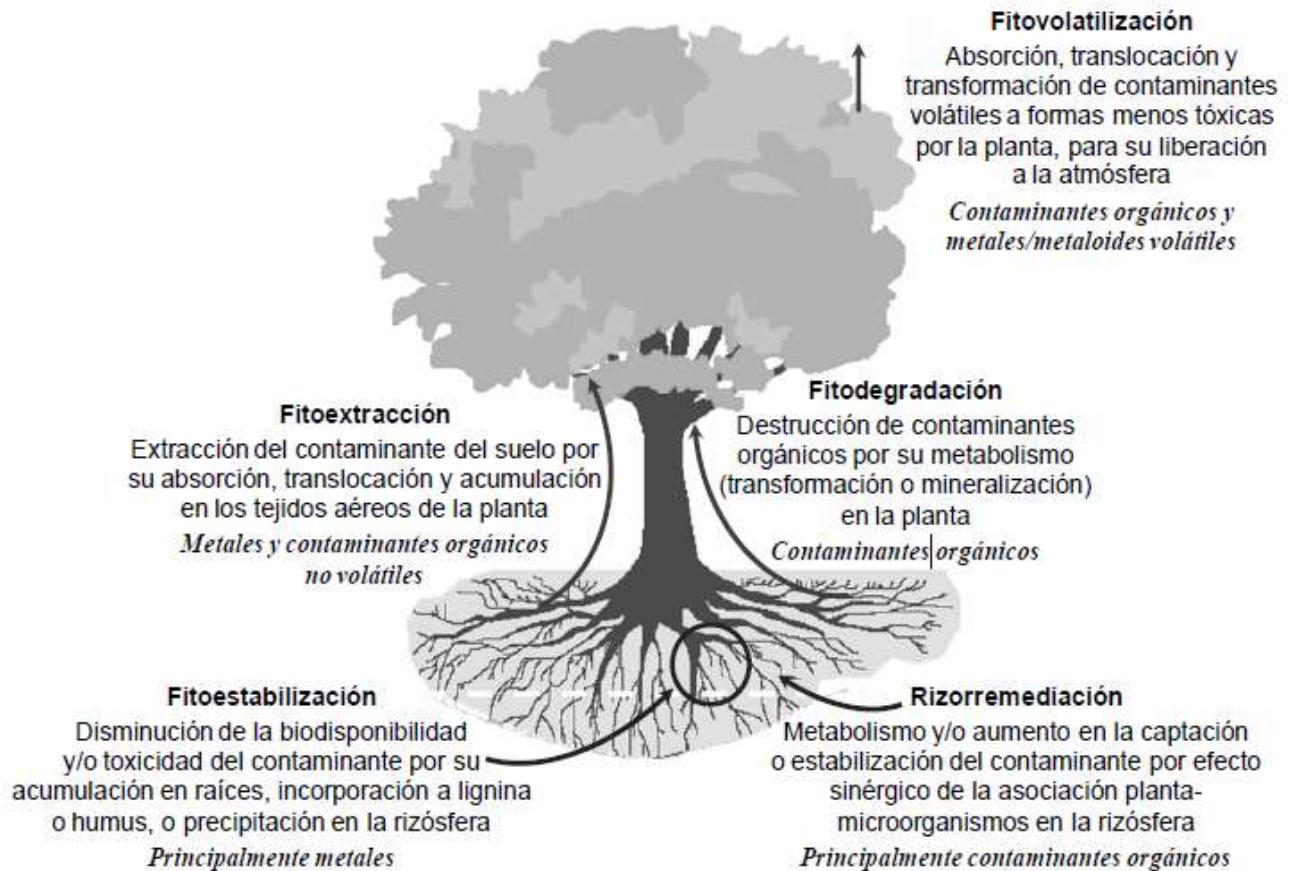
La fitorremediación consta de:

- **Fitovolatilización:** uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- **Fitoextracción:** uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- **Fitoimmobilización:** uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.
- **Fitodegradación:** uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- **Rizofiltración:** uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

2.4.1.8. Procesos de fitorremediación:

En general, la meta de cualquier tecnología de remediación, in situ o ex situ, implica la remoción de los contaminantes (descontaminación o limpieza), o bien, la reducción del riesgo asociado a su presencia limitando la exposición (estabilización) (Vangronsveld y col. 2009). Así, la fitorremediación de un suelo puede lograrse a través de la acción de uno o varios de los siguientes procesos: fitodegradación, fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización y/o rizorremediación (**Ver figura N°**). El proceso a través del cual una planta actúa sobre un contaminante en particular, depende del grado de contaminación, de las características fisicoquímicas del contaminante y del sitio contaminado, así como de las propiedades fenotípicas y genotípicas de cada especie vegetal, tales como su grado de tolerancia y su capacidad para captar, absorber, acumular y/o degradar los contaminantes (Meagher 2000; Vangronsveld y col.2009). De tal manera que un proceso efectivo para la remoción de un contaminante en particular puede ser inútil para otro

Figura. N°1. Principales estrategias implicadas en la fitorremediación de suelos. En el sistema suelo-planta-microorganismos,



Fuente: Perdomo Francisco, 2004

2.4.1.8.1. La fitoextracción

La fitoextracción se limita a profundidades de las raíces de las plantas que acumulan metales y resulta más efectiva para sitios con una contaminación superficial bien expandida; se limita generalmente a lugares con niveles de

inferior a medio de contaminación de metales. (Martin y Ruby, 2004).

La fitoextracción de metales de suelos contaminados se puede llevar a cabo utilizando plantas hiperacumuladoras, así denominadas por su capacidad para acumular de forma selectiva elevadas concentraciones de metales en sus tejidos. La planta hiperacumuladora debe ser capaz de extraer una gran cantidad de metal del suelo, para lo cual debe poseer un eficaz sistema de toma de metal en las raíces, ser capaz de transportar eficientemente el metal al tallo y, por último, poder almacenar e inactivar (destoxificar) el metal en las hojas, de forma que no interfiera con su crecimiento. (Pérez Berasategui, 2015).

Naturalmente, hay un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar alto nivel de algunos metales, llamada hiperacumuladoras. Este último concepto se define como plantas que pueden concentrar un metal (elemento) específico entre 1000 y 10000 mg/kg (0.1% a 1% del peso seco) dependiendo del elemento inorgánico específico (Brooks RR., 1989)

2.4.1.8.2. Características de la Fitoextracción.

Consideradas como acumuladoras de metales pesados, son utilizadas para transportar y concentrar los contaminantes (metales) en el interior de los tallos, hojas, y raíces. Las plantas pueden acumular metales pesados esenciales para su crecimiento y desarrollo, tales como el Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo y posiblemente el Ni; asimismo algunas plantas tienen la capacidad de acumular otros metales pesados que no se conoce su función biológica, como el Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se y Hg (Garbisu y Alkorta, 2001).

Las especies vegetales ideales, para la fitoextracción deberían crecer en suelos resistentes a los metales, presentar un sistema radical pronunciado, presentar altos niveles de producción de biomasa a partir de un óptimo crecimiento y desarrollo, acumular y resistir altas concentraciones de metales en brotes, retoños, cortes y tener la posibilidad de acumular varios metales de manera simultánea y mostrar resistencia a plagas y enfermedades (Garbisu y Alkorta, 2001).

Se hace necesario adicionar ácidos orgánicos para mantener una concentración óptima de metales solubles durante el proceso de fitoextracción. Junto con una alta velocidad de

extracción por las raíces, el fenómeno de fitoextracción depende del incremento sustancial en la transferencia de metales a los tallos. Actualmente, (Baker y Walker, 1990).

2.4.1.8.3. Evaluación de la fitoextracción

Existen la capacidad de exclusión y/o acumulación, se puede evaluar por el factor de bioconcentración y la movilidad de los metales en la planta por el factor de translocación. Un valor del Factor de Traslocación mayor a 1 indica una eficiente translocación del metal a brotes, por lo que la planta puede usarse con fines de fitoextracción. Si por el contrario, dicho valor es menor a 1, la translocación del metal es baja, por lo que éste es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización.

Si el $TF > 1$ significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker y Brooks, 1989), por lo que su potencial es la de hiperacumular metales en la parte aérea.

Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados a la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de Fitoestabilizar metales en sus raíces

Fitoextracción de Zinc y Cadmio.

El Zn y el Cd son contaminantes ubicuos, los que tienden a existir conjuntamente en muchos sitios contaminados. El Zn es fitotóxico y reduce la producción anterior a cualquier efecto potencial sobre la cadena alimenticia. Sin embargo, el Cd sí afecta la cadena alimenticia y por el contrario, raramente inhibe el crecimiento vegetal. El Cd aunque parece no ser un elemento esencial, es similar químicamente al Zn, por lo que ambos elementos pueden ser asimilados por las mismas especies hiperacumuladoras.

La diferencia en su extracción no solo depende de la especificidad Zn/Cd en la acumulación, sino también en su respuesta a las concentraciones en el suelo. Existen diferencias básicas en los mecanismos de acumulación de los dos metales en hiperacumuladoras, un factor importante en el desarrollo de las técnicas de fitoextracción.

Ha sido demostrado que las hiperacumuladoras de Zn tienen un alto requerimiento por el metal pesado que la mayoría de las otras plantas. Por ejemplo, la concentración externa de Zn que provoca un óptimo crecimiento fue encontrada 5 veces mayor que las especies de plantas normales.

Fitoextracción potencial de Plomo.

El Pb es un metal que se dificulta eliminar por fitoextracción, pues es fuertemente retenido por la materia orgánica del suelo y los minerales del suelo, por lo que se reportan un número limitado de plantas hiperacumuladoras. La mayoría del Pb acumulado en plantas se retiene en las raíces. El método promisorio para lograr una mayor asimilación del Pb por las plantas, se logra por una mayor movilización desde las partículas del suelo empleando quelantes.

Un problema nutricional encontrado en plantas que crecen en suelos contaminados con Pb es la carencia del ion fosfato debido a la formación de fosfato de plomo insoluble (piromorfita). Esto puede contrarrestarse aplicando fosfato a las partes aéreas de la planta, incrementando la biomasa y la cantidad total de Pb en los tallos.

Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.

Conocida como Factor de concentración biológica (BCF) o Root accumulation factor (RAF). Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Yoon, 2006).

- Si el BCF raíz < 1 la planta es excluyente.
- Si el BCFraíz >1 la planta es acumuladora.
- Si el BCFraíz > 10 la planta es hiperacumuladora

Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

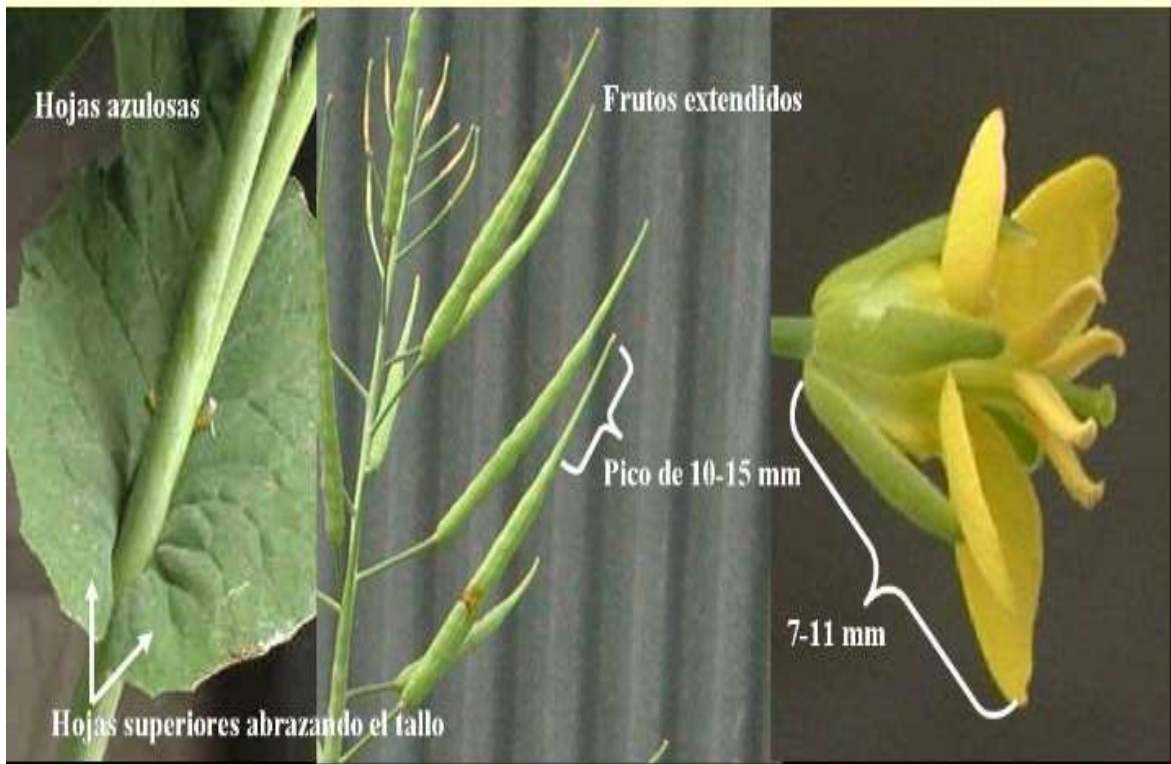
También conocida como Factor de bioacumulación (BAF), Coeficiente de acumulación biológica (BAC), Factor de remediación (RC) o Shoot accumulation factor (SAF). Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo (Vyslouzilova, 2003).

- Si el BCF aérea < 1 la planta es excluyente
- Si el 1 < BCFaérea > 10 la planta es acumuladora
- Si el BCFaérea > 10 la planta es hiperacumuladora

Taxonomía de la *Brassica Rapa* L.

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Fanerógama Magnoliophyta
CLASE	: Dicotiledónia Magnoliopsida
ORDEN	: Brassicales
FAMILIA	: Brassicaceae
GÉNERO	: Brassica
ESPECIE	: Brassica rapa

Figura N°2: Planta *Brassica rapa* L.



Fuente: Perdomo Francisco, 2004

Planta anual o bienal, glabra, con tallos erguidos, glabros o con algunos pelos duros en la parte inferior, simples o ramificados, hojas ásperas al tacto, flores amarillas dispuestas en racimos terminales largos.

Brassica campestris es una maleza perniciosa en las zonas forestales y bosques de estepa. Infesta todos los cultivos de primavera, tanto de granos y los labrados, huertos, y se extiende a través de los barbechos y el campo césped en grandes poblaciones, más raramente crece en prados, cinturones forestales, a lo largo de orillas de ríos y bordes de carreteras.

Es una planta buena para las abejas. Antes de la floración de esta planta es comido por todos los animales agrícolas. A veces se cultiva como una planta de aceite (sus semillas contienen hasta 48% de aceite) a pequeña escala en Transcaucasia y Asia Central.

CAPÍTULO III

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

3.1.1 Método

3.1.1.1 Ubicación del lugar de muestreo del suelo agrícola

El trabajo experimental se realizó en una parcela agrícola del distrito de El Mantaro Junín, situado al sureste de la Provincia de Jauja, Departamento de Junín, con las siguientes coordenadas geográficas.

Latitud : 11°46.07" S
Longitud : 75°24'27" O
Altitud : 3325 msnm

En este trabajo se estudió en una parcela de 92 m² de área, esta parcela es irrigada con aguas provenientes del canal de irrigación de la margen izquierda del Rio Mantaro (CIMIRM).

Cabe mencionar que en la parcela se sembró la *Brassica Napa L.*

Figura N°3: Ubicación del lugar donde se realizó el trabajo de investigación.



Fuente Propia

Figura N°4: Fotografía de la parcela agrícola



Materiales y Equipos

MATERIALES:

- Malla N° 2 mm
- Zapa pico
- Plumones Guantes
- Bolsas de papel
- Materiales de vidrio de laboratorio
- Muestreador de suelos
- Tarjetas de identificación

EQUIPOS E INSTRUMENTOS:

- 01 Conductímetro.
- Equipo de absorción atómica
- 01 pH-metro

3.1.2 Procedimiento para la ejecución del trabajo de Investigación

3.1.2.1 Toma de muestras de suelo.

Las muestras del suelo se tomaron a una profundidad de 20 cm. bajo el método zig-zag según la NOM-021-RECNAT-2000 del Manual de Técnicas de Análisis de Suelos.

De la parcela se tomó 8 submuestras en tres monitoreos: antes de la siembra y después de la cosecha. Las 8 submuestras obtenidas se mezclaron y formaron una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. Las muestras obtenidas se secaron al ambiente bajo sombra; posteriormente, se tamizaron en malla de 2 mm de apertura y se guardaron en bolsas de polietileno, debidamente selladas y etiquetadas, para su análisis fisicoquímico y la determinación de concentración de metales pesados.

3.1.2.2 Toma de muestras de Brassica Napa L.

Se cosechó, cuidadosamente y al azar ocho plantas, en su estado de maduración. Se seccionó las siguientes partes: raíces, tallos, hojas, flores y semillas, con un total de 500 gramos aproximadamente. Cada parte de la planta fue secada, etiquetadas y luego se realizó la digestión química para analizar el plomo y cadmio en el equipo de absorción atómica.

3.1.2.3 Análisis fisicoquímico de suelo

El análisis fisicoquímico de la muestra de suelo de la parcela se realizó antes y después de la cosecha de la planta, fue realizado en los laboratorios en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

3.1.2.4 PH del suelo

Para la determinación del pH se utilizó el método potenciométrico. Este parámetro se tomó para ver la variación de la acidez del suelo usando una relación suelo: agua de 1:2. Se utilizó un pH-metro marca Hanna modelo Checker. El método que se utilizó fue bajo la norma: AS-02 de las NOM-021- RECNAT-2000. Para la medición de este parámetro se siguió el Método AS - 09 de las NOM-021-RECNAT-2000.

3.1.2.5 Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica del suelo fue determinada para medir la salinidad del suelo. Se tomó una relación suelo agua (1:1) y se utilizó 100 g de suelo al cual se agregó 100 mL de agua destilada. La suspensión suelo-agua se agitó por una hora a 25°C y se dejó reposar por 15 min. La lectura fue tomada en el extracto de suelo con la ayuda de un conductímetro

calibrado MODELO HACH CONDUCTIVITY / TDS METER modelo 44600.

3.1.2.6 Materia orgánica

Se evaluó el contenido de carbono orgánico presente en muestras de suelo por el método de Walkley y Black. Para la determinación de materia orgánica del suelo se usó la norma: AS-02 de las NOM-021-RECNAT-2000. Para esta determinación se utilizó 0.5 g de suelo seco y se tamizó a 0.5 mm; se llevó a cabo la oxidación del carbono orgánico del suelo con una disolución de dicromato de potasio. Además, se adicionó 5 mL de ácido fosfórico concentrado para evitar la interferencia con el Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual se valoró con sulfato ferroso.

3.1.2.7 Textura del suelo

La textura se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos. Se tomó una muestra de 100 g de suelo, se le agregó 5 mL de solución dispersante (hexametáfosfato de sodio). Después, se pasó esta suspensión a una batidora por 10 minutos, hasta conseguir homogenización completa y luego a una probeta de 250 mL. Inmediatamente, se realizó la primera lectura de densidad, la cual corresponde a la densidad de la suspensión

de arcilla más limo. Se dejó en reposo y se hicieron dos lecturas, una a los 40 segundos y otra al cabo de 2 horas. Para la determinación de la textura de las muestras de suelos de los tres lotes A, B y C, se utilizó el triángulo textural, determinándose la clase textural.

3.1.2.8 Capacidad de intercambio catiónico

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo se realizó por el método AS-12 de las NOM-021-RECNAT-2000, con acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. El método consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ion amonio fue lavado del exceso de saturante con alcohol; la determinación del amonio fue mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH.

3.1.2.9 Análisis químico de metales pesados en suelos

Para el análisis químico de plomo y cadmio las muestras de suelo se secaron a 40°C y se tamizaron a 2 mm; se sometió a digestión con ácido nítrico ultrapuro MERCK por 2 horas a 102°C y se leyó la concentración de cada elemento en el equipo de absorción atómica.

3.1.2.10 Análisis químico de metales pesados en la Brassica Napa L.

Las muestras de la *Brassica Napa* L. se secaron a 40°C. Luego se llevó a la molienda, se tamizó cada muestra independientemente a 2 mm; se pesó 1 g de muestra y se enrasó a 50 mL en una fiola. Se sometió a digestión con ácido nítrico ultrapuro por 2 horas a 102°C y se leyó la concentración de cada elemento.

3.1.3 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación utilizado es aplicada y experimental.

3.1.4 Nivel de la Investigación

El nivel es explicativo

3.2 Diseño de la Investigación.

Es descriptivo por repetición

3.3 Hipótesis de la Investigación

3.3.1 Hipótesis General

Si es posible la aplicación de la Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados utilizando *Brassica rapa* L. en suelos agrícolas El Mantaro.

3.3.2 Hipótesis Específicas.

- Es factible determinar las características fisicoquímicas del suelo agrícola de El Mantaro.
- Es factible determinar la concentración de plomo y cadmio del suelo agrícola de El Mantaro.
- Es factible evaluar la concentración de plomo y cadmio mediante la fitoextracción con la *Brassica rapa* L. en el distrito El Mantaro.

3.4 Variables

3.4.1 Variable Independiente

Brassica rapa L

3.4.2 Variable Dependiente

Metales pesados (plomo y cadmio) en el suelo agrícola.

3.5 Cobertura del Estudio

3.5.1 Universo

Suelos contaminados con plomo y cadmio.

3.5.2 Población

Suelos agrícolas contaminados con plomo y cadmio en el Valle del Mantaro irrigados por el canal de riego de la margen izquierda.

3.5.3 Muestra

Parcela agrícola contaminados con plomo y cadmio en el distrito de El Mantaro.

3.5.4 Muestreo

El muestreo realizado fue aleatorio.

3.6 Técnicas e Instrumentos

3.6.1 Técnicas de la Investigación.

Las técnicas utilizadas en la investigación se basaron en los trabajos realizados en papers, monitoreo, análisis de datos y observación de campo.

3.6.2 Instrumentos de la Investigación.

Los instrumentos de investigación fueron los reportes de los procesos experimentados por el laboratorio correspondiente, los resúmenes de los trabajos de investigación, los reportes de campo.

3.7 Procesamiento estadístico de la información.

3.7.1 Estadísticos.

Se utilizó un software estadístico denominado Minitab, para los análisis de medidas de tendencia central y de dispersión.

3.7.2 Representación.

Los resultados de la concentración química del suelo contaminado se procesó estadísticamente, a la que se asoció una medida de probabilidad o confiabilidad.

3.8 Técnica de comprobación de la hipótesis.

Para el trabajo de investigación se utilizó el Análisis de varianza mediante una ANOVA de Fisher.

CAPITULO IV

4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados obtenidos en la investigación

4.1.1 Propiedades físicas y químicas del suelo determinadas.

Tabla 1: Resultados de la caracterización fisicoquímica antes de la siembra de la planta.

Parámetro	Unidad	Inicio	Nivel de referencia
pH		6.93	6 - 8
C.E	dS/m	0.62	< 2
M.O	%	2.53	> 3,9
Arena	%	56	Franco Arcilloso
Limo	%	14	
Arcilla	%	29	
CIC		16.26	>11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Resultados de la caracterización fisicoquímica después de la siembra de la planta

Parámetro	Unidad	Inicio	Nivel de referencia
pH		7.02	6 - 8
C.E	dS/m	0.66	< 2
M.O	%	2.77	> 3,9
Arena	%	57	Franco Arcilloso
Limo	%	13	
Arcilla	%	30	
CIC		15.52	>11

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Determinación de metales en el suelo agrícola

Tabla 3: Resultado de la concentración de plomo y cadmio en el suelo de la parcela agrícola

ELEMENTO	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA	PRIMER MONITOREO	SEGUNDO MONITOREO
		(suelos de uso agrícola)	(Antes de la fitoextracción)	(Después de la fitoextracción)
Cadmio	mg/kg	1.4	11.63	8.42
Plomo	mg/kg	70	215.2	163.8

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Determinación de metales en la planta

Tabla 4: Concentración de plomo y cadmio en la *Brassica Napa L.*

ELEMENTO	Partes de la planta de <i>Brassica Napa L.</i>				
	Raíz	Tallo	Hoja	Flor	Parte aérea
Cd	6.59	0.24	1.5	0.89	2.63
Pb	18.66	1.22	1.3	<0.02	21.18

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Factor de bioconcentración en la raíz de la *Brassica Napa L*

Tabla 5: Factor de bioconcentración en la raíz de *Brassica Napa L* (Yoon, 2006)

Elemento	Concentración de elementos en raíz (mg/kg)	Concentración inicial de elementos en suelos (mg/Kg)	Factor de bioconcentración
Cd	6.59	11.63	0.57
Pb	18.66	215.2	0.09

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Factor de bioconcentración en la parte aérea de la *Brassica Napa L*

Tabla 6: Factor de bioconcentración en la parte aérea de *Brassica Napa L* (Méndez y Maier, 2008)

Elemento	Concentración de elementos en la parte aérea (mg/kg)	Concentración inicial de elementos en suelos (mg/Kg)	Factor de bioconcentración
Cd	2.63	11.63	0.23
Pb	21.18	215.2	0.10

Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Factor de traslocación

Tabla 7: Valores de traslocación

Elementos	Concentración de elementos en raíz (mg/kg)	Concentración de elementos en la parte aérea (mg/Kg)	Factor de traslocación
Cd	6.59	2.63	2.5
Pb	18.66	21.18	0.88

Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Caracterización fisicoquímica de los suelos

El pH obtenido en el suelo agrícola se encuentra dentro del nivel de referencia 6 – 8. El pH es un factor importante para determinar la solubilidad, movilidad y disponibilidad de los metales pesados en el suelo (Alloway, 1995). De acuerdo con Kabata-Pendias (2000), el suelo muestra un pH ligeramente alcalino, para este tipo de suelos estos autores afirman que la movilidad de los metales pesados es menor, y que se ve favorecida la población bacteriana donde se encuentra el *Rhizobium*, responsable de la fijación simbiótica de nitrógeno elemental.

La determinación de la salinidad de la muestra del suelo (conductividad eléctrica) es de 0.66. Según la tabla de Criterios para Evaluar la Salinidad de un Suelo en base a su conductividad; según Kabata - Pendias, (2000), se considera que el suelo es no salino cuando la presencia de materia orgánica está a un nivel medio; según la NOM-021-RECNAT-2000. El suelo en su textura contiene en promedio 30% de arcilla, su capacidad de intercambio catiónico es aproximadamente 16,00, por lo tanto mayor será la cantidad de metales que pueden ser retenidos sin peligro potencial, ya que se limita la solubilidad y movilidad de los metales intercambiados. En general, cuanto mayor

es el contenido de arcilla en un suelo mayor es la capacidad de intercambio catiónico (Evans 1989).

La materia orgánica, según la escala de la NOM-021-RECNAT-2000, tiene un valor medio de materia orgánica y un pH ligeramente alcalino, factores básicos que representan una capacidad moderada de la disponibilidad de los metales pesados en la planta. El valor de la materia orgánica en el suelo demuestra buenas condiciones físicas de este.

Análisis textural del suelo agrícola. El suelo experimental tiene textura media y según la NOM-021-RECNAT-2000, corresponde a un suelo de textura Franco arcillosa el cual se caracteriza por tener una buena aireación así como retención de agua y abonos, lo que resulta apropiado para el cultivo de la planta. De acuerdo con Alloway (1990), la entrada y la infiltración de los metales pesados en el suelo están reguladas por la textura. En los resultados se observa que la mayor cantidad es de arena (aproximadamente 50%), lo que indica que los metales pesados pueden pasar más fácilmente al subsuelo y contaminarlo y presenta menor cantidad de limo y arcilla lo cual ayuda a fijar a los metales pesados.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es considerado como medio, lo que le permite adsorber e intercambiar iones para la nutrición de la planta.

4.2.2 Análisis químico del suelo agrícola

En el análisis de plomo y cadmio del suelo al inicio y al final del tratamiento se observa que estos metales sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental – ECA Suelo que son 70ppm y 1.4 ppm respectivamente, esto debido al exceso de fertilización y riego con las aguas contaminadas del Canal CIMIRN.

Cadmio (Cd): La concentración del cadmio antes de la siembra de la planta fue de 11.63 ppm y luego de la siembra de 8.42 ppm, debido a que la planta de Brassica Napa L se caracteriza por extraer en las raíces a este metal del suelo (Cutright., J.T., 2010). Sin embargo, el nivel de referencia o permisible de este metal en el suelo es de 1.4 ppm por lo que se debe continuar con el uso de la tecnología de fitoextracción por un periodo prolongado.

Plomo (Pb). Conforme a los resultados obtenidos, se observa que el primer monitoreo se obtuvo 2015.2 ppm de Pb, para luego disminuir en el monitoreo 2 que fue de 163.8 ppm; esto es debido a la presencia de sulfuros ferrosos en el agua de riego, producto de actividades antropogénicas (industria, minería y fundición de la Doe Run); así como al comportamiento de la planta fitoextractora de este metal pesado. El contenido de este metal en los suelos es de 70 ppm, por lo que se debe continuar con el uso de la tecnología de fitoextracción por un periodo prolongado.

4.2.3 Análisis químico de la Brassica rapa L

Resultados de la investigación revelaron diferentes niveles de concentración de metales según raíz, tallo, hojas, flores y semillas de la planta. Se conoce que la distribución de los metales pesados en las plantas tiene un carácter selectivo, usualmente en la secuencia de raíz, tallo, hojas, frutos y semillas (Kastory, R., 1988), (Simon, L., 1998). Sin embargo, hay algunos metales pesados que pueden tener predilección por acumularse en alguna parte en especial (Andersen, A., 1986), (El-Kobbia, T., 1988) y (Reeves R., 1999).

Se observó que el cadmio y plomo y zinc, se acumuló predominantemente en las raíces y en las hojas.

4.2.4 Factor de bioconcentración en la raíz de la Brassica Napa L

Si el $BC_{raíz} < 1$ la planta es excluyente. Si el $1 < BC_{raíz} < 10$ la planta es acumuladora. Si el $BC_{raíz} > 10$ la planta es hiperacumuladora. En el caso del tema de investigación declararemos a la Brassica Napa L como planta excluyente para el plomo y el cadmio, sin embargo esta planta tiene mayor capacidad de retener el Cd en comparación al Pb en la raíz.

4.2.5 Factor de bioconcentración en la parte aérea de la *Brassica Napa L*

Si el $BCF_{a\acute{e}rea} < 1$ la planta es acumuladora. Si el $BCF_{a\acute{e}rea} > 10$ la planta es hiperacumuladora. Bajo este principio, en el trabajo de investigación deducimos que la *Brassica Napa L* es una planta acumuladora de plomo y cadmio.

4.2.6 Factor de translocación

Si el $TF > 1$ significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker y Brooks, 1989), por lo que su potencial es el de hiperacumular metales en la parte aérea. Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados a la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es el de fitoestabilizar metales en sus raíces. En el trabajo de investigación se ha detectado que la *Brassica Napa L*, es una planta que traslada eficazmente el cadmio a la parte aérea, sucediendo todo lo contrario con el plomo ya que su potencial de fitoestabilizar este metal es en la raíz.

Estos estudios indican que hay especies de plantas que toleran las concentraciones elevadas de metales en el suelo porque restringen su absorción y translocación hacia las hojas. Sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa, lo que requiere una fisiología

muy especializada Raskin (1998). Por otro lado, algunos elementos pueden tener efectos sinérgicos o antagónicos.

4.3 Contrastación de la Hipótesis:

4.3.1 Para la Concentración de Cadmio

Tabla N°8: Concentraciones de cadmio de las partes de la *Brassica Napa L.*

Elemento		Partes de la planta Brassica Napa L. (τ)			
		Raíz	tallo	Hoja	Flor
Cd	r1	6.5	0.23	1.49	0.87
	r2	6.58	0.25	1.51	0.91

4.3.2 Hipótesis estadística para las concentraciones de Cadmio

Tabla N°9: Cuadro de hipótesis para el ANOVA de la concentración de cadmio de la *Brassica Napa L.*

Hipótesis nula	Las concentraciones de cadmio de las partes de la <i>brassica Napa L.</i> son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una concentración de cadmio de las partes de la <i>brassica Napa L.</i> es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

4.3.3 ANOVA para las concentraciones de Cadmio de las partes de la Brassica Napa L.

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis del modelo

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Información del factor

Factor	: Partes de la Planta
Niveles	: Flor, Hoja, Raíz, tallo
Repeticiones Cd	: 2

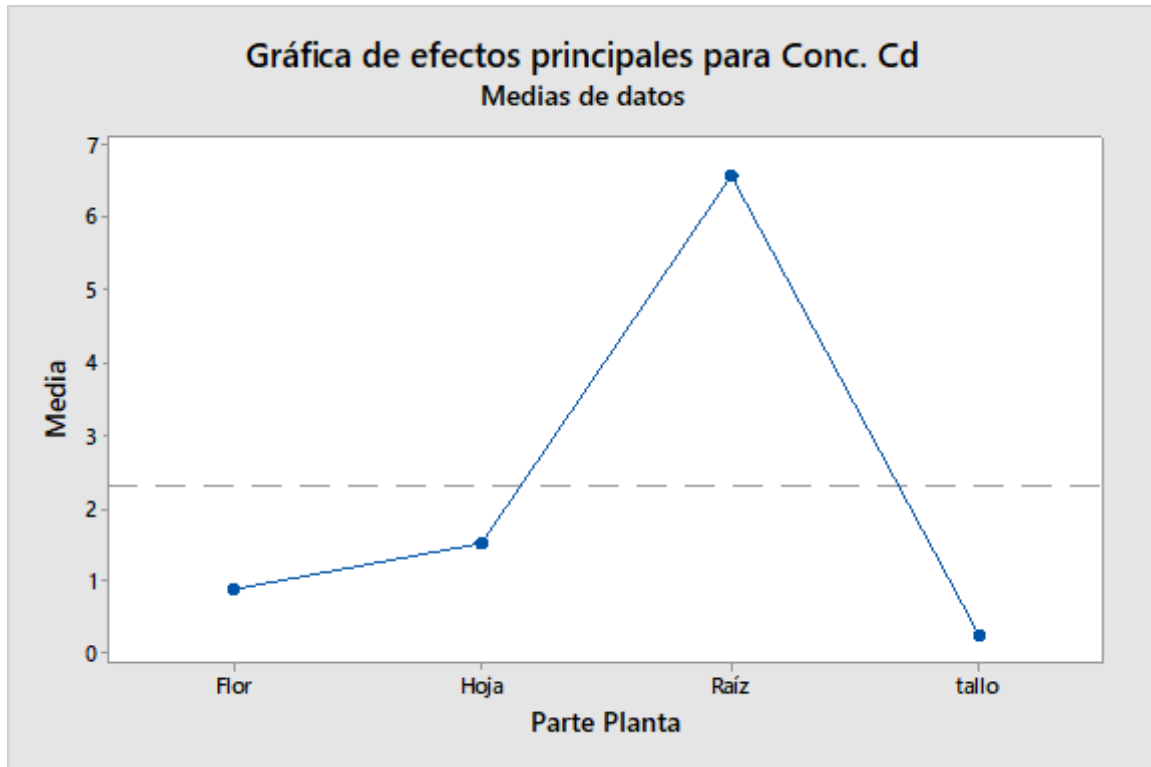
Tabla N°10: Cuadro ANOVA para las concentraciones de Cd

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Parte Planta	3	50.5514	16.8505	3873.67	0.000
Error	4	0.0174	0.0043		
Total	7	50.5688			

Fuente: Elaboración Propia-Software Minitab

Del cuadro ANOVA se concluye que hay evidencia estadística suficiente (al 95% de confiabilidad) para decir que las partes de la Planta en estudio influyen significativamente en las concentraciones de cadmio de la *Brassica Napa L* como respuesta a la fitoextracción. Esto se puede observar en la Figura N° donde se aprecia que la mayor concentración de cadmio se da en la Raíz (prom de 6.59 ppm).

Gráfica N1°: Gráfica de efectos principales para las Concentraciones Promedio de cadmio en la *Brassica Napa L.*



Fuente: Elaboración Propia-Software Minitab

4.3.4 Para las concentraciones de Plomo

Tabla N°11: Concentraciones de Plomo de las partes de la *Brassica Napa L.*

Elemento		Partes de la planta <i>Brassica Napa L.</i> (τ)			
		Raíz	tallo	Hoja	Flor
Pb	r1	18.5	1.2	1.31	0.025
	r2	18.82	1.24	1.29	0.015

Fuente: Elaboración Propia-Software Minitab

4.3.5 Hipótesis estadística para las concentraciones de Plomo

Tabla N°12: Cuadro de hipótesis para el ANOVA de la concentración de Plomo de la *Brassica Napa L.*

Hipótesis nula	Las concentraciones de Plomo de las partes de la <i>brassica Napa L.</i> son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una concentración de cadmio de las partes de la <i>brassica Napa L.</i> es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración Propia

4.3.6 ANOVA para las concentraciones de Plomo de las partes de la Brassica Napa L.

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis del modelo

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Información del factor

Factor	: Partes de la Planta
Niveles	: Flor, Hoja, Raíz, tallo
Repeticiones	pb: 2

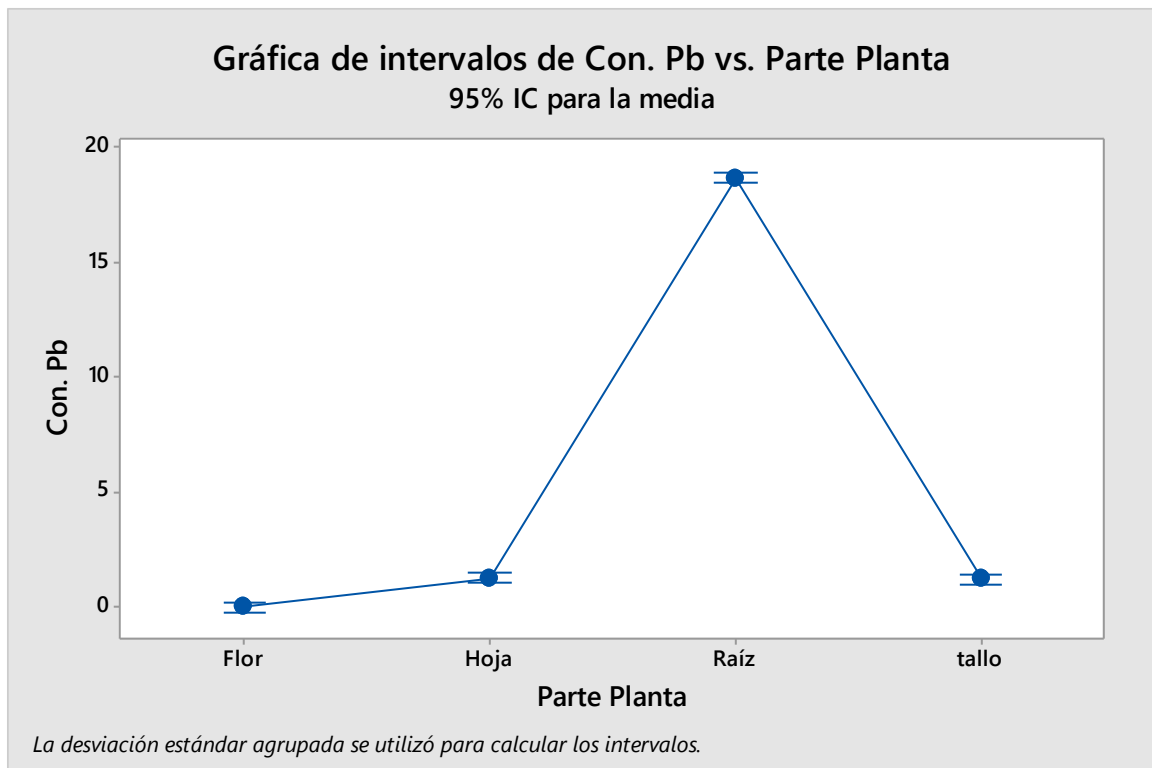
Tabla N°13: Cuadro ANOVA para las concentraciones de Pb

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Parte Planta	3	478.029	159.343	12198.50	0.000
Error	4	0.052	0.013		
Total	7	478.081			

Fuente: Elaboración Propia-Software Minitab

Del cuadro ANOVA N° se concluye que hay evidencia estadística suficiente (al 95% de confiabilidad) para decir que las partes de la Planta en estudio influyen significativamente en las concentraciones de Plomo de la *Brassica Napa L.* como respuesta a la fitoextracción. Esto se puede observar en la Figura N° donde se aprecia que la mayor concentración de plomo se da en la Raíz (prom de 18.66 ppm). Este valor es considerable mayor a la extracción de Cadmio respecto a la misma parte de la *Brassica Napa L.*

Grafica N°2 donde se aprecia que la mayor concentración de plomo se da en la Raíz (prom de 18.66 ppm).



Fuente: Elaboración Propia-Software Minitab

CONCLUSIONES

- El suelo agrícola presenta un pH ligeramente alcalino al inicio del trabajo de investigación y luego es ligeramente ácido, sin embargo no hay una diferencia significativa. El % de materia orgánica se encuentra en un nivel medio, la textura es franco – arcilloso, la capacidad de intercambio catiónico es en promedio 16% y la salinidad es de 0.66 dS/m.
- En los análisis químicos del suelo contaminado con plomo y cadmio sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental, aún después del tratamiento el suelo sigue contaminado, esto debido al exceso de fertilización que se dan en los suelos aledaños y a la irrigación con las aguas del canal CIMIRN.
- En los resultados obtenidos del análisis químico de la Brassica Napa L. es una planta excluyente de plomo y cadmio en la raíz, sin embargo acumula metales pesados en el tallo, hoja, flor (parte aérea) por tener una factor de bioconcentración menor que uno.
- En el trabajo de investigación se ha detectado que la *Brassica Napa L.* es una planta que traslada eficazmente el cadmio a la parte aérea, sucediendo todo lo contrario con el plomo ya que su potencial de fitoestabilizar este metal es en la raíz.

RECOMENDACIONES

- Evaluar la concentración de metales pesados en el agua de riego del canal CIMIRN y del aire.
- Realizar mayores estudios de fitoextracción de metales pesados, con otras especies vegetales.
- Utilizar la fitoextracción natural para remediar los suelos contaminados por metales pesados por su bajo costo y buena efectividad

BIBLIOGRAFÍA

1. Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact on receiving waters. En: Solano M. *Movilización de metales pesados en Residuos y Suelos Industriales afectados por la Hidrometalurgia del cinc*. Tesis. Murcia
2. Osorio, P.G. (2000). Glosario de Estadística y Diseños experimentales. Primera Ed. Huancayo - Perú. pag 5.
3. Pulfort I. D., & Watson, C. (1993). J. Environ. Inten. 29:529-540 En: Sierra V. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. Tesis .México
4. Carrillo-González, R. (2017). Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad*, 10(4), 15-20.
5. Cepeda Díaz, J. F. (2003) Efectos sobre la salud de los contaminantes químicos ambientales. Buenos Aires 06,2003-2008
6. Raskin, I. (1998). Phytoextraction. The use plant to remove heavy metals from soil. *Environmental science Technology*. 29, 1232-1238.
7. Reeves, R. D.; Baker, A. J.M.; Borhidi. A and Berazain, R. Nickel Hyperaccumulation in the Serpentine Flora of Cuba. *Annals of Botany* 83: 29±38, Article No. anbo.1998.0786, disponible en línea en: <http://www.idealibrary.com> 1999
8. Rugh., 1996
9. Salt, D.E., Smith, R.D., y Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annu Rev, Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49,643-668. En: Sierra V. Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial. Tesis. México
10. Simon, L. (1998). Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant. *Journal of plant Nutrition* 21:2 341-352. 1998
11. Alloway BJ, Jackson AP, Morgan H. (1990). "The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources". (16 de

Marzo de 2012).

Available

at:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896979090300J>

1. Garcia-Leston, J., Roma-Torres, J., Vilares, M., Pinto, R., Prista, J., Teixeira, J.P., Mayan, O., Conde, J., Pingarilho, M., Gaspar, J.F., Pasaro, E., Mendez, J., Laffon, B., 2012. Genotoxic effects of occupational exposure to lead and influence of polymorphisms in genes involved in lead toxicokinetics and in DNA repair. *Environ. Int.* 43, 29–36.
12. Alloway, B. J. (1995). *Heavy metals in soils*. Chapman & Hall, London England. En: Lerma, R. *Evaluación de suelos y especies con potencial de acumulación de metales pesados*. Tesis. Chihuahua. México.
13. Alloway, B. J. (1995c). The Mobilisation of Trace Elements in Soils. En: Contaminated Soils. 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. Edit. INRA, París, pag. 525.
14. Andersen, A. (1986). Cadmium in sunflower seed. *Brom-NyT*. Denmark. V. 9 (5). págs 54-60.
15. Lizarbe Asmat, K. Y., & Rivera López, Y. S. (2013). Optimización del crecimiento *Helianthus annuus* L. (girasol) para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves minero artesanal del caserío de zarumilla, pataz. Universidad Nacional de Trujillo.
16. Baker, A.J.M y P.L. Walter. 1990. Heavy metal Tolerance in Plants Evolutionary Aspects, Chapter 11, Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants, 1990, p. 155-177.
17. Blaylock, M.J & Huan, J.W. (1999). Phytoextraction of metals. En: Soares Do S. *Mecanismos de Hiperacumulación de metales pesados en plantas*. Universidad Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.
18. Brady & Weil., 2002
19. Tangahu, B.V., Sheikh Abdullah, S.R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M., 2011. A review on heavy metals (As,

- Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. Int. J. Chem. Eng. 2011, 31. Article ID 939161.
20. Upadhyay, S.K., Singh, D.P., 2014. Effect of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria on wheat plants and soil health in a saline environment. Plant Biol.
 21. J. Pastor, M. J. Gutierrez-Gines, A. J. Hernández. 2008. Response of corn (*Zea mays*) to polluted soils by heavy metals after the growth of a grass community Proyecto CTM 2008 04827/TECNO del Ministerio de Ciencia e Innovación y al Programa P2009/AMB-1478a (EIADES, de la CM).
 22. Jimenez S. 2005. Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado con el uso de tres agentes quelantes en maíz e higuierillas .tesis.para optar el titulo de ingeniero en agrobiología. Alloway B.J. (1990). *Soil processes and the behavior of metals*. In: Heavy Metals in soil 7.28.
 23. Garbisu, C. y Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource Technology 77, 229-236.
 24. Cunningham, S.D., Berti, W.R., Huang, J.W.1995. Phytoremediation of contaminated soils. Trends Biotechnol. 13, 393-397.
 25. Deng, H.; Z.H. Ye y M.H. Wong. (2004) "Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China". (24 de enero de 2013) Available at:
<http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41015569.pdf>
 26. Díez Lázaro. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: [tesis doctoral]. Universidad De Santiago De Compostela. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
 27. Dushenkov, S; Kalpulnik, Y; Blaylock, M Sorochisky, B; Raskin, I; Ensley, B. 1997. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. Studies in environmental Science. 66 (C): 563-572.
 28. El Kobbia, T., Ibrahim. (1988). Response of different plant species to lead.

- Journal of soil science. Egypt V.28 (1), p 35-47.
29. J.R.Olarieta, M. Domingo, y S. Virgel .Evaluación del riesgo de acidificación en suelos de la comarca de Lea-Artibai (Bizkaia). Dept. de Medi Ambient i Ciències del Sòl. Universitat de Lleida. Rovira Roure,. Servicio de Investigación y Mejora Agraria. Gobierno Vasco. Berreaga, .
 30. Ernst, W. H. O. 2000. Evolution of Metal Hyperaccumulation and Phytoremediation. *New Phytol* 146, 357-357.
 31. Baker, A.J., Brooks, R.R. *Biorecovery I* (1989): 81-126. [13] Baker, A.J.M., Brooks, R.R., Reeves, R.D. *New Science*, 177 (1998): 44-48.
 32. 2004 Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 20, núm. 2, abril-junio, 2004, pp. 59-68.
 33. Dietz, F. 1972 Enrichment of heavy metals in submerged plants. *Adv Water Pollut Res Proc Int Cont.* 6:53-72.
 34. Garbisu, C. Y I. Alkorta.- Phytoextraction a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment, *Bioresource Technology* 71:229-236, 2001.
 35. González-Chávez, Ma. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos *Terra Latinoamericana*, vol. 23, núm. 1, enero-marzo, , pp. 29-37
 36. Martin, T.A., M. V. Ruby.- Review of in situ Remediation Technologies for Lead, Zinc and Cadmiun in Soil. *Remediation Summer 2004*, Willey Periodicals Inc., p. 35-53.
 37. Mcgrath, S.P, Lombi , E. Zhao, F.J, & Dunhan, S.J. (2001). *Phytoremediationof heavy metals- Contaminated Soils: Natura Hyperaccumulation versus Chemical Industry.* Elsevier applied Sciencie.London. En: Pineda H. *Presencia de Hongos Micorrizicos Arbusculares y Contribución de Glomus intradarices en la absorción y*

- translocación de cinc y cobre en girasol (*Helianthus annuus* L.) crecido en un suelo contaminado con residuos de mina. Tesis (2004).
38. Kabata-Pendias, A. (2000). Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. *En: Prieto M. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosistemas* págs 29-44
 39. Kastori, R. (1988). Effect of excess lead on sunflower growth and photosynthesis. *Journal of plant Nutrition* 21:2 341-352.
 40. Lombi., E. et al .2003. Lability of Cd, Cu and Zn in Polluted Soil treated with Lime Beringite and Red Mud and Identification of a Non-Labile Colloidal Fraction of Metals Using isotopic Techniques, *Environmental Science & Technology*, 37 (5), 979-984
 41. Jiménez Gómez, S y Doadrio Villarejo, A.L Contaminación y salud, monografía XXII. 2017
 42. López-M. (2005). *Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas*. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21 (2) 91-100.

ANEXOS

**ANEXO 01: REGISTRO FOTOGRÁFICO - LUGAR DE MUESTREO DE SUELO
DISTRITO DE EL MANTARO.**



Fuente: Propia

ANEXO 02: PARCELA CON LA PLANTA SEMBRADA



Fuente: Propia

ANEXO 03: CANAL CIMIRN




Fuente: Propia

ANEXO 04: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS



Fuente: Propia

ANEXO 06: RESULTADOS DE LABORATORIO 2.



INFORME DE ENSAYO N° 3-07213/18

Pág. 2/2

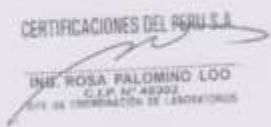
Ensayos	Resultados
Arsenio (mg/kg)	12.12
L.D. 0.050 mg/kg	
Cadmio (mg/kg)	0.022
L.D. 0.050 mg/kg	
Cromo (mg/kg)	26.38
L.D. 0.050 mg/kg	
Cobalto (mg/kg)	1.22
L.D. 0.050 mg/kg	
Cobre (mg/kg)	+0.0050
L.D. 0.050 mg/kg	
Galio (mg/kg)	0.42
L.D. 0.050 mg/kg	
Germanio (mg/kg)	+0.0222
L.D. 0.050 mg/kg	
Antimonio (mg/kg)	+0.020
L.D. 0.050 mg/kg	
Plomo (mg/kg)	+0.050
L.D. 0.050 mg/kg	
Mercurio (mg/kg)	220.15
L.D. 0.050 mg/kg	
Molibdeno (mg/kg)	+0.050
L.D. 0.050 mg/kg	
Manganeso (mg/kg)	+0.010
L.D. 0.050 mg/kg	
Niquel (mg/kg)	+0.030
L.D. 0.050 mg/kg	
Plata (mg/kg)	183.30
L.D. 0.050 mg/kg	
Selenio (mg/kg)	+0.050
L.D. 0.050 mg/kg	
Vanadio (mg/kg)	+0.0500
L.D. 0.050 mg/kg	
Zinc (mg/kg)	
L.D. 0.050 mg/kg	

Método:
 Método incluye por ICP-MS: Litio, Boro, Sodio, Magnesio, Aluminio, Silicio, Fósforo, Potasio, Calcio, Titanio, Vanadio, Cromo, Manganeso, Hierro, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinc, Selenio, Arsenio, Estroncio, Molibdeno, Plata, Cadmio, Estato, Antimonio, Talio, Bario, Wolframio, Mercurio, Talio, Plomo, Bismuto, Uranio. EPA-821A Inductively coupled plasma-mass Spectrometry.

OBSERVACIONES

Prohíbese la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certifiado de calidad de cantidad de la muestra que lo produce.

Calle: 09 de Febrero del 2018
 DV



DÑA. ROSA PALOMINO LOO
 C.I.P. N° 46202
 Jefe de Operación de Laboratorio

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 851, La Florida - Callao
 T. (011) 319 6000

CHIMBOTE
 Lta. José Carlos Martínez Arriaga
 Cerro Ochoa, Nuevo Chérida
 T. (043) 311 548

PIURA
 Urb. Argemiro de Av. Panamericana
 Km. 0 Km+1.050 - 02 - Piura
 T. (073) 322 938 / 9875 62181

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY POR LA AUTORIDAD COMPETENTE