



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE
RIESGOS NATURALES**

**EVALUACIÓN DE PLANTAS ARVENSES DE REPRODUCCIÓN
SEXUAL PARA USO EN FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS
CONTAMINADOS CON CADMIO (Cd)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

ANA KAREN PEÑA JORDAN

DIRECTORA: Dra. LUZ MARÍA MARTÍNEZ BUÑAY, MsC.

Santo Domingo, Enero 2021

© Universidad UTE. 2021

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

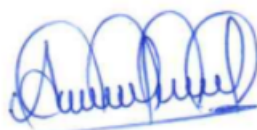
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	235008561-5
APELLIDO Y NOMBRES:	Peña Jordán Ana Karen
DIRECCIÓN:	Vía Quevedo km 4
EMAIL:	anitaKPJ1996@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02-3741014
TELÉFONO MÓVIL:	0988946930

DATOS DE LA OBRA				
TÍTULO:	Evaluación de plantas arvenses de reproducción sexual para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd).			
AUTOR:	Peña Jordán Ana Karen			
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	05 de enero 2021			
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Dra. Luz María Martínez Buñay, MsC.			
PROGRAMA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #D3D3D3;">PREGRADO</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">POSGRADO</td> </tr> </table>	PREGRADO	X	POSGRADO
PREGRADO	X	POSGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales			
RESUMEN:	<p>El Cadmio (Cd) es un metal pesado que provoca daños físicos, químicos y biológicos al ingresar en la cadena trófica, afectando a plantas, animales e incluso seres humanos; este problema ha generado preocupación, ya que este metal se encuentra presente en varios suelos agrícolas del Ecuador. En ésta investigación se evaluaron especies arvenses de reproducción sexual que podrían ser usados en trabajos de fitorremediación, desarrollando los estudios a nivel de invernadero y laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP-INIAP) con el objetivo de identificar especies arvenses que posean la capacidad de absorber y acumular Cd a nivel radical y tejidos aéreos.</p>			

	<p>Se evaluaron diez especies arvenses: <i>Cyperus cephalotes</i>, <i>Rottboellia cochinchinensis</i>, <i>Ageratum conyzoides</i>, <i>Elesuine indica</i>, <i>Conyza bonariensis</i>, <i>Solanum nigrum</i>, <i>Echinochloa colonum</i>, <i>Digitaria sanguinalis</i>, <i>Peperomia pellucida</i> y <i>Leptochloa filiformis</i> utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados fueron analizados empleando la prueba de Tukey al 5%. Se determinó que las especies <i>P. pellucida</i> (3.13), <i>C. cephalotes</i> (3.07) y <i>A. conyzoides</i> (1.73) obtuvieron un factor de translocación $FT > 1$, resultando capaces de traslocar el metal pesado desde la raíz a sus órganos aéreos. Por otra parte, <i>P. pellucida</i> (39.84 g ha⁻¹) y <i>R. cochinchinensis</i> (23.19 g ha⁻¹) absorbieron la mayor cantidad de Cd en toda la planta, siendo las especies mencionadas capaces de fitoextraer el metal, considerando al resto de especies en el estudio como fitoestabilizadoras.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Extracción, estabilización, translocación, malezas.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>Cadmium (Cd) is a heavy metal that causes physical, chemical and biological damage when entering the food chain, affecting plants, animals and even human beings; This problem has generated concern, since this metal is present in several agricultural soils of Ecuador. In this research weed species of sexual reproduction that could be used in phytoremediation work were evaluated, developing studies at the greenhouse and laboratory level of the Department of Soil and Water Management (DMSA) of the Pichilingue Tropical Experimental Station (EETP-INIAP) with the objective of identifying weed species that have the ability to absorb and accumulate Cd at the radical level and aerial tissues. Ten weed species were evaluated: <i>Cyperus cephalotes</i>, <i>Rottboellia cochinchinensis</i>, <i>Ageratum conyzoides</i>, <i>Elesuine indica</i>, <i>Conyza bonariensis</i>,</p>

	<p>Solanum nigrum, Echinochloa colonum, Digitaria sanguinalis, Peperomia pellucida and Leptochloa filiformis using a randomized three complete block design. The results were analyzed using the 5% Tukey test. It was determined that the species P. pellucida (3.13), C. cephalotes (3.07) and A. conyzoides (1.73) obtained a translocation factor $FT > 1$, resulting capable of translocating heavy metal from the root to its aerial organs. On the other hand, P. pellucida (39.84 g ha⁻¹) and R. cochinchinensis (23.19 g ha⁻¹) absorbed the highest amount of Cd in the whole plant, being the mentioned species capable of phytoextracting the metal, considering the rest of species in the study as phytostabilizers.</p>
KEYWORDS:	<p>Extraction, stabilization, translocation, weeds.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

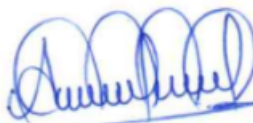
PEÑA JORDÁN ANA KAREN
C.I. 2350085615

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PEÑA JORDAN ANA KAREN**, CI 2350085615 autora del trabajo de titulación: **Evaluación de plantas arvenses de reproducción sexual para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)**, previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 05 de enero de 2021.



F: _____

PEÑA JORDÁN ANA KAREN
C.I. 2350085615

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **Evaluación de plantas arvenses de reproducción sexual para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)** para aspirar al título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** fue desarrollado por **PEÑA JORDAN ANA KAREN**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



F: _____

Dra. LUZ MARÍA MARTÍNEZ BUÑAY, MsC.

DIRECTORA DEL TRABAJO

C.I.0601604473

CERTIFICACIÓN:

La Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, CERTIFICA que: la Srta. Ana Karen Peña Jordán, con C.C 2350085615, tesista de la Universidad UTE, realizó las actividades enmarcadas en el tema de tesis **“Evaluación de plantas arvenses de reproducción sexual para uso en fitorremediación de suelos contaminados con Cadmio (Cd)”**, bajo la tutoría del Dr. Manuel Carrillo, Responsable del Departamento de Suelos y Aguas; cumpliendo con el trabajo de campo programado en el plan de tesis, por lo consiguiente puede hacer el uso de los datos de la investigación para los debidos procesos de titulación como Ingeniería Ambiental y Manejo de Riegos Naturales.

Mocache, 06 de noviembre de 2020

Atentamente



Dr. Luis Fernando Pinargote García
DIRECTOR DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL
TROPICAL PICHILINGUE (E)



DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo va dedicado con mucho cariño a Dios, por ser mi guía en cada paso que di durante todo el proceso.

A mi familia, principalmente a mis padres por estar siempre a mi lado, apoyándome, inculcándome buenos valores.

A mi abuelita por ser el pilar fundamental de mi familia, por aconsejarme siempre y alentarme incondicionalmente para culminar mi carrera.

A mi hermano y hermanas, por su cariño y por estar presente siempre en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por sus infinitas bendiciones y sabiduría, por estar presente en cada etapa de mi vida, por ser mi fortaleza en mis espacios de debilidad y por permitir la culminación de mi formación profesional.

Agradezco a mis padres, por darme la vida, por apoyarme para tener una buena educación, por cada enseñanza y consejo que han permitido forjarme para la vida, por instruirme a luchar por mis sueños, por ser mi apoyo incondicional y ejemplo a seguir.

A mis abuelitos por estar siempre conmigo aconsejándome en cualquier situación durante el transcurso de mi carrera.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi tutora Dra. Luz María Martínez Martínez, en conjunto con el Dr. Manuel Carrillo Zenteno quienes con su conocimiento me supo dirigir y enseñar en cada proceso dentro de la realización del presente trabajo.

De la misma manera también al Departamento de Manejo de Suelos y Agua de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, por los insumos que nos brindó para poder realizar la investigación y por aquellas personas que estuvieron presentes en este proceso. Agradezco enormemente a los Ingenieros: Wuellins Durango, Karina Peña, Virginia, Betty, Joffre por haberme brindado su apoyo y conocimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. SUELO	4
1.2. METALES PESADOS EN EL SUELO	4
1.3. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LAS PLANTAS	5
1.4. CADMIO	6
1.5. EFECTOS DEL CADMIO A LA SALUD	6
1.6. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS.....	7
1.7. FITORREMEDIACIÓN.....	7
1.8. FITOTRANSFORMACIÓN O FITODEGRADACIÓN	8
1.10. RIZODEGRADACIÓN	8
1.11. FITOEXTRACCIÓN O FITOACUMULACIÓN	8
1.12. PLANTAS METALÓFITAS.....	8
1.12.1. EXCLUYENTES.....	9
1.12.2. INDICADORAS.....	9
1.12.3. ACUMULADORAS.....	9
1.12.4. HIPERACUMULADORAS.....	9
1.13. PLANTAS ARVENSES	9
2. METODOLOGIA	14
2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	14
2.2. MATERIAL GENÉTICO	14
2.3. PREPARACIÓN DEL SUELO.....	15
2.3.1. CONTAMINACIÓN E INCUBACIÓN DEL SUELO	16
2.4. TRATAMIENTOS.....	16
2.5. PROPAGACIÓN DE LAS ARVENSES	16
2.6. FERTILIZACIÓN DE LAS ARVENSES	17
2.7. COSECHA DE LAS PLANTAS.....	17
2.8. LAVADO DE LAS PLANTAS ARVENSES	17
2.9. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN	18
2.9.1. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA.....	18
2.9.2. DETERMINACIÓN DE Ph.....	18
2.9.3. CONCENTRACIÓN DE Cd EN LOS TEJIDOS.....	18
2.9.4. CONTENIDO DE Cd EN LOS TEJIDOS.....	18
2.9.5. FACTOR DE TRANSLOCACIÓN.....	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA	20
3.1.1. MATERIA SECA PARTE AÉREA.....	20

3.1.2. MATERIA SECA PARTE RADICAL.....	21
3.2. PH.....	21
3.3. BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO.....	22
3.3.1. CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE AÉREA.....	22
3.3.2. CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE RADICAL.....	23
3.3.3. CONTENIDO DE Cd PARTE AÉREA.....	24
3.3.5. CONTENIDO TOTAL DE Cd.....	24
3.4. FACTOR DE TRANSLOCACIÓN.....	25
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	26
4.1. CONCLUSIONES.....	26
4.2. RECOMENDACIONES.....	27
BIBLIOGRAFÍA.....	28
ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Plantas arvenses de reproducción sexual evaluadas para determinar su capacidad de extracción de Cd en suelos cacaoteros.....	15
Tabla 2. Características físicas del suelo utilizado en la siembra de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con Cd	15
Tabla 3. Características químicas del suelo utilizado en la siembra de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con Cd	15
Tabla 4. Número de semillas de cada especie arvense sembradas por maceta	17
Tabla 5. Producción de materia seca de la parte aérea y radical (g) de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)	20
Tabla 6. Variación del pH final del suelo y rizósfera de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd).....	22
Tabla 7. Concentración de Cd en la parte aérea y radical de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)	23
Tabla 8. Variación del contenido de Cd en la parte aérea, radical, total y Factor de translocación (FT) obtenidos de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd).....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Ubicación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) EET Pichilingue (Earth, 2020).....	14

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA (G) DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELO ARENOSO FRANCO, CONTAMINADO CON CD	40
ANEXO 2. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE LA PARTE RADICAL (G) DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELO ARENOSO FRANCO, CONTAMINADO CON CD	40
ANEXO 3. VARIACIÓN DEL PH DEL SUELO Y RIZÓSFERA	42
ANEXO 4. CONCENTRACIÓN DE CD EN LA PARTE AÉREA DE LAS PLANTAS ARVENSES DE REPRODUCCIÓN SEXUAL CULTIVADAS EN SUELO ARENOSO FRANCO	42
ANEXO 5. CONCENTRACIÓN DE CD EN LA PARTE RADICAL DE LAS PLANTAS DE REPRODUCCIÓN SEXUAL CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO	43
ANEXO 6. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CD EN LA PARTE AÉREA DE LAS PLANTA ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO	43
ANEXO 7. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CD EN LA PARTE RADICAL DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO	44
ANEXO 8. VARIACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CD DE PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO	44
ANEXO 9. VARIACIÓN DEL FACTOR DE TRANSLOCACIÓN OBTENIDOS DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELO ARENOSO FRANCO	45
ANEXO 10. FOTOGRAFÍAS.....	46

RESUMEN

El Cadmio (Cd) es un metal pesado que provoca daños físicos, químicos y biológicos al ingresar en la cadena trófica, afectando a plantas, animales e incluso seres humanos; este problema ha generado preocupación, ya que este metal se encuentra presente en varios suelos agrícolas del Ecuador. En esta investigación se evaluaron especies arvenses de reproducción sexual que podrían ser usados en trabajos de fitorremediación, desarrollando los estudios a nivel de invernadero y laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP-INIAP) con el objetivo de identificar especies arvenses que posean la capacidad de absorber y acumular Cd a nivel radical y tejidos aéreos. Se evaluaron diez especies arvenses: *Cyperus cephalotes*, *Rottboellia cochinchinensis*, *Ageratum conyzoides*, *Elesuine indica*, *Conyza bonariensis*, *Solanum nigrum*, *Echinochloa colonum*, *Digitaria sanguinalis*, *Peperomia pellucida* y *Leptochloa filiformis* utilizando un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados fueron analizados empleando la prueba de Tukey al 5%. Se determinó que las especies *P. pellucida* (3.13), *C. cephalotes* (3.07) y *A. conyzoides* (1.73) obtuvieron un factor de translocación $FT > 1$, resultandos capaces de traslocar el metal pesado desde la raíz a sus órganos aéreos. Por otra parte, *P. pellucida* (39.84 g ha⁻¹) y *R. cochinchinensis* (23.19 g ha⁻¹) absorbieron la mayor cantidad de Cd en toda la planta, siendo las especies mencionadas capaces de fitoextraer el metal, considerando al resto de especies en el estudio como fitoestabilizadoras.

Palabras clave: Extracción, estabilización, translocación, malezas.

ABSTRACT

Cadmium (Cd) is a heavy metal that causes physical, chemical and biological damage when entering the food chain, affecting plants, animals and even human beings; This problem has generated concern, since this metal is present in several agricultural soils of Ecuador. In this research weed species of sexual reproduction that could be used in phytoremediation work were evaluated, developing studies at the greenhouse and laboratory level of the Department of Soil and Water Management (DMSA) of the Pichilingue Tropical Experimental Station (EETP-INIAP) with the objective of identifying weed species that have the ability to absorb and accumulate Cd at the radical level and aerial tissues. Ten weed species were evaluated: *Cyperus cephalotes*, *Rottboellia cochinchinensis*, *Ageratum conyzoides*, *Elesuine indica*, *Conyza bonariensis*, *Solanum nigrum*, *Echinocloa colonum*, *Digitaria sanguinalis*, *Peperomia pellucida* and *Leptochloa filiformis* using a randomized three complete block design. The results were analyzed using the 5% Tukey test. It was determined that the species *P. pellucida* (3.13), *C. cephalotes* (3.07) and *A. conyzoides* (1.73) obtained a translocation factor $FT > 1$, resulting capable of translocating heavy metal from the root to its aerial organs. On the other hand, *P. pellucida* (39.84 g ha⁻¹) and *R. cochinchinensis* (23.19 g ha⁻¹) absorbed the highest amount of Cd in the whole plant, being the mentioned species capable of phytoextracting the metal, considering the rest of species in the study as phytostabilizers.

Keywords: Extraction, stabilization, translocation, weeds.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es el componente fundamental del ambiente en el cual se desarrolla la vida (Arroyave & Correa, 2009). Es la base de la producción agrícola y el sustento de los ecosistemas, sin embargo; su degradación afecta la subsistencia de la humanidad (Falcón, 2002). Es por ello que la contaminación de los recursos naturales se considera un problema de gran importancia a nivel mundial debido a que es causada por agentes tóxicos presentes en agua, suelo y aire (Picazo, 2014) como los metales pesados. Estos se encuentran en el suelo de forma natural, siendo parte de su composición y sus niveles aumentan a causa de las actividades antropogénicas (Méndez, González, Román, & Prieto, 2009).

La contaminación del suelo a causa de los mismos, se ha convertido en un problema ambiental y social, debido a que estos elementos tienen una alta persistencia en el ambiente, baja solubilidad en la biota terrestre y son perjudiciales para la salud humana (Rivera & Beltrán, 2012). Además, si el metal pesado sobrepasa los límites máximos permitidos producen consecuencias inmediatas, ocasionando disturbios dentro de los componentes del ambiente como el impedimento del crecimiento de las plantas (Méndez, González, Román, & Prieto, 2009). El plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd) y zinc (Zn), pueden ser absorbidos por las plantas y concentrarse en sus tejidos a niveles tóxicos, siendo esta su posible vía de acceso a la cadena trófica (Cano et al. 2009). Como consecuencia de ello, se pueden generar alteraciones específicas en el cuerpo humano por dichos metales, como es el caso del Cd, el cual se almacena en los riñones, huesos, pulmones e hígado (García & Azcona, 2012).

Frente al impacto que ocasionan los metales pesados, se han investigado y desarrollado diversas tecnologías con el fin de mitigar su contaminación. Siendo la fitorremediación una de las técnicas que ha permitido reducir la movilidad de estos agentes tóxicos (Casallas, 2015), logrando remover, estabilizar y/o degradar contaminantes de suelos, sedimentos y aguas a través del uso de plantas (Rivera & Beltrán, 2012). Con estos antecedentes se realizó un estudio para evaluar la capacidad fitorremediadora de Cd con plantas arvenses que crecen bajo las plantas de cacao en el cual el objetivo general de la investigación fue identificar la o las especies de plantas arvenses reproducidas sexualmente, adaptadas a ambientes de cultivo de cacao, que presenten elevada capacidad de absorción de Cd, para uso en programas de fitorremediación. Dentro de los objetivos específicos se pretende: a) determinar la tasa de translocación de Cd por plantas arvenses de reproducción sexual, adaptadas a ambiente de cacaoteras; b) seleccionar las especies vegetativas con mayor absorción de Cd, para uso en programas de fitorremediación.

1.1. SUELO

El suelo se define como la interfase entre la biosfera y la litosfera, está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, disolución acuosa y aire (Bascones, 2003). Las características físicas, químicas y biológicas le convierten en un sistema clave, fundamentalmente en los ciclos biogeoquímicos, siendo capaz de realizar funciones de filtración, neutralización, descomposición, etc. Por ende, éste actúa como una barrera que preserva a otros medios más susceptibles como los biológicos e hidrológicos (Bayona, 2014). La presencia de elementos químicos y compuestos contaminantes en altas concentraciones se considera un tipo de degradación del suelo (Galán & Romero, 2008).

1.2. METALES PESADOS EN EL SUELO

Los metales pesados hacen referencia a cualquier elemento químico que tenga una densidad mayor a 5 g cm^{-3} (Covarrubias & Peña, 2017) y que sean tóxicos incluso encontrándose en concentraciones muy bajas (Méndez, González, Román, & Prieto, 2009). Estos se generan por distintas fuentes, encontrándose naturalmente en la corteza terrestre, siendo su presencia menor a la que se genera a partir de las diferentes actividades que ejerce el hombre en la industria, minería y agricultura (Heredia, 2017).

Además, los metales pesados pueden persistir en el suelo durante largos periodos siguiendo vías de movilidad, como el desplazamiento a las aguas subterráneas o superficiales, transferencia por volatilización a la atmósfera, absorción por la flora, retención en el suelo por adsorción y mediante reacciones de complejación y precipitación, pudiendo también quedar fijos o disueltos (Navarro, Aguilar, & López, 2007).

La sensibilidad de los suelos a la agresión de elementos contaminantes es diferente y depende de ciertas características como:

- **pH:** Este factor es determinante para la adsorción de metales al suelo (Machecha, Trujillo, & Torres, 2015), cuando es ácido los metales tienden a estar disponibles, excepto el cromo (Cr), selenio (Se), molibdeno (Mo) y arsénico (As), que cuando están presentes en un suelo alcalino son más móviles (Albores, 2012).
- **Textura:** Los suelos arcillosos retienen metales por adsorción, quedando retenidos en la superficie; por el contrario, la falta de capacidad de fijación en los suelos arenosos hace que el nivel freático se contamine ya que este permite el paso rápido al subsuelo (Galán & Romero, 2008).

- **Mineralogía de las arcillas:** Cada especie mineral tiene determinados valores de superficie específica y descompensación eléctrica, siendo estas características las responsables de la adsorción de los metales (Galán & Romero, 2008).
- **Materia orgánica (MO):** Diversos metales pueden formar complejos de cambio y quelatos, que impiden su absorción en las plantas; por ende, los suelos ricos en MO presentan déficit de elementos como el cobre (Cu) (Albores, 2012).
- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Se define como la cantidad de cationes adsorbidos por unidad de peso del mineral y está condicionada por la cantidad, tipo de arcilla y MO. Mientras la capacidad de intercambio catiónico sea mayor, la capacidad del suelo para fijar metales también será mayor (Cuevas, 2010).
- **Carbonatos:** Los metales pesados pueden precipitar cuando existen carbonatos, ya que garantizan el mantenimiento de valores de pH altos. Su presencia en el suelo permite adsorber al Cd y otros metales (Galán & Romero, 2008).
- **Condiciones redox:** El potencial de oxidación-reducción es responsable de que los metales se localicen en estado oxidado o reducido (Albores, 2012).

1.3. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LAS PLANTAS

La fitotoxicidad originada por una elevada concentración de metales pesados es procedente de la toxicidad exclusiva de los metales como del poder acumulativo de cada elemento, afectando el crecimiento y desarrollo vegetal (Mendoza, 2006). La absorción de los metales por las plantas se da en diferentes grados, dependiendo de las características de la especie vegetal y el contenido del metal (Llugany, Tolrá, & Barceló, 2007).

Las plantas pueden crecer y reproducirse de manera óptima en suelos con concentraciones determinadas de metales; sin embargo, si las mismas superan los límites de tolerancia, empiezan a producirse efectos de toxicidad que acarrearán cambios fisiológicos en el crecimiento, reproducción e inclusive la muerte de la planta. Entre sus consecuencias fitotóxicas las lesiones más relevantes son la clorosis y la alteración de la relación agua- planta provocando estrés hídrico, marchitamiento, inhibición de la fotosíntesis, respiración y efectos desfavorables en las actividades metabólicas enzimáticas (Gómez, 2014).

Existen plantas que pueden adoptar distintas estrategias para adaptarse frente a la presencia de metales pesados, debido a su fisiología y funciones metabólicas han desarrollado mecanismos que les permiten absorber, transferir y acumular elementos pesados (Miranda et al. 2008).

El Cd se acumula mayormente en la raíz de las plantas y su concentración desciende a medida que se distribuye en tallos, hojas, frutos y semillas (Serrano, Martínez, Romero, del Río, & Sandalio, 2008).

1.4. CADMIO

Es un metal pesado de color blanco ligeramente azulado, tiene peso atómico 112 y densidad relativa de ocho (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). Es considerado como uno de los mayores agentes tóxicos asociado a la contaminación, ya que reúne cuatro características importantes: es un metal bioacumulativo, persistente en el ambiente, se moviliza a grandes distancias a través del agua y aire, produciendo efectos adversos para el hombre y el medio ambiente (Ramírez, 2002).

Este metal está presente en bajas concentraciones en la corteza terrestre, su disposición química como catión divalente hace que se encuentre relacionado a otros compuestos (Amador, González, Martínez, Wilches, & Celedón, 2015). Sin embargo, puede hallarse adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, disuelto en el agua que contiene el suelo e incorporado a estructuras biológicas (Serrano, Martínez, Romero, del Río, & Sandalio, 2008).

La composición natural del Cd en el suelo y rocas, provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas, valor que puede incrementar pues es un metal ampliamente usado en la industria y productos agrícolas (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González, 2016).

1.5. EFECTOS DEL CADMIO A LA SALUD

La Organización Mundial de la Salud (OMS) determinó la cantidad de $7 \mu\text{g kg}^{-1}$ peso corporal, como nivel máximo de tolerancia del Cd, en el cuerpo (Pisco, Giraldo, & Barrera, 2018). Este elemento constituye un riesgo para la salud cuando existe un contacto frecuente (Azcona & Pérez, 2012), sus efectos son ocasionados al menos por dos vías, transporte medio-ambiente en el agua, aire, polvo y alimentos y por la alteración bioquímica del elemento (Ruiz & Méndez, 2011).

En respuesta de la exposición al Cd, se puede producir una serie de consecuencias adversas tanto en los humanos como en los animales. Su

absorción se lleva a cabo a través de un proceso similar al de metales esenciales (Ruiz & Méndez, 2011), este proceso dependerá de algunas variables, como la dimensión de las partículas, la velocidad del tránsito gastroentérico, solubilidad y la interferencia con otros compuestos (Madeddu, 2005).

La acumulación en el organismo afecta a diversos órganos y tejidos, fundamentalmente a los riñones, causando hipertensión arterial, disfunción renal; causa daño al corazón produciendo aterosclerosis aórtica (Ruiz & Méndez, 2011). Los daños que causa, son mayores cuando se da la ingesta del metal por vías respiratorias a diferencia de la absorción intestinal, en consecuencia de ello, provoca enfermedades pulmonares como el cáncer, bronquitis, fibrosis secundaria y enfisema; también, produce osteoporosis (Heredía, 2017).

1.6. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Los avances tecnológicos para purificar ambientes contaminados por metales pesados han llevado al desarrollo de alternativas que se sustentan en el empleo de organismos vivos para prevenir o restaurar daños inducidos por acciones antropogénicas que alteran la estabilidad de los diferentes ecosistemas. En tal sentido se destaca la fitorremediación (Coto, Amores, & Coto, 2012).

Las técnicas de remediación usan diferentes principios de acción para el saneamiento de suelos, mismas que se pueden efectuar de manera in situ (en el sitio) o ex situ (fuera del lugar contaminado) (Martínez, Gallegos, Pérez, & Gutiérrez, 2005).

1.7. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es una alternativa que permite aprovechar las plantas con el fin de reducir, remover, degradar y estabilizar contaminantes en suelos y sedimentos (López, Gonzáles, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).

Se considera una tecnología amigable con el ambiente ya que permite recuperar la estructura y función del suelo (Chávez, Carrillo, & Sánchez, 2017). Se destacan cuatro técnicas de fitorremediación, basadas en el destino del contaminante.

1.8. FITOTRANSFORMACIÓN O FITODEGRADACIÓN

Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar diversos tipos de contaminantes en sustancias menos tóxicas, a través de reacciones enzimáticas en la rizósfera (López, Meas, Ortega, & Olguín, 2004).

1.9. FITOESTABILIZACIÓN

Se refiere al uso de plantas con la finalidad de inmovilizar contaminantes a través de su absorción y acumulación en las raíces para disminuir su movilidad y biodisponibilidad hacia otras plantas, aguas subterráneas o aire (Coto, Amores, & Coto, 2012).

1.10. RIZODEGRADACIÓN

También se denomina fitoestimulación y hace referencia al uso de plantas que generen exudados radicales que estimulan el crecimiento de los microorganismos, idóneos para degradar compuestos orgánicos xenobióticos (Martínez, Gallegos, Pérez, & Gutiérrez, 2005).

1.11. FITOEXTRACCIÓN O FITOACUMULACIÓN

Técnica que usa plantas acumuladoras de elementos tóxicos para suprimirlos del suelo mediante adsorción y concentración en las partes que sean cosechables (Martínez, Gallegos, Pérez, & Gutiérrez, 2005).

1.12. PLANTAS METALÓFITAS

Son especies que por los mecanismos fisiológicos que han desarrollado tienen la capacidad para resistir y sobrevivir en suelos con altos contenido de metales pesados (Becerril, y otros, 2007). Estas plantas presentan un rápido crecimiento, la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, adaptación climática, lo que les permite manejar contaminantes disueltos (Pineda & Rodríguez, 2016).

Pueden presentar múltiples respuestas fisiológicas, las que varían dependiendo de la especie vegetal, el metal específico y su concentración. Por tal motivo las plantas pueden clasificarse en distintos tipos (Covarrubias & Peña, 2017):

1.12.1. EXCLUYENTES

Son especies que resisten elevadas concentraciones de metales en el suelo, las cuales limitan la translocación hacia la parte aérea, que les permite mantener concentraciones bajas en las hojas (Carpio, 2011).

1.12.2. INDICADORAS

Aquellas especies cuya concentración de metales pesados en el tejido aéreo refleja la concentración del suelo (Covarrubias & Peña, 2017).

1.12.3. ACUMULADORAS

Especies vegetales que acumulan los metales pesados rápidamente del suelo, acumulándolos en forma no tóxica en la parte aérea (Carpio, 2011).

1.12.4. HIPERACUMULADORAS

Se consideran así a aquellas plantas que acumulan concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados (Kidd, Becerra, García, & Monterroso, 2007). El contenido en Cd de estas plantas es aproximadamente 100 veces mayor al de las plantas no hiperacumuladoras (Serrano, Martínez, Romero, del Río, & Sandalio, 2008).

Se han identificado alrededor de 415 especies vegetales hiperacumuladoras distribuidas en 45 familias botánicas que son capaces de acumular selectivamente algunas sustancias. En la mayoría de los casos se trata de cultivos conocidos, tal es el caso del girasol, capaz de absorber grandes cantidades de uranio presente en el suelo y el maíz con un gran potencial para acumular el plomo y cadmio (Coto, Amores, & Coto, 2012).

1.13. PLANTAS ARVENSES

En el sentido agronómico, son plantas que no poseen valor económico y se definen como aquellas que perturban o impiden el desarrollo normal de las plantas cultivadas ya que crecen junto o sobre ellas, compitiendo por espacio, luz, nutrientes y agua (Valdes, 2016). De tal manera se señala que estas plantas representan una problemática en la agricultura, no obstante, cumplen un papel más importante en los agroecosistemas ya que ayudan a prevenir la erosión del suelo y a reciclar nutrientes y minerales (Blanco & Leyva, 2007).

A continuación, se describen las características de las especies evaluadas en la investigación:

Rottboellia cochinchinensis

También se la conoce como: *Rottboellia exaltata* y *Rottboellia setosa*, pertenece al orden graminales (Sala, 2008).

Posee tallos firmes y pubescentes con una raíz fibrosa, hojas lanceoladas lineales con pubescencia, su crecimiento es rápido y la reproducción es únicamente por semillas. La inflorescencia es un racimo cilíndrico y solitario, en forma de espiga (Barrios, 2005).

Digitaria sanguinalis

Es una planta de hasta 50 cm de alto, sus hojas son de 5 cm de largo y 6 mm de ancho, son laminas planas, pilosas y en su inflorescencia presenta racimos espiciformes digitados, erectos (Santillán, 2017). Diversas especies de *Digitaria* protegen al suelo de la erosión, ayudan a estabilizar y recuperarlo de zonas inestables con pendientes pronunciadas (Cañas, 2005).

Webster & Taisigüe (2014) evalúan la capacidad de acumulación de metales, metaloides y no metales en 22 especies en donde se menciona a *Digitaria sanguinalis* como acumuladora de Ag, Cd, Cr, Se, Zn y Au en diferentes concentraciones con respecto a las otras especies, demostrando que es una planta con un potencial fitorremediador para sitios contaminados.

Conyza bonariensis

Se conoce comúnmente como rama negra y vira-vira, pertenece a la clase Magnoliopsida. Es una planta anual, densamente foliosa, su tallo es ascendente, simple o con presencia de algunas ramificaciones en la base y en la inflorescencia (Peñarreta, 2016). Sus hojas son alternas, pubescentes, sésiles, sin peciolo, diferenciando a las hojas inferiores ya que estas son bolongo-lanceoladas. Por otra parte, las plántulas presentan características distintas ya que sus cotiledones son ovados, peciolados de color verde grisáceos, pubescentes (Leguizamón, 2011).

Dentro de la familia asterácea se han encontrado diferentes especies catalogadas como plantas hiperacumuladoras, por la capacidad de tolerar y acumular elementos como el Cd, Co, Cu, Pb, Zn en grandes cantidades, tanto en los tejidos aéreos como radicales (Rosales, Sanchez, & Pabón, 2014).

Peperomia pellucida

Pertenece a la clase Magnoliopsida, son plantas perennes de corta duración, generalmente crecen en longitud de 15 cm hasta 45 cm. Su tallo es firme de color verde pálido, consta de hojas ampliamente ovadas (en forma de corazón), de las que se desprenden picos delgados y solitarios; posee flores pequeñas que son brácteas suborbiculares que crecen en forma de espigas (Amarathunga & Kankanamge, 2017).

Ray y George citado por Bernardino (2018) realizaron una investigación acerca de especies extractoras de metales pesados destacando a tres, encontrándose a *Peperomia pellucida* como una de las plantas que acumuló grandes cantidades de zinc (Zn) sobrepasando los límites de tolerancia, siendo el contenido aéreo similar al que se encontró en el suelo.

Echinochloa colonum

El género *Echinochloa* consta de alrededor de 50 especies, es una herbácea que se reproduce por semillas, presenta una raíz fibrosa; tallo recto, ramificado en la base; sus hojas son lineares, lisas, alternas; su inflorescencia es en espiguillas subsésiles, se agrupan en una panícula (Leonardo, 1998).

Samantaray et al. citado por Pineda & Gómez (2015) realizaron un trabajo con *Echinochloa colonum* a través de cultivos de tejidos de brotes, mediante la transferencia de caracteres para la hiperacumulación de metales, siendo viable gracias a la técnica de hibridación somática obteniendo como resultados el desarrollo de tolerancia al níquel (Ni) y cromo (Cr) por parte de la planta.

Ageratum conyzoides

Es una planta herbácea, anual que se adapta a condiciones de baja luminosidad y prevalece en suelos arcillosos, su raíz es pivotante distribuida superficialmente en el suelo. Su tallo es erecto, cilíndrico, ramificado y pubescente; sus hojas son simples y opuestas, ovadas y delgadas; su inflorescencia es en forma de racimos (Saldarriaga, Londoño, & Córdoba, 2011).

Rodríguez (2016) demostró que la especie *Ageratum conyzoides* tiene un potencial fitorremediador con respecto a la remoción de hidrocarburos totales de petróleo (TPH), grasas y aceites determinando así su aplicación para el tratamiento de suelos contaminados, por presentar características morfológicas que le permiten desarrollarse en zonas contaminadas o adaptarse a transformaciones dentro de su hábitat.

Eleusine indica

Conocida comúnmente como pata de gallina o gallo, pertenece a la clase Liliopsida, es una planta anual, bastante competitiva en cuanto a nutrientes y agua, es altamente adaptable y se considera como una de las malezas más problemáticas debido a los daños que genera en el cultivo de maíz. Está distribuida en los trópicos, presenta tallos erectos y ascendentes con hojas que tienen vainas foliares comprimidas; su inflorescencia está dispuesta de forma digitada; los frutos son cariopsis dispersados o libres (Pérez, 2012).

Estudios realizados demostraron que *Eleusine indica* es una planta eficiente para extraer y acumular elementos químicos de nula o escasa participación en la cadena trófica. Se manifestó que absorbe metales como el cobre, cromo y plomo ya que su coeficiencia de enriquecimiento en los mismos fue mayor, recalando que se podría usar a la planta en suelos contaminados como extractora de plomo (Bailón, 2016).

Leptochloa filiformis

Se la conoce comúnmente con diferentes nombres como pajamona, plumilla, cola de zorro y pasto amargo. Es un pasto anual herbáceo que puede tener usos medicinales, altamente eficiente en su interacción fotosíntesis-respiración. Tolera condiciones ambientales extremas, su reproducción es por semillas (Tapia, Ramos, & Rivera, 2005).

Tiene raíces fibrosas; los tallos son erguidos, delgados y poco ramificados, su altura es de 40 a 100 cm; sus hojas son lineares siendo la vaina y la lámina pubescentes. Presenta una inflorescencia terminal que hace referencia a una panícula con siete a setenta ramas secundarias (Gómez, Arrieta, Morales, & Díaz, 2003).

Se mencionó al género *Leptochloa* en un estudio realizado en Colombia como una de las especies usadas en la purificación de suelos contaminados por hidrocarburos, específicamente en aceite crudo, obteniendo un 40% de degradación al mismo (Arias, 2017).

Cyperus cephalotes

Cyperus representa el género más grande de la familia Cyperaceae en los trópicos, son plantas perennes con un parecido a la hierba frecuentemente con inflorescencia compuesta, se pueden desarrollar en suelos arenosos y arcillosos a un pH ácido, neutro o básico (Larridon et al. 2011).

Un estudio realizado en Lambeyeque evaluó la capacidad de crecimiento y resistencia de malezas en un suelo contaminado por hidrocarburos de petróleo (TPH), optando por implementar estiércol de *Cavia porcellus L.* con el fin de potenciar su crecimiento, siendo así que se obtuvo dentro de sus resultados al género *Cyperus* como una de las especies tolerantes a los TPH, actuando como fitorremediadora del suelo ya que su nivel de toxicidad al estar expuesto al mismo fue bajo (Andonaire & Llatas, 2019).

Solanum nigrum

Es una planta anual o bianual que ocupa lugares perturbados o se comporta como maleza de diversos cultivos (Andrada, Mansilla, & del Valle, 2002). Presenta tallos erectos y pubescentes, con hojas pecioladas y una inflorescencia de glomérulos de flores pequeñas.

Según un estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia, se catalogó a *Solanum nigrum* como una planta hiperacumuladora ya que tiene la capacidad de desarrollarse en suelos contaminados con considerables concentraciones de Cd, sin generar consecuencias ecológicas, representando una alternativa de fitoextracción amigable con el ambiente para los cultivadores de cacao (*Theobroma cacao L.*). Esta planta estuvo expuesta a distintas concentraciones de cadmio (0, 5 y 10 mg kg⁻¹) en suelo, siendo la acumulación de esta la que generó un crecimiento proporcional de biomasa alta (Ramírez, Giraldo, & Barrera, 2018).

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGIA

2.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se realizó en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicado en el km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, provincia Los Ríos (Figura 1).

La EETP, se encuentra localizada en las coordenadas 79° 28' longitud Oeste y 1° 06' Latitud Sur, a una altitud de 75 msnm. Presenta temperatura media anual de 26,7°C, humedad relativa de 85,84%, heliofanía de 898,66 horas luz año⁻¹ y precipitación anual acumulada de 2223,85 mm (INAMHI, 2017).

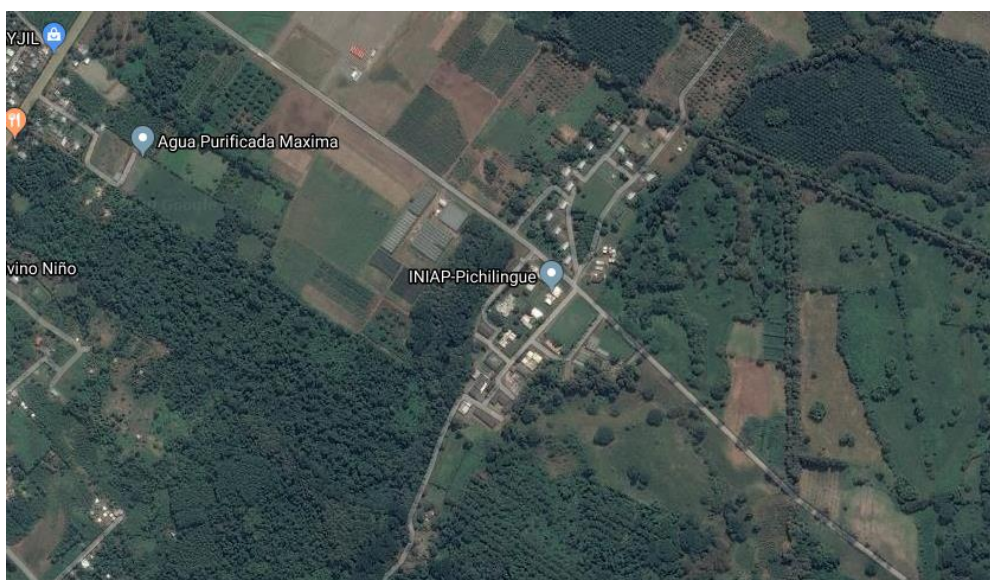


Figura 1. Ubicación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Pichilingue (Earth, 2020)

2.2. MATERIAL GENÉTICO

En la presente investigación se evaluaron diez especies de plantas arvenses de reproducción sexual, obtenidas de agrosistemas de cacao en provincias del Litoral ecuatoriano como: Esmeraldas, Manabí, Los Ríos y El Oro, las mismas que crecieron en suelo contaminado con Cd.

Es por ello que en el presente estudio se evaluó la capacidad de adsorción de las siguientes plantas arvenses (Tabla 1).

Tabla 1. Plantas arvenses de reproducción sexual evaluadas para determinar su capacidad de extracción de Cd en suelos cacaoteros

Familia	Nombre común	Nombre científico	Referencia
Poaceae (Gramínea)	Caminadora	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	(Sala, 2008)
Poaceae	Pangola	<i>Digitaria sanguinalis</i>	(Pitty & Muñoz, 1991)
Asteraceae	Yerba carnícera	<i>Conyza bonariensis</i>	(Peñarreta, 2016)
Piperaceae	Garrapatilla	<i>Peperomia pellucida</i>	(Santillán, 2017)
Poaceae	Arrocillo	<i>Echinochloa colonum</i>	(Leonardo, 1998)
Asteraceae	Hierba de chivo	<i>Ageratum conyzoides</i>	(Saldarriaga, Londoño, & Córdoba, 2011)
Poaceae	Pata de gallina	<i>Eleusine indica</i>	(Pérez, 2012)
Poaceae	Paja mona	<i>Leptochloa filiformis</i>	(Gómez, Arrieta, Morales, & Díaz, 2003)
Cyperaceae	Coquito	<i>Cyperus cephalotes</i>	(Larridon et al., 2011)
Solanaceae	Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	(Andrada, Mansilla, & del Valle, 2002)

2.3. PREPARACIÓN DEL SUELO

Se utilizó un suelo arenoso recolectado en el lote “La Isla” de la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Fue secado al ambiente, molido y tamizado (<2 mm). Con el análisis físico se determinó que estuvo constituido mayormente por arena, como se observa la Tabla 2; mientras que en la Tabla 3 se presentan las características químicas.

Tabla 2. Características físicas del suelo utilizado en la siembra de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con Cd

Provincia	Clase textural	pH	M.O.	Textura (%)		
			(%)	Arena	Arcilla	Limo
Los Ríos	Arenoso Franco	6.2	2.9	84	12	4

Tabla 3. Características químicas del suelo utilizado en la siembra de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con Cd

NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
mg kg ⁻¹		meq 100 mL ⁻¹			mg kg ⁻¹					
7	2	0.19	9	1.7	26	2.5	6.4	127	3.4	0.38

2.3.1. CONTAMINACIÓN E INCUBACIÓN DEL SUELO

Para la contaminación del suelo se utilizaron fundas plásticas transparentes de dimensiones 0.20 x 0.38 cm, en las que se colocó 1 kg de suelo, contaminando en total 30 kg de suelo con una solución de Cd (3 mg L^{-1}), utilizando cloruro de cadmio (CdCl_2).

Empleando el método Neubauer aplicado por Carrillo (2003), los suelos fueron incubados durante 30 días bajo invernadero, manteniendo la humedad cercana a la capacidad de campo (50% espacio poroso y 50% partículas sólidas), usando agua desionizada procedente de un sistema aquaMAX™, Ultra 370 Series. Registrando diariamente el peso de cada funda, se verificaba la pérdida de humedad de tal manera que, por diferencia de masa evaporada, se reponía la misma, además se volteaba las fundas para que se homogenice la contaminación.

Terminada la incubación, el suelo nuevamente fue secado, para consecutivamente preparar los tratamientos.

2.4. TRATAMIENTOS

Para la preparación de los tratamientos (macetas) se pesó 400 g de suelo contaminado y se colocó en macetas plásticas, las cuales se distribuyeron en 10 tratamientos, correspondiendo a cada planta arvense. Estas se encontraban replicadas 3 veces, dando un total de 30 unidades experimentales.

2.5. PROPAGACIÓN DE LAS ARVENSES

Para la propagación se utilizaron semillas de las 10 especies citadas en la Tabla 1, que fueron colectadas y reproducidas con antelación en el invernadero. Se colectaron semillas y colocaron sobre papel filtro proporcionando la humedad adecuada para su germinación. Finalmente se seleccionaron un número de semillas por especie para ser sembradas a los respectivos tratamientos (tabla 4), según el porcentaje de germinación de cada una. Se realizó surcos en las macetas y usando pinzas se colocaron las semillas en cada tratamiento de tal manera que quedaron sembradas a aproximadamente 2 cm de profundidad.

Tabla 4. Número de semillas de cada especie arvense sembradas por maceta

Tratamientos	Especie	N° de semillas
T1	<i>Cyperus cephalotes</i>	10
T2	<i>Rottboellia Cochinchinensis</i>	5
T3	<i>Ageratum conyzoides</i>	10
T4	<i>Eleusine indica</i>	7
T5	<i>Coryza bonariensis</i>	21
T6	<i>Solanum nigrum</i>	11
T7	<i>Echinochloa colonum</i>	6
T8	<i>Digitaria sanguinalis</i>	40
T9	<i>Peperomia pellucida</i>	33
T10	<i>Leptochloa filiformis</i>	5

2.6. FERTILIZACIÓN DE LAS ARVENSES

A los 50 días después del trasplante (DDT) se realizó una fertilización aplicando con una micropipeta, una solución de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4) (100 mg kg^{-1} de P_2O_5 y 125.8 mg kg^{-1} K_2O) en solución, en dosis de 5 mL por maceta, con el fin de asegurar el desarrollo de las plantas, así como el contenido de materia seca.

2.7. COSECHA DE LAS PLANTAS

Durante el período de crecimiento se regaron las plantas según la necesidad, hasta alcanzar aproximadamente la capacidad de campo, utilizando agua ultrapura. Posteriormente a los 75 DDT se dejó de humedecer los tratamientos para facilitar la separación del suelo de las raíces en seco.

El suelo de cada maceta, tanto externo como el que se encontraba adherido a las raíces (rizósfera), fueron colocados en fundas previamente identificadas según el tratamiento y repetición, al igual que las raíces lavadas.

2.8. LAVADO DE LAS PLANTAS ARVENSES

Para el lavado de las plantas y raíces, fueron pasadas por una secuencia de agua de llave, MgSO_4 , agua destilada, seguidamente de HCl al 5% y agua desionizada. Una vez listas las muestras fueron colocadas en fundas de papel para ser secadas y molidas, asimismo fueron guardadas para posterior análisis como se explica en los siguientes apartados.

2.9. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

2.9.1. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA

Una vez lavadas las muestras, la parte aérea y radical fueron separadas y colocadas en fundas de papel previamente identificadas y llevadas a la estufa Memmert a una temperatura de 70°C por 72 horas. Luego las muestras se colocaron en una olla desecadora y se pesaron en una balanza analítica (HR-200), dichos resultados fueron expresados en g vaso^{-1} de materia seca.

2.9.2. DETERMINACIÓN DE pH

La determinación del pH se realizó usando la proporción suelo:agua de 1:2.5 (peso/volumen) (Perez, 2017). Se determinó los valores del pH inicial y final del suelo que se encontró fuera del sistema radical y también del suelo adherido a la raíz, pesando 1 g de suelo al que se añadió 2.5 mL de agua desionizada, se agitó por 30 segundos colocando la solución en un potenciómetro digital marca LAQUAtwin con electrodo plano, usando agua desionizada para su limpieza, con el cual se cuantificó esta variable.

2.9.3. CONCENTRACIÓN DE Cd EN LOS TEJIDOS

Las muestras de tejidos de raíz y parte aérea se molieron en un molino IKA. Para el proceso de digestión, se utilizó la solución nítrico perclórico en relación 4:1 empleada por (Carrillo 2003). Se colocaron las plantas en matraces Erlenmeyer de 50 ml añadiendo 10 ml de la mezcla nítrico perclórica (HNO_3 , 8 ml + HClO_4 , 2 ml), en seguida se ubicaron en placa calentadora a $\pm 180^\circ\text{C}$, aproximadamente por un tiempo de 90 minutos hasta su completa digestión, misma que se distingue con el apareamiento de humo blanco.

Las muestras fueron retiradas de la placa para dejar enfriar y posterior a ello se filtraron sobre papel filtro en balones de 25 ml y se aforó con agua desionizada. Finalmente, fueron analizadas en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AA400, con llama y horno de grafito HGA 900, a una longitud de onda de 228.8 nm.

2.9.4. CONTENIDO DE Cd EN LOS TEJIDOS

Con los datos de los resultados de producción de materia seca en raíz, parte aérea y concentración de Cd en los tejidos, se determinó el contenido de Cd que absorbieron las plantas en 400 g de suelo, mediante la aplicación de la siguiente ecuación: (Maldonado, 2018)

$$\text{Contenido de Cd (mg)} = \frac{\text{peso de materia seca(g)} * \text{concentración de Cd (mg kg}^{-1}\text{)}}{1000} \quad [1]$$

2.9.5. FACTOR DE TRANSLOCACIÓN

El factor de translocación (FT) indica el transporte de metales pesados de las plantas desde sus raíces hacia sus diferentes órganos vegetativos. Éste se calculó a través de la división entre el contenido de Cd obtenido en la parte radical (CdR) y aérea (CdA). Mediante la siguiente ecuación (Tangahu, Abdullah, Idria, Anuar, & Munkhlisin, 2013).

$$FT = \frac{(\text{CdA mg kg}^{-1})}{(\text{CdR mg kg}^{-1})} \quad [2]$$

Si el $FT > 1$ expresa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea, por tal razón la misma se puede usar con fines de fitoextracción (Marcos & Montano, 2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

3.1.1. MATERIA SECA PARTE AÉREA

Lo resultados de la materia seca determinada para las plantas arvenses evaluadas se presentan en la Tabla 5, en la que se observó diferencia estadísticas significativas entre las especies, donde *Ageratum conyzoides* presentó mayor producción de biomasa con 0.38 g, seguido por *Rottboellia cochinchinensis* y *Leptochloa filiformis* que poseen rangos iguales de 0.37 g y 0.36 g, respectivamente. Los mayores pesos de MS, de las especies evaluadas resultaron superiores a la alcanzada por Tapia, Ramos, & Rivera (2005) ya que evaluaron a *Leptochloa filiformis* a los 45 días de su desarrollo obteniendo 0.23 g día⁻¹ determinando que su crecimiento fue rápido.

Al mismo tiempo se obtuvieron valores menores como 0.10 g que corresponde a *Cyperus cephalotes*, siendo la producción más baja de biomasa de todas las especies. Valor que es menor al reportado por Cruz & Trujillo (2004) ya que en su estudio determinó que *Cyperus* sp. tuvo menor sensibilidad al petróleo estando expuesta por 150 días en distintas áreas contaminadas, obteniendo así una masa de 5.8 g en la parte aérea, siendo el resultado de la especie que estuvo en un suelo con menor concentración de petróleo.

Tabla 5. Producción de materia seca de la parte aérea y radical (g) de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)

Especies	Materia seca (g)	
	Aérea	Radical
<i>Cyperus cephalotes</i>	0.10 D	0.06 B
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	0.37 AB	0.22 AB
<i>Ageratum conyzoides</i>	0.38 A	0.17 AB
<i>Eleusine indica</i>	0.25 ABCD	0.13 AB
<i>Conyza bonariensis</i>	0.17 CD	0.10 AB
<i>Solanum nigrum</i>	0.24 ABCD	0.10 AB
<i>Echinochloa colonum</i>	0.18 BCD	0.11 AB
<i>Digtaria sanguinalis</i>	0.35 ABC	0.08 BC
<i>Peperomia pellucida</i>	0.29 ABC	0.14 AB
<i>Leptochloa filiformis</i>	0.36 AB	0.34 A
C.V.	23.89	58.65
p-valor (ADEVA)		
Factor especies ms aérea	0.0003	
Factor especies ms radical	0.0263	

3.1.2. MATERIA SECA PARTE RADICAL

En el análisis de varianza de la variable materia seca parte radical, se obtuvo una diferencia estadística significativa entre las especies presentado en la Tabla 5 con un coeficiente de variación de 58.65%, donde *Leptochloa filiformis* presentó el mayor peso seco radical con 0.34 g, siendo diferente a los resultados que obtuvieron Ullah, Mahmood, Rehmat, Riaz, & Akhtar (2020) en su estudio, evaluando dos especies de arvenses con tratamientos contaminados a diferentes dosis de Cd (10 y 50 mg kg⁻¹) donde *Leptochloa obtuvo* 1.3 y 1.04 g maceta⁻¹ respectivamente, estando en un rango menor al control, concluyendo que la presencia de este metal, genera una reducción de biomasa seca, tanto en la parte radical como en sus brotes. Por otra parte, *Cyperus cephalotes* fue la especie que obtuvo un valor mínimo de peso en la raíz con 0.06 g pudiéndose observar que representó baja biomasa total.

Se puede denotar que los valores de materia seca mostrados en la presente investigación varían tanto en la parte aérea como radical ya que estuvieron expuestos a un suelo con Cd, de baja fertilidad, que inhibe su crecimiento, siendo condiciones diferentes a las del campo.

3.2. pH

Al realizar las lecturas de pH se pudo evidenciar que el suelo al estar en contacto con las plantas pasó de un medio ácido a un medio básico, aproximado a la neutralidad, siendo el pH inicial de 6.2 (Tabla 2). En el análisis de varianza del suelo colectado después de la cosecha se alcanzó diferencias estadísticas significativas para el pH del suelo y de la rizósfera como se indica en la Tabla 6.

En la Tabla 6, se muestra que la especie *Digitaria sanguinalis* obtuvo un pH de suelo alto de 7.40 en relación a las demás especies, siendo 6.80 el menor valor que corresponde a *Echinochloa colonum*. En este sentido Leguizamón & Lovato (2014) mencionan que *Digitaria sanguinalis* tolera un pH bajo (4.7-6.3) siendo un rango menor al que se alcanzó, pero semejante al pH inicial.

Tabla 6. Variación del pH final del suelo y rizósfera de plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)

Especies	pH	
	Suelo	Rizósfera
<i>Cyperus cephalotes</i>	7.37 A	7.83 A
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	7.03 AB	7.87 A
<i>Ageratum conyzoides</i>	7.07 AB	7.20 C
<i>Eleusine indica</i>	7.10 AB	7.80 A
<i>Conyza bonariensis</i>	7.23 AB	7.63 ABC
<i>Solanum nigrum</i>	7.00 AB	7.83 A
<i>Echinochloa colonum</i>	6.80 B	7.60 ABC
<i>Digitaria sanguinalis</i>	7.40 A	7.90 A
<i>Peperomia pellucida</i>	7.23 AB	7.23 BC
<i>Leptochloa filiformis</i>	7.33 A	7.67 AB
C.V.	2.12	1.99

p-valor (ADEVA)

Factor especies pH suelo 0.0026

Factor especies pH rizósfera 0.0001

Por otra parte, comparando el pH del suelo con el pH de la rizósfera, se encontró que los valores aumentaron. En el caso de *Digitaria Sanguinalis* también obtuvo un pH de rizósfera mayor de 7.90, contrario a la especie *Ageratum conyzoides* con un valor de 7.20 (Tabla 6). Según Albarracín (2017) un aumento de pH provoca que la absorción del Cd por las raíces de las plantas disminuya, por lo tanto, mientras el pH del suelo sea ácido el metal será más disponible, tal es el caso del suelo con *Digitaria* que mostró un pH alto pero una baja concentración de Cd (Tabla 7).

3.3. BIODISPONIBILIDAD DE CADMIO

3.3.1. CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE AÉREA

La concentración en la parte aérea presentó diferencias estadísticas significativas para cada planta arvense. En la Tabla 7 se muestra que *Peperomia pellucida* determinó la concentración de Cd más alta con respecto a las otras especies (23.94 mg kg⁻¹); este valor es similar al reportado por Ray & Jojo (2011), quienes evaluando la concentración de Ni, en esta misma especie de arvense reportaron una concentración de 26.13 mg kg⁻¹ en la parte aérea.

La concentración de 15.01 mg kg⁻¹ de Cd obtenida con *Cyperus cephalotes* resultó mayor a la encontrada por Cachi (2019) quien en un estudio sobre la bioacumulación de Cd y Pb obtuvo una concentración en el tallo de 1.30 mg kg⁻¹ y en hojas 0.72 mg kg⁻¹ de Cd en esta especie de arvense.

Tabla 7. Concentración de Cd en la parte aérea y radical de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)

Especies	Concentración Cd mg kg ⁻¹	
	Aérea	Radical
<i>Cyperus cephalotes</i>	15.01 B	4.96 DE
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	3.89 CDE	15.17 C
<i>Ageratum conyzoides</i>	4.58 CDE	2.66 E
<i>Eleusine indica</i>	0.85 E	18.00 C
<i>Conyza bonariensis</i>	6.05 C	26.86 A
<i>Solanum nigrum</i>	4.99 CD	22.83 B
<i>Echinochloa colonum</i>	2.72 CDE	18.17 C
<i>Digitaria sanguinalis</i>	2.82 CDE	6.52 D
<i>Peperomia pellucida</i>	23.94 A	7.66 D
<i>Leptochloa filiformis</i>	1.25 DE	7.39 D
C.V.	20.67	8.58

p-valor (ADEVA)

Factor especies concentración Cd aérea <0.001

Factor especies concentración Cd radical <0.0001

A diferencia de las plantas mencionadas anteriormente, el pH si influyó en la absorción de Cd en las demás especies. Así, *Eleusine indica* fue la especie que obtuvo la menor concentración del metal en su tejido aéreo de 0.85 mg kg⁻¹ con respecto al resto de especies, este resultado se asemeja al valor obtenido en la investigación realizada por Hamzah, Hapsari, & Wisnubroto (2016) el cual fue de 0.3 mg kg⁻¹.

3.3.2. CONCENTRACIÓN DE Cd PARTE RADICAL

En esta variable, según los análisis estadísticos se determinaron diferencias estadísticas significativas mostrando varios rangos entre las especies, con un coeficiente de variación de 8.58% como se indica en la Tabla 7. Se puede resaltar que la bioacumulación del Cd se dio de manera distinta por planta independientemente de su tamaño; tal es el caso de *Ageratum conyzoides* que siendo una planta que tuvo un buen desarrollo vegetativo, presentó el menor valor en el tejido radical de 2.66 mg kg⁻¹, siendo mayor al que obtuvo Hamzah, Hapsari, & Wisnubroto (2016) en su investigación para estabilizar el Cd, usando la misma especie consiguió una concentración de 0.5 mg kg⁻¹.

Con la especie, *Conyza bonariensis* se obtuvo mayor concentración de Cd en su raíz (26.86 mg kg⁻¹). Resultado similar al que reportaron Xia, Liang, Chen, Liao, Lin, Tang, Lv, Li, Wang, Liu & Ren (2018) quienes, en su estudio de monocultivos y cultivos intercalados para estudiar la remediación de suelos contaminados con Cd, evaluaron tres especies, de las que *Conyza* intercalada con *Cerastium glomeratum* también generó mayor biomasa y aumentó la acumulación de Cd en sus raíces con una concentración de 77.21 mg kg⁻¹.

3.3.3. CONTENIDO DE Cd PARTE AÉREA

El contenido de Cd en el tejido de la parte aérea tuvo diferencias estadísticas que fueron significativas con un $p < 0.0001$, ya que seis de las especies están en un mismo rango, siendo valores por debajo del mayor y menor contenido de Cd, como se explica adelante.

Se presentó un coeficiente de variación de 29.33% como lo indica la Tabla 8, en donde se muestra que el mayor contenido de Cd aéreo fue de 0.01 mg vaso⁻¹, adquirido por *Peperomia pellucida*, dicho valor es comparable en menor grado al que determinó Jojo & Ray (2014) en su estudio, en el cual, usando la misma especie en suelos contaminados con Zn obtuvo un valor de 321.40 mg kg⁻¹. Por otro lado, la especie *Eleusine indica* presentó un valor menor de 0.00023 mg vaso⁻¹ en su contenido.

3.3.4. CONTENIDO DE Cd PARTE RADICAL

El contenido de Cd en la raíz consiguió un alto coeficiente de variación de 53.86% y estadísticamente presentó diferencias significativas entre las especies.

En la Tabla 8 se observa que *Rottboellia cochinchinensis* tuvo un alto contenido de Cd (0.0032 mg vaso⁻¹) con respecto a las demás especies, siendo experimentalmente igual a la investigación realizada por Nazareno & Buo (2015) ya que esta especie fue la que absorbió mayor cantidad de Cr en sus raíces (137 mg kg⁻¹) a diferencia de las demás unidades de estudio.

Cyperus cephalotes y *Ageratum conyzoides*, presentaron el mismo rango, quienes obtuvieron el contenido menor de 0.00030 y 0.00047 mg vaso⁻¹, en su orden, en el caso de *Cyperus*, fue la especie que tuvo menor materia seca en la parte radical.

3.3.5. CONTENIDO TOTAL DE Cd

Analizando que el contenido total de Cd (g ha⁻¹) en la Tabla 8 se puede observar que no se presentó diferencias estadísticas. *Peperomia pellucida* acumuló un alto contenido del metal (39.84 g ha⁻¹), siendo la única especie que mantuvo el pH del suelo y rizósfera en el mismo rango (7.23).

Por otra parte, aunque las demás especies estadísticamente sean iguales, la que obtuvo el menor contenido entre ellas fue *Digitaria sanguinalis* (7.50 g ha⁻¹), con esta misma especie Webster & Taisigüe (2014) obtuvo 220 mg kg⁻¹ de Cr absorbido al comparar 18 especies.

Tabla 8. Variación del contenido de Cd en la parte aérea, radical, total y Factor de translocación (FT) obtenidos de las plantas arvenses de reproducción sexual, para uso en fitorremediación de suelos contaminados con cadmio (Cd)

Especies	Contenido			Factor de translocación FT
	Aéreo mg vaso ⁻¹	Radical mg vaso ⁻¹	Total g ha ⁻¹	
<i>Cyperus cephalotes</i>	0.0015 BC	0.00030 B	8.78 B	3.07 A
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	0.0015BC	0.0032 A	23.19 B	0.25 C
<i>Ageratum conyzoides</i>	0.0018 B	0.00047 B	10.96 B	1.73 B
<i>Eleusine indica</i>	0.00023 C	0.0023 AB	12.69 B	0.05 C
<i>Conyza bonariensis</i>	0.0011 BC	0.0026 AB	18.39 B	0.23 C
<i>Solanum nigrum</i>	0.0011 BC	0.0023 AB	17.04 B	0.22 C
<i>Echinochloa colonum</i>	0.00047 BC	0.0019 AB	12.04 B	0.15 C
<i>Digitaria sanguinalis</i>	0.0010 BC	0.00050 AB	7.50 B	0.46 C
<i>Peperomia pellucida</i>	0.01 A	0.0011 AB	39.84 A	3.13 A
<i>Leptochloa filiformis</i>	0.00050 BC	0.0025 AB	14.75 B	0.18 C
C.V.	29.33	53.86	34.41	27.64

p-valor (ADEVA) Factor especies contenido Cd aéreo <0.0001. Factor especies contenido Cd radical 0.0078. Factor especies contenido total 0.0001. Factor especies FT <0.0001

3.4. FACTOR DE TRANSLOCACIÓN

En la Tabla 8 se muestra una diferencia estadística significativa entre las especies. Los valores del factor de translocación (FT) fueron generalmente bajos para la mayoría de las especies; sin embargo, se destaca a *Peperomia pellucida*, *Cyperus cephalotes* y *Ageratum conyzoides* con valores mayores, representado en 3.13, 3.07 y 1.73, respectivamente.

Dichos valores indican que estas especies tienen la capacidad para transportar el metal desde sus raíces hacia la parte aérea de la planta. A diferencia del estudio realizado por Oluoch (2018) en donde *Cyperus* alcanzó un valor menor a 1 (0.934), reflejando así menor capacidad de translocación de Cd.

Excepto *Cyperus*, las demás especies se consideran exclusoras, de acuerdo a lo indicado por Durán (2010) citado por (Hernández, 2019) que señalan que especies que reporten valores menores a 1, pertenecen a esta denominación; donde 0.05 es el menor valor correspondiente a *Eleusine indica*, mostrando de esa manera la permanencia del Cd en sus raíces, es decir, todas las especies que se encuentren con un FT por debajo de 1 actúan como fitoestabilizadoras.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Se determinó que existe una leve diferencia entre el pH del suelo con la rizósfera, variable que no tuvo mayor influencia en la absorción del Cd, siendo mayor el efecto de especies como la *Conyza bonariensis* y *Solanum nigrum* que tuvieron buena capacidad de absorción del metal en la parte radical y en el caso de la parte aérea fueron *Digitaria sanguinalis* y *Peperomia pellucida*.

La tasa de translocación de las especies *Peperomia pellucida*, *Cyperus cephalotes* y *Ageratum conyzoides* presentaron alta capacidad para transportar el Cd de la parte radical hacia los órganos aéreos, siendo consideradas como plantas extractoras.

Las especies *Peperomia pellucida* y *Rottboellia cochinchinensis* se diferenciaron de las demás, ya que presentaron una absorción de Cd mayor, por lo tanto, estas especies pueden ser consideradas como fitoextractoras. Las demás especies que no extrajeron de manera significativa el Cd, pueden ser consideradas dentro del grupo de las fitoestabilizadoras.

Las especies de arvenses evaluadas en este estudio tuvieron resultados favorables para tratar suelos contaminados con Cd, pudiendo considerarse la siembra de estas especies como una tecnología de bajo costo que permite la disminución de la concentración de Cd en los cultivos con lo cual también se reduce la posibilidad de que el metal ingrese a la cadena alimentaria.

4.2. RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos en esta investigación se recomienda realizar nuevas investigaciones donde se incluya un testigo por cada tratamiento para ver la diferencia del desarrollo de la planta.

Evaluar las concentraciones de Cd en plantas arvenses desarrolladas dentro de sistemas agrícolas para conocer en condición de campo las tasas de transferencia del metal pesado y a ello también realizar estudios fisiológicos para obtener información completa y relevante que permitan desarrollar planes de mitigación mediante fitorremediación.

Desarrollar estudios de remediación usando plantas arvenses en combinación con aplicaciones de enmiendas minerales y orgánicas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Albores, A. H. (Diciembre de 2012). *Determinación de metales pesados (Cd, Pb, Zn, As) en suelos agrícolas del Ejido San Miguel Municipio de Matamoros Coahuila*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2649/ANAYELI%20HERNANDEZ%20ALBORES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amador, L. R., González, M. F., Martínez, H. L., Wilches, V. L., & Celedón, S. J. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en la salud. *Revista Nacional de Odontología*.
- Amarathunga, & Kankanamge. (2017). A review on pharmacognostic, phytochemical and ethnopharmacological. *International research journal of pharmacy*. Obtenido de https://irjponline.com/admin/php/uploads/2817_pdf.pdf
- Andonaire, M. C., & Llatas, C. (29 de Octubre de 2019). *Efecto del estiércol de Cavia porcellus en el potencial de malezas para la remediación de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo: <http://190.108.84.117/handle/UNPRG/5505>
- Andrada, A. B., Mansilla, d. A., & del Valle, P. A. (2 de Mayo de 2002). *Caracterización citológica en Solanum nigrum L*. Obtenido de <http://revistas.uach.cl/html/agrosur/v31n1/body/art08.htm>
- Arias, J. A. (enero-junio de 2017). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285716>
- Arroyave, S. M., & Correa, R. F. (15 de mayo de 2009). *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>
- Azcona, C. M., & Pérez, G. P. (julio-septiembre de 2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 199-205. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>

- Bailón, E. Y. (2016). *Evaluación de la eficiencia de Eleusine indica como fitorremediadora en la absorción de plomo en condiciones hidropónicas de laboratorio*. Obtenido de <http://passthrough.fw-notify.net/download/945642/http://dSPACE.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8883/Pel%C3%83%C2%A1ez%20Bail%C3%83%C2%B3n,%20Elviera%20Ysabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barrios, E. V. (Enero de 2005). *Recopilación de la diversidad agromorfológica de la maleza caminadora Rottboellia cochinchinensis (Lour.) W. Clayton, en el cultivo de la caña de azúcar*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2156.pdf
- Bascones, I. S. (2003). *Determinación de metales pesados en suelos de mediana del campo (Valladolid): contenidos extraíbles, nivel fondo y de referencia*. Obtenido de <file:///C:/Users/Personal/Downloads/determinacion-de-metales-pesados-en-suelos-de-medina-del-campo-valladolid-contenidos-extraibles-niveles-fondo-y-de-referencia--0.pdf>
- 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*. Barcelona.
- Bazán, L. A. (Febrero de 2013). *Ciencia y tecnología de malezas*. Obtenido de Facultad de Ciencias agrarias: <https://agraria.pe/descargas/libro-completo.pdf>
- Becerril, J., Barrutia, O., García, P. J., Hernández, A., Olano, J. M., & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su en fitorremediación. *Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 50-55.
- Bernardino, C. A. (Abril de 2018). *Avaliação de metais e fitorremediação de solos adjacentes a rodovias do rio de janeiro*. Obtenido de [file:///C:/Users/Personal/Downloads/BERNARDINO_CAR_TD_18%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Personal/Downloads/BERNARDINO_CAR_TD_18%20(1).pdf)
- Blanco, Y., & Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Revista Cultivos tropicales. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 21-28.
- Bradl, H., Kramar, U., & Stuben, D. (2005). Interactions of heavy metals. In: *Heavy Metals in the Environment*. London: Elsevier Ltd.
- Cachi, G. E. (2019). *Bioacumulación de cadmio y plomo en Arundo donax L., Cyperus alternifolius y Leonitis nepetifolia en sedimentos aluviales en*

Samne, La libertad-Perú. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12509/ESCOBAR%20CACHI%2c%20Genesis%20Elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cano, H. G., Trejo, C. R., Valdez, C. R., Arreola, Á. J., Flores, H. A., & López, A. B. (12 de Julio de 2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo serie horticultura*, 161-168. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15n2/v15n2a9.pdf>

Cañas, D. G. (2005). *La especies colombianas del género Digitaria (Poaceae: Panicoideae: Paniceae)*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v27n1/v27n1a3.pdf>

Carpio, D. A. (Noviembre de 2011). *Bioprospección de plantas metalófitas/pseudometalófitas en zonas mineras de el Salvador*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8774/2/19200927.pdf>

Carrillo, M. (2003). *Caracterizacao das fromas de metais pesados, sua biodisponibilidade e suas dinamicas de adsorcao e de mobilidade em solos do Equador*. Minas Gerais, Brasil.

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 (Cundimarca)*. Obtenido de [https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7958/Fitorremediaci%C3%B2n%20in%20situ%20para%20la%20remoci%C3%B2n%20de%20metales%20pesados%20\(plomo%20y%20cadmio\)%20y%20evaluaci%C3%B2n%20de%20sel.pdf?sequence=1](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7958/Fitorremediaci%C3%B2n%20in%20situ%20para%20la%20remoci%C3%B2n%20de%20metales%20pesados%20(plomo%20y%20cadmio)%20y%20evaluaci%C3%B2n%20de%20sel.pdf?sequence=1)

Chávez, G. M., Carrillo, G. R., & Sánchez, L. A. (Abril de 2017). *Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitorremediación de suelos*. Obtenido de Agro Productividad: https://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2017/AGROPRODUCTIVIDAD_IV_2017.pdf

Coto, J. M., Amores, S. I., & Coto, P. O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 52-61.

- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 33 (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental), 7-21.
- Cruz, M. d., & Trujillo, N. A. (Julio de 2004). *Estudio de toxicidad vegetal en suelos con petróleos nuevo e intemperizado*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442004000700007
- Cuevas, P. A. (2010). *Tranferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la C*. Obtenido de Universidad de Barcelona: file:///C:/Users/Usuario1/Downloads/PDC_TESIS.pdf
- Earth, G. (03 de febrero de 2020). Obtenido de <https://www.google.com/maps/@-1.0765773,-79.4890354,1567m/data=!3m1!1e3>
- Falcón, R. L. (2002). *Degradación del suelo, causas, procesos evaluación e investigación*. Obtenido de <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Galán, E. R., & Romero, B. A. (10 de Noviembre de 2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 48-60. Obtenido de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- García, P. E., & Azcona, C. M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 199-205. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf>
- Gómez, C., Arrieta, J., Morales, W., & Díaz, A. (Julio de 2003). *Ecobiología de Pajamon a (Leptochloa filiformis), Batatilla (Ipomoea sp.), Rodilla de Pollo (Boerhaavia erecta), Granadilla (Paspalum fasciculatum y Mentolada (Stemodia durantifolia)*. Obtenido de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1174/40584_25956.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, P. A. (2014). *Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina*. Obtenido de Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) : <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2014/CT%202014/1896711457.pdf>

- González, N. P., Moreno, R. R., Calderón, S. F., Moreno, O. A., & Tamariz, F. J. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242018000300466&script=sci_arttext
- Hamzah, A., Hapsari, R., & Wisnubroto, E. (Enero de 2016). *Phytoremediation of Cadmium-contaminated agricultural land using indigenous plants*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Erwin_Wisnubroto/publication/324744062_Phytoremediation_of_Cadmium-contaminated_agricultural_land_using_indigenous_plants/links/5adfdbc3aca272daf8b5239/Phytoremediation-of-Cadmium-contaminated-agricultural-land-using-
- Heredia, D. R. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v21n12/san122112.pdf>
- Hernández, K. F. (05 de Febrero de 2019). *Evaluación de Cyperus luzulae, en la remoción de cianuro en condiciones de laboratorio*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8913/1/03%20RNR%20303%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- INAMHI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: https://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologio/boletines/bol_anu.pdf
- Jojo, G., & Ray, J. (13 de Agosto de 2014). *Roadside vegetation in relation to heavy metal contamination in Kottayam District, Kerala*. Obtenido de <http://shodhganga.inflibnet.ac.in:8080/jspui/handle/10603/22806>
- Kidd, P. S., Becerra, C. C., García, L. M., & Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 1-18.
- Larridon, I., Reynders, M., Huygh, W., Bauters, K., Vrijdaghs, A., Leroux, O., . . . Goetghebeur, P. (2011). *Taxonomic changes in C3 Cyperus (Cyperaceae) supported by molecular data, morphology, embryography, ontogeny and anatomy*. Obtenido de <file:///C:/Users/Personal/Downloads/larridon2011.pdf>

- Leguizamón, E. S. (Septiembre de 2011). *Rama negra Conyza bonariensis (L. Cronquist), Bases para su manejo y control en sistemas de producción*.
Obtenido de http://www.roundupreadyplus.com.ar/imagenes/contenidos/2015-02/171-youblisher.com-563104-manejo_de_malezas_problema_rama_negra.pdf
- Leonardo, A. (1998). *Manual para la identificación y manejo de las principales malezas en caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala.
- Llugany, Tolrá, C., & Barceló, J. (Mayo de 2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Obtenido de ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente: https://www.researchgate.net/publication/26595376_Hiperacumulacion_de_metales_Una_ventaja_para_la_planta_y_para_el_hombre
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (Diciembre de 2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*. Obtenido de Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- López, A. E., Gonzáles, R. C., Prieto, G. F., Villagómez, I. J., & Acevedo, S. O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, 597-612.
- López, R. A., Meas, V. Y., Ortega, B. R., & Olguín, E. (Julio-septiembre de 2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
- Machecha, J., Trujillo, J., & Torres, M. M. (11 de junio de 2015). *Contenido de metales pesados en suelos agrícolas dde la región del Ariari, Departamento del Meta*. Obtenido de Universidad de los Llanos: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n1/v19n1a11.pdf>
- Madeddu, R. B. (2005). *Estudio de la influencia del cadmio sobre el medio ambiente y el organismo humano: perspectivas experimentales, epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación*. Obtenido de <http://hera.ugr.es/tesisugr/15518231.pdf>
- Maldonado, J. X. (2018). *Parcelas de omisión de macronutrientes para evaluar la biodisponibilidad de Cd en suelos tropicales del Ecuador*. Obtenido

- Marcos, K. D., & Montano, C. Y. (2014). Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el juncus arcticus Willd. Y cortaderia rudiusscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza -ancash 2013. *Universidad Nacional*.
- Martinez, S. L., Gallegos, M. M., Pérez, F. L., & Gutiérrez, R. M. (Febrero de 2005). *Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas*. Obtenido de Rev. Int. Contam. Ambient.: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n2/0188-4999-rica-21-02-91.pdf>
- Martínez, S. L., Gallegos, M. M., Pérez, F. L., & Gutiérrez, R. M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 91-100.
- Méndez, J. P., González, R. C., Román, G. A., & Prieto, G. F. (octubre de 2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua*. Obtenido de Tropical and Subtropical Agroecosystem: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Mendoza, M. P. (2006). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellon*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9504/peris.pdf?sequence=1>
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., & Zurita, J. (Diciembre de 2008). *Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Gerhard_Fischer/publication/256475443_Acumulacion_de_metales_pesados_en_suelo_y_planta_de_cuatro_cultivos_hortícolas_regados_con_agua_del_rio_Bogota/links/00b7d522f5f926396d000000/Acumulacion-de-metales-pesados-en-suel
- Navarro, A. J., Aguilar, A. I., & López, M. J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 1-17.

- Nazareno, P. A., & Buo, I. (2015). The response of plants growing in a landfill in the Philippines towards cadmium and chromium and its implications for future remediation of metal-contaminated soils. *Journal of Ecology and Environment* , 123-131.
- Oluoch, J. O. (Noviembre de 2018). *Phytoremediation Potential of Cyperus Alternifolius, Cyperus Dives and Canna Indica in Flamingo Farm Constructed Wetland, Naivasha Sub-County, Kenya*. Obtenido de <https://ir-library.ku.ac.ke/bitstream/handle/123456789/18972/Phytoremediation%20potential%20of%20cyperus.....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peñarreta, J. P. (2016). *Estudio químico-biológico de las hojas de Conyza Bonariensis de origen ecuatoriano*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18044/1/BCIEQ-T-0164%20Pe%3%b1arreta%20Tivillin%20Juan%20Pablo.pdf>
- Pérez, E. V. (Mayo de 2012). *Posibles cambios en la enzima 5-Enolpiruvil-Shikimato-3-fosfato sintetasa de Eleusine indica (L.) Gaertn., tratado con glifosato*. Obtenido de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4347/T19296%20%20PEREZ%20VILLANUEVA,%20EFREN%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1>
- Perez, R. E. (Febrero de 2017). *Micropropagación y Biotización de Jojoba (Simmondsia chinensis L. (Schneider)) Mediante bacterias endófitas promotoras de crecimiento vegetal*. Obtenido de https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/417/1/perez_e.pdf
- Picazo, F. J. (mayo de 2014). *Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas a la producción de alfalfa Medicago sativa irrigado con aguas residuales*. Obtenido de [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio\(Cd\)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/101/DeterminaciondeCadmio(Cd)ensuelosagricolasdedicadosala.pdf;sequence=1)
- Pineda, M. E., & Gómez, R. A. (22 de Enero de 2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Investigación, innovación, ingeniería*, 82-112.
- Pineda, M. E., & Rodriguez, A. M. (11 de Junio de 2016). *Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos*

bioquímicos e ingeniería genética: una revisión . Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: file:///C:/Users/Usuario1/Downloads/2027-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6473-1-10-20160901%20(2).pdf

Pisco, R. R., Giraldo, J. D., & Barrera, C. D. (15 de septiembre de 2018). *Fitoextracción de cadmio con hierba mora (Solanum nigrum L.) en suelos cultivados con cacao (Theobroma cacao L.)*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v67n3/0120-2812-acag-67-03-00420.pdf>

Pitty, A., & Muñoz, R. (1991). *Guía práctica para el manejo de malezas. El zamorano*. Honduras, Escuela agrícola Panamericano.

Ramírez, A. (2002). *Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/pdf/toxicologia_cadmio.pdf

Ramírez, P. R., Giraldo, J. D., & Barrera, C. D. (2018). *Fitoextracción de cadmio con hierba mora (Solanum nigrum L.) en suelos cultivados con cacao (Theobroma cacao L.)*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v67n3/0120-2812-acag-67-03-00420.pdf>

Ray, J. G., & Jojo, G. (2011). *Nickel in soil and resilient plants on roadsides of Kerala, South India*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283896351_Nickel_in_Soils_and_Resilient_Plants_on_Roadsides_in_Kerala_South_India

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (Julio-Diciembre de 2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, investigación y desarrollo*. Obtenido de Revista Ingeniería, investigación y desarrollo: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447

Rivera, F. d., & Beltrán, M. E. (2012). *Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando Helianthus annus L. en la Estación Experimental el Mantaro*. Obtenido de Prospectiva Universitaria: file:///C:/Users/Usuario1/Downloads/291-1114-1-PB%20(1).pdf <http://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/291>

- Rodríguez, J. C. (2016). *Identificación y evaluación del potencial fitorremediador de especies vegetales presentes en el suelo contaminado por grasas y aceites lubricantes en la lavadora y lubricadora marifer de la ciudad de zamora*. Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/17760/1/Tesis%20Rivas.pdf>
- Rosales, R. B., Sanchez, M., & Pabón, E. (01 de Junio de 2014). *Fauna, flora y fitorremediación*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia : https://www.researchgate.net/publication/262731581_Informe_final_d_el_grupo_de_flora_fauna_y_fitorremediacion
- Ruiz, C. N., & Méndez, A. M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch. Neurocienc.* Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/d938/d17bdbde608c5868124f4774c4af583d5178.pdf>
- Sala, B. E. (2008). *Determinación de del nivel de sensibilidad de la caminadora (Rottboellia cochinchinensis) como respuesta a la aplicación de cinco herbicidas con tres dosis diferentes y en cuatro zonas de las provincias del Guayas*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4530/1/7050.pdf>
- Saldarriaga, A. C., Londoño, Z. M., & Córdoba, O. d. (2011). *Problemas Fitosanitarios asociados el cultivo de higuera en Colombia*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6461/1/Revista%20Cultivo%20de%20Higuera.pdf>
- Santillán, M. F. (2017). *Manual de malezas presentes en cultivos de importancia económica del Ecuador. Agrocalidad*. Quito- Ecuador.
- Serrano, R., Martínez, d., Romero, P., del Río, L. A., & Sandalio. (Septiembre de 2008). *Toxicidad del cadmio en plantas*. Obtenido de Ecosistemas Revisa científica técnica de ecología y medio ambiente: <file:///C:/Users/Usuario1/Downloads/409-785-1-SM.pdf>
- Tangahu, B., Abdullah, H., Idria, M., Anuar, N., & Munkhlisin, M. (2013). Phytotoxicity of wastewater containing lead (Pb) effects scirpus grossous. *International journal of phytoremediation* , 814-826. Obtenido de International journal of phytoremediation.

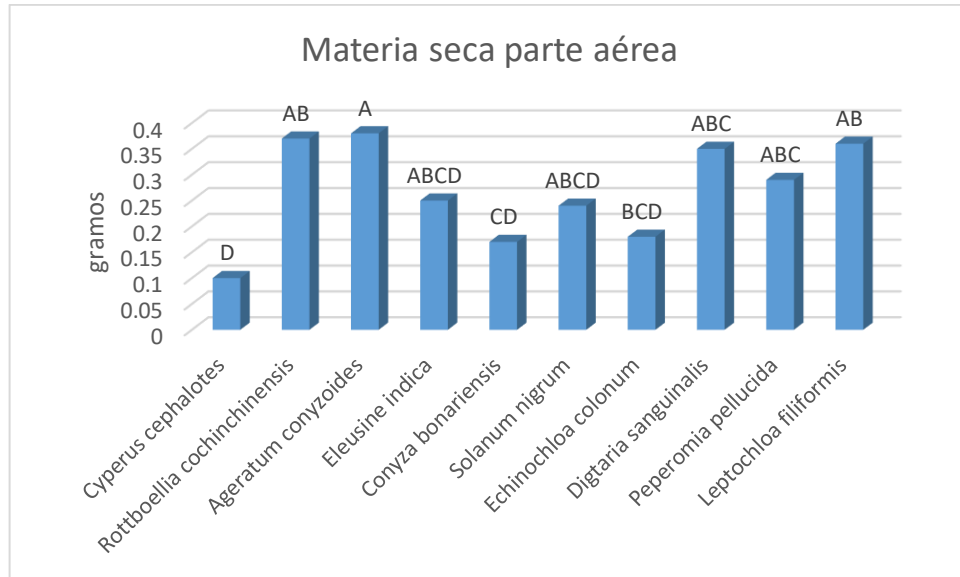
- Tapia, L., Ramos, M., & Rivera, J. A. (Julio-Diciembre de 2005). Obtenido de Caracterización biológica de *Leptochloa filiformis* (Lam) Beauv (Paja mona) bajo condiciones del medio sinu: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5002408.pdf>
- Tapia, L., Ramos, M., & Rivera, J. A. (Julio-diciembre de 2005). *Caracterización biológica de Leptochloa filiformis* (Lam) Beauv (Paja mona) bajo condiciones del medio sinu. Obtenido de <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/634/750>
- Ullah, S., Mahmood, S., Rehmat, A., Riaz, M. A., & Akhtar, K. (19 de Junio de 2020). *Differential growth and metal accumulation response of Brachiaria Mutica and Leptochloa Fusca on Ccdmium and lead contaminated soil.* Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Sana_Ullah53/publication/342315606_Differential_Growth_and_Metal_Accumulation_Response_of_Brachiaria_Mutica_and_Leptochloa_Fusca_on_Cadmium_and_Lead_Co](https://www.researchgate.net/profile/Sana_Ullah53/publication/342315606_Differential_Growth_and_Metal_Accumulation_Response_of_Brachiaria_Mutica_and_Leptochloa_Fusca_on_Cadmium_and_Lead_Contaminated_Soil/links/5ef02973299bf1faac6c9458/Differential-Growth-)ntaminated_Soil/links/5ef02973299bf1faac6c9458/Differential-Growth-
- Valdes, Y. B. (Octubre-diciembre de 2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales.* Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000400003
- Valdes, Y. B. (Diciembre de 2016). *El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas.* Obtenido de Cultivos Tropicales: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000400003
- Webster, C. M., & Taisigüe, L. K. (Julio de 2014). *Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación.* Obtenido de https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf
- Xia, H., Liang, D., Chen, F., Liao, M., Lin, L., Tang, Y., . . . Ren, W. (Julio de 2018). *Effects of mutual intercropping on cadmium accumulation by the accumulator plants Conyza canadensis, Cardamine hirsuta, and Cerastium glomeratum.* Obtenido de

https://www.researchgate.net/profile/Lijin_Lin/publication/325613800_Effects_of_mutual_intercropping_on_cadmium_accumulation_by_the_accumulator_plants_Conyza_canadensis_Cardamine_hirsuta_and_Cerastium_glomeratum/links/5e38e62192851c7f7f1a4ba6/Effects-of-m

ANEXOS

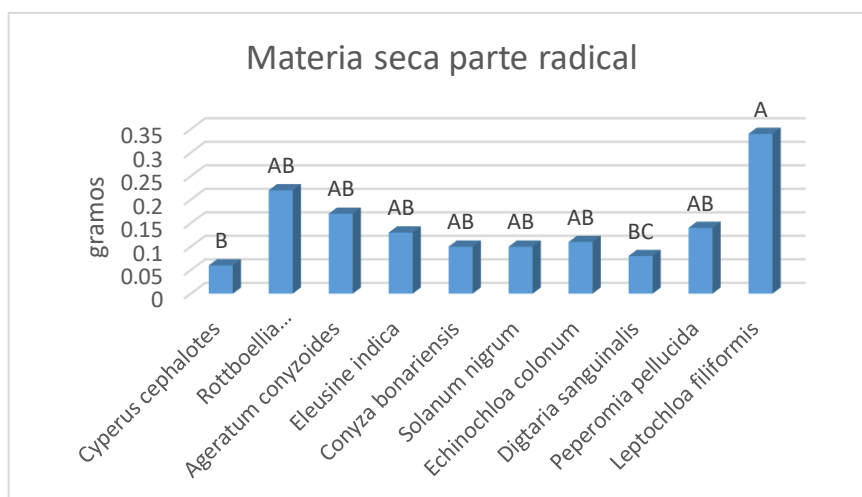
ANEXO 1.

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE LA PARTE AÉREA (G) DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO, CONTAMINADO CON CD



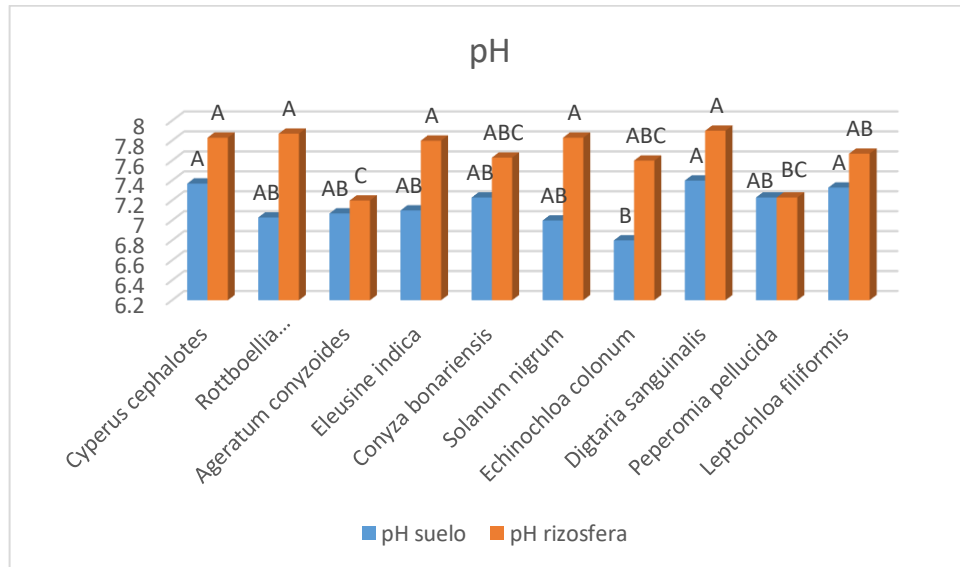
ANEXO 2.

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE LA PARTE RADICAL (G) DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO, CONTAMINADO CON CD



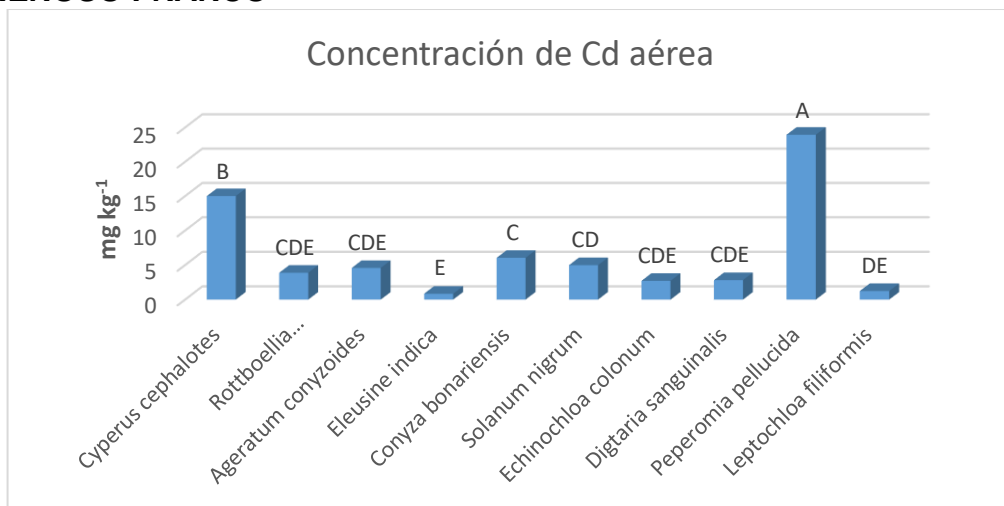
ANEXO 3.

VARIACIÓN DEL PH DEL SUELO Y RIZÓSFERA



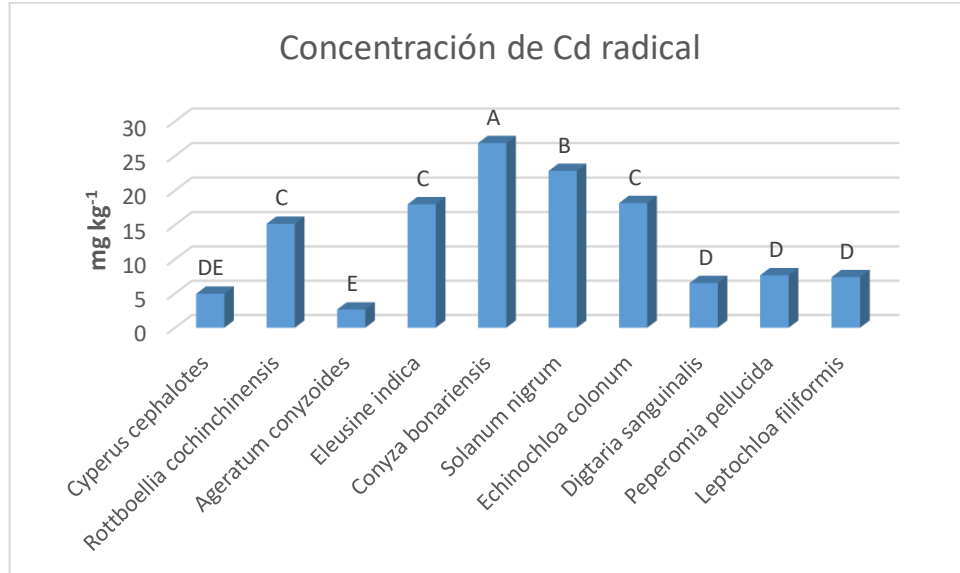
ANEXO 4.

CONCENTRACIÓN DE CD EN LA PARTE AÉREA DE LAS PLANTAS ARVENSES DE REPRODUCCIÓN SEXUAL CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO



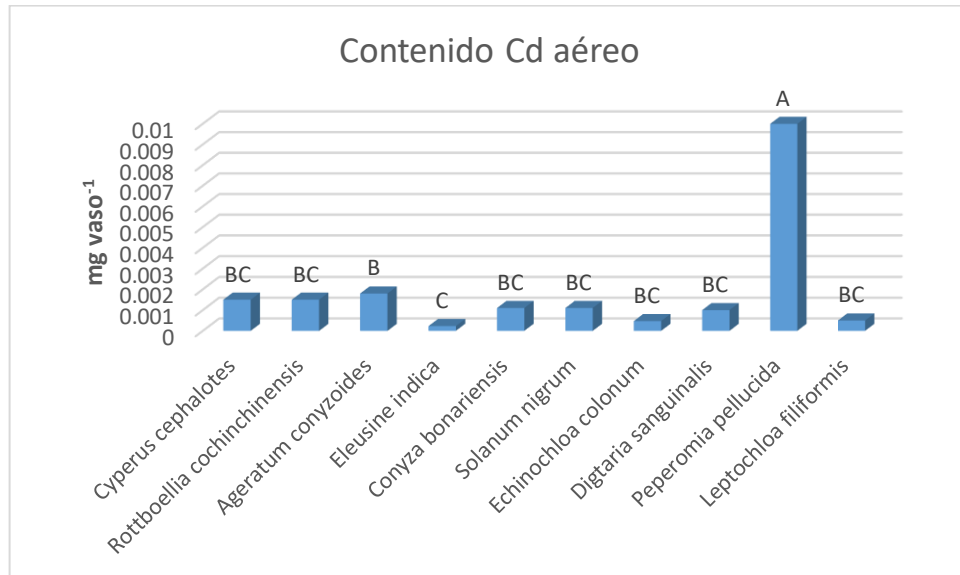
ANEXO 5.

CONCENTRACIÓN DE CD EN LA PARTE RADICAL DE LAS PLANTAS DE REPRODUCCIÓN SEXUAL CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO



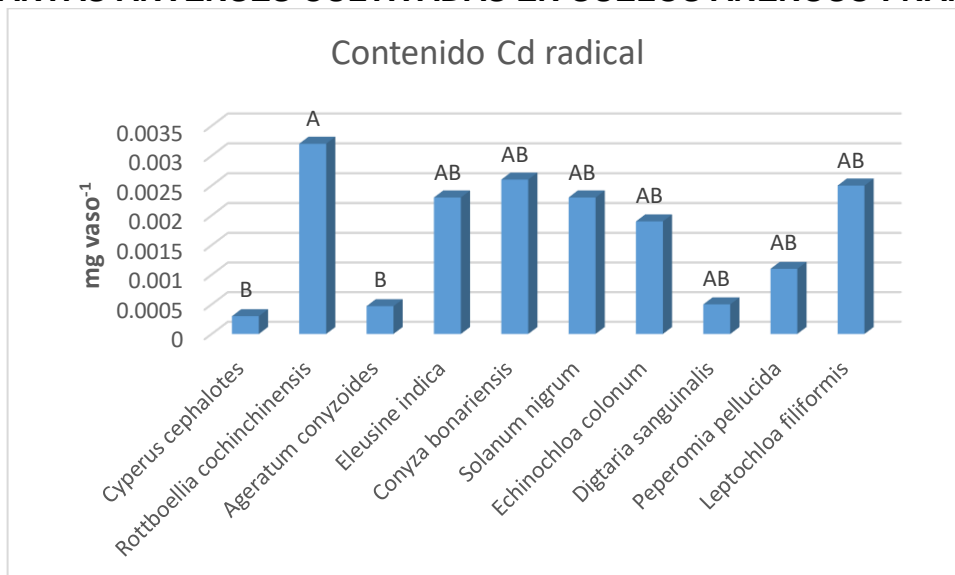
ANEXO 6.

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CD EN LA PARTE AÉREA DE LAS PLANTAS ARVENSIS CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO



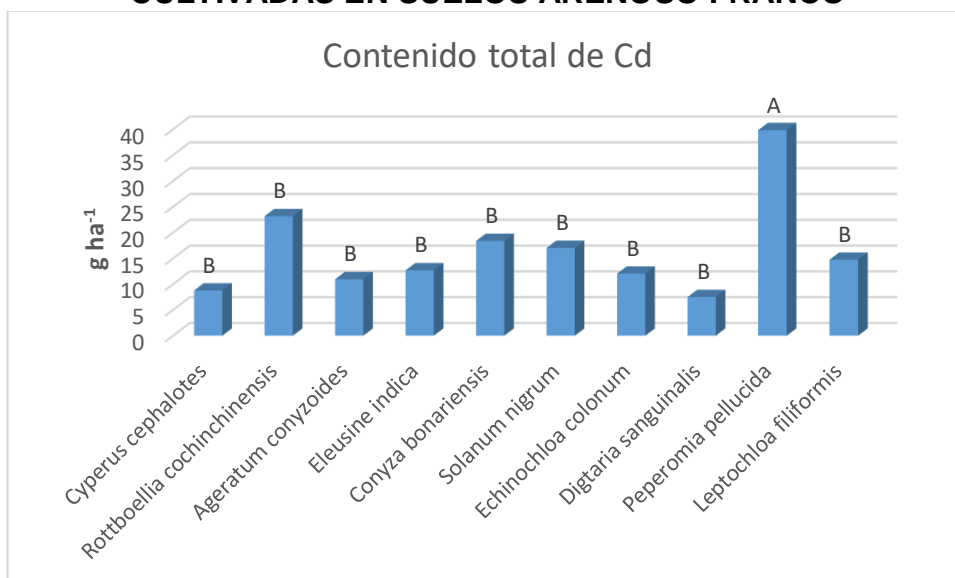
ANEXO 7.

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE CD EN LA PARTE RADICAL DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO



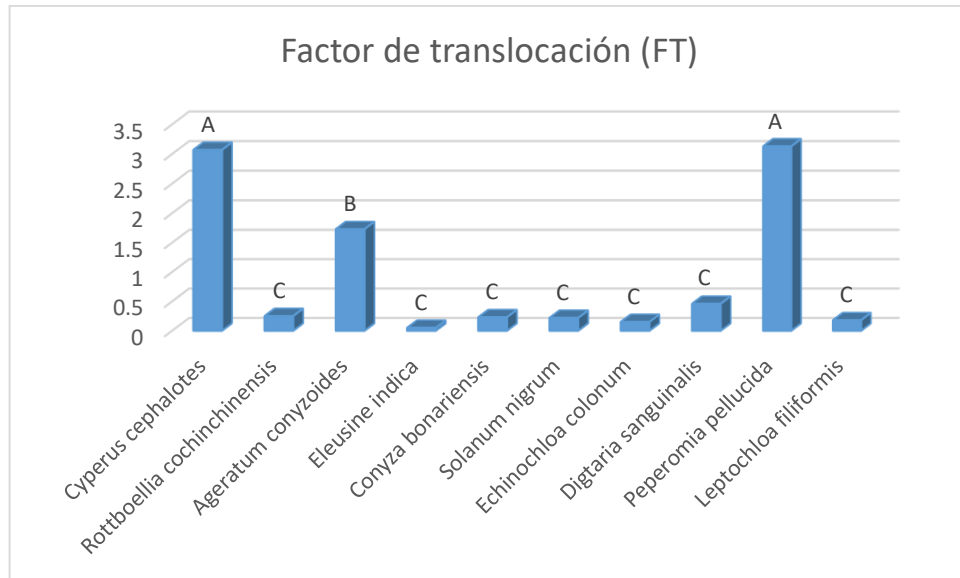
ANEXO 8.

VARIACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE CD DE PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELOS ARENOSO FRANCO



ANEXO 9.

VARIACIÓN DEL FACTOR DE TRANSLOCACIÓN OBTENIDOS DE LAS PLANTAS ARVENSES CULTIVADAS EN SUELO ARENOSO FRANCO



ANEXO 10. FOTOGRAFÍAS.



Preparación del suelo.



Contaminación del suelo.



Colocando el suelo a capacidad de campo.



Secado del suelo contaminado.



Preparación del material genético



Siembra de material genético.



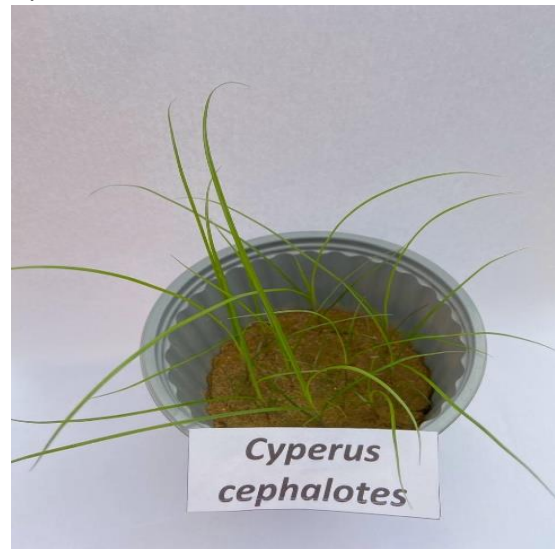
Preparación del fertilizante.



Aplicación del fertilizante.



Tratamiento 1.



Tratamiento 2.



Tratamiento 3.



Tratamiento 4.



Tratamiento 5.



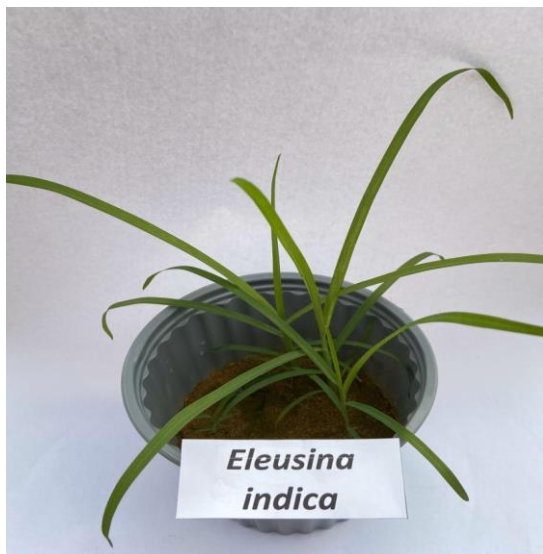
Tratamiento 6.



Tratamiento 7.



Tratamiento 8.



Tratamiento 9.



Tratamiento 10.



Cosecha de las plantas.



Separación de la parte aérea y radical de la planta.



Medición de pH del suelo.



Pesado de las plantas para su análisis.



Preparación de las muestras.



Digestión de las muestras.

Link análisis Urkund:

<https://secure.arkund.com/old/view/81137957-761442-203727#DcMxCoAwDAXQu3T+SBKNSXoVcZCi0sEuHcW7W3jvTU9PeeMZvAw2BljBK4EDohCHBkIRsSP1erd61XK0cqZMEwmzziFuRu5h8v0=>