



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL *Helianthus annuus* Y *Zea mays* COMO ACUMULADORES DE (Cd, Pb) PARA LA
RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS
CONTAMINADOS
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERIA AMBIENTAL

**AUTOR
JIMÉNEZ VÉLEZ CYNTHIA MARIUXI**

**TUTOR
ING. XAVIER VÉLEZ**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **XAVIER VÉLEZ GAVILANES**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL *Helianthus annuus* Y *Zea mays* COMO ACUMULADORES DE (Cd, Pb) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS”**, realizado por la estudiante **JIMÉNEZ VÉLEZ CYNTHIA MARIUXI**; con cédula de identidad N° 0956903496 de la carrera **INGENIERIA AMBIENTAL** Unidad Académica **Guayaquil**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Xavier Vélez Gavilanes
Tutor

Guayaquil, 13 de noviembre del 2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL *Helianthus annuus* Y *Zea mays* COMO ACUMULADORES DE (Cd, Pb) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS”** realizado por la estudiante **JIMÉNEZ VÉLEZ CYNTHIA MARIUXI**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Alex Ortega Vélez
PRESIDENTE

Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Karla Crespo León
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 13 de noviembre del 2020

Dedicatoria

El presente trabajo se los dedico principalmente a mis padres Wilma Rosa Vélez Vélez y Wilson Colon Jiménez Salazar, ya que son parte fundamental de mi vida y fueron mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día para la culminación de mi tesis de grado, les agradezco por nunca dejarme decaer, gracias por todo queridos padre este título de Ing. Ambiental es por ustedes.

A mi hermana Vilma Jiménez, quien me ha acompañado en toda mi carrera universitaria, agradezco su apoyo que como hermana nunca me ha faltado y a pesar de todos los obstáculos que se me presentaban he salido adelante con su ayuda.

A mis amigas incondicionales de la universidad, Karla Tello, Melissa Sangurima, Shirley Zurita y mi amigo Kevin García, gracias siempre por estar ahí cuando más necesitaba de su apoyo, y por su amistad que me brindaron a lo largo de la carrera, les estaré siempre agradecida.

Agradecimiento

Agradezco a Dios y a la Virgencita del Cisne por protegerme durante todo el camino y darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades. A la Universidad Agraria del Ecuador, por permitir formarme profesionalmente.

A los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador, Ing. Diego Arcos y Ing. Carlos Banchón Bajaaná, que impartieron todas sus enseñanzas a lo largo de la carrera universitaria.

A mis padres, tía, hermanas/o y amigas/os, por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir alegrías y fracasos.

Agradeciéndole al ing. Xavier Vélez, por ser mi tutor en este gran desafío, y por su valiosa guía y asesoramiento a lo largo del desarrollo de mi tesis.

Autorización De Autoría Intelectual

Yo, **JIMÉNEZ VÉLEZ CYNTHIA MARIUXI**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL *Helianthus annuus* Y *Zea mays* COMO ACUMULADORES DE (Cd, Pb) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS”** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 13 de noviembre de 2020

JIMÉNEZ VÉLEZ CYNTHIA MARIUXI

C.I.: 0956903496

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general	7
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	14
Resumen	15
Abstract.....	16
1. Introducción.....	17
1.1 Antecedentes del problema.....	17
1.2 Planteamiento y formulación del problema	20
1.2.1 Planteamiento del problema	20
1.2.2 Formulación del problema	22
1.3 Justificación de la investigación	22
1.4 Delimitación de la investigación	24
1.5 Objetivo general	24
1.6 Objetivos específicos.....	24
1.7 Hipótesis	25
2. Marco teórico.....	26
2.1 Estado del arte.....	26
2.2 Bases teóricas	30

2.2.1 Suelo contaminado	30
2.2.2 Fuentes de contaminación de metales pesados en suelos.....	30
2.2.3 Metales Pesados	32
2.2.3.1 <i>Cadmio</i>	33
2.2.3.1.1 <i>Fuentes de contaminación de cadmio</i>	33
2.2.3.2 <i>Plomo</i>	34
2.2.3.2.1 <i>Fuente de contaminación de plomo</i>	35
2.2.4 Metales pesados en los suelos agrícolas	35
2.2.5 Remediación.....	37
2.2.6 Fitorremediación	37
2.2.6.1 <i>Mecanismos de fitorremediación</i>	37
2.2.7 <i>Girasol (Helianthus annuus L.)</i>	41
2.2.8 <i>Maíz (Zea mays)</i>	42
2.3 Marco legal.....	42
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.....	42
2.3.2 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.....	43
2.3.3 Código orgánico ambiental (COA).....	44
2.3.4 Acuerdo Ministerial 061	45
2.3.5 Acuerdo ministerial 097 A	45
3. Materiales y métodos	48
3.1 Enfoque de la investigación	48
3.1.1 Tipo de investigación.....	48
3.1.2 Diseño de investigación	48
3.2 Metodología	48
3.2.1 Variables	48

3.2.1.1 Variable independiente	48
3.2.1.2 Variable dependiente	49
3.2.3 Recolección de datos	49
3.2.3.1 Recursos	49
3.2.3.2 Métodos y técnicas	50
3.2.3.2.1. Etapa 1	50
3.2.3.2.1 Etapa 2	51
3.2.3.2.2 Etapa 3	51
3.2.4 Análisis estadístico.....	52
3.2.4.1 Tablas de datos	52
3.2.4.2 Análisis de descriptivo	53
4. Resultados	54
4.1 Cálculo de la eficiencia de la Fitoextracción en diferentes especies vegetales.....	54
4.1.1 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Amaranthus hybridus L.</i>	54
4.1.2 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Brassica campestris L.</i>	56
4.1.3 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Brachiaria decumbes.</i>	57
4.1.4 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Capsicum annuum</i>	57
4.1.5 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Beta vulgaris, Lactuca sativa, y Geranium geranio</i>	58

4.1.6 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Zea mays</i> L.	59
4.1.7 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Pelargonium hortorum</i>	60
4.1.8 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Helianthus annuus</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i>	61
4.1.9 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Raphanus sativus</i> L.	62
4.1.10 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie <i>Brassica oleracea</i>	63
4.1.11 Porcentaje de remoción de Cd	64
4.1.12 Tiempo en la remoción de Cd	65
4.1.13 Porcentaje de remoción de Pb	66
4.1.14 Tiempo en la remoción de Pb	67
4.1.15 Factor de traslocación en las diferentes especies vegetales	68
4.1.15.1 Especies vegetales hiperacumuladoras de Pb y Cd	70
4.2 Determinación de las concentraciones de Cd y Pb en <i>Helianthus annuus</i> y <i>Zea mays</i>	71
4.2.1 Cd y Pb en la especie vegetal <i>Helianthus annuus</i>	71
4.2.1.1 Tasa de acumulación de Cd y TF en la especie vegetal <i>Helianthus annuus</i>	72
4.2.1.2 Tasa de acumulación de Pb y TF en la especie vegetal <i>Helianthus annuus</i>	74
4.2.2 Concentraciones de Cd y Pb en la especie vegetal <i>Zea mays</i>	75
4.2.2.1 Tasa de acumulación de Cd y TF en la especie vegetal <i>Zea mays</i>	76

4.2.2.2 Tasa de acumulación de Pb y TF en la especie vegetal <i>Zea mays</i>	77
4.3.3 Mecanismo en el proceso de absorción de los contaminantes inorgánicos a la planta.	79
4.3 Efectividad en la remoción de Cd y Pb en las especies vegetales	
<i>Helianthus annuus</i> y <i>Zea mays</i>	81
4.3.1 Eficiencia del <i>Helianthus annuus</i> y <i>Zea mays</i> en la remoción de Cd	81
4.3.2 Eficiencia del <i>Helianthus annuus</i> y <i>Zea mays</i> en la remoción de Pb	84
5. Discusión	89
6. Conclusiones	93
7. Recomendaciones	94
8. Bibliografía	95
9. Anexos	110

Índice de tablas

Tabla 1. Concentración de metales pesados en suelos.....	31
Tabla 2. Cantidad de metales pesados adicionados a los suelos agrícolas.	36
Tabla 3. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Amaranthus hybridus</i> L.....	55
Tabla 4. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Amaranthus hybridus</i> L. a 95 días	55
Tabla 5. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Amaranthus hybridus</i> L. a 125 días	56
Tabla 6. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Brassica campestris</i> L.....	56
Tabla 7. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Brachiara decumbes</i>	57
Tabla 8. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Capsicum annum</i>	58
Tabla 9. Eficiencia de remoción de Pb en <i>Beta vulgaris</i> , <i>Lactuca sativa</i> , <i>Geranium</i>	59
Tabla 10. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Zea mays</i> L.....	60
Tabla 11. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Pelargonium hortorum</i>	61
Tabla 12. Eficiencia de remoción de Pb en <i>Helianthus annuus</i> y <i>Phaseolus vulgaris</i>	62
Tabla 13. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Raphanus sativus</i> L.	63
Tabla 14. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en <i>Brassica oleracea</i>	64
Tabla 15. Interpretación de resultados para determinar las especies vegetales más eficientes en la fitoextracción para Cd y Pb mediante el TF.....	69
Tabla 16. Concentraciones en diferentes estudios en la especie vegetal <i>Helianthus annuus</i>	72
Tabla 17. Concentraciones en diferentes estudios en la especie vegetal <i>Zea mays</i>	76
Tabla 18. Criterios de calidad del suelo	110

Tabla 19. Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	110
--	-----

Índice de figuras

Figura 1. Curva de la eficiencia en la remoción de Cd en diferentes especies vegetales.....	65
Figura 2. Curva de la remoción de Cd con el factor tiempo	66
Figura 3. Curva de la eficiencia en la remoción de Pb en diferentes especies vegetales.....	67
Figura 4. Curva de la remoción de Pb con el factor tiempo	68
Figura 5. Plantas eficientes en la acumulación de Pb.....	70
Figura 6. Plantas eficientes en la acumulación de Cd.....	71
Figura 7. Factor de traslocación de Cd en <i>Helianthus annuus</i>	73
Figura 8. Factor de traslocación de Pb en <i>Helianthus annuus</i>	75
Figura 9. Factor de traslocación de Cd en <i>Zea mays</i>	77
Figura 10. Factor de traslocación de Pb en <i>Zea mays</i>	79
Figura 11. Fases en el proceso de acumulación de MP. en las plantas	80
Figura 12. Acumulación de Cd, con respecto al tiempo.	83
Figura 13. Remoción de Cd en el suelo.	84
Figura 14. Acumulación de Pb, con respecto al tiempo.	86
Figura 15. Remoción de Pb en el suelo.	87

Resumen

Con la finalidad de reducir la contaminación por metales pesados como Cd y Pb en suelos agrícolas. El uso de plantas es una de las estrategias para la remediación de suelos contaminados por Cd y Pb. En base a la revisión de los trabajos realizados alrededor del mundo el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de la fitoextracción en diferentes especies vegetales, con el fin propósito de determinar su eficacia para ser considerado como especie fitorremediador. La especie *Brassica oleracea* presentó mejor capacidad de absorción tanto para Pb y Cd a concentraciones de 300mg/Kg^{-1} . Comparando las dos especies más estudiadas en la remoción de Cd y Pb, para Pb la alternativa más eficiente se demostró en el *Helianthus annuus*, reportando una eficiencia del 33% en comparación del *Zea mays* que reporto 18%, expuestas a pH alcalinos. Mientras que el *Zea mays* es eficiente para la remoción de Cd obteniendo una remoción de 59.88%, convirtiéndola como planta fitoestabilizadora de Cd a suelos con pH <6. En conclusión, el *Helianthus annuus* puede participar en el proceso de fitoextracción en suelos contaminados con Pb, por su tolerancia e hiperacumulación en el tejido vegetal. Mientras que, el *Zea mays* participa como planta fitoestabilizadora en suelos contaminados con Cd; considerando para los dos casos la disposición final ambientalmente adecuada y prevenir su consumo.

Palabras clave: Fitoextracción, Acumulación, Factor de traslocación, pH, Metales pesados.

Abstract

In order to reduce contamination by heavy metals such as Cd and Pb in agricultural soils. The use of plants is one of the strategies for the remediation of soils contaminated by Cd and Pb. Based on the review of the works carried out around the world, the objective of this study was to evaluate the efficiency of phytoextraction in different plant species, in order to determine its effectiveness to be considered as a phytoremediator species. The *Brassica oleracea* species presented better absorption capacity for both Pb and Cd at concentrations of 300mg / Kg-1. Comparing the two most studied species in the removal of Cd and Pb, for Pb the most efficient alternative was demonstrated in *Helianthus annuus*, reporting an efficiency of 33% compared to *Zea mays* that reported 18%, exposed to alkaline pH. Whereas *Zea mays* is efficient for the removal of Cd obtaining a removal of 59.88%, converting it as a plant stabilizer of Cd to soils with pH <6. In conclusion, *Helianthus annuus* can participate in the phytoextraction process in soils contaminated with Pb, due to its tolerance and hyper-accumulation in plant tissue. While *Zea mays* participates as a phytostabilizing plant in soils contaminated with Cd; considering for both cases the environmentally adequate final disposal and preventing its consumption.

Keywords: Phytoextraction, Accumulation, Translocation factor, pH, Heavy metals.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

En el mundo se pierden 22.500 millones de toneladas de suelo por contaminación de metales pesados (Legña, 2018). Se considera un problema global causado por actividades humanas, principalmente por (actividades agrícolas, mineras y la industrialización) estos se han depositado gradualmente en el medio ambiente. (Soto, Olivera, Arostegui, Colina, & Garate Quispe, 2020). Por ejemplo, en Australia se estima que hay 80.000 sitios que sufren de contaminación del suelo. China ha clasificado el 16 % de su suelo total y el 19 % de su suelo agrícola como contaminado (FAO, 2018).

Además, en la UE se estima 3.250.000 y 3.600.000 de suelos potencialmente contaminados, gran totalidad de estos suelos presentan cantidades variables de metales pesados (Bayón Sanz, 2015). En España, se reporta 10.000 sitios contaminados, donde el 40% tiene problemas por metales pesados (ISM, 2016). Un estudio realizado por la Comunidad Autónoma de Madrid puntualiza que los contaminantes predominantes en los suelos son los metales pesados con un 59%, Hidrocarburos 19%, Hidrocarburos+MP 17%, y PCBs 5% (Bayón Sanz, 2015), Estos valores resultan alarmantes por lo que se requiere el uso de metodologías biológicas que permitan mejorar la calidad de este y reducir los niveles de contaminación del mismo.

Así mismo, dichas sustancias nocivas influyen a la degradación del suelo (Reategui & Reátegui, 2018). En América Latina y el Caribe el 33% de la tierra se han degradado, mientras que el 14% de las tierras están expuesta a la degradación (FAO, 2017). Y cada año provoca una pérdida de 5 y 7 millones de hectáreas de suelos cultivables en todos los continentes (Miren, 2015).

En Ecuador, información recopilada en varias provincias del país evidencian contaminación de cadmio en suelos, registrando mayores concentraciones de Cd en Guayas (3,43 mg/kg), seguido de Manabí (3,37 mg/kg), El Oro (2,16 mg/kg), Azuay (1,19 mg/kg), Santa Elena (0,97 mg/kg), Zamora (0,72 mg/kg), Napo (0,69 mg/kg), Morona (0,67 mg/kg), y Esmeraldas (0,59 mg/kg) (Muñoz, 2017), superando el límite máximo permitido de cadmio (0,5 mg/kg) en suelos, dispuesto en la norma técnica ambiental ecuatoriana (Escobar, 2016). Por lo tanto, la presencia de Cd en suelos del Ecuador, corresponde a las actividades antropogénicas, estimando que de las 300.000 toneladas de Cd que son liberadas cada año al medio ambiente, 4.000-13.000 son el resultado de las actividades humanas (Muñoz, 2017). Mientras que en el Pb la producción total de dicho metal ronda los 43 millones de toneladas/año (Andrade & Ponce, 2016), y el 95 % del Pb que se encuentra depositado en el ambiente es de origen antropogénico (Guartatanga & Siguencia, 2019).

En la actualidad, los problemas generados por metales pesados producen alteraciones en las plantas, y degradación del suelo lo que conlleva a la reducción y pérdida de su productividad (Romero Ledezma , 2009). En Centroamérica el 75 % de la tierra de cultivo se ha degradado (Viteri & Zambrano, 2016), en el caso del Ecuador alrededor del 49% de las tierras están degradados y un 22% se encuentra en proceso de desertificación, provincias como Manabí, Santa Elena, Chimborazo, Tungurahua y Cotopaxi presentan este problema ambiental (Alarcón, 2018).

Es necesario saber que el consumo de alimentos también se encuentra contaminados por metales pesados como Cd y Pb y presenta una problemática para la salud humana (Trujillo, Torres, & Mahecha, 2015). Cabe destacar que en 6

provincias del Ecuador en muestras de almendras de cacao evidenciaron elevadas concentraciones de Cd en la cual reportaron valores de 4,08 mg kg⁻¹ de Cd en la almendra en la Provincia de El Oro, seguido de Guayas y Manabí con 3,57 y 3,46 mg kg⁻¹ respectivamente, en cuanto a la provincia de Los Ríos se encuentro un promedio de 0,57 mg kg⁻¹, un mínimo de 0,23 mg kg⁻¹ y un máximo de 1,23 mg kg⁻¹ (Díaz, Medoza, Bravo, & Domínguez, 2018) .

Así también, (Huiracocha, 2018) destaca que en las provincias de Azuay, El Oro, y Guayas reportaron en plantas de arroz concentraciones de Cd (10.9 mg/Kg, 9.1 mg/Kg, y 3.7 mg/Kg), en la cuenca baja del río Guayas en humedales de arroz el Pb se encontró en los siguientes valores, reportando promedios de: (raíz 3.85 mg/Kg; tallo 2.3 mg/Kg; y hojas 1.9 mg/Kg) ,valores que superan al límite establecido por el Codex Alimentarius, es decir 0.2 mg/Kg de Cd. Es así como se puede constatar que concentraciones de Cd, Pb no solo provoca contaminación al suelo, si no también que se acumulan en las plantas lo que conlleva a problemas de salud para el ser humano.

Ante la problemática expuesta, el presente trabajo descriptivo se tomará como referencia para futuros trabajos en campo, en la provincia de Manabí para la recuperación de suelo de uso agrícola, ya que presentan concentraciones de metales pesados en suelos (Cd, Pb) mencionados anteriormente. Por tanto, el objetivo de este anteproyecto se enfocará en calcular mediante la fórmula de % de adsorción que nos ayudara a determinar la concentración removida de MP en el suelo, por diferentes especies vegetales que han sido objeto de estudio como plantas acumuladoras de MP, para así finalmente determinar la eficiencia de la fitoextracción para la remoción de metales pesados (Cd, Pb). Además, se determinará la concentración de (Cd, Pb) y el funcionamiento de la planta en el

proceso de absorción. Y, por último, se comparará las 2 especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays*, para recomendar el mejor en cuanto a su efectividad.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Los MP como el Cd y Pb son peligrosos por que tienden a bioacumularse, en suelos agrícolas conllevan a un problema ambiental debido a su persistencia en el ambiente ya que no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) (Peña River & Beltrán Lázaro, 2017). Provocando alteración en la fertilidad del suelo, al ecosistema y al ser humano (Cargua, 2010). Debido a que el daño que ocasiona es muy grave, se ha convertido en el tema actual de discusión en el campo ambiental como de salud pública (Mora & Medina, 2017).

En el Ecuador, la agricultura convencional hace uso de pesticidas, fertilizantes, y el uso inadecuado de plaguicidas de una forma indiscriminada, los cuales liberan Cd y Pb al sistema edáfico (Escobar, 2016). Fertilizantes fosfatados pueden aportar de 7 a 225 mg/kg⁻¹ de Pb y 0.1 a 170mg/kg⁻¹ de Cd; en cuanto a los fertilizantes nitrogenado se aporta de 2 a 27 mg/kg⁻¹ de Pb, y 0.05 a 8.5 mg/Kg⁻¹ Cd (Hernández, Juárez, Robledo, Díaz, & Acevedo, 2016).

Cabe mencionar que, el Cd llega al suelo de los terrenos agrícolas mediante, deposición aérea (41%), aplicación de fertilizantes fosfatados (54%), y por aplicación de abono de estiércol (5%) (Escobar, 2016). Así mismo, la utilización de aguas de calidad inadecuada para uso agrícola es otra de las causas de contaminación, tal es el caso en la provincia de Cotopaxi cantón la Maná, destacando que en haciendas bananeras utilizan para el riego de la plantaciones,

aguas provenientes de minas (Mora & Medina, 2017), destacando ser otra de las crecientes en las concentraciones de metales en suelos de cultivo.

Se menciona que en el año 2017, en las provincias de Manabí, El Oro, Napo, Zamora, Sucumbíos y Esmeraldas reportaron concentraciones de Cd, provocando el deterioro de la fertilidad del suelo, afectación en el rendimiento y deterioro de la calidad de los cultivos, ya que se encontraron valores de: 2,37 mg/Kg; 2,53 mg/Kg; 1,73 mg/Kg; 1,24 mg/Kg; 1,15 mg/Kg; 0,88 mg/Kg, en donde las provincias de Manabí y El Oro obtuvieron concentraciones máximas de Cd (Muñoz, 2017). Sobrepassando el nivel máximo 0.5 mg/kg de concentración de Cd en el suelo, que se establece en los criterios de calidad del suelo (Ministerio del Ambiente, 2018).

Así mismo, concentraciones de Pb se encontraron en la provincia de El Oro con un rango bajo de 1,7 mg/Kg y el más alto de 7,7 mg/kg (Mora & Medina, 2017), por tanto, altas concentraciones de Pb y Cd provoca alteraciones en el medio edáfico, afectación a la plantación, y por lo tanto riesgo de salud a los seres vivos.

Es importante, dar a conocer que el Cd y Pb además de contaminar el suelo presenta una problemática para la salud humana por el consumo de alimentos contaminados por Cd y Pb ya que se consideran tóxicos cuando se ingieren en cantidades superiores a los permisibles (Escobar, 2016). Por ejemplo en el Ecuador se detectó en el cultivo de café presencia de Pb valores de (8,70 mg Pb/Kg) mientras que, en suelos de cultivo para banano, cacao, café, palma y plátano se evidencio valores de (0,24 a 5,36 ppm) (Coyago & Bonilla, Absorción de Plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano, 2016). En las provincias de El Oro, Guayas,

Zamora, Los Ríos, Francisco de Orellana, Esmeraldas y parte tropical de Pichincha, reportaron la presencia de Cd superiores a 1 mg/kg^{-1} , entre las principales fuentes de contaminación fue el uso de agua provenientes de minas (Mite, Carrillo, & Durango, 2015).

Por lo tanto, se evidencia la entrada del metal a la cadena alimenticia, lo que conlleva a una problemática para la salud humana. Provocando intoxicación al organismo del cual se desatan un sinnúmero de enfermedades y malformaciones (Mora & Medina, 2017).

Con base a lo indicado, se permite evidenciar que en el Ecuador existe contaminación por Cd y Pb en tierras de cultivo, lo que conlleva a una solución para mitigar los impactos ocasionados por Cd y Pb, mediante el uso de técnicas de ingeniería.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de utilizar plantas acumuladoras de metales pesados como alternativa de biorremediación de suelos contaminados por Cd y Pb en el cantón Junín, Provincia de Manabí?

1.3 Justificación de la investigación

Los metales pesados hoy en día se consideran un grave problema tanto a nivel mundial como a nivel local, entre ellas la presencia de Cd y Pb en suelos de uso agrícola se debe a malas prácticas tales como el uso de riego de aguas contaminadas a los cultivos, y uso indiscriminado de agroquímicos, ha causado alteraciones al medio edáfico, y provocando disminución de la calidad de los productos, en las diferentes provincias del Ecuador. Mencionando que esto se debe a la falta de capacitación técnica hacia los agricultores (Palmira, 2015). Destacando que en el cantón de Junín provincia de Manabí se evidencia que sus

procesos productivos los realiza de forma tradicional, desconociendo los efectos negativos que sus actividades pueden generar al ambiente y a la calidad del medio edáfico, así mismo desconocen de las medidas adecuadas en el plano ambiental para el manejo del suelo para la protección de los ecosistemas (Andrade M. , 2015).

Con base a lo indicado, se justifica que este proyecto es una oportunidad importante para el aporte a futuros trabajos experimentales en campo en los sectores agrícolas principalmente en el cantón Junín de la Provincia de Manabí, que permitirá solucionar de manera práctica y eficiente la recuperación de suelos agrícolas contaminados.

Todo esto se logrará mediante un diagnóstico, que permitirá primero en identificar diferentes especies de plantas usadas para la remoción de metales pesados (Cd, Pb) en suelos contaminados, mediante información recopilada de: Artículos científicos, libros, trabajos de titulación, sitios webs, e informes, con la información obtenida se calculará el % de adsorción para determinar la eficiencia de cada planta en la remoción de metales pesados.

Por consiguiente, se determinará las concentraciones de Cd, Pb en las diferentes partes de la planta. Así mismo, el funcionamiento de la planta en el proceso de adsorción, todo esto se logrará mediante una revisión bibliográfica. Por último, mediante los resultados que se obtenga, se comparara las 2 diferentes plantas vegetales para concluir cual es más beneficiosa y apta, con la finalidad de que sea tomado como referencia el presente trabajo hacía los cantones que se dedican a la agricultura y presentan contaminación de suelos por dichos metales, en la provincia de Manabí.

El desarrollo de este proyecto tiene como propósito aportar de una manera más detallada la utilidad de implementar especies vegetales acumuladoras de Cd, Pb mediante el *Helianthus annuus* y *Zea mays*, así también de brindar conocimientos que aumenten la rentabilidad y eficacia de la aplicación de estas plantas, con la finalidad de que en la actualidad se la utilice como una técnica alternativa para la solución ante esta problemática ambiental. Destacando que es económicamente viable y práctico para realizar procesos de descontaminación. Así mismo posee un impacto regenerativo en lugares donde se aplica, ya que se ha demostrado su eficacia en la remoción de contaminantes inorgánicos sin provocar el deterioro en los suelos al que se aplica, en comparación a otras técnicas que son más invasivas y causan efectos adversos en el suelo. Por lo tanto, esta tecnología basada en el uso de planta contribuirá en disminuir la contaminación ambiental originada por metales pesados que se presenta en el medio edáfico de uso agrícola.

1.4 Delimitación de la investigación

Espacio: Provincia de Manabí

Tiempo: El trabajo descriptivo tuvo una duración de 2 meses

Población: La investigación será dirigida a la población del cantón Junín de la provincia Manabí.

1.5 Objetivo general

Analizar las especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays* como acumuladores de (Cd, Pb) para la recuperación de suelos agrícolas contaminados.

1.6 Objetivos específicos

- Calcular la eficiencia de la fitoextracción para la remoción de metales pesados (Cd, Pb) en diferentes especies vegetales mediante el porcentaje de adsorción.
- Determinar la concentración de los metales (Cd, Pb) y el funcionamiento de la planta en el proceso de absorción de metales pesados mediante revisión bibliográfica.
- Comparar el *Helianthus annuus* y *Zea mays* en términos de efectividad para la remoción de Cd, y Pb.

1.7 Hipótesis

El absorber los metales pesados de los cultivos agrícolas mediante plantas acumuladoras de metales pesados mitiga el impacto ambiental del recurso suelo.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Según Hernández, Juárez, Robledo, Díaz, & Acevedo (2016), en su artículo titulado “Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina” evaluaron la capacidad de extracción de metales pesados en residuos de mina mediante la especie estudiada *Helianthus annuus* incorporando nutrientes y composta, determinando que la acumulación de los metales pesados tales como el Pb, Zn y Cd se concentraron en las diferentes estructuras de la planta, detallando que en mayor proporción se acumularon en el tallo del girasol el Pb, Zn y Cd; mientras que, en la raíz se observó mayor % de concentración de Cu, Ni y Mn en comparación al tallo y hoja. Mencionando que en las hojas del girasol hubo menor acumulación de metales pesados. Finalmente concluyeron que la especie vegetal *Helianthus annuus* es efectiva en la acumulación de metales pesados principalmente en las raíces y tallos, sin embargo, mencionan que en cada tratamiento se originó un desarrollo deficiente del girasol a las propiedades físicas y químicas de los residuos de mina provocando en algunos casos desarrollo lento, y estrés fisiológico. Por lo que recomiendan evaluar la capacidad de acumulación de metales pesados con la especie vegetal *Helianthus annuus* en condiciones de campo.

Suaña (2017), evaluó la capacidad de absorción y acumulación de contaminantes en la organografía vegetal del *Helianthus annuus*. El tratamiento se realizó en dos ambientes de cultivo: ambiente controlado (Invernadero), y con el ambiente del exterior. Determinando en los resultados una concentración promedio de 24.36 mg/kg Cd en suelo de invernadero, mientras que en ambiente del exterior determinó una concentración de 21.76mg/Kg Cd. Por lo tanto, se

utilizó la especie *Helianthus annuus* para el proceso de absorción del metal teniendo como resultado: en la hoja una media de 0.21 mg/kg Cd, raíz 0.88 mg/kg Cd, y tallo 0.29 mg/kg de cadmio en las muestras de suelo exterior, mientras que en la muestra de suelo de invernadero obtuvieron 0.29 mg/kg Cd en la hoja, raíz 1.80 mg/kg Cd, y tallo 0.29 mg/kg Cd. El contenido de absorción de Cd por *Helianthus annuus* se presenta en la estructura radicular presentando un promedio de absorción de 5.716% Cd, tallo 1.217%, y hojas 0.529%. Finalmente concluyeron el potencial del *Helianthus annuus* como planta hiperacumuladora de cadmio y recomienda evaluar estudios con diferentes especies de vegetales para la absorción de otros metales.

Reategui & Reátegui (2018), evaluaron la capacidad de absorción y eficacia del *Helianthus annuus*, con el fin de considerarla como especie fitorremediador de suelos agrícolas contaminados con Cd. Aplicaron dosis de Cd de 10 mg/Kg ,80 mg/Kg, y 160 mg/Kg. Las raíces acumularon más del 70%, en las hojas se obtuvo un 15 % y en el tallo menos del 5 % de Cd, las concentraciones de Cd que obtuvieron en cada dosis de 10 mg/Kg ,80 mg/Kg y 160 mg/Kg determinaron mayor acumulación en la parte de la raíz. En dosis de 10 ppm se obtuvieron valores de 14.84 mg Cd/Kg en la raíz, 7.343 mg Cd/Kg en hojas, 1.31 mg Cd/Kg en el tallo; para dosis de 80 ppm obtuvieron 72.89 mg Cd/Kg en raíz, 16.815 mg Cd/Kg en las hojas, 7.05 mg Cd/Kg en las flores y 4.0825 mg Cd/Kg en el tallo; y finalmente en la dosis de 160 ppm valores de: 154.215 mg Cd/Kg en raíz, 36.8075 mg Cd/Kg en hojas, 24.075 mg Cd/Kg en tallo y 12.786 mg Cd/Kg en flores. En la dosis de 160 ppm aumento el % de extracción con un 41%, en esta última dosis la especie *Helianthus annuus* siguió generando tejido vegetal, por lo que siguió en el

proceso de extracción de Cd. Finalmente, concluyeron que el *Helianthus annuus* se comporta como planta hiperacumuladora de Cd en dosis de 160ppm.

Munive, Puertas, & Cabello (2020), analizaron la absorción de plomo y cadmio por el girasol, con la finalidad de reducir la contaminación por metales pesados, evaluando el efecto de los 2 tipos de enmiendas orgánicas utilizando el *Helianthus annuus*, encontrando concentraciones de Pb y Cd en las dos localidades, en la localidad de Muqui un promedio de 208 mg/Kg Pb en el suelo, en la localidad de Mantaro concentración de 1174 mg/kg de Pb, y para Cd baja concentración no mayores a 10 mg/kg para las dos localidades. El *Helianthus annuus* acumulo para Pb un promedio de 134,75 mg/Kg⁻¹ en raíz a comparación de hojas, tallos y flores obteniendo un promedio máximo de 28,38 mg/kg⁻¹ de Pb y finalmente en los tallos y flores un promedio máximo de 9,16 mg/kg⁻¹ de Pb, en cuanto al Cd en las 2 localidades obtuvieron en el *Helianthus annuus* una absorción de Cd entre 3,5 a 4,5 en la parte radicular. Concluyendo finalmente que en la parte radicular se extrae Pb y Cd a mayores concentraciones. A mayor concentración de Pb y Cd presente en el suelo mayor será la extracción de dichos metales, finalmente mediante los FBC determinaron a la planta como estabilizadora o exclusora para ambos metales y en cuanto a los FT indicaron la habilidad de fitoextraer metales pesados a bajas concentraciones.

Vilcapoma (2019), evaluó la especie vegetal *Lactuca sativa var.* para la fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados en la estación agropecuaria experimental Mantaro-Junín, en tres áreas de terreno. Durante la etapa final en el trabajo experimental destaco resultados óptimos en la fitoextracción de metales pesado en los 3 lotes de terreno, mencionando que en el lote A obtuvieron para Cd 13.15 mg/kg, Pb 28.47 mg/Kg, As 29.32mg/kg, Cr

14.17mg/kg, y Zn 227.86mg/kg, mientras que en el lote B obtuvieron para Cd 3.39 mg/kg, Pb 25.31 mg/Kg, As 31.14mg/kg, Cr 14.15 mg/kg, y Zn 221.01 mg/kg, finalmente en el lote C valores para Cd 2.67 mg/kg, Pb 20.06 mg/Kg, As 25.54 mg/kg, Cr 12.71 mg/kg, y Zn 149.18 mg/kg; en las raíces de la planta se obtuvo una mayor acumulación de todos los metales en los 3 lotes de estudio. Finalmente, la autora concluyo que la especie vegetal *Lactuca sativa* va actúa como planta acumuladora indicando también que es tolerante a altas concentraciones de estos metales.

Lizarbe, Rivera, Mendoza, Vera, & Rodríguez (2016), evaluaron el crecimiento del *Helianthus annuus*, mediante las adiciones de acondicionadores tanto orgánicos como inorgánicos para la fitoextracción de plomo, zinc y cadmio de relaves mineros. Procedieron a realizar 4 tratamientos mediante un periodo de 30 a 90 días, el *Helianthus annuus* logró crecer en los respectivos tratamientos y acumular en sus tejidos metales pesados tales como el Pb, Cd y Zn. Concluyendo una mayor acumulación de metales pesados en las raíces, obteniendo en el tratamiento 2 en un lapso de 90 días una mayor acumulación por el método de siembra directa valores de 4937.62 mg Pb/Kg mientras que en la parte aérea un valor de 586,63 mg Pb/kg. En conclusión, el *Helianthus annuus* presento mejores resultados en la fitoextracción de metales pesados como el Pb, Zn, y Cd en el tratamiento 2, destacando ser una especie acumuladora de MP.

Munive, Loli, Azabache, & Gamarra, (2018), aplicaron el *Zea mays L* para la remoción de Cd y Pb en suelos agrícolas de Mantaro y Muqui del valle adicionando compost de Stevia, determinando que los contenidos de estos metales superaban el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. En sus resultados obtenidos determinaron que en las raíces de la especie (*Zea*

mays L.) se presentaron mayores valores de extracción tanto de Pb y Cd ya que el compost y el vermicompost contribuyeron a la solubilización de estos metales, en conclusión la especie vegetal *Zea mays L.* presenta mayor relevancia en la acumulación de Pb cuando se presenta mayor concentración de este metal en el suelo, en comparación con el Cd que acumula mayor cantidad cuando presenta menor concentración, por lo que la determinan a la planta como exclusora o estabilizadora mediante los Factores de Bioconcentración (FBC) y translocación (FT).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suelo contaminado

Según Bayona (2014), define a un suelo contaminado como aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso procedentes de actividades antropogénicas en concentración tales que presentan un riesgo para la salud humana o el medio ambiente. Aunque la mayoría de los contaminantes son de origen antropogénicos, otros pueden ocurrir naturalmente en el suelo ya sea por componentes de minerales, estos pueden llegar a ser tóxicos si se presentan en concentraciones altas en el suelo (Eugenio, McLaughlin, & Pennock, 2019).

La contaminación del suelo puede ser causada por múltiples elementos y factores, se pueden incluir los productos fitosanitarios, fertilizantes, metales pesados, acidificación (lluvia acida, minería), residuos orgánicos de origen urbano o radiactividad (Alonso, Bermúdez, & Rafaelli, 2010).

2.2.2 Fuentes de contaminación de metales pesados en suelos

Los metales pesados pueden acumularse en el suelo a partir de procesos naturales (roca madre y los minerales metálicos) y de actividades antrópicas:

agricultura (fertilizantes, abonos animales, plaguicidas, etc.), la metalurgia (minería, fundición, manufactura metálica, etc.), la producción de energía (gasolinas con plomo, manufactura de pilas, plantas de energía, etc.) y la microelectrónica hasta los depósitos de residuos (Marín, 2008).

Todos los metales que pueden dar lugar a problemas de contaminación ambiental existen de forma natural en rocas, suelos, aguas, y aire, aunque casi todos en concentraciones mínimas que no causan efectos adversos (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002). Los contenidos de metales en suelos son debidos a la meteorización del material originario, como se presenta en la Tabla 1. (Bayona, 2014).

Tabla 1. Concentración de metales pesados en suelos

Parámetros Inorgánicos	Granito	Basalto	Esquisto	Caliza	Arenisca	Suelos
Cd	0.09	0.13	0.22	0.03	0.05	0.35
Co	1	35	19	0.1	0.3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5.50	30	30
Ni	0.5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5.7	10	35
Zn	52	100	120	20	30	90

Bayona, 2014

Sin embargo, producto de la actividad humana es lo que ocasiona el incremento de las concentraciones de metales pesados en el suelo, provocando serios problemas ambientales (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002).

Según Lázaro (2008), las actividades potencialmente contaminantes de metales pesados se determinan en 5 categorías, tales como:

- Industria: accidentes, vertidos, escapes o fugas, almacenamiento y deposición de residuos.
- Actividades mineras: con un riesgo generalmente asociado con el almacenamiento y deposición de escombreras, drenajes ácidos y el uso de ciertos reactivos químicos.
- Actividades de procesado de residuos: se estima que el 57% de los residuos municipales generados en la UE se llevan a un vertedero; el 87% en la CEE.
- Tráfico: a través de emisión de gases, pérdidas de aceites y gasolinas, abrasión de gomas de los neumáticos, etc.
- Otras actividades: productos de construcción usados sobre el suelo (hormigones, pinturas), prácticas inadecuada de agricultura (uso de fertilizantes y pesticidas) almacenamientos privados y comerciales (tanques, gasolineras), sistemas de tratamientos de aguas, etc.

Por otra parte, la concentración de metales pesados en suelo de uso agrícola puede verse incrementada por la adición de diversas sustancias (fertilizantes y plaguicidas) que pueden contenerlo en mayor o menor proporción (Miras, 2002).

2.2.3 Metales Pesados

Son aquellos elementos metálicos cuyo peso específico es mayor a 5g/cm^3 o con número atómico superior a 20, debido a su persistencia y efectos tóxicos que pueden ocasionar son considerados como polucionantes ambientales (García, Moreno, Hernández, & Polo, 2002). Se caracterizan por su bioacumulación, y toxicidad elevada, persistencia y biotransformación lo que da lugar a que perduren en el medio ambiente durante periodos largos (Hidalgo, 2019).

Los metales más comunes, que son ampliamente distribuidos como contaminantes son el Pb, Cd, Hg y el metaloide arsénico (Miranda, Carranza, Rojas, Jerez, & Zurita, 2011).

2.2.3.1 Cadmio

El Cd presenta un número atómico de 48 y peso atómico de 112.41g/mol, y valencia de 2 (Escobar, 2016) es un elemento no esencial y poco abundante, en la corteza terrestre presenta valores naturales de 0.1 a 0.2 ppm, por vía antrópica las concentraciones de este metal son incrementadas considerablemente, al medio ambiente se liberan 25.000 toneladas Cd , debido a su alta utilización en industrias y productos agrícolas (C. Reyes, Vergara, E. Torres, Díaz, & E. González, 2016). El Cd puede movilizarse a aguas subterráneas y superficiales para luego incorporarse a la cadena trófica (Reategui & Reátegui, 2018), además puede fijarse a tierras de cultivo, ya que en el suelo este metal proviene del uso de fertilizantes fosfatados, lo que produce una acumulación a lo largo de la cadena alimenticia tanto en plantas y animales (Escobar, 2016).

Valores de 300-400 ug/L determina un suelo contaminado por este metal (Sánchez, 2017). Causando severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal” (C. Reyes, Vergara, E. Torres, Díaz, & E. González, 2016).

2.2.3.1.1 Fuentes de contaminación de cadmio

Según Serrano, Casa, Puertas, Río, & Sandalio (2008), Entre los factores antropogénicos de contaminación de cadmio (Cd), saben destacar los siguientes según:

- **Emisiones atmosféricas:** Originadas de las minas metalúrgicas, las incineradoras municipales, y emisiones industriales procedentes de la producción de pigmentos para cristales, anticorrosivos, bacterias de Ni/Cd, e insecticidas.
- **Depósitos directos:** Uso de fertilizantes fosfatados principal fuente de contaminación de Cd en suelos donde se practica la agricultura, otras de las fuentes son los fangos procedentes de aguas residuales que se utilizan para el riego de los cultivos en la agricultura.
- **Contaminación accidental:** Ocurre debido a la contaminación de los suelos por procesos industriales, residuos de minería y corrosión de estructuras galvanizadas.

Debido a los problemas actuales provocados por la potencial toxicidad del cadmio, se ha intentado solucionar esta reducción de la concentración de este metal que se acumula en el medio edáfico, mediante nuevas tecnologías que permitan reducir su biodisponibilidad y movilidad, y solucionar este problema mediante métodos como la biorremediación (Sánchez, 2017).

2.2.3.2 Plomo

Elemento con número atómico 82, tiene una abundancia de 1,3 ppm en la corteza terrestre y se encuentra en la naturaleza en pequeñas concentraciones. Principalmente su dispersión en el ambiente proviene de diferentes actividades tales como la minera y quemas de combustibles (Velásquez, 2017). Menciona Bayona (2014) que la biodisponibilidad del Pb es mayor en suelos arenoso ácidos y con bajo contenido de materia orgánica, Algo frecuente en residuos mineros y en lixiviados de vertederos.

El Pb se encuentra en gran abundancia en la corteza terrestre por lo que su concentración en suelo no contaminado no supera los 20 mg/kg. Por tanto, concentraciones altas de este metal se debe principalmente a las actividades humanas, que conducen directamente a la contaminación (Tello Atiencia , 2015).

Según Burger & Román (2010), las emisiones naturales del Pb alcanzan a 19.000 Ton/año por desgastes geológicos y emisiones volcánicas. El 95 % del Pb depositado al ambiente es de origen antropogénico ya que se generan entre 120 a 130.000 Ton/año. Esto se debe a que es un metal muy utilizado ampliamente en diferentes ámbitos por lo que mayormente las fuentes de emisiones de contaminación por este metal son generadas básicamente de las industrias, minerías, y el consumo (Burger & Román, 2010).

2.2.3.2.1 Fuente de contaminación de plomo

Existen diferentes fuentes de contaminación por Pb y estas se encuentran en diferentes ámbitos, básicamente en la industrial y el consumo (Vallés, Fuentes, & Pons, 2018). Entre ellas se destaca: la minería, metalurgia, la combustión del carbón y productos derivados del petróleo, y lodos de las depuradoras de aguas, generando importantes emisiones por lo que contribuyen a la contaminación de los suelos por Pb.

2.2.4 Metales pesados en los suelos agrícolas

La entrada de metales pesados en suelos agrícolas se produce mayoritariamente, desde los fertilizantes, plaguicidas, y estiércol. Por ejemplo, los fertilizantes fosfatados aportan una cantidad importante de Cd al suelo, así mismo con el agua de riego y por el uso mayormente de enmiendas orgánicas y bio sólidos entre los que se destacan los lodos de depuradora y compost realizados a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) o de residuos industriales, son

importantes fuentes de metales en los suelos agrícolas (Mendoza, 2005). Cabe destacar que mediante el uso de arseniato de plomo se han llegado a encontrar en el suelo concentraciones de 50 mg/kg de Pb (Bayona, 2014).

Algunos metales pesados están directamente relacionados con fuentes específicas como: fertilizantes (Cd, Cr, Mo, Pb, Zn), plaguicidas (Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn), compost derivados de residuos sólidos convencionales (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) y del estiércol (Cu, As, Zn) (Trujillo, Torres, & Mahecha, 2015).

Las fuentes específicas que son adicionados a suelos agrícolas se detallan en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Cantidad de metales pesados adicionados a los suelos agrícolas.

Metal	Fertilizantes		Fitosanitarios	Estiércol	Lodos
	Fosfatados	Nitrogenados			
Cd	0.1-170	0.05-8.5	1-38-1.94	0.3-0.8	2-1500
Co	1-12	5.4-12	0.2-1.9	0.3-24	2-260
Cr	66-245	3.2-19	13	5.2-55	20-40600
Cu	1-300	1-15	12-50	2-60	50-33000
Ni	7-38	0.8-14	0.8-14	7.8-30	16-5300
Pb	7-225	60	60	6.6-15	50-3000
Zn	50-1450	1.3-25	1.3-25	15-250	700-49000

Bayona, 2014

Según Miras (2002), los riesgos que puede ocasionar la acumulación de MP en los suelos de cultivo son los siguientes:

- Puede afectar a la actividad microbiológica y, por tanto, limitar la actividad y/o eficacia de procesos vinculados a la misma y esenciales para la nutrición de los vegetales.

- Los metales pesados en los suelos pueden ser transferidos y contaminar otros comportamientos ambientales o bien, ser absorbidos por los vegetales, acumularse en sus tejidos y órganos y desde ellos pasar a la cadena trófica y al ser humano.

2.2.5 Remediación

Menciona Orroño (2002), que la remediación es un conjunto de técnicas que se aplican con el fin de eliminar o reducir la carga de elementos contaminantes en los suelos, por debajo de niveles tóxicos. Entre las diversas técnicas, se destaca la “fitorremediación”, que es la utilización de plantas para eliminar contaminantes del suelo.

2.2.6 Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas o cultivos con el fin de remover, transferir, estabilizar, concentrar, y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) tanto en el suelo, agua, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto *in situ* como *ex situ* (Reategui & Reátegui, 2018). El objetivo principal es la transferencia de contaminantes hacia la parte aérea de la planta. Un sistema eficiente de fitorremediación requiere de plantas que cumplan 2 requisitos previos siguientes: tolerancia a los metales y capacidad de acumulación (Absorción, desintoxicación, y quelación) (Orroño, 2002).

2.2.6.1 Mecanismos de fitorremediación

Menciona Reategui & Reátegui (2018), que los métodos o técnicas biológicas empleadas en el mecanismo de la fitorremediación son la fitodegradación, fitoestimulación, fitovolatilización, fitoextracción y rizofiltración”.

- Fitodegradación

López, Gallegos, Pérez, & Rojas (2005) menciona que consiste en la transformación de los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. Proceso el cual las plantas degradan los compuestos orgánicos, lo que conlleva a que estos compuestos sean absorbidos y metabolizados.

- Fitoextracción

Consiste en traslocar los metales a través de las diversas partes de la planta, la cual según su taxonomía tienen preferencia por algún metal o metales pesados. La instalación del cultivo de este tipo de plantas no tiene muchas exigencias, pero tienen que realizarse durante 7 a 8 años para obtener un suelo libre de contaminación (Orozco, 2016).

Terminada la fitoacumulación se recomienda incinerar la parte cosechable, llegando a tener la cantidad de ceniza alrededor del 10% del volumen de los desechos que habría que eliminar si se excavara el suelo contaminado para tratarlo (Orozco, 2016).

- Evaluación de la fitoextracción

La evaluación de la fitoextracción se lleva a cabo mediante, el factor de translocación. La relación entre la concentración del metal en la parte aérea, con respecto a su concentración en las raíces (Brian J, 2012).

Y este factor es utilizado además para saber durante cuánto tiempo del cultivo de la planta obtendremos suelos aceptables. La acumulación o exclusión de metales en la planta se evalúa utilizando el factor de bioconcentración (BCF) y la movilidad de los metales en la planta por el factor de translocación (FT). El factor de bioconcentración se determina relacionando la concentración del metal en la raíz sobre la concentración total en el suelo (Brian J, 2012).

- Factor de Bioconcentración

$$FCBC_{raíz} = \frac{(metal)_{raíz}}{(metal)_{suelo}}$$

$$FCBC_{aérea} = \frac{(metal)_{aérea}}{(metal)_{suelo}}$$

Donde:

$FCBC_{raíz}$: Factor de bioconcentración en la raíz de la planta

$FCBC_{aérea}$: Factor de bioconcentración en la parte aérea

(metal) raíz: Concentración del metal en la raíz de la planta

(metal) aérea: Concentración del metal en la parte aérea de la planta

(metal) suelo: Concentración del metal en el suelo

Si el BCF aérea < 1 planta es excluyente

Si el $1 < BCF \text{ aérea} > 10$ la planta es acumuladora

Si el BCF aérea > 10 la planta es hiperacumuladora

- Factor de translocación

$$TF = \frac{(metal)_{aérea}}{(metal)_{raíz}}$$

Donde:

TF: Factor de translocación

(metal) raíz: Concentración del metal solo en la raíz de la planta.

(metal) aérea: Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta

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

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

Para considerar viable el proceso de la fitoextracción es importante que la acumulación del contaminante tenga lugar en la parte aérea de la planta, fácilmente cosechable, aunque algunos autores consideraron la extracción de las raíces como una opción también viable en algunos casos. Además también se hace mención a utilizar especies de plantas que presentan una acumulación de metales pesados muy considerable en sus partes aéreas a este tipo de plantas se las considera hiperacumuladoras (Lázaro, 2008).

- Fitoestabilización

Es una tecnología, donde se utiliza ciertas plantas para inmovilizar contaminantes en suelos a través de su absorción y acumulación en las raíces, adsorción en las raíces o precipitación por la presencia de exudados orgánicos. Las plantas utilizadas no deben ser comestibles ni por los seres humanos y casi mínima por animales (Lázaro, 2008).

- Fitovolatilización

En este proceso de descontaminación se capta contaminantes volátiles como el Hg, que trasloca por la planta y volatiliza a la atmosfera. La gran ventaja que presenta es que no es necesaria la cosecha, ni la disposición de biomasa (Lázaro, 2008).

- Rizofiltración

(Lázaro, 2008), menciona que se basa en que algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, bacterias y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces. Así también el uso de plantas terrestres desarrolladas en cultivos hidropónicos con la finalidad de absorber, concentrar, y precipitar metales pesados en medios acuáticos.

- Fitoestimulación

En este proceso los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de llevar a cabo la degradación de contaminantes orgánicos (López, Vong, Borges, & Olguín, 2004).

2.2.7 Girasol (*Helianthus annuus L.*)

Planta oleaginosa perteneciente a la familia Asterácea, es de importancia mundial para la alimentación animal y humana, especialmente por el alto contenido de aceite (40%) que poseen sus aquenios (Alezones, Casanova, & Laurentin, 2014).

El *Helianthus annuus* es una especie anual con flores agrupadas en grandes capítulos de unos 30 cm de diámetro (Andrés, Ollivier, Heras, & Burgaz, 1994). Posee una facilidad de manejo en su cultivo, se adapta fácilmente a un amplio intervalo en la variación de temperatura crece en suelos secos y soleados, presenta desarrollo vigoroso en todos sus órganos, sus raíces pueden explorar capas profundas del suelo, cabe destacar que dentro de esta especie existen numerosos tipos o subespecies cultivadas como plantas ornamentales, oleaginosas y forrajeras (Ruiz, Rebaza, Espejo, & Padilla, 2012).

Cabe mencionar que el *Helianthus annuus* es una planta ampliamente estudiada y reconocida como especie fitorremediadora ya que por su alta capacidad radicular puede extraer del 10 al 25 % de los metales contaminantes del suelo (Gutiérrez Espinoza, Melgoza Castillo, Alarón Herrera , & Ortega Gutiérrez, 2011). Destaca Ruiz, Rebaza, Espejo, & Padilla (2012) que el *Helianthus annuus* es reportado por su capacidad de acumular metales y responder con una alta biomasa radicular. Toleran altos niveles de metales pesados en comparación con otros grupos taxonómicos y se ha propuesto como

especies fitorremediador, extrae entre 10 al 25 % de los metales pesados en toda la biomasa de la planta, esta especie absorbe MP en grandes cantidades considerándola como planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb, As y elemento radiactivos, no obstante presenta una baja tolerancia al cromo comparado con otras plantas acumuladoras (Yelitza & Sunilde, 2013).

2.2.8 Maíz (*Zea mays*)

Planta monocotiledónea, anual de la familia de las gramíneas oriunda de América, presenta numerosas raíces (Falcón Estrella, 2016). Originario de América las variedades se clasifican de acuerdo con la duración de su ciclo vegetativo, por una parte, y, según las características de sus granos por otra (color, forma, textura) (IICA, 1989).

Según Pasto, Ginés, & Hernández (2012), mediante un estudio previo titulada “Respuesta del maíz (*Zea mays*) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto” determinaron en los resultados que las hojas del maíz acumulan elevada dosis de metales cuando este cultivo crece en suelos contaminados por los mismos. Esto hace que se piense en el maíz como una planta acumuladora especialmente de Cd, As, Cu, Mn, Pb y Zn, y se hable de ella para fines de fitorremediación de suelos contaminados por dichos metales.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

En el capítulo segundo: Derechos del buen vivir; Sección segunda: Ambiente sano, se destaca el siguiente artículo establecido en (Ministerio del Ambiente, 2018):

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak Kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio

genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Ministerio del Ambiente, 2018, pág. 14).

En la (Ministerio del Ambiente, 2018), se establece en el capítulo segundo: Biodiversidad y recursos naturales; Sección segunda: Biodiversidad, el siguiente artículo:

Art. 400.- El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país (Ministerio del Ambiente, 2018, pág. 194).

Así mismo, en la sección quinta: Suelo, se destacan los siguientes artículos:

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión (Ministerio del Ambiente, 2018, pág. 196).

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria (Ministerio del Ambiente, 2018, pág. 196).

2.3.2 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

En el (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012) del Capítulo III: De la prevención y control de la contaminación de los suelos, se mencionan los siguientes artículos:

Art. 10.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 2).

Art. 11.- Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 2).

Art. 12.- Los Ministerios de Agricultura y Ganadería y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, limitarán, regularán o prohibirán el empleo de sustancias, tales como plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, desfoliado res, detergentes, materiales radioactivos y otros, cuyo uso pueda causar contaminación (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 2).

Art. 13.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural. En igual forma estos Ministerios, en el área de su competencia, en coordinación con la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, limitarán, regularán, planificarán y supervisarán todo lo concerniente a la disposición final de desechos radioactivos de cualquier origen que fueren (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 2).

Art. 14.- Las personas naturales o jurídicas que utilicen desechos sólidos o basuras, deberán hacerlo con sujeción a las regulaciones que al efecto se dictará. En caso de contar con sistemas de tratamiento privado o industrializado, requerirán la aprobación de los respectivos proyectos e instalaciones, por parte de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 3).

Art. 15.- El Ministerio del Ambiente regulará la disposición de los desechos provenientes de productos industriales que, por su naturaleza, no sean biodegradables, tales como plásticos, vidrios, aluminio y otros (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 3).

Art. 16.- Se concede acción popular para denunciar ante las autoridades competentes, toda actividad que contamine el medio ambiente (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 3).

Art. 17.- Son supletorias de esta Ley, el Código de la Salud, la Ley de Gestión Ambiental, la Ley de Aguas, el Código de Policía Marítima y las demás leyes que rigen en materia de aire, agua, suelo, flora y fauna.

Disposición Final.- Las disposiciones de esta Ley, las reformas y derogatorias están en vigencia desde la fecha de las correspondientes publicaciones en el Registro Oficial (Sistema Integrado de Lesgilación Ecuatoriana , 2012, pág. 3).

2.3.3 Código orgánico ambiental (COA)

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;
2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;
3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;
4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;
5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;
6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;
7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;
8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;
9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente;

10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;

11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho; y,

12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática ya los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas (MAE, 2017, pág. 12)

Art. 6.- Derechos de la naturaleza. Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración (MAE, 2017, pág. 12).

Para la garantía del ejercicio de sus derechos, en la planificación y el ordenamiento territorial se incorporarán criterios ambientales territoriales en virtud de los ecosistemas. La Autoridad Ambiental Nacional definirá los criterios ambientales territoriales y desarrollará los lineamientos técnicos sobre los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza (MAE, 2017, pág. 12).

2.3.4 Acuerdo Ministerial 061

En la reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del (Ministerio del Ambiente , 2015), en el Capítulo VIII: Calidad de los Componentes Bióticos y Abióticos; Sección III: Calidad de Componentes Abióticos; Parágrafo II: Del Suelo, se mencionan los siguientes artículos:

Art. 212 Calidad de Suelos. - Para realizar una adecuada caracterización de este componente en los estudios ambientales, así como un adecuado control, se deberán realizar muestreos y monitoreos siguiendo las metodologías establecidas en el Anexo II y demás normativa correspondiente. La Autoridad Ambiental Competente y las entidades del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, en el marco de sus competencias, realizarán el control de la calidad del suelo de conformidad con las normas técnicas expedidas para el efecto. Constituyen normas de calidad del suelo, características físico-químicas y biológicas que establecen la composición del suelo y lo hacen aceptable para garantizar el equilibrio ecológico, la salud y el bienestar de la población (Ministerio del Ambiente , 2015, pág. 47).

Art. 213 Tratamiento de Suelos Contaminados. - Se lo ejecuta por medio de procedimientos validados por la Autoridad Ambiental Competente y acorde a la norma técnica de suelos, de desechos peligrosos y demás normativa aceptable. Los sitios de disposición temporal de suelos contaminados deberán tener medidas preventivas eficientes para evitar la dispersión de los contaminantes al ambiente (Ministerio del Ambiente , 2015, pág. 47).

Art. 214 Restricción.- Se restringe toda actividad que afecte la estabilidad del suelo y pueda provocar su erosión (Ministerio del Ambiente , 2015, pág. 47).

2.3.5 Acuerdo ministerial 097 A

En este acuerdo se encuentran los Anexos del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, en el Anexo 2 nos indica: la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, se destacan los siguientes contenidos (Ministerio del Ambiente, 2018):

4.3.1 Suelos contaminados

4.3.1.1 Los causantes y/o responsables por acción y omisión de contaminación al recurso suelo, por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de materiales peligrosos, deben proceder a la remediación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma.

4.3.1.2 La autoridad Ambiental Competente debe exigir al causante y/o responsable, la remediación integral y/o restauración del sitio contaminado, y el seguimiento de las acciones de remediación hasta alcanzar los objetivos o valores establecidos en la presente norma.

4.3.1.4 Cuando por cualquier causa se produzcan derrames, infiltraciones, descargas o vertidos de residuos o materiales peligrosos de forma accidental sobre el suelo, áreas protegidas o ecosistemas sensibles, se debe aplicar inmediatamente medidas de seguridad y contingencia para limitar la afectación a la menor área posible, y paralelamente poner en conocimiento de los hechos a la Autoridad Ambiental Competente, aviso que debe ser ratificado por escrito dentro de las 24 horas siguientes al día en que ocurrieron los hechos.

4.4 Criterios de Calidad de Suelo y Criterios de Remediación

4.4.1 Caracterización inicial del suelo.- La calidad inicial del suelo presentado por el proponente, como parte del Estudio de Impacto Ambiental, constituirá el valor referencial respecto al cual se evaluará una posible contaminación del suelo, en función de los parámetros señalados en la **TABLA 1 (Ver en Anexos como Tabla 18)**.

Si por origen antropogénico los valores son superiores a los establecidos en la **TABLA 1 (Ver en Anexos como Tabla 18)**, la Autoridad Ambiental Competente exigirá al causante y/o responsable aplicar un programa de remediación. Los valores de los parámetros deberán cumplir con los criterios de remediación de la **TABLA 2 (Ver en Anexos como Tabla 19)**.

, según el uso de suelo que corresponde.

4.4.2 Criterios de calidad del suelo. - Los criterios de calidad del suelo son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante presente en el suelo. Estos valores pueden ser el resultado de la evolución natural del área, a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas. Los criterios de calidad constan en la **TABLA 1 (Ver en Anexos como Tabla 18)**.

4.4.3 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera que desarrolle actividades que tengan el potencial de afectar al recurso suelo, presentará periódicamente a la Autoridad Ambiental Competente un informe de monitoreo de la calidad del suelo, reportando los parámetros aplicables para el uso respectivo, según consta en la **TABLA 2 (Ver en Anexos como Tabla 19)**, y los que la Autoridad Ambiental disponga. La Periodicidad y el plan de monitoreo deben ser establecidos en el Plan de Manejo Ambiental del proyecto, obra o actividad o conforme la Autoridad Ambiental Competente lo disponga.

4.4.4 Criterios de remediación del suelo.- Los criterios de remediación se establecen de acuerdo al uso del suelo, tiene el propósito de establecer los

niveles máximos de concentración de contaminantes en un suelo luego de un proceso de remediación, son presentados en la **TABLA 2 (Ver en Anexos como Tabla 19)**.

4.7. Remediación del suelo

4.7.1.2 La remediación del suelo se ejecutará utilizando la mejor tecnología disponible, atendiendo a las características propias de cada caso, buscando soluciones que garanticen la recuperación y el mantenimiento permanente de la calidad del suelo

4.7.1.3 Se privilegiarán las técnicas de remediación in situ. El traslado de suelos contaminados para tratamiento y/o disposición ex situ sólo será posible en casos especiales, debidamente justificados ante la Autoridad Ambiental Competente, quien autorizará expresamente su ejecución.

4.7.1.4 Se utilizará la Tabla 2 para establecer los límites para la remediación de suelos contaminados de la presente norma y/o de la normativa sectorial correspondiente.

4.7.2. De los resultados de la Remediación

4.7.2.2 En el caso de que la remediación no permita alcanzar los niveles establecidos en la Tabla 2 de la presente norma, ya sea por razones técnicas, ambientales o de otra índole, apropiadamente justificadas, la Autoridad Ambiental Competente podrá aceptar soluciones orientadas a reducir la exposición a los contaminantes de personas y/o ecosistemas, para lo cual se pondrán en práctica medidas de contención, de confinamiento, o de otro tipo, de los suelos afectados. Esto, no obstante, no libera al sujeto de control de responsabilidades ulteriores (Ministerio del Ambiente, 2018, págs. 31,33,34).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva ya que se encarga de describir las características de un evento, situación o experimento con el fin de comprenderlo de mejor manera, la información se reunirá de diversas fuentes; las principales serán estudios investigativos de bibliotecas virtuales y otras fuentes académicas sobre el uso de *Helianthus annuus* (girasol) y el Maíz como parte fundamental o complementaria de métodos biológicos para favorecer la bioacumulación de Cd y Pb en sus estructuras para su posterior retiro y medición. Los suelos en cuestión se presentan con grave contaminación por la presencia de metales pesados que destruyen la constitución del mismo.

3.1.2 Diseño de investigación

El presente trabajo investigativo no es experimental, la metodología que se utilizará no tendrá variables que sean modificables. La información consultada, se seleccionará, clasificará, tabulará, ordenará y se comparará para finalmente realizar un análisis pertinente de lo cual trata el tema establecido.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Se describen las siguientes variables a tomarse en cuenta:

3.2.1.1 Variable independiente

- Concentración de Cd y Pb: Se tomarán en cuenta estos valores en el suelo contaminado, su unidad de medición será los ppm o mg/g según sea el caso.

- Tipo de ambiente: Se enfatizarán los tipos de suelo contaminado, además del clima donde se desarrollan los experimentos. El suelo depende de la clasificación general y los climas por la localidad donde se halle el estudio.
- Especies de plantas: Se utilizarán las plantas de *Helianthus annuus* y *Zea mays* como Fitoextractores de metales pesados.

3.2.1.2 Variable dependiente

- Cantidad de concentración extraída de Pb: Depende del análisis realizado en el estudio de fitorremediación, la unidad de medida será en ppm o mg/g.
- Cantidad de concentración extraída de Cd: Depende del análisis realizado en el estudio de fitorremediación, la unidad de medida será en ppm o mg/g.
- Cantidad de contaminante en la planta: Depende del tipo de planta y la cantidad que bioacumule la misma en partes de su estructura, la unidad de medida se dará en ppm o mg/g.

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1 Recursos

Como recursos se tomaron en cuenta las siguientes fuentes de información y gestionamiento de información:

- Computadora.
- Internet.
- Bibliotecas Virtuales.
- Libros.
- Revistas científicas.

3.2.3.2 Métodos y técnicas

Para la ejecución del proyecto, se llevarán a cabo tres etapas que permitirán al final proponer el mejor tratamiento, para la recuperación de suelos contaminados en los sectores agrícolas de la provincia de Manabí.

3.2.3.2.1. Etapa 1

En el cálculo para determinar la eficiencia de la fitoextracción en la remoción de metales pesados (Cd, Pb) en diferentes especies vegetales, mediante el % de adsorción. La metodología que se aplicara es:

- Recolección y selección de datos:

Para el desarrollo de este punto, se identificará a través de material bibliográfico, diferentes especies vegetales que han sido aplicados en la remoción de metales pesados, una vez obtenida la información se procederá a calcular mediante la fórmula de % de adsorción, la concentración acumulados en las diferentes especies vegetales, con la finalidad de determinar la eficiencia de la fitoextracción.

A continuación, se detalla la fórmula antes mencionada:

$$\% \text{ de adsorción} = \frac{\text{Concentración en planta}}{\text{Concentración en el suelo}} \times 100$$

Donde:

% adsorción = cantidad porcentual de contaminante extraído por la planta del suelo.

Una vez aplicada la fórmula, se recopilarán los datos para determinar en cada una de las diferentes especies vegetales el % de contaminante extraído del suelo, obtenido los datos se procederá a realizar las respectivas tabulaciones que permitirá comprender de mejor manera los resultados que se obtienen del cálculo.

3.2.3.2.1 Etapa 2

Para la determinación de la concentración de los metales (Cd, Pb) y el funcionamiento de la planta en el proceso de absorción de metales pesados. Se recopilará la información pertinente mediante revisiones bibliográficas, con la finalidad de representarlos en un modelo de tabla la concentración de los metales (Cd, Pb) en las partes de la planta (ya que se acumulan heterogéneamente en toda la estructura florística), para finalmente proceder a detallar el proceso de absorción en la planta.

3.2.3.2.2 Etapa 3

Para comparar los dos tratamientos en términos de efectividad y poder recomendar el mejor. Se realizará mediante el siguiente método:

- Método comparativo

Consiste en la comparación sistemática de casos de análisis que en su mayoría se aplica con fines de generalización empírica y de la verificación de hipótesis para establecer sus similitudes y diferencias y de ello sacar conclusiones que definan un problema (McKernan, 2001).

Tomando en cuenta este método se considerarán diversas variables, la cantidad de Pb y Cd que se encuentran en los suelos contaminados, el ambiente donde se desarrolla los procesos de remediación, y el tipo de planta, estos datos se obtendrán de los resultados de la realización de las 2 etapas mencionados anteriormente, con la finalidad de determinar la efectividad entre las 2 especies vegetales, y por último concluir cual es la más prometedora en la fitoextracción de metales pesados (Cd, Pb).

Todos estos procesos son necesarios para cumplir con los objetivos propuestos, los cuales se encargarán de calcular, describir y comparar diversos

aspectos de los suelos contaminados y las especies de plantas usadas para la remediación de suelo de uso agrícola.

3.2.4 Análisis estadístico

El proyecto de tesis hará uso de un análisis descriptivo en base a la estadística del mismo tipo, lo que conlleva al uso de distintos gráficos y tablas de datos que dadas sus características visibles se podrán utilizar para realizar una comparación cualitativa y cuantitativa (sea el caso) representando las variables que intervienen en la acumulación y extracción de los metales pesados de los suelos contaminados por Cd y Pb, esto gracias a las consultas realizadas a los estudios de diversos autores, por consiguiente se pueden basar a las características del estudio o a los datos numéricos encontrados en ellos.

Adicionalmente, al empezar el proyecto, se realizará el cálculo del % de adsorción, la cual nos indicará el % de remoción de metales pesados (Cd, Pb) con la finalidad de concluir la eficiencia de la fitoextracción en las diferentes especies vegetales.

3.2.4.1 Tablas de datos

Se utilizarán principalmente para registrar una serie de información primaria de la investigación, donde también tendrán la función de ordenarla y gestionarla dependiendo del tipo de información analizada. Este insumo se utilizará para presentar en orden y de una manera entendible los datos a usarse en la ejecución del presente proyecto, entre la información a considerar está el porcentaje de adsorción de los metales removidos en distintos casos que compartan características además de su metodología de extracción, cuantificación y proceso.

3.2.4.2 Análisis de descriptivo

El presente trabajo cuenta con un tipo de análisis descriptivo, ya que describirá las características relevantes de un conjunto de datos, ya que ayudará a comprender de manera detallada los datos obtenidos de registro u observaciones.

En este caso, mediante este tipo de estadística, se realizarán las evaluaciones efectuadas y el análisis descriptivo correspondiente, esto con el fin de generar información analítica extra para comparar los métodos en lo que respecta al tratamiento fitorremediador en base al uso de *Helianthus annuus* y *Zea mays* como removedores de metales pesados (Pb y Cd) en los suelos en cuestión, se incluirá además en el análisis la cantidad de concentración del contaminante ubicado en las distintas partes de las plantas.

4. Resultados

4.1 Cálculo de la eficiencia de la Fitoextracción en diferentes especies vegetales.

Formula a utilizar:

$$\% \text{ de adsorción} = \frac{\text{Concentración en planta}}{\text{Concentración en el suelo}} \times 100$$

Donde:

% adsorción = cantidad porcentual de contaminante extraído por la planta del suelo.

Mediante la aplicación de esta fórmula determine la eficiencia del proceso acumulativo en la fase fitoextractiva de diferentes especies, la cual concluí el % de remoción de Cd y Pb, destacando que la fitoextracción hace referencia a la absorción de MP del suelo por las raíces de las plantas y su transporte a las partes aéreas o cualquier parte que sea recolectable. Por lo tanto, se determinó mediante revisión bibliográfica plantas que hayan sido objeto de estudio en el proceso de fitoextracción y tener la habilidad de tolerar altas concentraciones de Cd y Pb.

4.1.1 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Amaranthus hybridus L.*

En la **Tabla 3**, se observa la cantidad de contaminante acumulado en la estructura de la planta, se presenta mayor acumulación en la parte radicular a concentraciones de 15 mg/Kg-1 de Cd y 300 mg/Kg-1 de Pb y una eficiencia del 59% al 77% de Cd y Pb. A medida que la planta se desarrollaba en los días 95 y 125 presentando mayor concentración de Cd y Pb en hoja, tallo y raíz respectivamente como se indica en la **Tabla 4** y **Tabla 5**. El *Amaranthus hybridus L* se considera hiperacumuladora de Pb. La capacidad de hiper-acumulación del *Amaranthus hybridus L.* se afirma en la teoría dispuesta por (Bonilla Valencia,

2013), la capacidad de hiper-acumulación en *Amaranthus hybridus L.* se presenta a medida que aumenta el tamaño y edad de la planta, presentando capacidad para remediar suelos contaminados por Pb.

Amaranthus hybridus L., tiene capacidad fitoextractora, obteniendo una eficiencia del 85 al 100%. Afirmando la teoría dispuesta por Falcón Estrella (2016), para que la planta sea considerada como fitoextractiva de MP deben acumular, traslocar y resistir altas concentraciones de MP durante su ciclo de desarrollo.

Concluyendo que, *Amaranthus hybridus L.* se considera planta eficiente en la fitoextracción de Cd y Pb en el trabajo desarrollado por Ortiz, Calzada, Cepeda, & Arreola (2009), titulado “Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus L.*) y micorrizas”.

Tabla 3. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Amaranthus hybridus L.*

Género/ Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1			%
		Raíz 65días	Tallo 65días	Hoja 65días	
<i>Amaranthus hybridus L.</i>	mg/Kg ⁻¹				Eficiencia
Cd	15	4.3	2.4	2.2	59%
Pb	300	85	65	80	77%

Eficiencia en la especie vegetal *Amaranthus hybridus L.* a los 65 días.
Autora, 2020

Tabla 4. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Amaranthus hybridus L.* a 95 días

Género/ Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1			%
		Raíz 95días	Tallo 95días	Hoja 95días	
<i>Amaranthus hybridus L.</i>	mg/Kg ⁻¹				Eficiencia
Cd	15	4.5	2.1	3.5	67%
Pb	300	119	75	90	95%

Eficiencia en la especie vegetal *Amaranthus hybridus L.* a los 95 días.
Autora, 2020

Tabla 5. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Amaranthus hybridus L.* a 125 días

Género/ Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1			%
		Raíz 125días	Tallo 125días	Hoja 125días	
<i>Amaranthus hybridus L.</i>	mg/Kg ⁻¹				Eficiencia
Cd	15	5	3.3	4.4	85%
Pb	300	120	80	100	100%

Eficiencia en la especie vegetal *Amaranthus hybridus L.* a los 125 días.
Autora, 2020

4.1.2 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Brassica campestris L.*

Como se observa en la **Tabla 6**, existe mayor acumulación de Cd y Pb en la parte radicular y en la parte aérea de la planta. Estos factores son esenciales para considerarla como planta fitoextractora de Cd, existiendo mayor eficiencia de Cd con un 73% a comparación del Pb en la que se obtuvo un 32 %. por lo tanto, se considera tolerante a concentraciones de 8 mg/Kg⁻¹ de toxicidad de Cd en el trabajo desarrollado por Ogosi (2018), titulado “Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando *Brassica campestris L.* en la Estación Experimental El Mantaro-Junín”.

Tabla 6. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Brassica campestris L.*

Género/ Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1					%
		Raíz	Tallo	Hoja	Flores	Parte aérea	
<i>Brassica campestris L.</i>	mg/kg ⁻¹						Eficiencia
Cd	7,99	2,02	1,12	0,78	0,02	1,92	73%
Pb	54,6	11,04	2,26	0,65	0,51	3,42	32%

Eficiencia en la especie vegetal *Brassica campestris L.*
Autora, 2020

4.1.3 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Brachiaria decumbes*

Como se observa en la **Tabla 7**, existe un 100% de eficiencia en la acumulación de Cd a comparación del Pb en la especie del género *Brachiaria* tolerando concentraciones elevadas de Pb presentando eficiencia de remoción del 83% a concentraciones de 1200 mg/Kg⁻¹ Pb. El análisis obtenido en este trabajo coincide con Beltrán Villavicencio (2001), conforme se incrementa la concentración de metales en el suelo, se incrementa la probabilidad de su translocación a las partes comestibles de especies tolerantes.

Brachiaria decumbes en el trabajo realizado por Cordero Casallas (2015), titulado “Fitorremediación *In Situ* para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de útica (Cundinamarca)” se considera medida alterna para la disminución de Cd y Pb en suelos de cultivo, y debe analizarse en concentraciones >50 de Cd para determinar si presenta un 100 % de eficiencia ya que no presento estrés oxidativo a concentraciones <50.

Tabla 7. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Brachiaria decumbes*

Género/Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta a 121 días expresados en mg/Kg-1	%
<i>Brachiaria decumbes</i>	mg/kg ⁻¹	Parte aérea	Eficiencia
Cd	50	50	100%
Pb	1200	1001,0	83.41%

Eficiencia en la especie vegetal *Brachiaria decumbes*.
Autora, 2020

4.1.4 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Capsicum annum*

Como se observa en la **Tabla 8**, metales como el Pb presenta absorción en mayor grado en la planta *Capsicum annuum* acumulando en la parte de la hoja>raíz>fruto>tallo y una eficiencia de remoción de 96.65% a comparación del Cd. A mayores concentraciones de Pb en el suelo mayor acumulación de Pb en la planta principalmente por la cantidad de biomasa generada durante la germinación. Coyago & Bonilla (2016), a mayor cantidad foliar mayor cantidad de plomo absorbido. Agudelo, Macias, & Suárez (2005), la absorción de metales pesados en plantas depende de la biomasa que estas contengan, por tanto, a mayor biomasa mayor es el porcentaje de absorción.

La especie *Capsicum annuum* es acumuladora de Pb en el trabajo realizado por Castro Gómez (2013), titulado “*Capsicum annuum* L. como fitorremediador de suelos contaminados por metales pesados”.

Tabla 8. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Capsicum annuum*

Género/Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta a 6 meses mg/Kg-1				%
		Raíz	Tallo	Hoja	Fruto	
<i>Capsicum annuum</i> L.	mg/kg ⁻¹					Eficiencia
Cd	4	0.56	0.3	1.3	0	54%
Pb	40	7.33	1	24.33	6	96.65%

Eficiencia en la especie vegetal *Capsicum annuum*.

Autora, 2020

4.1.5 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Beta vulgaris*, *Lactuca sativa*, y *Geranium geranio*

Como se observa en la **Tabla 9**, en las 3 especies vegetales existe diferencia significativa en la acumulación de Pb en Raíz>Hoja>Tallo respectivamente, mayor concentración de Pb se presenta en la especie botánica *Geranium* utilizada en jardinería. Obteniendo un 45% de eficiencia, acumulando Pb mayormente en la

raíz 291.5 mg/kg-1 a concentraciones de 1100 mg/kg-1 de Pb, a comparación de las 2 especies que presentan una diferencia altamente significativa en las diferentes estructuras de las plantas principalmente en la raíz. Maqueda Gálvez, (2003) *Beta vulgaris* se la considera planta acumuladora, observando cantidades superiores en la acumulación de Pb principalmente en la raíz que en tallo y hoja a concentraciones de 50 a 150 (mg/kg⁻¹), desarrollándose sin daño físico visible, calificándola planta tolerante a los efectos tóxicos de Pb.

Tabla 9. Eficiencia de remoción de Pb en *Beta vulgaris*, *Lactuca sativa*, *Geranium*

Género/Especie	Concen tración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg ⁻¹			%
		Raíz	Tallo	Hoja	
Tratamiento	mg/kg ⁻¹ Pb				Eficiencia
<i>Beta vulgaris</i>	1100	300	22.5	100	38.41%
<i>Lactuca sativa</i>	1100	222.5	27.5	85	30.45%
<i>Geranium</i>	1100	291.5	76.5	127.5	45.05%

Eficiencia en 3 especies vegetales
Autora, 2020

4.1.6 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Zea mays L.*

Como se observa en la **Tabla 10**, se determina una eficiencia del 81.34% siendo efectiva para acumular Cd a concentraciones de 8.26 mg/Kg⁻¹ y concentrar en mayor proporción en la parte de la Raíz>Hoja>Tallo. La concentración de Pb en la planta de maíz presenta menor eficiencia a concentraciones de 1174,44 obteniendo 33,70% de eficiencia a comparación con el Cd. Por otro lado, el resultado de extracción de cadmio y plomo se observa en *Zea mays* acumulando

mayor cantidad en la parte radicular. Concluyendo eficiente en la acumulación de Cd y Pb en el estudio desarrollado por Munive, Loli, Azabache, & Gamarra (2018).

Tabla 10. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Zea mays L.*

Género/Especie	Concentración inicial mg/kg-1	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg ⁻¹			%
		Raíz	Hoja	Tallo	
<i>Zea mays L.</i>					Eficiencia
Cd	8,26	7,23	0,25	0,23	93,34%
Pb	1174,44	395,8	10,3	5,03	33,70%

Eficiencia en la especie vegetal *Zea mays L.*
Autora, 2020

4.1.7 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Pelargonium hortorum*

Como se observa en la **Tabla 11**, se presentó una eficiencia del 98% al 19 % de Cd y Pb a concentraciones de 10 a 22.5 mg/Kg⁻¹ respectivamente, en la parte radicular presenta absorción de los metales seguido de Hojas>Tallos>Flores y en el Pb Raíces>Hojas>Tallos. Presentando para Cd una eficiencia casi del 100%, principalmente ocurre por el aumento de traslocación de las raíces a los brotes obteniendo en Cd remoción de 9.45 mg/Kg⁻¹, y en Pb remoción de 2.7 mg/Kg⁻¹.

Pelargonium hortorum no es eficiente en la extracción de Pb a concentraciones menores la cual no se logró mayor absorción a comparación del Cd que presento absorción en la parte florística 0.05 mg/Kg⁻¹ de Cd. En otro estudio realizado por Ríos Rodríguez (2017), obtuvieron acumulación de Pb a concentraciones de 402.8 mg/Kg⁻¹ expuesta a 70 días presentando remoción del 85.30% y concentración final de 105,79 mg/kg-1 de Pb no presento estrés oxidativo. A menores concentraciones de Pb no presenta eficiencia en la extracción del metal,

requiriendo ser usada *Pelargonium hortorum* como técnica de fitoextracción a concentraciones de 402.8 mg/Kg⁻¹ en un máximo de 2 meses y medio.

Tabla 11. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Pelargonium hortorum*

Género/Especie	Concentración Inicial mg/Kg-1	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1				% Eficiencia
		Raíz	Tallo	Hoja	Flores	
<i>Pelargonium hortorum</i>						
Cd	10	9	0.2	0.5	0.05	98%
Pb	22.5	0.98	0.79	0.93	-	12%

Eficiencia en la especie vegetal *Pelargonium hortorum*.
Autora, 2020

4.1.8 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Helianthus annuus*, *Phaseolus vulgaris*

Como se observa en la **Tabla 12**, las especies vegetales tratadas con quelantes presentan mayor eficiencia en la extracción de Pb a comparación del tratamiento sin quelantes. Al adicionar quelantes aumenta la absorción del Pb por la planta, facilitando el transporte del metal al xilema y aumentando la translocación de las raíces a los brotes. Huang, W.R., & S.D. (1997), adicionando quelatos (EDTA) a un suelo contaminado con Pb de 2500 mg/kg⁻¹ aumento la absorción en *Zea mays* hacia los brotes, disminuyendo así los niveles de Pb en el suelo.

Las 2 especies con la aplicación de quelatos y sin quelatos, el *Phaseolus vulgaris* presento mejor eficiencia en Pb acumulando en la Raíz>Tallo>Hoja, obteniendo remoción de 727.10 mg Pb/kg⁻¹ y eficiencia del 31% al 60%, *Helianthus annuus* presenta eficiencia del 51% con adición de quelantes en comparación al 26% que se obtuvo sin adición de quelantes. Las 2 especies son eficientes en la extracción de Pb a concentraciones de 1200 mg Pb/kg⁻¹ , en

Helianthus annuus adicionado con quelatos y en *Phaseolus vulgaris* eficiente con o sin adiconante de quelato.

Tabla 12. Eficiencia de remoción de Pb en *Helianthus annuus* y *Phaseolus vulgaris*

Género/Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1			%
		Raíz	Tallo	Hoja	
Tratamiento	mg/Kg ⁻¹ Pb				Eficiencia
<i>Helianthus annuus</i>	1200	187.9	90.2	33.9	26%
<i>Helianthus annuus</i> /Quelatos	1200	332	285.2	66.4	51%
<i>Phaseolus vulgaris</i>	1200	303.7	38.1	32.03	31%
<i>Phaseolus vulgaris</i> /Quelatos	1200	334.3	290.5	102.3	60%

Eficiencia en 2 especies vegetales.
Autora, 2020

4.1.9 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Raphanus sativus* L.

Como se observa en la **Tabla 13**, la raíz de *R. sativus* L. bioacumula Pb y Cd seguido de Hoja>Tallo presentando eficiencia del 54 al 59% respectivamente, a medida que aumenta la concentración de Pb y Cd en las soluciones de los tratamientos, mayor disponibilidad de los metales en el suelo para ser absorbidos, traslocados y acumulados en las partes comestibles como se indica en la **Tabla 13**. En un estudio realizado en la ciudad de Lima, señala que en hortalizas de follaje el contenido de Cd y Pb en el suelo es mayormente acumulado en la parte radicular.

Así mismo, se presenta mayor absorción en la parte radicular que en la parte estructural de la planta, principalmente se debe que el movimiento del metal en la raíz, sea vía apoplasto (espacio extracelular de las células vegetales por que el fluyen agua u otras sustancias, en este caso una entrada de lo metaloides), por lo tanto se acumula de una forma radial a través de la corteza y alrededor de la endodermis (Hoyos Cerna & Guerrero Padilla, 2015).

Finalmente existe acumulación de 178.75 mg/kg⁻¹ de Cd y 161.50 mg/kg⁻¹ de Pb y reducción de 121.25 mg/kg⁻¹ Cd y 138.50 mg/kg⁻¹ Pb a los 60 días y una eficiencia casi del 60 % por lo que deduce que es eficiente en la extracción de los dos metales a concentraciones de 300 mg/Kg⁻¹.

Tabla 13. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Raphanus sativus L.*

Género/Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta expresados en mg/Kg-1 a 60 días		%
		Raíz	Parte aérea	
<i>Raphanus sativus L.</i>	mg/Kg-1	Raíz	Parte aérea	Eficiencia
Cd	300	125.50	53.25	59%
Pb	300	112	49.5	54%

Eficiencia en la especie vegetal *Raphanus sativus L.*

Autora, 2020

4.1.10 Eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Brassica oleracea*.

En la

Tabla 14, *Brassica oleracea* presenta eficiencia del 57 al 79% de Pb y Cd, mediante el cálculo de remoción, en datos recopilados en diferentes estudios, acumulando 238.25 mg/kg⁻¹ de Cd y 171.75 mg/kg⁻¹ de Pb y reducción de 61.75 mg/kg⁻¹ en Cd y 128.25 mg/kg⁻¹ en Pb por un lapso de 60 días, presentando absorción en mayor proporción en la parte aérea correspondiente a Hoja>Tallo.

Concluyendo eficiencia en *Brassica oleracea* para fitoextracción de Cd a comparación del Pb. Las especies vegetales del género brassicáceas fitoextraen y almacenan muchos metales pesados en la parte aérea que en raíces (Jara Peña, Gómez, Montoya, & Chanco, 2014). En el estudio realizado por Ebbs, M., Brady, R., & Gordonand (1997), cuando se cultivaron especies como la *Brassica juncea*, *Brassica napus*, y *Brassica rapa* en suelos contaminados con zinc y cadmio, fueron eficientes en la acumulación de zinc logrando producir 10 veces más biomasa de tallos y hojas.

Tabla 14. Eficiencia de remoción de Cd y Pb en *Brassica oleracea*

Género/Especie	Concentración inicial	Concentración final en la estructura de la planta mg/Kg-1 a 60 días		%
		Raíz	Parte aérea	
<i>Brassica oleracea</i>	mg/Kg-1			Eficiencia
Cd	300	58.25	180	79%
Pb	300	44	127.75	57%

Eficiencia en la especie vegetal *Brassica Oleracea*.

Autora, 2020

4.1.11 Porcentaje de remoción de Cd

La Figura 1, permite visualizar y representar desde el inicio el efecto positivo de la fitoextracción en cada una de las diferentes especies vegetales, en donde se visualiza que existe desde el 54 al 100% una eficiencia de remoción para Cd a concentraciones que estuvieron expuestas las plantas en distintos estudios. A menores concentraciones en *Amaranthus hybridus* a 15mg/Kg^{-1} Cd mediante el cálculo se presentó 85% de remoción, y por otro lado a concentraciones de 300mg/Kg^{-1} se determina eficiencia de remoción del 59% en *Raphanus sativus L*, y en *Brassica oleracea* un 79% en la remoción de Cd.

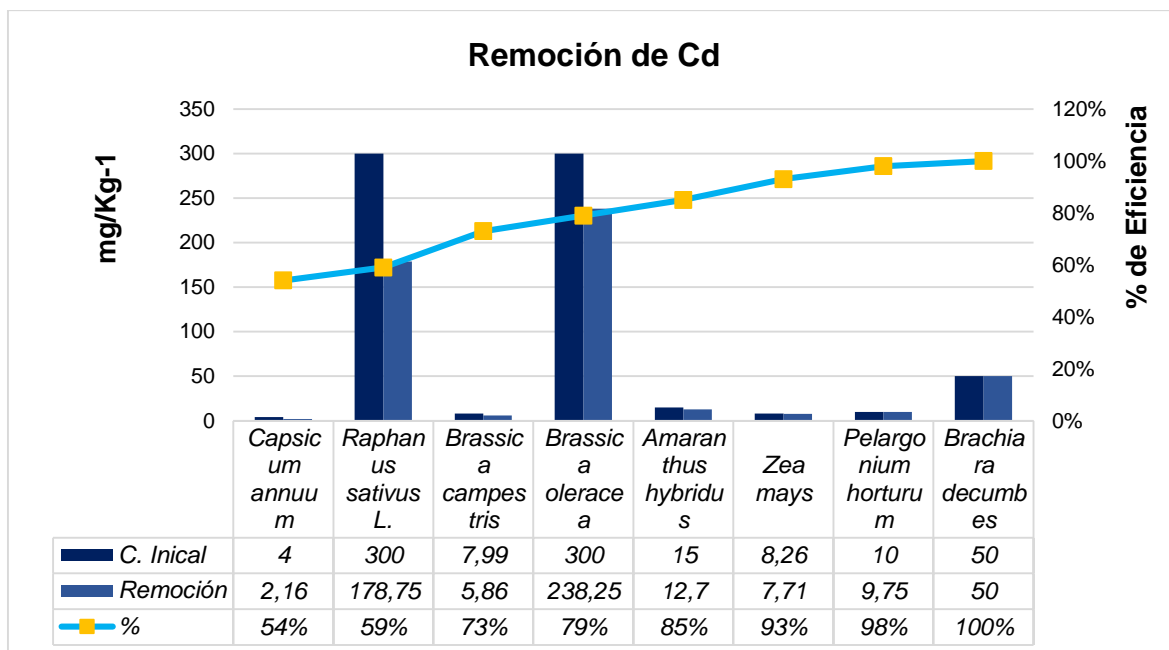


Figura 1. Curva de la eficiencia en la remoción de Cd en diferentes especies vegetales.

Autora, 2020

4.1.12 Tiempo en la remoción de Cd

En la Figura 2, se determinó el factor tiempo para el proceso de remoción a concentraciones de 4 a 300 mg/Kg⁻¹ expuestas las plantas en distintos estudios, representando el tiempo que cada planta remueve el metal Cd. Para *Raphanus sativus L.* y *Brassica oleracea* presenta a los 60 días remoción de 178,75 y 238,25 a concentraciones de 300 mg/Kg⁻¹ Cd, en *Amaranthus hybridus* y *Capsicum annuum* presenta a los 125 y 180 días remoción de 12,7 y 2,16. Por lo tanto *Raphanus sativus L.* y *Brassica oleracea* remueven Cd cuando son expuestas a concentraciones de 300 en corto tiempo a comparación de *Amaranthus hybridus* y *Capsicum annuum* expuestas a concentraciones >15 remueven Cd requiriendo más tiempo para su absorción. Por lo tanto, para que el proceso de fitoextracción sea eficiente se requiere plantas que remuevan metales pesados en corto plazo, como se presenta en *Raphanus sativus L.* y *Brassica oleracea*.

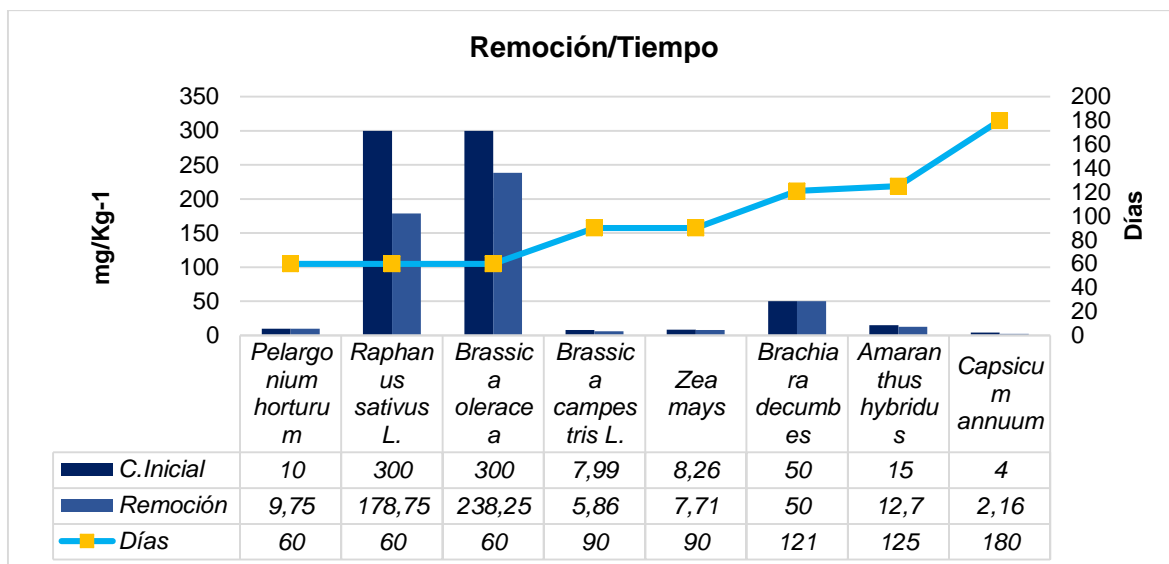


Figura 2. Curva de la remoción de Cd con el factor tiempo
Autora, 2020

4.1.13 Porcentaje de remoción de Pb

La Figura 3, permite visualizar y representar el efecto positivo de la fitoextracción en las diferentes especies vegetales, presentando del 12 al 100% una eficiencia de remoción en Pb del suelo a concentraciones de 22.5 a 1174,44 mg/Kg⁻¹ expuestas las plantas en diferentes estudios. A menores concentraciones como se presenta en *Capsicum annuum* 40mg/Kg⁻¹ Pb se determinó mediante el cálculo un 95% de eficiencia, y por otro lado a concentraciones de 300mg/Kg⁻¹ se determinó eficiencia del 100% en *Amaranthus hybridus L.*, y en *Raphanus sativus* un 54% de remoción para Pb.

Por otro lado, a concentraciones de 1100 a 1200 mg/Kg⁻¹ Pb valores de 30 a 83% de eficiencia para Pb. Presentando en *Brachiaria decumbes* eficiencia en el proceso de fitoextracción para Pb. Conforme se incrementa la concentración de metales en el suelo, se incrementa la probabilidad de su translocación a las partes comestibles de especies tolerantes (Beltrán Villavicencio, 2001).

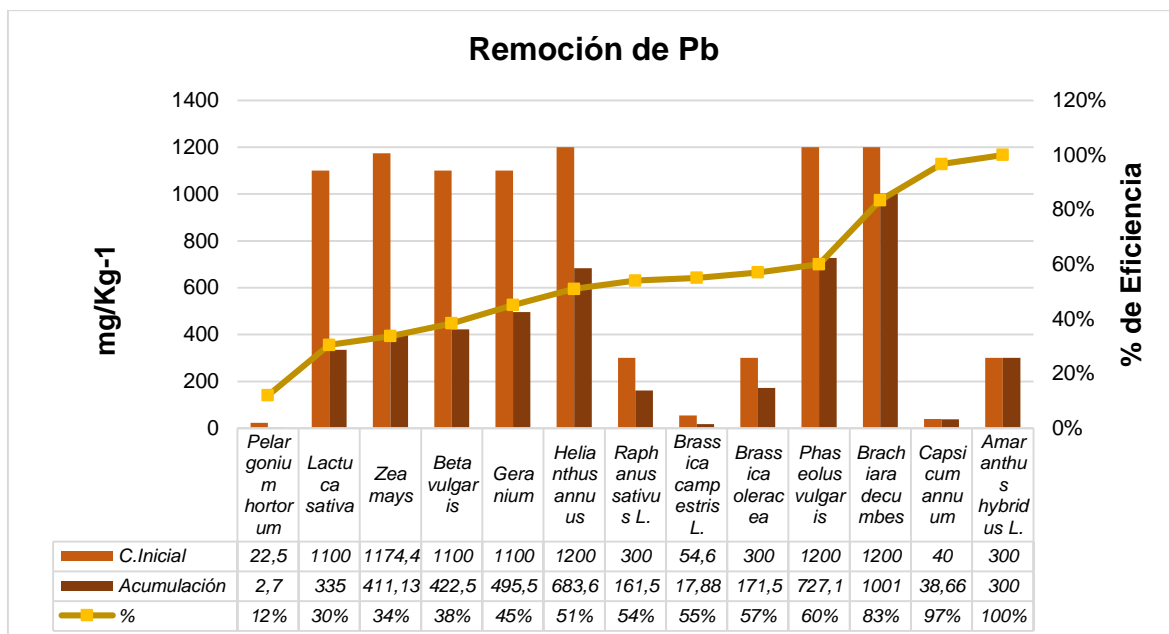


Figura 3. Curva de la eficiencia en la remoción de Pb en diferentes especies vegetales.
Autora,2020

4.1.14 Tiempo en la remoción de Pb

En la Figura 4, se determinó el factor tiempo en el proceso de remoción a concentraciones de 22,5 a 1200 mg/Kg⁻¹ Pb en distintas plantas recopiladas en estudios desarrollados. En previos estudios se correlaciona una tendencia en la acumulación de Pb por las plantas, en donde la absorción de plomo se efectuaba a mayor tiempo de exposición (De la Cruz López , Ramos Arcos, & López Martínez, 2007). Tal es el caso en *Brassica campestris*, *Brachiaria decumbes*, *Amaranthus hybridus L.* y *Capsicum annuum* expuestas en un rango de 121 a 180 días presentándose mayor remoción de Pb con eficiencia del 100% en la especie *Amarathus hybridus*.

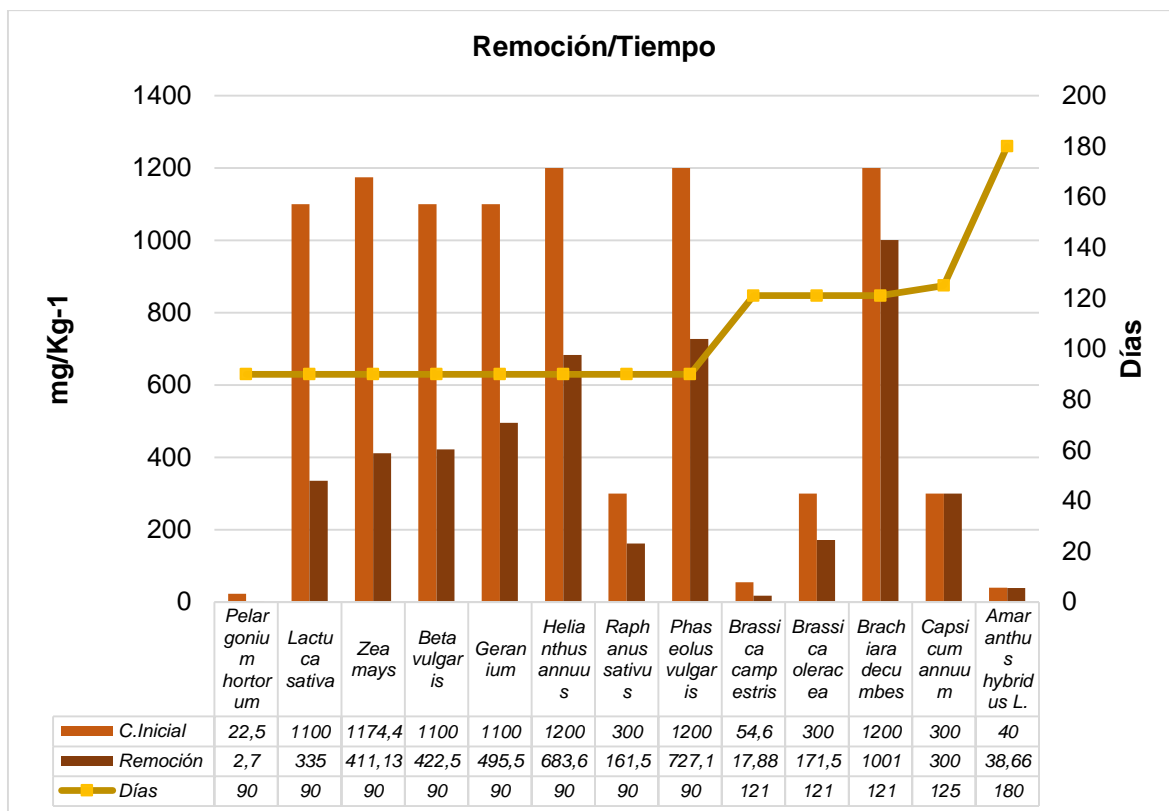


Figura 4. Curva de la remoción de Pb con el factor tiempo
Autora,2020

4.1.15 Factor de traslocación en las diferentes especies vegetales

Tomando como prioridad las plantas con eficiencia del 50% al 100% como se observa en la **Tabla 15**. Mediante el factor de traslocación se determinó si las plantas trasladan eficazmente Cd y Pb desde la parte radicular hacia la biomasa de la planta. Tomando como referencia lo dispuesto por Brian J(2012), si el TF es > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte área de la planta y su potencial es hiperacumular metales pesados, si el TF < 1 significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la biomasa área de la planta, y su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces. Se considera que las plantas tolerantes tienen valores menores de 0.5, las acumuladoras menores de 1 y las hiperacumuladoras mayor de 1 (Castro Gómez, 2013).

Tabla 15. Interpretación de resultados para determinar las especies vegetales más eficientes en la fitoextracción para Cd y Pb mediante el TF.

Especie	Nombre común:	Metales	pH	TF>1	Eficiencia	Referencias
Amaranthus hybridus L.	Bledo	Cd	8.2	1.5	85%	"Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (<i>Amaranthus hybridus L.</i>) Y micorrizas".
		Pb		1.7	100%	
Brassica campestris L.	Nabo	Cd	6.6	1.9	73%	"Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando <i>Brassica campestris L.</i> en la Estación Experimental El Mantaro-Junín".
		Pb		0.6	32%	
Brachiaria decumbes	Pasto barrera	Cd	7.6	ND	100%	"Fitorremediación In Situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de útica (Cundinamarca)"
		Pb		ND	83,41%	
Capsicum annuum	Pimiento	Cd	6	1.8	54%	" <i>Capsicum annuum L.</i> como fitorremediador de suelos contaminados por metales pesados".
		Pb		4.3	96,65%	
Beta vulgaris	Remolacha	Pb	7.6	0.4	38,41%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Lactuca sativa	Lechuga	Pb	7.6	0.4	30,45%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Geranium	Geranio	Pb	7.6	0.7	45,05%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Zea mays L.	Maíz	Cd	7.8	0.1	81,34	"Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays L.</i>) Y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados".
		Pb		0.03	33,7	
Pelargonium x hortorum	Geranio de jardín	Cd	5.9	0.1	98%	"Acumulación de metales (cadmio,zinc,cobre,cromo,niquel y plomo) en especies del género <i>Pelargonium</i> : suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad"
		Pb		1.7	12%	
Helianthus annuus	Girasol	Pb	7.6	0.7	26%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Helianthus annuus/ Quelante	Girasol	Pb	7.6	1.1	51%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Phaseolus vulgaris	Frijol	Pb	7.6	0.2	31%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Phaseolus vulgaris/ Quelante	Frijol	Pb	7.6	1.2	60%	"Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferentes densidad estómatomica"
Raphanus sativus L.	Rábano	Cd	ND	0.4	59%	"Bioacumulación de plomo y cadmio en Brassica oleracea SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y <i>Raphanus sativus L.</i> "
		Pb		0.4	54%	
Brassica oleracea	Col silvestre	Cd	6	3	79%	"Bioacumulación de plomo y cadmio en Brassica oleracea SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y <i>Raphanus sativus L.</i> "
		Pb		3	57%	

Índice de traslocación en diferentes especies vegetales.

Autora, 2020

4.1.15.1 Especies vegetales hiperacumuladoras de Pb y Cd

En la Figura 5, Figura 6, mediante el factor de traslocación se determinaron que las especies vegetales son eficientes en el proceso de fitoextracción de Pb y Cd, reportando valores >1 y su potencial es la de hiperacumular metales pesados. Brian J(2012), si el TF es > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta y su potencial es hiperacumular metales pesados. Por lo tanto, *Amaranthus hybridus* $>$ *Capsicum annum* $>$ *Phaseolus vulgaris* $>$ *Helianthus annuus* $>$ *Brassica oleracea* presentan eficacia en la remoción de Pb presentando un porcentaje del 50 al 100%. Por otra parte, *Brassica oleracea* es planta reconocida en el proceso de fitoextracción de Cd y Pb la cual se ha evidenciado en varios estudios que es tolerante a concentraciones de $>500\text{mg/Kg}^{-1}$ y almacenan muchos metales en la parte aérea (Jara Peña, Gómez, Montoya, & Chanco, 2014), a comparación de *Amaranthus hybridus*, *Capsicum annum*, *Phaseolus vulgaris*, *Helianthus annuus*.

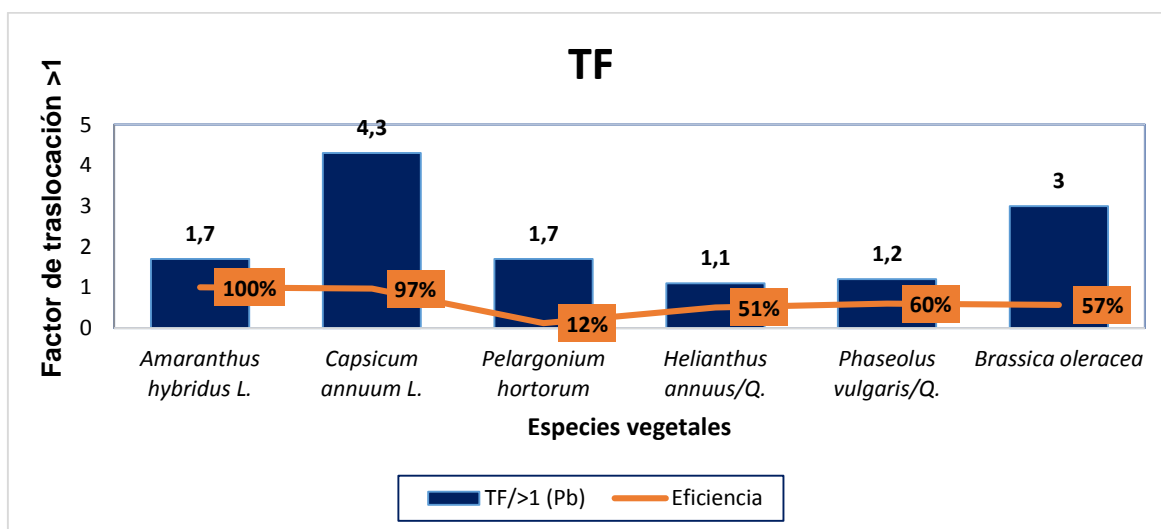


Figura 5. Plantas eficientes en la acumulación de Pb.
Autora, 2020

Así mismo, se presenta las especies eficientes en la extracción de Cd. *Amaranthus hybridus* $>$ *Brassica oleracea* $>$ *Brassica campestris L.* $>$ *Capsicum*

annuum presentaron porcentaje de remoción del 85 al 54%. *Brassica oleracea* presenta ser planta potencial en la remoción de Cd a concentraciones de $300\text{mg}7\text{Kg}^{-1}$.

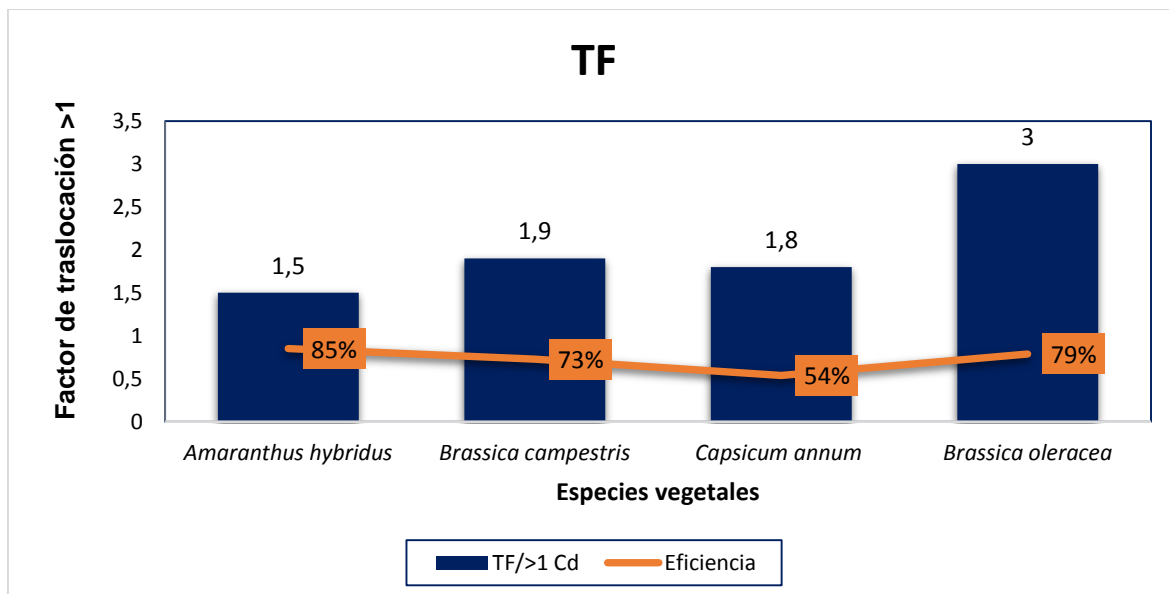


Figura 6. Plantas eficientes en la acumulación de Cd
Autora, 2020

4.2 Determinación de las concentraciones de Cd y Pb en *Helianthus annuus* y *Zea mays*

En los casos estudios para la remoción de Cd y Pb en las 2 especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays* se tomó en cuenta: tipo de suelo, nivel de concentración inicial/final, y el tiempo de remoción para Cd y Pb.

4.2.1 Cd y Pb en la especie vegetal *Helianthus annuus*

Como se observa en la **Tabla 16**, la especie vegetal *Helianthus annuus* estuvo expuesta a diferentes concentraciones de Cd y Pb. Para Cd de 6.76 mg/kg^{-1} a 21.76 mg/kg^{-1} y Pb valores de 208 mg/kg^{-1} a 1000 mg/kg^{-1} , presentando reducción para el Cd de 1.3 mg/kg^{-1} a 1.38 mg/Kg^{-1} y para Pb una reducción de 3.22 mg/kg^{-1} a 6.87 mg/kg^{-1} , desarrollándose en un tiempo de 2 a 3 meses en distintos tipos de clima, observando que *Helianthus annuus* se adapta a distintos tipos de suelo

logrando desarrollarse en suelo de textura arcillosa, arenosa y arenoso volcánico. Cerrón , Sánchez, Yachachi & Ramos (2020), la especie *Helianthus annuus* se desarrolla en diferentes tipos de suelo obteniendo así un desarrollo importante de biomasa con una altura de 2m y una floración de 30 cm de diámetro.

Tabla 16. Concentraciones en diferentes estudios en la especie vegetal *Helianthus annuus*.

Especie vegetal	Textura de Suelo	pH	Tipo de suelo	Concentración inicial (mg/Kg-1)		Concentración final (mg/Kg-1)		Removido (mg/Kg-1)		Tiempo
				Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	
<i>Helianthus annuus/Vermicompost.</i> (Cerrón , Sánchez, Yachachi, & Ramos, 2020)	Arcilloso	7.3	Agrícola	6,76	208,24	5,46	171.24	1,3	39	3 meses
<i>Helianthus annuus</i> (Suaña Quispe, 2018)	Arenoso	6.5	Minero	21,76	/	20.38	/	1,38	/	2 meses
<i>Helianthus annuus</i> (Suaña Quispe, 2018)	Arcilloso	6	/	/	1000	/	993.14	/	6,87	2 meses
<i>Helianthus annuus/ Micorrizas arbusculares</i> (Vargas Muñoz, 2013)	Arenoso	6.3	/	/	1000	/	996.78	/	3,02	3 meses

Acumulación de Cd y Pb en la especie vegetal *Helianthus annuus*.
Autora, 2020

4.2.1.1 Tasa de acumulación de Cd y TF en la especie vegetal *Helianthus annuus*

Conocer el factor de traslocación (TF) en *Helianthus annuus*, determinara si trasloca eficientemente los metales desde la raíz a la parte aérea en mayor grado, y conocer si es tolerante, acumuladora, hiperacumuladora o exclusora para Cd y Pb. Por consiguiente, en la Figura 7, se observa para el caso con aplicación de vermicompost un factor de traslocación de $2,3 > 1$ presentando acumulación hacia la parte estructural de la planta. En un estudio realizado por Orozco Pérez (2012), adicionaron quelato al *Helianthus annuus* este acumulo un total de 613.3 mg/Kg^{-1} y sin quelato 312.0 mg/Kg^{-1} . En varios estudios aplicaron soluciones quelantes en

la especie *Helianthus annuus* ayudando a que incrementara la absorción y acumulación del Cd (Vargas Muñoz, 2013). Por tanto, al adicionar nutrimentos al *Helianthus annuus* presentara mejor absorción y tolerancia de metales pesados en la parte de la biomasa y en menor grado en raíz. A comparación del segundo caso, sin aplicación de nutrimentos, presenta una baja deficiencia en acumular Cd en la estructura de la planta, obteniendo un TF $0.6 < 1$, el *Helianthus annuus* acumulo mayormente en la raíz seguido de la parte aérea de la planta en menor grado. Reategui & Reátegui (2018), la especie vegetal *Helianthus annuus* sin ningún tipo de adiconante acumula en mayores concentraciones Cd a nivel radicular con respecto a la parte aérea hoja, tallo y flor.

Por último, cabe mencionar que a menores concentraciones de Cd la planta no es eficiente en acumular Cd, a comparación de la concentración de 21.76 mg/Kg^{-1} presentando mayor absorción. El girasol extrae mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta mayor contenido de este en el suelo (Cerrón, Sánchez, Yachachi, & Ramos, 2020). En un estudio realizado por Suaña Quispe (2018) *Helianthus annuus* estuvo expuesta a mayor concentración de Cd en $24,36 \text{ mg/Kg}$, reportando acumulación en raíz de 1.80, hoja 0.29 y tallo 0.27 mg/Kg , concluyendo también que la mayor absorción del Cd se produce a nivel radicular.

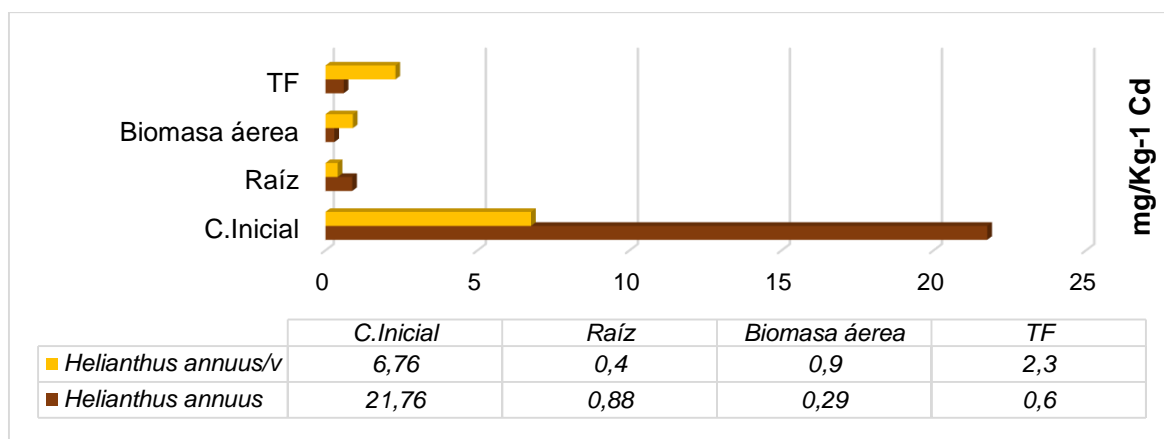


Figura 7. Factor de traslocación de Cd en *Helianthus annuus*.
Autora, 2020

4.2.1.2 Tasa de acumulación de Pb y TF en la especie vegetal *Helianthus annuus*

Como se observa en la Figura 8, la especie vegetal *Helianthus annuus* ha sido aplicada a diferentes concentraciones de Pb de 208.24 a 1000 mg/Kg⁻¹ demostrando que la planta absorbe más contenido de Pb cuando está expuesta a una concentración baja de 208.24 mg/Kg⁻¹, a comparación a los expuestos por 1000 mg/Kg⁻¹, presentando baja absorción, en la raíz presenta mayor concentración de Pb seguido de Tallo>Hoja, y en el primer caso Raíz>Tallo>Hoja>Flores, mencionando que le adicionaron micorrizas arbusculares como *Rhizophagus intraradices* la cual presenta mayor acumulación en comparación al tratamiento sin adicinante en la cual se observa que existe poca absorción a concentraciones de 1000 mg/Kg. La adición de micorrizas arbusculares en asociación con las plantas disminuyen el estrés y favorecen el crecimiento de las plantas en suelos contaminados por Pb y cd, así también ayuda a la planta acumular mayor concentración de Pb en la raíz micorrizada por el hongo *Rhizophagus intraradices* (Vargas Muñoz, 2013). Ortiz, Calzada, Cepeda, & Arreola (2009), demostraron que la utilización de micorrizas afectó positivamente a la transferencia de Pb del suelo a la planta *Amaranthus hybridus* a concentraciones de 300 mg/Kg⁻¹.

Por otro lado, en el último caso con aplicación de vermicompost se determinó mediante el factor de traslocación ser hiperacumuladora de Pb reportando 1.1>1, ya que se observa que la raíz trasloca el Pb a la parte radicular, logrando mayor cantidad de extracción de Pb. Munive, Loli, Azabache, & Gamarra (2018), las enmiendas orgánicas contribuyeron a la planta *Zea mays* presente mejor absorción de Pb y Cd, la cual reportaron mayores valores de extracción de Pb en

la parte radicular $379.50 \text{ mg/Kg}^{-1}$ y en la parte aérea 16.33 mg/Kg^{-1} en comparación a las que se trabajaron sin adiconante en la cual se reportaron menor absorción de Pb. Por lo tanto, al adicionar nutrimentos al *Helianthus annuus* ayudara a que haya una mayor absorción y tolerancia de este metal en la parte estructural seguida de la raíz.

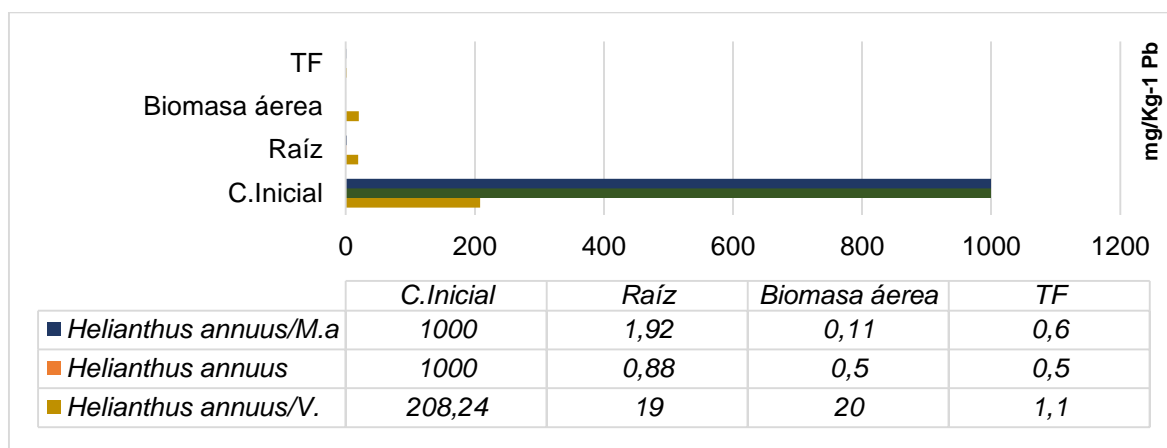


Figura 8. Factor de traslocación de Pb en *Helianthus annuus*
Autora, 2020

4.2.2 Concentraciones de Cd y Pb en la especie vegetal *Zea mays*

En la **Tabla 17**, la especie vegetal *Zea mays* perteneciente a la familia de las Gramíneas estuvo expuesta a diferentes concentraciones de Cd y Pb, reportando para Cd valores de 125 mg/Kg^{-1} y $44,8 \text{ mg/Kg}^{-1}$ expuestas a 70 y 90 días, por otro lado para Pb se reportaron valores de 127 mg/Kg^{-1} y $208,2 \text{ mg/Kg}^{-1}$, expuestas a 70 y 90 días en suelos con un Ph de 7.23 para los dos casos y suelos con textura media y arcillosos, en la cual se evidencia una reducción de 79.63 mg/Kg^{-1} y 14.14 mg/Kg^{-1} para el primer y segundo caso. Para Pb se presenta reducción de 31.13 mg/Kg^{-1} y 69.67 mg/Kg^{-1} en el primer y segundo caso respectivamente. En el segundo caso con adición de enmiendas presenta mayor acumulación de Cd y Pb se debe principalmente a que el suelo es típicamente arcilloso. Mahdy, Elkhaitb, & Fathi (2007), el *Zea mays* cuando crece en un suelo típicamente arcilloso tiene

una capacidad asimilativa más alta de absorción de Cd, Pb y Ni que en otro tipo de suelo.

Tabla 17. Concentraciones en diferentes estudios en la especie vegetal *Zea mays*.

Especie vegetal	Tipo suelo	pH	Uso de suelo	Concentración inicial (mg/Kg-1)		Concentración final (mg/Kg-1)		Removido (mg/Kg-1)		Tiempo
				Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	
<i>Zea mays</i> (Ruiz Huerta & Armienta Hernández, 2012)	Textura media	6.6	Minero	125	127	45,4	95,9	79,63	31.13	70 días
<i>Zea mays</i> /Vermi compost. (Munive, Loli, Azabache, & Gamarra, 2018)	Arcilloso	7.3	Agrícola	44,8	208,2	30,7	138,53	14.14	69.67	90 días

Acumulación de Cd y Pb en la especie vegetal *Zea mays*.
Autora, 2020

4.2.2.1 Tasa de acumulación de Cd y TF en la especie vegetal *Zea mays*

Conocer el factor de traslocación (TF) en *Zea mays* determinara si trasloca eficientemente los metales desde la raíz hacia la parte aérea en mayor grado. y conocer si es tolerante, acumuladora, hiperacumuladora o exclusora para Cd y Pb. En la Figura 9, para los dos casos se obtuvo valores <1 , en el primer caso $0.01 < 1$ y segundo caso $0.06 > 1$. Se consideran plantas tolerantes para Cd a concentraciones de 152.2 mg/Kg^{-1} y 44.76 mg/Kg^{-1} . Castro Gómez 2013, se consideran plantas tolerantes cuando presentan valores < 0.5 , acumuladoras < 1 y hiperacumuladoras > 1 .

Por otro lado, la especie *Zea mays* presenta mayor concentración de absorción en la parte radicular a concentraciones de $152.20 \text{ mg/Kg}^{-1}$ Cd, presentando en la raíz mayor absorción 75.23 mg/Kg^{-1} Cd. El potencial de la planta es de fitoestabilizar metales como el Cd en sus raíces. Grandez Argomeda (2017), señala que el *Zea mays* acumulo mayormente en la parte radicular mas no en la parte aérea reportando absorción de 68.30 mg/Kg^{-1} , en la cual concluyo que el *Zea*

mays sin ningún aditivo es eficiente en la remoción de Cd. Otro estudio realizado por Ramos Villegas & Hernández Viveros (2014), señalan que la especie *Zea mays* presentan una tendencia general de concentrar mayor nivel de Cd en la raíz la cual se reportó una acumulación de 1.3 a 5.6, mg/Kg y en hoja y tallo 0.5 a 1.7 mg/Kg.

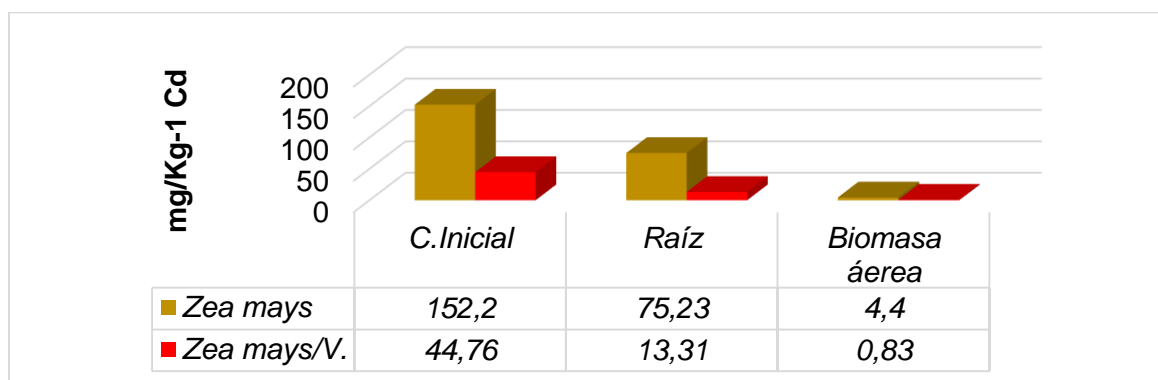


Figura 9. Factor de traslocación de Cd en *Zea mays*.
Autora, 2020

4.2.2.2 Tasa de acumulación de Pb y TF en la especie vegetal *Zea mays*

En la Figura 10, la especie vegetal *Zea mays* mediante el factor de traslocación obtuvo valores de $0.24 > 1 \text{ mg/Kg}$ para los dos casos. Concluyendo su baja eficiencia en la fitoextracción de Pb ya que no trasloca eficientemente desde la parte radicular hacia la parte aérea de la planta gran contenido de concentración de Pb. En un estudio realizado por Ruiz Huerta & Armienta Hernández (2012), mediante los FT en el *Zea mays* obtuvieron valores generalmente bajos para Pb y Cd.

El *Zea mays* es tolerante a concentraciones de 127 y $208.24 \text{ mg/Kg}^{-1}$, y absorbe mayormente en la parte radicular Pb característico de una planta acumuladora. Guerra Coss (2014), señala que, mediante la aplicación de la especie vegetal *Chenopodium desiccatum* obtuvieron mayor absorción de Pb de 4.259 mg/Kg^{-1} en la parte radicular seguida del tallo por 1.324 mg/Kg^{-1} destacándola como planta acumuladora. Por otro lado, Gama Retamozo (2019),

evaluó la capacidad del maíz para acumular Pb determinando que los resultados iniciales en el suelo fueron <0.25 mg/Kg, y al final del proceso determinaron en el suelo 0.05 mg/Kg de este metal, concluyendo que disminuyó un 80% la concentración de Pb determinándola como tolerante a este metal. El *Zea mays* actúa como acumulador de Pb en mayor eficiencia en la parte radicular, lo que indica su tolerancia a este metal.

Finalmente, para el segundo caso cuando se le aplica nutrimentos (vermicompost) aumenta la absorción de Pb en la parte radicular obteniendo absorción de 56.04 mg/Kg⁻¹ a concentraciones de 208.24 mg/Kg⁻¹ en comparación al primer caso sin aplicación de nutrimento. Por lo tanto se ha demostrado el desarrollo de prácticas para incrementar el potencial de plantas comunes no acumuladoras para la fitoextracción de Pb, tal es el caso de la *Brassica juncea* y el *Zea mays* que fueron exitosas para remover Pb en suelos contaminados, ya que estuvieron bajo condiciones inducidas por quelatos (Orroño, 2002). Grandez Argomeda (2017), Indica que el *Zea mays* remueve el metal Pb, mediante la aplicación de enmiendas de compost y humus (nutrimentos), ya que en su estudio obtuvo una reducción de 76.22 mg/Kg y una eficiencia del 50.50%. Al respecto menciona Munive Cerrón (2018) que las enmiendas orgánicas acondicionan al suelo para que la planta absorba en mayor cantidad nutrientes, con el fin de estimular el desarrollo radicular lo que ayudara a que haya una mejor disponibilidad de absorción de metales.

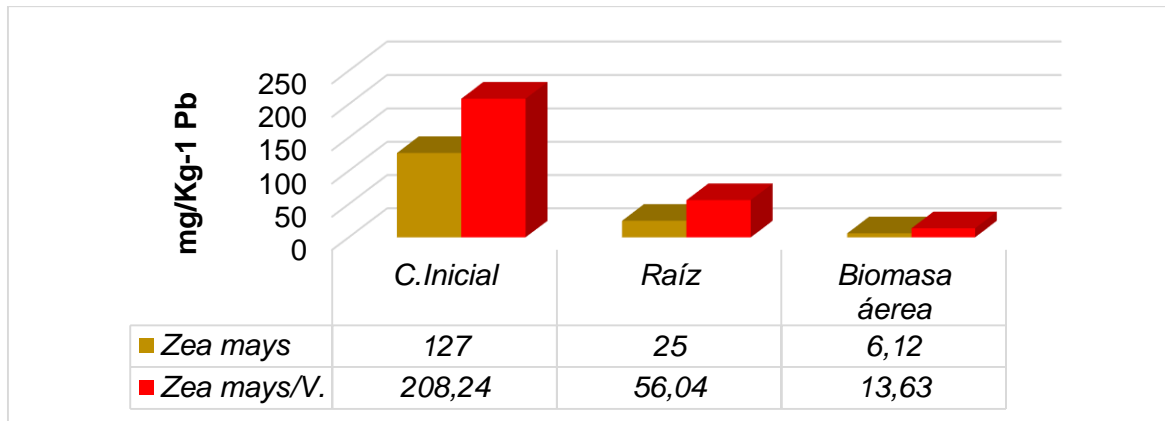


Figura 10. Factor de traslocación de Pb en *Zea mays*.
Autora, 2020

4.3.3 Mecanismo en el proceso de absorción de los contaminantes inorgánicos a la planta.

Cabe mencionar que para tener un buen entendimiento sobre la genética molecular de la acumulación de los MP es necesario conocer la interacción de los mismos con el entorno tanto en el interior de la planta como el exterior de la misma (Navarro Aviño, Aguilar, & Lopez, 2007).

A continuación, en la Figura 11, se detalla el proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan MP en las diferentes estructuras de la planta, en la cual Delgadillo López (2011), indica que se realiza por 3 fases:

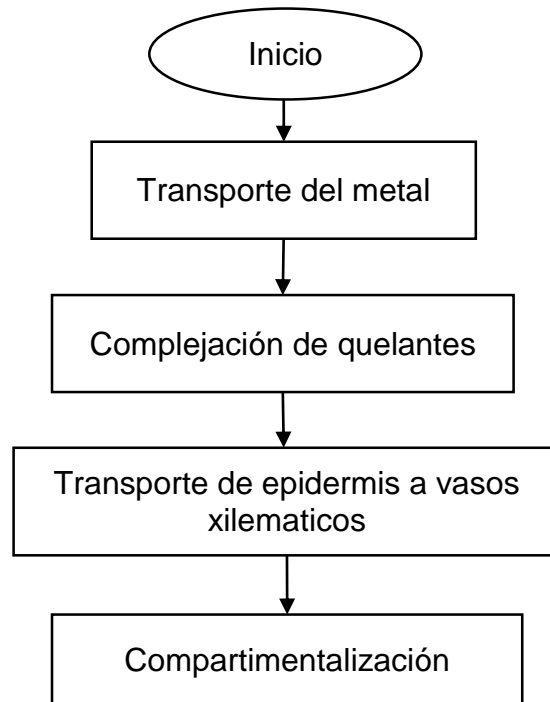


Figura 11. Fases en el proceso de acumulación de MP. en las plantas
Autora, 2020

Etapa 1: Transporte de los metales inorgánicos al interior de la planta lo que conlleva a la absorción por las células de las raíces mediante proteínas tipo-P ATPasas (HMAs) y las proteínas tipo-franja amarilla-1 (YSL). Los cuales llegan por difusión en el medio, mediante dos procesos flujo masivo o intercambio catiónico, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior de celular por vía apoplastica o simplastica.

Etapa 2: Una vez los metales dentro de la planta, estas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligados específicos como: péptidos, aminoácidos y ácidos orgánicos, formando un complejo, esta complejación es la que evita la toxicidad en la planta (González Miranda, 2016).

Etapa 3: Involucra la Compartimentalización y detoxificación, por el cual en este proceso el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola (Delgadillo López, 2011). De células epidermales y subepidermales, por lo tanto luego de penetrar la vacuola, el metal se une a otro quelante que actúa como aceptor final con el cual

forma complejos mucho más estables y de esta forma, se sigue evitando la toxicidad que causaría el metal en la planta (González Miranda, 2016).

4.3 Efectividad en la remoción de Cd y Pb en las especies vegetales

Helianthus annuus* y *Zea mays

En base a los resultados recopilados se determinó la eficiencia de cada especie vegetal *Helianthus annuus*, *Zea mays* tomando como variable las concentraciones y el tiempo de remoción para los metales Cd y Pb, con el fin de concluir la especie vegetal más prometedora en la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados por metales pesados.

4.3.1 Eficiencia del *Helianthus annuus* y *Zea mays* en la remoción de Cd

A continuación en la siguiente Figura 12, se visualiza la eficiencia de cada una de las plantas tomando en cuenta las concentraciones a las que estuvieron expuestas en diferentes estudios, demostrando que el *Zea mays* tienen gran relevancia en la acumulación de este metal, reportando que absorbe en mayor proporción en la parte radicular con 13.31 mg/Kg^{-1} Siendo estadísticamente menor la traslocación hacia la biomasa aérea sus órganos de 0.38 mg/Kg^{-1} , por otro lado la especie vegetal *Helianthus annuus* expuesta a una concentración de 21.76 mg/Kg^{-1} , presenta mayor acumulación en la parte radicular de 0.88 mg/Kg^{-1} y en menor proporción en los tejidos foliares de 0.5 mg/Kg^{-1} destacando que el *Helianthus annuus* actúa como planta estabilizadora de Cd. Teniendo en cuenta que si la planta acumula mayores cantidades en la raíz serán clasificadas como fitoestabilizadoras o exclusoras, pero si acumulan más en la parte aérea entonces serán denominadas fitoextractoras o acumuladoras (Yang, Wang, & Ni, 2019)

Por lo tanto, el *Zea mays* es eficiente en acumular en mayor proporción el Cd en la parte radicular lo que es característico de una planta exclusora o

estabilizadora. En un estudio previo realizado por Ramos Villegas & Hernández Viveros (2014), determinaron mediante el TF que la planta de maíz *Zea mays* tiene potencial para ser una especie fitoestabilizadora de Cd ya que se obtuvo un $FT > 1$ en un periodo de crecimiento de 50 días. Por lo tanto, se la puede utilizar para minimizar la migración de contaminantes en los suelos.

Se concluye que el *Helianthus annuus* y el *Zea mays* son plantas estabilizadoras ya que se evidencia mayor absorción en la parte de la raíz para el metal Cd, mencionando que en diversos estudios indican que el cadmio en la planta se acumula preferentemente en la raíz secuestrado en la vacuola de las células y solo una pequeña parte es transportada a la parte foliar de la planta concentrándose en un orden decreciente tallos>hojas>frutos y semillas (Serrano, Casa, Puertas, Río, & Sandalio, 2008). Por lo tanto cabe destacar que las especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays* evitan la entrada de Cd inmovilizándolo principalmente en la parte celular de las raíces a través de enlaces extracelulares, lo que esto limita su transporte a la parte aérea (Munive Cerrón, 2018). Así mismo la baja traslocación en las 2 especies indica la baja movilidad del Cd a la planta, por lo tanto no trasfiere Cd de sus raíces a sus brotes posiblemente por su alta toxicidad (Reategui & Reátegui, 2018).

Cabe indicar también que las 2 especies vegetales presentan una razonable tolerancia a concentraciones de 21.7 y 44.8 de Cd ya que en los 2 estudios no se registró ningún signo de toxicidad en la planta. Sin embargo, en un estudio realizado por Reategui & Reátegui (2018), en dosis de 80 y 160 se registró inhibición en el crecimiento vegetal y estrés en la planta. Por otra parte, Xiong (2004), en su investigación a soluciones de 100 mmol L^{-1} Cd, la especie vegetal *Helianthus annuus* presento signos de toxicidad, reducción en el rendimiento de

brote y raíces inducido principalmente por la presencia del Cd a altas concentraciones.

Cabe concluir que el maíz presenta mayor acumulación de Cd que el *Helianthus annuus* ya que el *Zea mays* retiene mayor cantidad de metales si es cultivado en suelos con textura arcilloso lo que su concentración es más elevada.

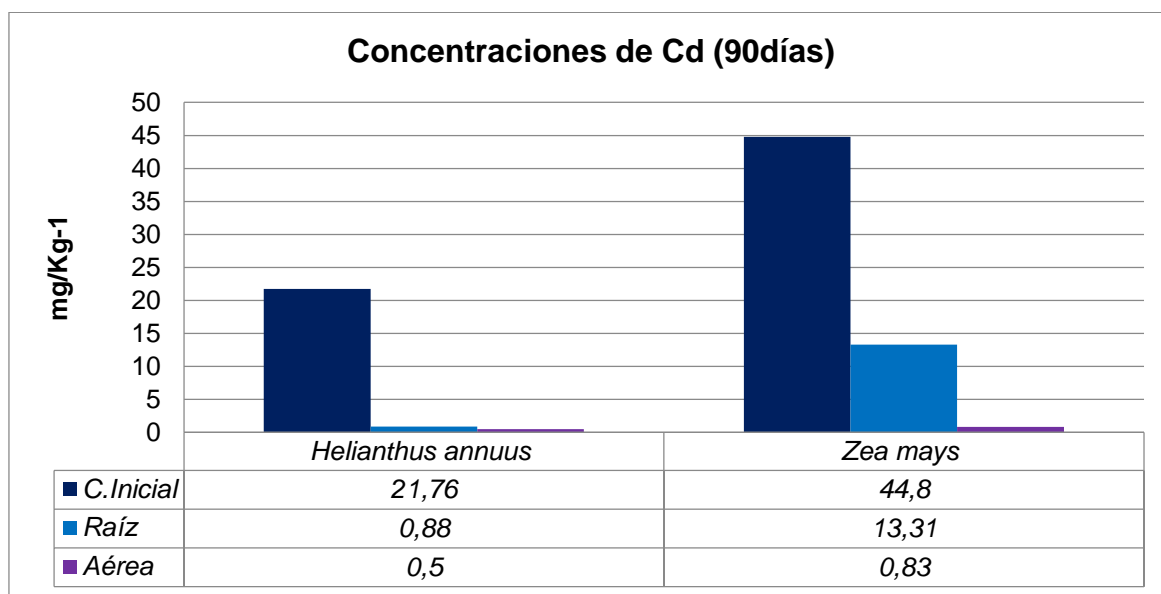


Figura 12. Acumulación de Cd, con respecto al tiempo.
Autora, 2020

Es importante mencionar también que el Ph como se observa en Figura 13, posiblemente influyó de manera importante en el bajo valor de remoción que presentaron las especies vegetales. Ya que según Sims, Sims, & Matthews (1990), la absorción de metales se minimiza a valores de Ph superiores a 6. Lo cual se puede señalar que debido a que los suelos empleados en la investigación de las 2 especies vegetales presentaron valores para el *Helianthus annuus* 6.5 y *Zea mays* 7.3, el Cd metal en estudio, tuvo menor movilidad y por ende un menor grado de biodisponibilidad en las plantas. Mencionando que en un estudio realizado por (Muso Cachumba, 2012), la especie vegetal *Helianthus annuus* y *Zea mays* estuvieron expuestas a Ph 4 – 5 en la cual el Cd tuvo mayor movilidad y biodisponibilidad en las 2 plantas logrando para el *Helianthus annuus* traslocar

la mayor cantidad de Cd hacia la biomasa aérea reportando 6.78 ppm en sus hojas y tallos y 0,85 ppm en sus flores, expuesta a 60 ppm de Cd llegando a acumular incluso más Cd en la biomasa que en su raíz (4.61ppm) en comparación del *Zea mays* que trasloca en menor medida.

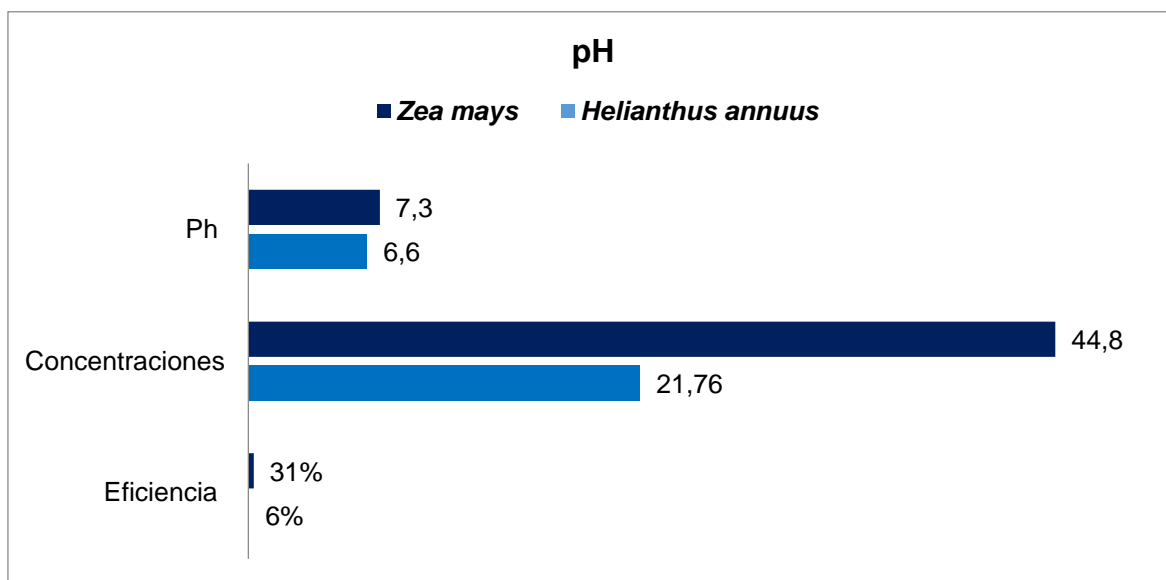


Figura 13. Remoción de Cd en el suelo.
Autora, 2020

4.3.2 Eficiencia del *Helianthus annuus* y *Zea mays* en la remoción de Pb

A continuación en la Figura 14, se visualiza la eficiencia de cada una de las plantas tomando en cuenta las concentraciones a las que estuvieron expuestas en este caso estuvieron a las mismas concentraciones en un intervalo de 90 días, demostrando que el *Helianthus annuus* refleja mayor absorción en la parte radicular $56,04 \text{ mg/Kg}^{-1} \text{ Pb}$ seguido de la biomasa aérea $13,63 \text{ mg/Kg}^{-1} \text{ Pb}$, tomando en cuenta que el *Zea mays* presento menor absorción $19 \text{ mg/Kg}^{-1} \text{ Pb}$ en la parte radicular seguido de la biomasa aérea $19 \text{ mg/Kg}^{-1} \text{ Pb}$, por lo tanto el *Helianthus annuus* presenta mayor tolerancia y absorción del Pb ya que presento mayor absorción de Pb a los 90 días. Esto se debe a que el *Helianthus annuus* en comparación con el *Zea mays* tolera altas concentraciones de contaminantes

almacenando la mayor parte en la raíz y en menor cantidad en tallo y hojas, donde la parte radicular es el órgano con mayor capacidad de bioacumulación y el crecimiento de esta especie solo se ve afectado a concentraciones >1000 ppm de Pb (Zare, 2009).

Con respecto a la traslocación del Pb hacia la biomasa aérea, se debe principalmente a que algunas especies poseen un sistema interno muy específico de trasladar metales de los tejidos radicales hacia la biomasa aérea. Tal es el caso de la especie *Brassica juncea L.* especie catalogada como acumuladora de grandes niveles de Cd en sus órganos aéreos (Arenas Moya & Hernández Caro, 2012). Por lo tanto la distribución de los iones metálicos varía considerablemente dependiendo de las especies de plantas y de los iones (Zare, 2009).

Cabe mencionar también que la asimilación de Pb en el *Zea mays* se debe principalmente a que creció en suelo con textura arcillosa. Ya que algunos cultivos como el de maíz cuando crecen en un suelo arcilloso presentan capacidad asimilativa más alta que para el límite de absorción de Pb, Cd, Ni y de Cu (Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, & Prieto García, 2009). Por lo tanto el *Zea mays* tiene la capacidad de acumular Pb principalmente en la raíz, donde posteriormente se trasloca a las hojas en menores concentraciones esto se debe a que las raíces pueden absorber y acumular grandes cantidades de Pb debido a que se une a las superficies de la raíz y a las paredes celulares (Yllanes, Vélez Azañero, & Lozano, 2014).

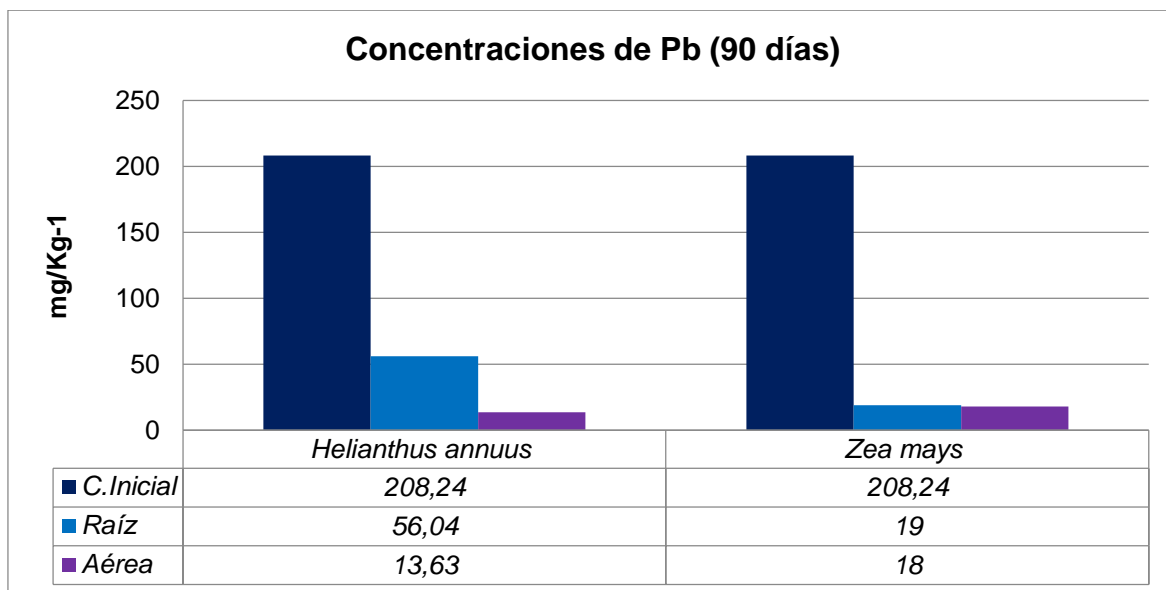


Figura 14. Acumulación de Pb, con respecto al tiempo.
Autora, 2020

Es importante mencionar también que el Ph como se observa en la Figura 15, posiblemente influyó de manera importante en el bajo valor de remoción que presentaron las especies vegetales. Ya que según Sims, Sims, & Matthews (1990), la absorción de metales se minimiza a valores de pH superiores a 6. Lo cual se puede señalar que las dos especies estuvieron expuestas a pH de 7,3 en el estudio que se tomó como referencia para el análisis, lo cual se evidencia que el *Zea mays* tuvo mayor deficiencia asimilativa para Pb al estar a pH 7,3 a comparación del *Helianthus annuus* la cual se evidencia mayor eficiencia asimilativa para Pb al estar a pH 7,3 y esto se debe principalmente a que le adicionaron compostaje lo cual al adicionar nutrimentos al *Helianthus annuus* ayudo a que haya una mayor absorción y tolerancia de este metal.

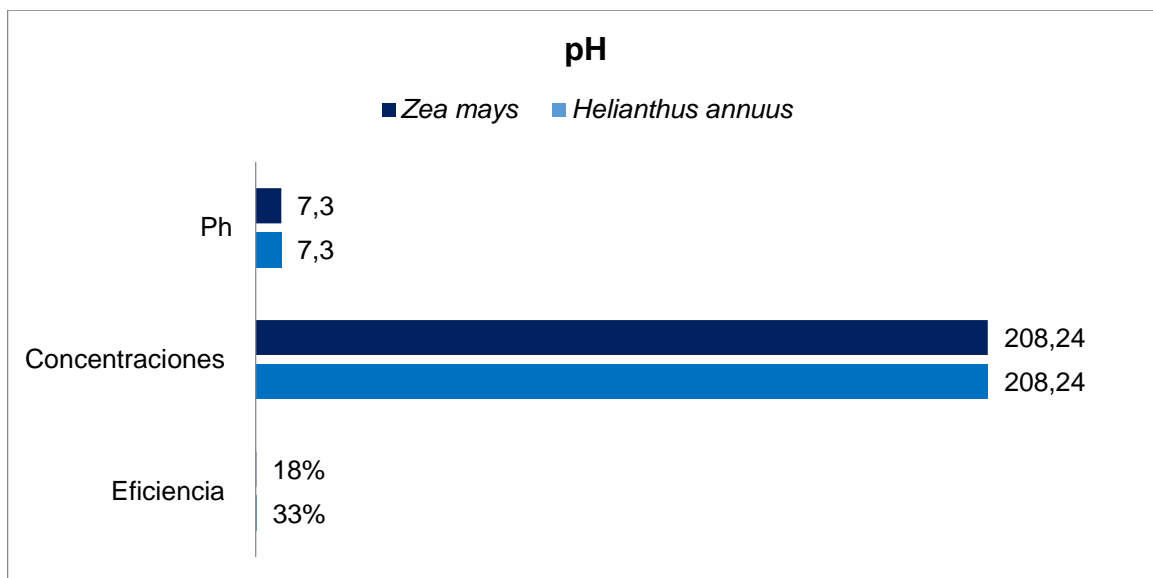


Figura 15. Remoción de Pb en el suelo.
 Autora, 2020

En cuanto se refiere a la tasa de remoción de las 2 especies vegetales utilizadas en diferentes estudios para el Cd y Pb, se presentaron valores para el Cd de 6% para el *Helianthus annuus* y 31% para el *Zea mays*, este último superando la tasa de remoción para el *Helianthus annuus* constituyéndose el *Zea mays* como alternativa interesante para el tratamiento de suelos contaminados con Cd en la provincia de Manabí cantón Junín para suelos agrícolas con pH 7.3.

Por otra parte, en otros estudios relacionados a la remoción de Cd utilizando *Helianthus annuus*. Cerrón , Sánchez, Yachachi, & Ramos (2020), le adicionaron compost y vermicompost a la especie vegetal la cual ayudaron a que haya una mejor absorción por la planta hacia la biomasa de sus órganos aéreos y obtuvieron un factor de traslocación de $2,3 > 1$ aumentando así su acumulación hacia la biomasa aérea de la planta, por lo tanto, la determinaron como planta hiperacumuladora de Cd a concentraciones de 6.76 mg/Kg Cd. Concluyendo que el *Helianthus annuus* es mucha más eficiente a concentraciones no tóxicas de Cd por lo tanto es eficiente en el proceso de fitoextracción de Cd.

Pero por otro lado el *Helianthus annuus* a suelos con Ph ácidos para la remoción de Cd es eficiente como planta fitoextractora que el *Zea mays*, este análisis se confirma en un estudio dispuesto por Muso Cachumba (2012), la cual utilizaron las 2 especies vegetales en la remoción de Cd concluyendo que el *Helianthus annuus* a los 90 días obtuvo mayor absorción de Cd, reportando una remoción de 64,575% la cual acumulo gran parte de este metal a la biomasa de sus órganos aéreos 6.78 y en la flor 0.85 y en menor proporción en la raíz 4.61 determinándola como planta eficiente en la fitoextracción de Cd a comparación del *Zea mays* que obtuvo una remoción de 59.88% concluyéndola como planta fitoestabilizadora de Cd a suelos con Ph ácidos. Chaney, Ryan, & Angle (2000), Determina que a suelos con mayor acidez la absorción y remoción de metales pesados como el Cd es más elevada por el girasol según estudios.

Para Pb la alternativa más eficiente es el *Helianthus annuus* ya que se determina una eficiencia del 33% a comparación del *Zea mays* que reporto 18% expuestas a pH 7.3, constituyéndose como alternativa para la fitorremediación de suelos contaminados con Pb en la provincia de Manabí cantón Junín para suelos agrícolas, considerándose las 2 especies como técnica acumuladora y estabilizadoras para suelos contaminados con Cd y Pb. Considerando 2 aspecto importantes, el primero es que no se necesita reducir el contaminante a un valor de 0 en un determinado suelo, sino disminuir o reducirlo a niveles que no se considere un riesgo mayor al ecosistema y a la salud humana (Rodriguez Ortiz, Rodriguez Fuentes, Lira Reyes, & Lara Mireles, 2006).

5. Discusión

De acuerdo a los resultados se identificaron el tipo de proceso fitorremediador que se consideró en la recopilación de diferentes estudios. Según Muso Cachumba (2012), las tecnologías principales en el proceso de fitorremediación de metales como el Cd y Pb son la fitoextracción que se define como el uso de planta para extraer los metales del suelo, transportarlos y acumularlos en la biomasa aérea de la planta y por otro lado la fitoestabilización que usa especies vegetales para minimizar la movilidad de los metales como Cd y Pb, ya que tiende a acumularse en la raíz o su precipitación en la rizósfera.

De acuerdo, con lo antes mencionado en la presenta investigación se han dado dos procesos fitoextracción y fitoestabilización concluyendo que en el primer caso mediante el cálculo de adsorción se recopilaron diferentes especies vegetales que son eficientes en el proceso fitoextractivo de Cd y Pb, en la cual la especie vegetal *Brassica oleracea* resulto mediante el cálculo de remoción y el TF ser eficiente a concentraciones de 300mg/Kg de Cd y Pb. Concordando con lo dispuesto por Jara Peña, Gómez, Montoya, & Chanco (2014), las especies del género brassicáceas fitoextraen y almacenan muchos metales pesados en la parte aérea que en raíces. Además, en otros estudios una de las especies como la *Brassica juncea* del género brassicáceas son especies reconocidas como potencial fitoextractora (Lázaro, 2008). Por lo que también se convierte en un medio para la transferencia de metales pesados a la cadena alimenticia y por lo tanto una problemática a los seres humanos.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que las demás especies que se identificaron para el cálculo de adsorción estuvieron expuestas en diferentes estudios a pH alcalino por lo que obtuvieron un % de extracción menos eficiente que otras especies como el *Zea mays*>*Geranium*>*Beta vulgaris*>*Lactuca*

sativa>*Helianthus annuus*. Ya que la adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el Ph del suelo (García & Dorronsoro, 2020). Determinando que mediante el TF estas plantas son potencial fitoestabilizadora o excluidoras de metales como Cd y Pb, ya que obtuvieron <1, lo que muestra la existencia de menor movilidad de los metales dentro de la planta. Afirmando lo dispuesto por Bayona (2014), en la cual determina que a pH alcalino quedan retenidos en forma de carbonatos o fosfatos minerales insolubles lo que determina que haya una menor absorción de los metales pesados en las plantas. Así también Pajoy Muñoz (2017), determina que pH ácido se presenta mayor movilidad de los metales pesados para Cd y Pb, siendo mayor su biodisponibilidad para el ingreso a las plantas. Concluyendo que el pH es un factor predominante en la bioconcentración de Cd y Pb en las especies vegetales que se identificaron como eficientes en la fitoextracción de Cd y Pb.

Para la determinación de acumulación de Cd y Pb en las diferentes especies como el *Helianthus annuus* y *Zea mays* se tomaron en cuenta diversos estudios realizados para estas especies a diferentes concentraciones en la cual se concluyó que mayor absorción se evidencia cuando se aplica nutrimentos en este caso vermicompost para los dos casos. Lo cual es consistente con estudios que afirman que el compost y vermicompost contribuyen a la solubilización de metales para Cd y Pb, lo que contribuye a una mejor absorción y mayor biomasa a las plantas (Cerrón, Sánchez, Yachachi, & Ramos, 2020). Así también las plantas micorrizadas presentan mayor tolerancia a los metales pesados, ya que presentan capacidad para inmovilizar los metales pesados en la raíz, impidiendo que estos pasen en la parte aérea de la planta (Navarro Aviñó, Aguilar Alonso, & López Moya, 2007).

Por otro lado, el mecanismo en el proceso de metales pesados hacia las plantas es importante conocer ya que existen múltiples mecanismos para el ingreso de metales pesados a la biomasa de la raíz de la especie vegetal. Determinando si facilitan el proceso de fitoestabilización o fitoextracción, concluyendo que en la fitoextracción solo existe una ruta para el transporte de metales a la biomasa de los órganos de las plantas que en este caso es el xilema (Musso Cachumba, 2012).

En cuanto se refiere al tratamiento más efectivo de las especies vegetales *Helianthus annuus* y *Zea mays* se concluyeron múltiples factores que ayudaron a una mejor absorción o menor absorción de Cd y Pb en diversos estudios que se recopilaron, determinándose que la planta más efectiva para Cd es la planta *Zea mays* para suelos alcalinos obteniendo el 33% de remoción a concentraciones de 44.8 mg/Kg^{-1} , en suelos arcillosos, actuando como planta fitoestabilizadora. Lo cual es consistente con un estudio realizado por Musso Cachumba (2012), que afirman la alta recuperación de suelos contaminados con Cd por parte del *Zea mays* se debe a que este cultivo crece en suelo con textura arcillosa lo cual presenta mayor capacidad asimilativa de metales como Cd.

Así mismo, la especie vegetal *Helianthus annuus* presentó menor asimilación de Cd, concluyendo que el pH alcalino fue uno de los factores determinantes por la cual presentó baja capacidad de absorción. Afirmando lo dispuesto por Reategui & Reategui (2018), la cual determina que a mayor acidez de los suelos la absorción y remoción de los metales pesados como el Cd es más elevada por el *Helianthus annuus* según estudios. Por otro lado, Vargas Muñoz (2013), indica que el *Helianthus annuus* trasloca de manera reducida el Cd y lo acumula principalmente en la parte de la biomasa aérea.

Finalmente, el *Helianthus annuus* se concluye como técnica eficiente en la remoción de Pb ya que se determinó una eficiencia del 33%, determinándola como planta eficiente en el proceso de la fitoextracción de Pb esto se debe principalmente a que le adicionaron compostaje lo cual al adicionar nutrimentos al *Helianthus annuus* ayudo a que haya una mayor absorción y tolerancia de este metal. Lo cual es consistente con estudios que afirman que el compost y vermicompost contribuyen a la solubilización de metales para Cd y Pb, lo que contribuye una mejor absorción y así mismo ayuda a que haya mayor biomasa a las plantas (Cerrón, Sánchez, Yachachi, & Ramos, 2020). Lo cual el *Helianthus annuus* presenta recuperación de suelos con Pb mediante el proceso de fitoextracción siendo esta técnica la más efectiva debido principalmente a que trasloca los contaminantes a la biomasa aérea de la planta, basta con una cosecha para quitar el contaminante (Musu Cachumba, 2012).

Por otra parte, *Zea mays* que se concluye como planta en el proceso de Fitoestabilización por lo que la recuperación de suelos contaminados con Pb mediante el proceso de fitoestabilización realizada por el *Zea mays* no deja de ser una alternativa eficiente y una solución para la recuperación de suelos contaminados con Pb y Cd, ya que el *Zea mays* se determinó como planta fitoestabilizadora de Cd y Pb.

6. Conclusiones

Según la evaluación de las diferentes especies vegetales que se determinaron para el cálculo de la eficiencia del proceso acumulativo en la fase fitoextractiva para Pb y Cd se determinó que la especie *Brassica oleracea* presentó mejor capacidad de absorción tanto para Pb y Cd a concentraciones de 300mg/Kg^{-1} , lo cual permite determinar que presenta mayor rango de tolerancia que las otras especies vegetales.

La exposición de las plantas *Helianthus annuus* y *Zea mays* a las que estuvieron expuestas en diversos estudios, se determinaron que presentan mayor tolerancia y mayor absorción debido principalmente al adicionarle nutrimentos como compostaje o por otro lado micorrizas arbusculares, lo cual prevalecieron a que haya mayor eficiencia de asimilación de estas 2 plantas.

Para la prueba del mejor tratamiento, las tasas de remoción en estudios recopilados a los 90 días fueron las siguientes: 31% para el *Zea mays* y 6% para el *Helianthus annuus*, esto para la remoción de Cd por lo tanto, el *Zea mays* fue la especie que presentó los mejores resultados en cuanto a la tasa de remoción de Cd.

Por otro lado, el *Helianthus annuus* fue la especie vegetal que logró traslocar la mayor cantidad de Pb en diversos estudios que se recopilaron evidenciando que trasloca eficientemente Pb hacia los órganos de su parte aérea que en la raíz reportando un % de remoción del 33% a los 90 días de exposición a concentraciones de 208.24 mg/Kg^{-1} Pb determinándola como planta fitoextractora de Pb a suelos alcalinos.

7. Recomendaciones

Si se lleva a cabo la fitorremediación es necesario analizar física y químicamente los metales presentes en suelos agrícolas para conocer la cantidad de metales que contiene, y asimismo se debe analizar el tipo de suelo para saber si la especie puede adaptarse a él.

Realizar investigaciones de la eficiencia fitorremediador del *Helianthus annuus* y *Zea mays* en una fase de campo, desde la propagación por semillas hasta su exposición a metales pesados.

Continuar con la aplicación de la fitorremediación como técnica que utiliza plantas para la remediación de suelos contaminados principalmente de Cd y Pb, siendo además una alternativa económicamente viable con respecto al empleo de métodos químicos o mecánicos.

Dentro de la técnica de fitorremediación si se desea utilizar alguna especie diferente al *Helianthus annuus* y *Zea mays*, es más beneficioso usar una especie que crezca naturalmente en el entorno al que se le aplicara así también que tenga crecimiento rápido, elevada producción de biomasa y sea tolerante al Cd y Pb.

8. Bibliografía

- Agudelo, L., Macias, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57-60.
- Alarcón, I. (24 de Junio de 2018). *La mitad de las tierras en el Ecuador muestran signos de degradación*. (I. Alarcón, Editor) Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/degradacion-suelo-planetaeideas-ecuador-desertificacion.html>
- Alezones, B., Casanova, A., & Laurentin, H. (2014). *Caracterización morfológica y molecular de poblaciones segregantes de girasol provenientes de híbridos comerciales (Tesis de pregrado)*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela.
- Alonso, J. A., Bermúdez, F. L., & Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. métodos de estimación*. España: Edit.um.
- Andrade, E., & Ponce, W. (2016). *Determinación de los niveles de metales pesados en la microcuenca del río carrizal del Cantón Bolívar, provincia de Manabí (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta.
- Andrade, M. (2015). *Incidencia de actividades productivas del cultivo de la caña de azúcar en la calidad ambiental del suelo, sitio soledad canton junin (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.
- Andrés, I. M., Ollivier, M. D., Heras, J., & Burgaz, M. E. (1994). *Trabajos de palinología básica y aplicada*. España: Universidad de València.

- Arenas Moya, S., & Hernández Caro, S. (2012). *Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie Brassica Nigra (Tesis de pregrado)*. Universidad de Medellín, Medellín.
- Bayón Sanz, S. (2015). *Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados (Tesis de pregrado)*. Universidad Complutense Madrid, Madrid.
- Bayona, M. L. (2014). *Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del río Turia (Tesis de pregrado)*. Universidad de Lleida, Barcelona.
- Beltrán Villavicencio, B. (2001). *Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles (Tesis de pregrado)*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Bonilla Valencia, S. M. (2013). *Estudio para tratamiento de Biorremediación de suelos contaminados con Plomo, utilizando el método de fitorremediación (Tesis de pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.
- Brian J, A. A. (2012). The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources. *Science of The Total Environment*, 91(1), 223-236. doi:10.1016
- Burger, D., & Román, D. (2010). *Plomo Salud y Ambiente*. Montevideo .
- C. Reyes, Y., Vergara, I., E. Torres, O., Díaz, M., & E. González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.

- Cargua, J. (2010). *Determinacion de las formas de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del Litoral Ecuatoriano*. Santo Domingo - Ecuador : ThisOne.
- Castro Gómez, J. R. (2013). *Capsicum annuum L. como fitorremediador de suelos contaminados por metales pesados (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cerrón, R., Sánchez, G., Yachachi, Y., & Ramos, F. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2). doi:10.17268
- Chaney, R., Ryan, L., & Angle, J. (2000). Transfer of cadmium through plants to the food chain. *Belgian Academy Of Sciences, Brussels, Belgium*, 76-82.
- Cordero Casallas, J. K. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de útica (Cundinamarca) (Tesis de pregrado)*. Universidad Libre, Bogotá.
- Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1), 35-46. doi:10.17163
- De la Cruz López , C., Ramos Arcos, S., & López Martínez, S. (2007). Effect of the addition of organic acids on the bioaccumulation of Lead, Thallium and Vanadium in *Chrysopogon zizanioides* growing on contaminated soils from a landfill. *Ciencia Naturales e Ingenierías*, 10(21), 1-23. doi:10.21640
- Delgadillo López, A. E. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. agroecosyt*, 4(2), 597-612.

- Díaz, L., Medoza, E., Bravo, M., & Domínguez, N. (2018). Determinación de cadmio y plomo en almendras de cacaco (*Theobroma cacao*), proveniente de fincas de productores orgánicos del cantón Vinces. *Espirales*, 2(15), 101-150. doi:10.31876
- Ebbs, M., L., Brady, R., C., & Gordonand. (1997). Phytoextraction of Cadmium and Zinc from a Contaminated Soil. *Journal of Environmental Quality*, 26(5), 1424-1430. doi:10.2134
- Escobar, S. (2016). *Determinación de la presencia de plomo y cadmio en frutilla (*Fragaria ananassa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) en el quinche (Tesis de pregrado)*. Universal Central del Ecuador , Quito.
- Eugenio, N. R., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf
- Falcón Estrella, J. V. (2016). *Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea mays L. en la estación experimental el mantaro - Junin en el año 2016 (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
- FAO. (4 de Septiembre de 2017). *Siete países latinoamericanos desarrollarán sistemas nacionales de información sobre suelos*. Obtenido de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1035403/>
- FAO. (2018). *Un informe lanza la alarma sobre la contaminación del suelo*. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/es/item/1127218/icode/>
- Gama Retamozo, Y. O. (2019). *La Fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción-*

- Cajabamba (Tesis de pregrado)*. Universidad de Posgrado de la Facultad de Ciencia Agrarias, Cajamarca.
- García, C., Moreno, J., Hernández, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Centro de Ciencias Medioambientales*, 125-138.
- García, I., & Dorronsoro, C. (13 de Septiembre de 2020). *Contaminación por metales pesados*. Obtenido de <http://www.edafologia.net/conta/tema15/fact.htm#:~:text=Es%20un%20factor%20esencial,m%C3%A1s%20disponibles%20a%20pH%20alcalino.&text=La%20adsorci%C3%B3n%20de%20los%20metales,tanto%2C%20tambi%C3%A9n%20sus%20solubilidad>).
- González Miranda, M. (2016). *Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas en suelos contaminados por actividades mineras en Pchuncaví y Quintero (Tesis de pregrado)*. Universidad de Barcelona, España.
- Grandez Argomeda, M. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junin, mediante Fitorremediación con Girasol (Helianthus annuus) y Maíz (Zea mays) usando enmiendas (Tesis de pregrado)*. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Lima.
- Guartatanga, E., & Siguencia, K. (2019). *Recuperación de suelo contaminado con cobre y plomo mediante métodos biológicos al interior del campamento Guarumales - Corporación Hidroeléctrica del Ecuador, CELEC EP - Unidad de negocio Hidropaute (Tesis de pregrado)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca.

- Guerra Coss, F. A. (2014). *Bioacumulación de metales pesados en Halófitas dominantes de Maguey Blanco, Valle del Mezquital, Ixmiquilpan, Hidalgo (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gutiérrez Espinoza, L., Melgoza Castillo, A., Alarón Herrera, M., & Ortega Gutiérrez, J. (2011). Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Rev. Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 2(1), 49-56.
- Hernández, E., Juárez, Y., Robledo, E., Díaz, P., & Acevedo, D. (2016). Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina. *Iberoamericana de Ciencias*, 3(6), 1-36.
- Hidalgo, I. G. (2019). *Determinación de plomo en suelo y arroz (Oryza sativa L.) en dos cantones de la provincia del guayas (Tesis de pregrado)*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Hoyos Cerna, M., & Guerrero Padilla, A. (2015). Bioacumulación de plomo y cadmio en *Brassica oleracea* SUBSP. *Capitata* (L.) METZG. y *Taphanus sativus* L. *Untru Sciendo*, 1-13.
- Huang, J., W.R., B., & S.D., C. (1997). Phytoremediation of lead-contaminated soils: Role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environmental Science & Technology*, 31(3), 800-805.
- Huiracocha, J. (2018). *Evaluación del riesgo por cadmio y plomo en granos de arroz (Oryza sativa) comercializados en la ciudad de Cuenca (Tesis de pregrado)*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- IICA. (1989). *Compendio de agronomía tropical Volumen 2*. San José, Costa Rica.

- ISM. (18 de Abril de 2016). *ISMedioambiente*. Obtenido de ISMedioambiente: <https://www.ismedioambiente.com/la-contaminacion-del-suelo-problematica-de-primera-magnitud/>
- Jara Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., & Chanco. (2014). Phytoremediation capacity of five high andean species from soils contaminated with heavy metals. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. doi:10.15381
- Lázaro, F. J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas (Tesis de pregrado)*. Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Legña, J. (2018). *Remoción de cadmio de los suelos aledaños de la laguna de limoncocha por adsorción superficial del bagazo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) (Tesis de pregrado)*. Universidad Internacional SEK, Quito.
- López, R. A., Vong, Y. M., Borges, R. O., & Olgún, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 55(3), 1-15.
- MAE. (2017). *Código Organico Ambiental* . Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Mahdy, A., Elkhaitb, E., & Fathi, N. (2007). Cadmium, Copper, Nickel, and Lead Availability in Biosolids-amended Alkaline Soils. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1, 354-363.

- Maqueda Galv3ez, A. (2003). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de pregrado)*. Universidad de las Am3ricas Puebla, M3xico.
- Mar3n, S. (2008). *Contaminaci3n del suelo*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbdm/adm/https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11036/Tasm03de16.pdf
- McKernan, J. (2001). *Investigaci3n-acci3n y curriculum: m3todos y recursos para profesionales*. Madrid: Morata.
- Mendoza, M. P. (2005). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hort3colas de la provincia de castell3n (Tesis de pregrado)*. Universidad de Valencia, Espa1a.
- Ministerio del Ambiente . (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislaci3n Secundaria*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbdm/adm/http://www.cip.org.ec/attachments/article/2749/AM%20061%20REFORMA%20LIBRO%20VI%20TULSMA.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Constituci3n de la Rep3blica del Ecuador 2008*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbdm/adm/https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Registro Oficial No. 387*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbdm/adm/https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C. F., & Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191. doi:10.17584
- Miras, J. J. (2002). *Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos de invernadero del poniente almeriense*. Almería: Universidad de Almería.
- Miren. (27 de Septiembre de 2015). *Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/degradacion-de-los-suelos.html>
- Mite, F., Carrillo, M., & Durango, W. (2015). *Avances del monitoreo de presencia de cadmio en almendras de cacao, suelos y aguas en el Ecuador (Tesis de pregrado)*. Pichilinge.
- Mora, K., & Medina, G. (2017). *Acumulación de metales pesados en suelos agrícolas con cultivo de banano en el sector el moral, recinto SantaCruz, cantón La Maná, provincia de Cotopaxi (Tesis de pregrado)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Munive Cerrón, R. V. (2018). *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Agraria La Molian, Lima.
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Ciencias Agropecuarias*, 9(4), 551-560.

- Muñoz, J. (2017). *Determinación de cadmio en fertilizantes, plantas de Oryza sativa L. y suelos de la provincia del Guayas: Propuesta de saneamiento (Tesis de pregrado)*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Muso Cachumba, J. J. (2012). *Determinación de la capacidad fitorremediadora de cadmio del camacho (Xanthosoma undipes Koch) especie vegetal nativa en el área de influencia de EP pretoecuador en el distrito amazónico (Tesis de pregrado)*. Escuela Politécnica Del Ejército, Sangolquí.
- Navarro Aviño, J., Aguilar Alonso, I., & López Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 1-17.
- Navarro Aviño, J., Aguilar, J., & Lopez, J. (2007). Aspectos bioquímicos y gnéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Revista Ecosistemas*.
- Ogosi, C. (2018). *Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando Brassica campestris L. en la Estación Experimental El Mantaro-Junín (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Peú.
- Orozco Pérez, O. (2012). *Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, utilizando especies vegetales con diferente densidad estomática (Tesis de pregrado)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Orozco, V. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. 34(4), 441-456.
- Orroño, D. I. (2002). *Acumulacion de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género Pelargonium: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad (Tesis de pregrado)*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

- Ortiz, H., Calzada, R., Cepeda, R., & Arreola, J. (2009). Ftoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Chapingo, Serie horticultura*, 15(2), 161-168.
- Pajoy Muñoz, H. M. (2017). *Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Palmira. (2015). *Palmira*. Obtenido de <https://www.palmira.unal.edu.co/noticias/index.php/es/noticias/facultad-ciencias-agropecuarias-2/item/449-malas-practicas-degradan-suelos-en-cultivos-de-platano>
- Pasto, J., Ginés, M. G., & Hernández, A. J. (2012). *Respuesta del maíz (Zea mays) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto (Tesis de pregrado)*. Universidad de Alcalá, Madrid.
- Peña River, M., & Beltrán Lázaro, E. (junio de 2017). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la estación experimental el mantaro. *Prospectiva Universitaria*, 32-45. doi:10.26490
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C., Román Gutiérrez, A., & Prieto García, F. (2009). Plant Contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water. *Topical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelos provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1), 1-2 .

- Ramos Villegas, J. L., & Hernández Viveros, J. A. (2014). *Asimilación de arsénico y metales pesados en maíz cultivado en suelos cercanos a jales (Tesis de pregrado)*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México.
- Reategui, L., & Reátegui, C. (2018). *Capacidad de absorción del Helianthus annuus en suelos agrícolas contaminados con cadmio (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional del Callao, Perú.
- Ríos Rodríguez, A. (2017). *Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies Lolium perenne, Pelargonium hortorum y Fuertesimalva echinata en la reducción de la concentración de Plomo en suelos agrícolas del Distrito de Huamantanga, 2017 (Tesis de pregrado)*. Universidad César Vallejo, Lima.
- Rodriguez Ortiz, J., Rodriguez Fuentes, H., Lira Reyes, G., & Lara Mireles, J. (2006). Capacity of six plant species to accumulate lead in contaminated soils. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(3), 239-245.
- Romero Ledezma, K. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46.
- Ruiz Huerta, E. A., & Armienta Hernández, M. A. (2012). Accumulation of arsenic and heavy metals in maize near mine tailings. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 103-117.
- Ruiz, J. C., Rebaza, L. C., Espejo, M. R., & Padilla, M. G. (2012). *Capacidad remediadora de la raíz de girasol, Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

- Sánchez, J. O. (2017). *Ecotoxicología del cadmio, riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio (Tesis de pregrado)*. Universidad Complutense, Madrid.
- Serrano, M. R., Casa, N. M., Puertas, M. R., Río, L. d., & Sandalio, L. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139-146.
- Sims, J., Sims, R., & Matthews, J. (1990). Residuos peligrosos y materiales peligrosos. *Environmental Engineering Science*, 117-149. doi:10.1089
- Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana . (Septiembre de 2012). *Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental*. Obtenido de chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfdmadadm/https://www.utpl.edu.ec/obsa/wp-content/uploads/2012/09/ley_de_preencion_y_control_de_la_contaminacion_ambiental.pdf
- Soto, M., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate Quispe, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1). doi:10.17268
- Suaña Quispe, M. E. (2018). Capacidad del girasol (*Helianthus annuus* L.) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado, Puno. *Revista de Investigaciones de la Escuela de Posgrado Altiplano*, 7(1), 393-401. doi:1026788
- Tello Atencia , M. d. (2015). Evaluación del riesgo toxicológico de plomo y cadmio en suelos del entorno del parque industrial de la ciudad de Cuenca (Tesis de pregrado). *Tesis*. Universidad Estatal de Cuenca, Cuenca.

- Trujillo, J., Torres, M., & Mahecha, J. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 1-5.
- Vallés, M., Fuentes, E., & Pons, J. (2018). *El plomo: un problema medioambiental y para la salud*. Obtenido de <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-plomo-un-problema-medioambiental-y-para-la-salud-1345680342040.html?noticiaid=1345777559254>
- Vargas Muñoz, G. A. (2013). *Influencia de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción con girasol en suelos contaminados por Pb y Cd (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Vega, N. B. (2017). Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud (Tesis de pregrado). *Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud*. Universidad de Complutense, España.
- Velásquez, M. (2017). *Determinación de metales pesados y pérdidas poscosecha en dos hortalizas de consumo directo: Tomate (Solanum lycopersicum) y Lechuga (Lactuca sativa) (Tesis de pregrado)*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Viteri, J., & Zambrano, G. (2016). *Conflictos del uso del suelo, a través del sistema USDA-LCC mediante S.I.G. como aporte a la sostenibilidad ambiental, Microcuencas Guayas (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calcuta .
- Xiong, Y. (2004). Characteristics of cadmium uptake and accumulation by two contrasting ecotypes of *Sedum alfredii* Hance. *Journal Of Environmental Science And Health Part A-Toxic/Hazardous Substance and Environmental Engineering*, 39(11-12), 2925-2940.

- Yang, W., Wang, S., & Ni, W. (2019). Enhanced Cd- Zn- Pb- contaminated soil phytoextraction by *sedum alfredii* and the rhizosphere bacterial community structure and function by applying organic amendments. *Plant Soil* 444, 101-118.
- Yelitza, B. L., & Sunilde, B. R. (2013). *Optimizacion del crecimiento de Helianthus annuus L. (Girasol) para la fitoextraccion de plomo, zinc y cadmio de relaves minero artesanal del caserío de zarumilla, pataz (Tesis de pregrado)*. Universidad nacional de trujillo, Perú.
- Yllanes, P., Vélez Azañero, A., & Lozano, S. (2014). Phytotoxic effects of lead on dekalb hybrid maize (*Zea mays L.*) in sandy and silty soil. *The Biologist*, 12(2), 337-348.
- Zare, B. L. (2009). *Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de Helianthus annuus L. "girasol" cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo (Tesis de pregrado)*. Universidad de Trujillo, Trujillo.

9. Anexos

Tabla 18. Criterios de calidad del suelo

Sustancia	Unidades (Concentración en peso seco de suelo)	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/m	200
pH		6a8
Relación de adsorción (Índice SAR)		4*
Cadmio	mg/Kg	0.5
Plomo	mg/Kg	19

Ministerio del Ambiente, 2018

Tabla 19. Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Parámetros Generales		
Parámetro	Unidades *	Valor
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de absorción de sodio (Índice SAR)		4*
Parámetros Inorgánicos		
Cadmio	mg/kg	0.5
Plomo	mg/kg	19

Ministerio del Ambiente, 2018