



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

Proyecto de Investigación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniera Forestal.

**Título del Proyecto de Investigación:**

Remediación de suelos contaminados con cadmio empleando *Cecropia peltata* L.  
(guarumo) asociado con carbón activado.

**Autora:**

López Aguiar Jeniffer Lisset

**Directora del Proyecto de Investigación:**

Ing. María Lorena Cadme, M.Sc.

Mocache - Los Ríos - Ecuador

**2023**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **López Aguiar Jeniffer Lisset**, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

López Aguiar Jeniffer Lisset

C.I. 0929160067

## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Ing. María Lorena Cadme M.Sc.**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **López Aguiar Jeniffer Lisset**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Remediación de suelos contaminados con cadmio empleando *Cecropia peltata* L. (guarumo) asociado con carbón activado**”, previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

Ing. María Lorena Cadme, M.Sc.  
**Directora del Proyecto de Investigación**

# CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

## CERTIFICACIÓN

El suscrito **Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en calidad de directora del Proyecto de Investigación **“Remediación de suelos contaminados con cadmio empleando *Cecropia peltata* L. (guarumo) asociado con carbón activado”**, de la estudiante **López Aguiar Jeniffer Lisset** de la carrera de Ingeniería Forestal. **CERTIFICA:** el cumplimiento de los parámetros establecidos por la SENESCYT, y se evidencia el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico (URKUND) con un porcentaje de coincidencia del **7%**.



### Document Information

Analyzed document	TESIS URKUND Jeniffer López Aguiar MAYO 2023.docx (D166025938)
Submitted	5/5/2023 6:44:00 PM
Submitted by	
Submitter email	mcadme@uteq.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	mcadme.uteq@analysis.urkund.com

Ing. María Lorena Cadme Arévalo M.Sc.  
**Directora del Proyecto de Investigación**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

**“Remediación de suelos contaminados con cadmio empleando *Cecropia peltata*  
L. (guarumo) asociado con carbón activado”**

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal

Aprobado por:

---

Ing. Rommel Santiago Crespo Gutiérrez, PhD.

**Presidente del Tribunal**

---

Ing. Edison Hidalgo Solano Apuntes, M.Sc.

**Integrante del Tribunal**

---

Ing. Wiston Javier Morales Rodríguez, M.Sc.

**Integrante del Tribunal**

Mocache-Los Ríos-Ecuador

**2023**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales por haber permitido que conformara parte de ella, y brindarme valiosos conocimientos. De igual manera estoy agradecida con cada uno de mis docentes con los cual tuve la oportunidad de compartir.

A mi directora del proyecto, la Ing. María Lorena Cadme M.Sc., por haber permitido ser su tesista, así como, su apoyo incondicional durante todo el proceso del proyecto de investigación. Y a mi cotutor Ing. Loguard Smith Rojas Uribe M.Sc., por su ayuda y constante motivación.

A mi familia por la comprensión y sustento que me han brindado a lo largo de mi carrera universitaria. Finalmente agradezco a mis compañeras: Karelys Hidalgo, Genesis Hurtado y Maittee Mendoza, las cuales me han acompañado y apoyado desde el inicio de mi trayectoria universitaria. Y en especial al Ing. Geovanny Brito Casanova por su contribución incondicional durante mi trayectoria académica y personal. Por último, agradezco a todas las personas que de una u otra manera han formado parte en el proceso del proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

*A Dios por enseñarme que con paciencia y sabiduría todo es posible.*

*A mis padres, hermanas y sobrinos por ser mi pilar fundamental de cada día. Por enseñarme valores y hacer de mí una persona de bien.*

*Este logro lo dedico con alegría y felicidad porque son lo mejor en mi vida.*

## RESUMEN

El cadmio es un metal pesado que puede estar presente en el suelo y en cultivos agrícolas, este puede ser perjudicial para la salud humana. Varias investigaciones afirman que existen plantas fitorremediadoras que son capaces de absorber contaminantes del suelo y los transformarlos en menos tóxicos o incluso inofensivos. El propósito del presente estudio fue determinar el tratamiento más eficaz en cuanto a la remediación de suelos contaminados con cadmio (Cd). Para la ejecución del proyecto se recolectó el material necesario (brotes juveniles de *Cecropia peltata* L. (guarumo) y sustrato de tierra cacaotera), se instaló en el ambiente del vivero ubicado en el Campus “La María” extensión de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Para el desarrollo de la investigación se utilizó un diseño completamente al Azar (DCA), donde se emplearon 3 tratamientos (sin incluir el testigo T0) con 5 repeticiones y 3 unidades experimentales por repetición. Los tratamientos consistieron en (T1: *C. peltata* + Suelo de cacaotera), (T2: Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera 1:4), (T3: *C. peltata* + Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera 1:4). Se realizó carbón activado a partir de cascarilla de arroz en el laboratorio mediante proceso de mufla (Tamaño de Partícula: 500 $\mu$ ; Temperatura: 500°C; Tiempo: 3 Horas). Del análisis y procesamiento de datos y manejo de resultados, se obtuvo que el tratamiento 3 logró mejores resultados en cuanto absorción de cadmio en el material vegetal de los brotes y remoción en el suelo debido al aporte del carbón activado.

**Palabras claves:** metales pesados, brotes, *C. peltata*, plantas, tratamientos.

## ABSTRACT

Cadmium is a heavy metal that can be present in soil and agricultural crops and can be harmful to human health. Several researches affirm that there are phytoremediation plants that are capable of absorbing contaminants from the soil and transforming them into less toxic or even harmless ones. The purpose of this study was to determine the most effective treatment for the remediation of soils contaminated with cadmium (Cd). For the execution of the project, the necessary material (juvenile shoots of *Cecropia peltata* L. (guarumo) and cocoa soil substrate) was collected and installed in the environment of the nursery located in the Campus "La Maria" extension of the State Technical University of Quevedo (UTEQ). For the development of the research, a completely randomized design (CRD) was used, where 3 treatments were used (not including the control T0) with 5 replications and 3 experimental units per replication. The treatments consisted of (T1: *C. peltata* + Cocoa plant soil), (T2: Rice husk activated carbon (5 g) + Cocoa plant soil 1:4), (T3: *C. peltata* + Rice husk activated carbon (5 g) + Cocoa plant soil 1:4). Activated carbon was made from rice husks in the laboratory using a muffle process (particle size: 500 $\mu$ ; temperature: 500oC; time: 3 hours). From the analysis and processing of data and management of results, it was obtained that treatment 3 achieved better results in terms of cadmium absorption in the plant material of the shoots and removal in the soil due to the contribution of activated carbon.

**Key words:** heavy metals, outbreaks, *C.peltata*, plants, treatments.

## INDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	II
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	III
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.....	IV
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
DEDICATORIA.....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
CÓDIGO DUBLIN.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1.Problema de investigación.....	3
<i>1.1.1.Planteamiento del problema.....</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2.Formulación del problema .....</i>	<i>4</i>
<i>1.1.3.Sistematización del problema.....</i>	<i>4</i>
1.2.Justificación.....	4
1.3.Objetivos.....	5
<i>1.3.1.General .....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2.Específicos .....</i>	<i>5</i>
<b>CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>6</b>
2.1. Marco conceptual .....	7
<i>2.1.1. Suelo .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2. Contaminantes del suelo.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.3. Biorremediación.....</i>	<i>7</i>

2.1.4. <i>Bioacumulación</i> .....	7
2.1.5. <i>Fitorremediación</i> .....	8
2.1.6. <i>Metales pesados</i> .....	8
2.2. Marco teórico.....	8
2.2.1. Suelo .....	8
2.2.1.1. Procesos formadores del suelo .....	9
2.2.2.1. Metales pesados.....	9
2.2.2. <i>Contaminación del suelo por metales pesados</i> .....	11
2.2.2.3. Cadmio (Cd) como contaminante del suelo .....	11
2.2.3. <i>Biorremediación</i> .....	12
2.2.4. <i>Técnicas de biorremediación</i> .....	13
2.2.4.1. <i>Rizofiltración</i> .....	13
2.2.4.2. Fitorremediación.....	13
2.2.4.3. Especies vegetales con acción fitorremediadora .....	13
2.2.5. <i>Cecropia peltata (guarumo)</i> .....	15
2.1.6. <i>Carbón activado</i> .....	16
2.1.6.1. Propiedades del carbón activado .....	16
2.1.6.2. Fuentes de obtención de carbón activado .....	16
2.3. Marco referencial.....	17
<b>CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	18
3.1. Localización del área de estudio.....	19
3.1.1. <i>Características eda-foclimáticas</i> .....	19
3.2. Tipo de investigación.....	20
3.3. Métodos de investigación .....	20
3.3.1. <i>Método inductivo</i> .....	20
3.3.2. <i>Método de Campo</i> .....	20

3.4. Fuentes de recopilación de información .....	20
3.4.1. Fuentes primarias.....	20
3.4.2. Fuentes secundarias .....	20
3.5. Diseño de la investigación .....	21
3.6. Variables a evaluar.....	21
3.7. Manejo del experimento .....	22
3.7.1. Selección, colecta de materiales.....	22
3.7.2. Producción y activación de carbón activado .....	22
3.7.3. Capacidad de adsorción de carbón activado.....	23
3.8. Tratamiento de los datos .....	23
3.9. Recursos humanos y materiales.....	23
3.9.1. Materiales de oficina .....	23
3.9.2. Material experimental .....	24
3.9.3. Materiales de campo .....	24
3.9.4. Reactivos.....	24
3.9.5. Equipo.....	25
<b>CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>26</b>
4.1. Resultados.....	27
4.1.1. Influencia del uso de brotes juveniles de <i>C. peltata</i> en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao.....	27
4.1.2. Aporte del carbón activado proveniente de cascarilla de arroz en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao. ....	29
4.1.3. Efecto de brotes juveniles de <i>C. peltata</i> L asociado con carbón activado y sustrato de plantación de cacao para disminuir la presencia de cadmio. ....	30
4.2. Discusión .....	31
<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>34</b>
5.1. Conclusiones.....	35

5.2. Recomendaciones .....	36
<b>CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO VI ANEXOS .....</b>	<b>44</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Área de estudio.....	19
<b>Figura 2.</b> Altura de <i>C. peltata</i> L. ....	27
<b>Figura 3.</b> Diámetro de tallo de <i>C. peltata</i> L.....	28
<b>Figura 4.</b> Número de hojas de <i>C. peltata</i> L. ....	28
<b>Figura 5.</b> Concentración de cadmio en los brotes de <i>C. peltata</i> L.....	29
<b>Figura 6.</b> Concentración de cadmio en el suelo.....	29
<b>Figura 7.</b> Carbón activado en el suelo. ....	30
<b>Figura 8.</b> Efecto de brotes de <i>C. peltata</i> L., asociado con carbón activado. ....	30

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción taxonómica de la especie.....	15
<b>Tabla 2.</b> Condiciones eda-foclimáticas.....	19
<b>Tabla 3.</b> Diseño experimental.....	21
<b>Tabla 4.</b> Variables a Evaluar.....	21

### INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Análisis de contenido de cadmio en el material vegetal y suelo .....	45
<b>Anexo 2.</b> Establecimiento de esquejes de <i>C.peltata</i> L en arena.....	45

<b>Anexo 3.</b> Brotes de <i>C. peltata</i> L.....	46
<b>Anexo 4.</b> Brotes juveniles de <i>C. peltata</i> L .....	46
<b>Anexo 5.</b> Obtención de carbón a base de cascarilla de arroz. ....	47
<b>Anexo 6.</b> Activación de carbón. ....	47
<b>Anexo 7.</b> Trasplante de brotes juveniles a los tratamientos. ....	48

## CÓDIGO DUBLIN

<b>Título:</b>	Remediación de suelos contaminados con cadmio empleando <i>Cecropia peltata</i> L. (guarumo) asociado con carbón activado.				
<b>Autor:</b>	López Aguiar, Jeniffer Lisset				
<b>Palabras clave:</b>	Metales pesados	Brotos	<i>C. peltata</i>	Plantas	Tratamientos
<b>Fecha de publicación:</b>					
<b>Directora del proyecto:</b>	Cadme Arévalo, María Lorena				
<b>Editorial:</b>	Quevedo: UTEQ, 2023.				
<b>Resumen:</b>	<p>El cadmio es un metal pesado que puede estar presente en el suelo y en cultivos agrícolas, este puede ser perjudicial para la salud humana. Varias investigaciones afirman que existen plantas fitorremediadoras que son capaces de absorber contaminantes del suelo y los transformarlos en menos tóxicos o incluso inofensivos. El propósito del presente estudio fue determinar el tratamiento más eficaz en cuanto a la remediación de suelos contaminados con cadmio (Cd). Para la ejecución del proyecto se recolectó el material necesario (brotes juveniles de <i>Cecropia peltata</i> L. (guarumo) y sustrato de tierra cacaotera), se instaló en el ambiente del vivero ubicado en el Campus “La María” extensión de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ). Para el desarrollo de la investigación se utilizó un diseño completamente al Azar (DCA), donde se emplearon 3 tratamientos (sin incluir el testigo T0) con 5 repeticiones y 3 unidades experimentales por repetición. Los tratamientos consistieron en (T1: <i>C. peltata</i> + Suelo de cacaotera), (T2: Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera 1:4), (T3: + <i>C. peltata</i> + Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera 1:4). Se realizó carbón activado a partir de cascarilla de arroz en el laboratorio mediante proceso de mufla (Tamaño de Partícula: 500<math>\mu</math>; Temperatura: 500°C; Tiempo: 3 Horas). Del análisis y procesamiento de datos y manejo de resultados, se obtuvo que el tratamiento 3 logró mejores resultados en cuanto absorción de cadmio en el material vegetal de los brotes y remoción en el suelo debido al aporte del carbón activado.</p>				
<b>Descripción:</b>	63 hojas: dimensiones, 29 cm x 21 cm + CD				
<b>URL:</b>					

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por metales pesados se ha convertido en un problema medioambiental de carácter mundial. Esto ha conllevado una considerable atención pública (1). El suelo por condiciones naturales presenta gran variabilidad de metal, formando parte de los minerales. Estos pueden encontrarse en forma de óxidos y aglomeraciones con otros elementos; clasificándolos en esenciales y no esenciales. Entre los metales con mayor incidencia e impacto en el suelo son: cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cobre (Cu) (2).

En la actualidad la presencia de cadmio es un tema de trascendencia en el ámbito agrícola; puesto que compromete la salud humana, seguridad alimentaria, etc. La presencia del metal en cultivos de cacao ha conllevado a una limitante potencial en cuanto a su exportación y comercialización (3). Esto debido a que el cadmio tiende a bioacumularse en distintas partes de la planta de cacao (4).

Sin embargo, existen técnicas para remediar o disminuir la incidencia de metales como el cadmio (Cd), destacando entre ellas la fitorremediación. Hay plantas y especies forestales que se desarrollan en áreas contaminadas por metales pesados y naturalmente han desarrollado la capacidad de absorber y tolerar dichos metales; dentro de este grupo se destacan las hiperacumuladoras (2). Así mismo, la aplicación de carbón activado por su naturaleza es de interés, debido a sus excepcionales capacidades de adsorción (5).

**CAPÍTULO I**  
**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

El cadmio (Cd) es un metal pesado sin funciones biológicas esenciales, que causa gran preocupación en el medio ambiente debido a su toxicidad para especies vegetales, animales y el ser humano, sin embargo, puede bioacumularse en plantas que no presentan toxicidad a este elemento (6,7). Su presencia se ha convertido en un problema global, desde la industrialización y la implementación de prácticas agrícolas intensivas (8).

Estudios han demostrado la presencia de cadmio en alimentos elaborados a partir del fruto de cacao, lo que motivó investigaciones, detectándose concentraciones de este elemento en el suelo de plantaciones cacaoteras (9,10).

La grave problemática obliga a los agricultores a talar sus plantaciones de cacao y sembrar especies maderables de interés comercial, desconociéndose la influencia de suelos contaminados con cadmio en las variables morfológicas de las especies forestales. Además, se ha informado la capacidad fitorremediadora de algunas especies vegetales, sin embargo, existe limitada información sobre el uso de *Cecropia peltata* como especie con actividad remediadora de suelos contaminados con cadmio.

### **Diagnóstico**

El cadmio (Cd) es un metal pesado que representa uno de los principales problemas de contaminación en los suelos por su alto nivel de toxicidad, bajas concentraciones pueden provocar grandes problemas tanto en el ambiente como en el ser humano, ya que tiende a bioacumularse en distintas partes de las plantas que sirven para el consumo.

## **Pronóstico**

La presencia de cadmio ya sea natural o antropogénica, conlleva a motivos de preocupación, es así como la ejecución de este proyecto de investigación permitió evidenciar la remediación de suelos contaminados, mediante el uso de brotes juveniles de *C. peltata* L y carbón activado proveniente de cascarilla de arroz.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿En qué medida *C. peltata* L asociado con carbón activado proveniente de cascarilla de arroz, influirá en la recuperación de suelos contaminados con cadmio?

### ***1.1.3. Sistematización del problema***

¿El uso de brotes juveniles de *C. peltata* L permitirá absorber cadmio en suelo asignado al cultivo de cacao?

¿La adición de carbón activado proveniente de cascarilla de arroz al sustrato obtenido de plantación de cacao, disminuirá la presencia de cadmio?

¿La combinación de brotes juveniles *C. peltata* L asociado con carbón activado disminuirá la presencia de cadmio al sustrato obtenido de plantación de cacao?

## **1.2. Justificación**

En la literatura se sugieren métodos para recuperar suelos contaminados, pero la mayoría de ellas son tecnologías de alto costo y muchas no son apropiadas para el medio ambiente. Por consiguiente, se han empleado diferentes técnicas, tales como la fitorremediación, la cual ha resultado ser una tecnología menos costosa y más amigable con el ambiente, el uso de especies forestales con elevada biomasa suele usarse como fito-acumuladoras (11), por la habilidad de movilizar en sus tejidos niveles altos de metales (Pb y Cd) (12).

Estudios indican que la aplicación de carbón activado proveniente de cáscara de arroz presenta excelentes resultados en suelos agrícolas, ya que mejora el rendimiento en diversos cultivos, y a su vez, disminuye contaminantes en el suelo (13). Es así como se ha convertido en un aliado estratégico, por su naturaleza de perdurabilidad en el ambiente y sus propiedades fisicoquímicas de adsorción y absorción de compuestos de cadmio libres (5).

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. General***

Evaluar la capacidad de remediación de *Cecropia peltata* L con carbón activado en suelos contaminados con cadmio.

#### ***1.3.2. Específicos***

Identificar la influencia de brotes juveniles de *C. peltata* L en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao.

Indicar el aporte del carbón activado proveniente de cascarilla de arroz en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao.

Comparar el efecto de brotes juveniles de *C. peltata* L asociado con carbón activado y sustrato de plantación de cacao para disminuir la presencia de cadmio.

**CAPÍTULO II**  
**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco conceptual**

### ***2.1.1. Suelo***

Capas de material mineral u orgánico no consolidado en la superficie de la tierra que ha sometida y muestra efectos de factores genéticos y ambientales de: clima, agua, temperatura y microorganismos, que son condicionados por el relieve, y actúan sobre el material el material parental durante un periodo de tiempo (14).

### ***2.1.2. Contaminantes del suelo***

Un material cual hace no existir en la naturaleza, pero es introducido en el suelo a través de procesos naturales y actividades antropogénicas, y por eso afecta la composición del suelo, es conocido como un contaminante. El cual puede ser categorizado como química, biológica, etc. Estos contaminantes en suficientes concentraciones, puede afectar gravemente a los seres vivos (15).

### ***2.1.3. Biorremediación***

La biorremediación es el proceso mediante el cual se emplean seres vivos como plantas, algas y microorganismos para remediar, degradar, transformar, eliminar, reducir, movilizar o contener contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos e incluso metales en el suelo, agua o aire (16).

### ***2.1.4. Bioacumulación***

Bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (17).

### **2.1.5. Fitorremediación**

El término hace referencia a una serie de tecnologías basadas en el uso de plantas para restaurar o limpiar ambientes contaminados, tales como suelos, agua, e incluso aire. Es un término nuevo, acuñado en 1991 y está compuesto de dos palabras, *fito*, *ta*, que en griego significa planta, y *remediar*, que significa corregir algo (18).

### **2.1.6. Metales pesados**

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (17).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Suelo**

El suelo está formado por un conjunto de partículas minerales de la Roca Madre y/o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, o de origen orgánico. Es la capa de tierra donde crecen las raíces y de donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas. Tarda miles de años en formarse y en muy poco tiempo se puede perder o degradar a causa de varios factores (19).

A lo largo de su evolución, en el suelo se van diferenciando capas verticales de material conocidos como horizontes, formados por constituyentes minerales y orgánicos, agua, gases y caracterizados por propiedades físicas (estructura, densidad aparente, capacidad de retención de agua, textura, porosidad) y físico-químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, potencial redox) que los diferencian entre sí. El conjunto de horizontes constituye el perfil del suelo. La importancia del suelo radica fundamentalmente en que es un elemento natural dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, litosfera, biosfera e hidrosfera. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de ciclos

biogeoquímicos superficiales y le confiere la capacidad para desarrollar funciones esenciales en la naturaleza (20).

### **2.2.1.1. Procesos formadores del suelo**

Los procesos formadores del suelo se agrupan en dos categorías, siendo los procesos generales los que sirven para entender los procesos dominantes en la formación y evolución de los suelos y los específicos. Carvajal (21) menciona que los procesos generales son:

- Pérdidas de materia orgánica o mineral por erosión, extracción de cosechas o volatilización de elementos.
- Translocaciones. Movimientos de los compuestos en dirección ascendente, descendente dentro del suelo.
- Transformaciones. Alteraciones químicas de material orgánico dentro del perfil del suelo.

Mientras que los procesos más específicos que se dan en los suelos son: la lixiviación; la laterización, que hace referencia a la liberación de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, formándose durante este proceso las corazas de hierro; y, por último, los procesos de oxido-reducción de hierro, como consecuencia de la fluencia del nivel freático (21).

### **2.2.2.1. Metales pesados**

Los elementos químicos están caracterizados y clasificados en el sistema periódico. El término “metal pesado” se basa en la categorización por densidad o masa molar, normalmente se utiliza como nombre de grupo para los metales y metaloides que se asocian con la contaminación y toxicidad en el medio ambiente. Los metales pesados son sustancias

de la naturaleza de peso molecular alto, altamente difundidos y en muchos casos muy eficaces (22).

La presencia de los metales pesados en la atmósfera, suelo y agua, incluso en pequeñas cantidades, puede causar serios problemas a los seres vivos. Están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas, tales como: extracción de minerales, plaguicidas, industrias papeleras, riego de aguas residuales, etc (23).

Se liberan en forma de compuestos (inorgánicos y orgánicos) de manera elemental. Los metales emitidos en estos procesos se acumulan en el suelo y otros compartimientos ambientales, incluso mucho después de que se hayan finalizado ciertas actividades. Entre los distintos metales pesados, el arsénico (As), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), y el mercurio (Hg) se encuentran dentro de la lista del registro de sustancias tóxicas y enfermedades, de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (US EPA), como las 20 principales sustancias tóxicas (23).

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: la primera, quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo u ocupando sitios de intercambio; segunda, específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo; tercera, asociados con la materia orgánica del suelo y cuarta, precipitados como sólidos puros o mixtos. Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas (17).

No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (17) por lo que peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos (24) y, por medio de la amplificación biológica, sus concentraciones pueden aumentar miles de veces, con efectos negativos significativos en la salud humana (25). Su acumulación es una preocupación en

la producción agrícola, debido a su impacto negativo en la calidad de los alimentos, el crecimiento de cultivos y la salud ambiental (plantas, animales, suelo) (26).

### ***2.2.2. Contaminación del suelo por metales pesados***

Los contaminantes del suelo pueden ser orgánicos e inorgánicos, estos conducen a la degradación de grandes extensiones de tierras urbanas y cultivables en todo el mundo. La presencia de tales contaminantes plantea un riesgo significativo para la salud de los seres humanos y otros sistemas ecológicos. Los principales contaminantes de naturaleza inorgánica son: arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) y zinc (Zn) que se encuentran generalmente en suelos contaminados (15).

Por lo general, los metales pesados se encuentran naturalmente en la corteza terrestre y se liberan en el suelo debido a diversas actividades humanas, dando como resultado altos niveles de metales pesados tóxicos en el suelo (23).

La contaminación por metales pesados en el suelo se refiere básicamente a la deposición de metales pesados, tales como el mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb) y otros elementos pesados biotóxicos significativos en el suelo. Dicho proceso ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales. El uso constante de plaguicidas y fertilizantes pueden provocar el aumento de las concentraciones de metales pesados en el suelo (25).

### **2.2.2.3. Cadmio (Cd) como contaminante del suelo**

El cadmio (Cd; número atómico 48, peso atómico 112,41) pertenece al grupo XII de la tabla periódica de elementos químicos. El peso atómico del Cd resulta de una mezcla de ocho isótopos estables. Es un metal de post-transición, posee dos electrones en el orbital  $s$  y un orbital completo. Es blando de color blanco plateado es químicamente similar al mercurio

y al zinc en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, además es resistente a la corrosión y se lo utiliza como placa protectora, es insoluble en agua y no es inflamable (27).

La presencia de Cd en el suelo y sedimentos están relacionados generalmente con la abundancia de minerales carbonatos, arcillosos y óxidos hidratados, así como ciertas condiciones fisicoquímicas, como el valor pH elevado del suelo, sin embargo, una de las fuentes más importante de contaminación por Cd en el suelo es producidas por actividades de minería, agricultura y; gestión de residuos (28).

Las fuentes naturales por contaminaciones de Cd en el suelo representan el 10% con relación a las fuentes antropogénicas. Entre las fuentes naturales de Cd en la atmósfera se encuentran, las erupciones volcánicas, la pulverización marina, incendios forestales, etc. Las fuentes antropogénicas de Cd en el ambiente representan el 90%, esto es a causa del uso de fertilizantes, combustión de combustibles fósiles, detergentes, minería y procesamiento de minerales (8).

### **2.2.3. Biorremediación**

La remediación de suelos incluye técnicas para reducir contaminantes. Sin embargo, no se emplean uso de sistemas biológicos. Es por ello, que el objetivo de la biorremediación es incentivar a los microorganismos con nutrientes y otros compuestos químicos, para que puedan “deshacer” los contaminantes. En este proceso, las enzimas microbianas están involucradas en la transformación o degradación de dichos contaminantes. La eficiencia depende principalmente de factores como la magnitud y toxicidad de los contaminantes. El proceso de biorremediación, se puede llevar a cabo en el lugar contaminado, a este proceso se gbbvblo conoce como biorremediación in situ, o bien en un lugar específicamente preparado, conocido como biorremediación ex si tu. (29).

#### **2.2.4. Técnicas de biorremediación**

##### **2.2.4.1. Rizofiltración**

La rizofiltración utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final (30).

##### **2.2.4.2. Fitorremediación**

Por lo general, existen técnicas convencionales que no son lo suficientemente adecuadas para restaurar el suelo, debido a los costos elevados y destructivos con el medio, por esta razón se hace el uso de la técnica de remediación basada en plantas, conocida como fitorremediación, la cual ha ganado mucha atención en las últimas dos décadas, esto debido a que es una tecnología simple, rentable, respetuosa con el medio ambiente, requiere poca mano de obra y es; sostenible. La razón principal detrás del uso de la aplicación de la fitorremediación se debe a su bajo costo (31).

Florida (4), indica que las plantas fitorremediadoras básicamente tienden a acumular y toleran distintos niveles de concentraciones de metales pesados en sus tejidos. Las plantas poseen una capacidad inherente de neutralizar contaminantes orgánicos e inorgánicos, a través de procesos como la bioacumulación, la translocación y degradación, de esta manera, actúan como un sumidero para contaminantes tóxicos (31). En este sentido, se han identificado especies con capacidades hiperacumulativas, entre ellas se encuentran los girasoles (*Helianthus annuus*) (4).

##### **2.2.4.3. Especies vegetales con acción fitorremediadora**

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. En la actualidad existen diferentes técnicas

para remediar suelos contaminados, entre ellos se encuentra la fitorremediación que es una técnica con grandes posibilidades. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos y agua, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos, por lo general se utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (32).

De acuerdo a Muthusaravanan *et al.* (33), las plantas impiden la entrada de Cd inmovilizándolo en la pared celular de las raíces a través de enlaces con exudados extracelulares, como ácidos poligalacturónidos y esto limita su transporte a la parte aérea. Refiere que otras plantas han desarrollado tolerancia al estrés, acumulando los metales en las hojas, en forma de complejos metálicos estables no tóxicos, con diferentes quelantes: ácidos orgánicos, aminoácidos, ferritinas, fitoquelatinas y metalotioneínas. Estudios han mostrado que las vacuolas son el sitio de acumulación de metales pesados incluyendo el Zn y Cd.

Por otra parte, el mismo autor indica que las plantas en su mayoría contienen niveles medibles de Cd principalmente en las raíces, pero cuando superan el umbral establecido de  $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (0,01 % de masa seca) se consideran hiperacumuladoras de este metal. La mayoría de las especies y las de mayor capacidad de absorción se han encontrado en sitios de origen natural ricos en metales.

En cuanto a la selección de las especies fitorremediadoras depende de distintos factores, como su capacidad para tratar los contaminantes, la adaptación a climas locales, la estructura morfológica de la especie, la facilidad de plantación y mantenimiento, la capacidad para crecer en el suelo y la absorción de grandes volúmenes de agua por evapotranspiración, (33).

### 2.2.5. *Cecropia peltata* (guarumo)

Según Muñoz (32), *C. peltata* presenta la siguiente descripción taxonómica en la tabla 1:

**Tabla 1.**

*Descripción taxonómica de la especie.*

<b>Taxonomía</b>	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Rosales
<b>Familia</b>	Urticaceae
<b>Genero</b>	Cecropia
<b>Especie</b>	Cecropia peltata

*C. peltata* o mejor conocido como guarumo o yagrumo, es un árbol que crece entre 5-10 m de altura por lo que se considera de rápido crecimiento, y se puede desarrollar en cualquier tipo de clima cálido. Es común encontrarlo al costado de caminos, claros, carreteras, áreas de cultivo o en otros lugares que han sufrido cierto tipo de impacto. Sus hojas son grandes en forma de paraguas, que van desde los 30 a 75 cm de ancho, y producen abundante biomasa durante la mayor parte de su ciclo de vida (34).

Esta especie se encuentra en la zona intertropical americana, y se distribuye desde México hasta América del Sur. Es un árbol típico de la vegetación pionera, crece en los rastrojos, por lo cual es idóneo para proyectos de reforestación. Posee ramas gruesas, horizontales, ramillas huecas con numerosas cicatrices anulares y lenticelas. Sus flores masculinas son dispuestas en espigas y se encuentran en grupos de 15 a 40, tienen 3 cm de longitud, sobre pedúnculos de 4 a 12 cm de largo; las flores femeninas dispuestas en espigas se encuentran en grupos de 4 a 5, son de 4 a 7 cm de largo, sobre pedúnculos de 2-9 cm de largo (32).

### **2.1.6. Carbón activado**

Se conoce como carbón activado (CA) a una gran familia de adsorbentes los cuales poseen una gran porosidad y cristalinidad, dicho material tiene semejanza con el grafito. Se conforma principalmente de átomos de carbón que están unidos mediante enlaces covalentes, pudiendo tener incluso heteroátomos, es decir: oxígeno, nitrógeno y azufre, provenientes del material precursor; todo esto enlazado por fuerzas débiles de Van der Waals. Este material tiene diferentes tipos de presentaciones, las cuales son: carbón activado granular (CAG), fibras de carbón activado (FCA), telas de carbón activado (TCA) y nanotubos de carbón activado (NTC), entre otros (35).

#### **2.1.6.1. Propiedades del carbón activado**

Indican García *et al.* (36), que el carbón activado es de interés debido a las excepcionales propiedades físicas y químicas que posee, como la capacidad de adsorción, porosidad, estabilidad química, resistencia térmica y conductividad eléctrica. Además, el volumen de los poros es mayor que 0.2 ml/g y su área superficial interna oscila entre 400 a 1,500 m<sup>2</sup>/g. Generalmente, la superficie del carbón activado puede encontrarse combinada, en mayor o menor proporción, con otros átomos o grupos de átomos distintos al carbono. En la mayoría de los carbones se presenta un carácter hidrófobo, que puede ser disminuido a causa de la adición de grupos superficiales.

Sus propiedades fisicoquímicas son las que proporcionan la capacidad de adsorción, las propiedades físicas le infieren una gran capacidad de retención y difusión de moléculas al interior del CA; en cambio las químicas le proporcionan una gran afinidad hacia las moléculas debido a sus grupos funcionales que están situados en su superficie (35).

#### **2.1.6.2. Fuentes de obtención de carbón activado**

Ahora bien, para la obtención del carbón activado, la materia prima debe poseer un alto contenido de carbono y material mineral, además, debe tener baja degradación durante su almacenamiento y un bajo costo. Entre los materiales que se pueden utilizar se encuentran:

madera, carbón mineral, melaza, cáscara de arroz, turba, carbohidratos, coque de petróleo, cáscara de nueces, lignito, aserrín, algas, cuesco de palma africana, cáscara de coco, residuo de tabaco, cascara de frutas, granos de café y cascarilla de arroz (36).

La cascarilla de arroz es un material duro que protege al grano de arroz, se lo usa como fertilizantes, alimento para mascotas, fabricación de bloques de concreto, etc. La cascarilla es insoluble en agua, resistente al desgaste y leñosa esto debido a su alto contenido de lignina y sílice (37).

Sin embargo, existen fuentes de residuos agroindustriales que se emplean como materia prima para la elaboración de carbones activados (38).

### **2.3. Marco referencial**

En el trabajo investigativo de los autores Vidal *et al.* (39), titulado “Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*)” determinaron la influencia del grado de contaminación, la aplicación de ácido cítrico y tiempo de crecimiento de *C. peltata*, sobre la tasa de remoción de mercurio en el suelo. Luego de 4 meses de crecimiento, los porcentajes de concentración de mercurio estuvieron entre 15,7% y 33,7%, demostrando así la capacidad de *C. peltata* al acumular gran cantidad del metal sin presentar efectos adversos; por lo que concluyeron que la especie forestal usada tiene capacidad fitorremediadora.

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del campus “La María” de propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicada en el Km 7 ½ vía Quevedo-El Empalme.

#### Figura 1.

Área de estudio.



#### 3.1.1. Características eda-foclimáticas

El campus “La María” presenta las siguientes condiciones eda-foclimáticas a continuación, se indican en la tabla 2:

**Tabla 2.**

*Condiciones eda-foclimáticas*

PARÁMETROS	PROMEDIO
Altitud msnm	73
Temperatura	25,01
Humedad relativa %	84,2
Precipitación mm	1501
Heliofanía	768,5
Valor de Ph del suelo	5,7
Topografía	Irregular
Evaporación mm	103,9

### **3.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue experimental, puesto que se realizaron diversos procesos que consistieron en análisis de niveles de concentración de cadmio en suelos cacaoteros, con el propósito de determinar en función de esta, la capacidad de remediación de los brotes juveniles de *C. peltata* asociado con carbón activado proveniente de cascara de arroz.

### **3.3. Métodos de investigación**

#### ***3.3.1. Método inductivo***

Por medio de este método se evaluaron variables tanto cualitativas como cuantitativas de los parámetros físicos y biológicos de las muestras del suelo y brotes.

#### ***3.3.2. Método de Campo***

Consistió en un experimento práctico, su ejecución se realizó en un vivero ubicado en el campus la “La María”.

### **3.4. Fuentes de recopilación de información**

#### ***3.4.1. Fuentes primarias***

La fuente primaria correspondió al análisis, observación y evaluación de las variables tratadas en el estudio.

#### ***3.4.2. Fuentes secundarias***

Fundamentalmente se usaron fuentes secundarias tales como tesis, libros, artículos científicos y otras fuentes, con el objetivo de seleccionar y complementar la información de la investigación.

### 3.5. Diseño de la investigación

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), se emplearon 3 tratamientos (sin incluir el testigo T0) con 5 repeticiones y 3 unidades experimentales por repetición.

**Tabla 3.**

*Diseño experimental*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
T1	<i>C. peltata</i> + Suelo de cacaotera
T2	Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera
T3	<i>C. peltata</i> + Carbón activado de cascarilla de arroz (5 gr) + suelo de cacaotera

### 3.6. Variables a evaluar

En la tabla 4, se indican las variables evaluadas:

**Tabla 4.**

*Variables a Evaluar*

<b>N°</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
1	Análisis del suelo	Se realizó un análisis de cadmio antes y después del tratamiento.
2	Variables morfológicas de los brotes	Por un período de 15,30,45 y 60 días, se tomaron datos de altura, diámetro de tallo y número hojas.
3	Contenido de cadmio en brotes de <i>C. peltata</i>	Se realizó un análisis antes y después del tratamiento para identificar y evaluar el cadmio presente en los brotes juveniles
4	Evaluar capacidad de adsorción del carbón activado	Se realizaron pruebas de absorbancia para identificar la capacidad de adsorción del carbón activado

### **3.7. Manejo del experimento**

#### ***3.7.1. Selección, colecta de materiales***

La primera fase del proyecto de investigación consistió en tomar muestras del suelo de una plantación de cacao de la finca “La Sebastiana”, localizada en el Km. 5 ½ vía a El Empalme, de propiedad de la Sra. Sebastiana Tubay. La muestra de suelo se trasladó hasta el laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue para determinar la cantidad de cadmio que contiene. Y se lo utilizó como sustrato en la combinación de los diferentes tratamientos.

Mientras que en la segunda fase se recolectaron esquejes de *C. peltata*, proveniente de individuos previamente seleccionados por sus características fenotípicas, como: altura, diámetro de tallo, etc., localizados en el sector “Estero de Garza Chica”, perteneciente al cantón Mocache, de propiedad del Sr. Saltos Rodríguez. El material vegetal se trasladó al vivero creado específicamente para la realización del proyecto de investigación, los esquejes se ubicaron en las platabandas con arena cubiertos con túneles de polipropileno, los primeros brotes aparecieron después de 14 días, los cuales se mantuvieron en constante observación y mantenimiento.

Los brotes se trasladaron a los sustratos establecidos en el numeral 3.5 en bandejas germinadoras para promover su desarrollo y absorción de cadmio durante 60 días. Posteriormente a los días indicados, se seleccionaron individuos al azar de los 3 diferentes tratamientos y se realizaron análisis en el laboratorio de INIAP-Pichilingue para determinar la cantidad de absorción por los brotes y la disminución de cadmio que existía en el suelo.

#### ***3.7.2. Producción y activación de carbón activado***

Se realizó carbón a partir de cascarilla de arroz en el laboratorio mediante proceso de mufla (Tamaño de Partícula: 500  $\mu$ ; Temperatura: 500 °C; Tiempo: 3 Horas).

Para la activación del carbón se pesó 5 gramos del material y se impregnó con una solución concentrada de ácido fosfórico al 85% en una proporción de 1:5; es decir, 1 gramo de materia prima (cascarilla de arroz) con 5 ml de ácido fosfórico y se mantuvo en contacto durante 24 horas. Se realizó varios lavados con agua destilada seguida de filtración, manteniendo un control del pH en cada lavada. Se adicionó Hidróxido de Sodio a 1 Molar para regular la muestra a un estado Neutro de pH. Se secó en estufa a 500 °C durante 3 horas, hasta que se observó la pérdida de humedad.

### ***3.7.3. Capacidad de adsorción de carbón activado.***

Se realizaron pruebas de longitud de onda (PLO) para determinar la capacidad de adsorción del carbón activado, por medio de, el cual consistió del siguiente protocolo:

Con un balón de 500 mL y solución de cloruro de cadmio a 100 ppm y aforando se obtuvo una solución de 50 ppm. En un vaso de precipitación de 500mL, se agregó dicha solución y se agregó el adsorbente en diferentes concentraciones. En una plancha de agitación magnética, durante 180 minutos a 80 rpm, por medio del papel filtro se dejó pasar la solución la cual es llevada a la prueba de longitud de onda. Por medio del uso del espectrofotómetro se identificó el máximo de adsorción.

## **3.8. Tratamiento de los datos**

Los resultados se procesaron en el programa InfoStat software que sirvió para realizar análisis estadísticos y para determinar diferencias se empleó el análisis de varianza con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

## **3.9. Recursos humanos y materiales**

### ***3.9.1. Materiales de oficina***

- Documentos electrónicos

- Internet
- Computadora
- Hojas A4
- Libreta
- Impresora
- Word 2021, Excel 2021, InfoStat.

### ***3.9.2. Material experimental***

- Material vegetal juvenil de *C. peltata*
- Cascarilla de arroz (carbón activado)
- Sustrato (Tierra de huerto de cacao)

### ***3.9.3. Materiales de campo***

- Clavos
- Machete
- Platabanda
- Caña
- Plástico
- Zaran
- Ziploc
- Bandejas germinadoras

### ***3.9.4. Reactivos***

- Cloruro de cadmio
- Ácido Fosfórico
- Hidróxido de sodio

### **3.9.5. Equipo**

- Balanza Analítica
- Agitador magnético
- Agitador calentador
- Muffla
- Estufa
- Desecado
- Espectrofotómetro

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1. Resultados

### 4.1.1. Influencia del uso de brotes juveniles de *C. peltata* en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao.

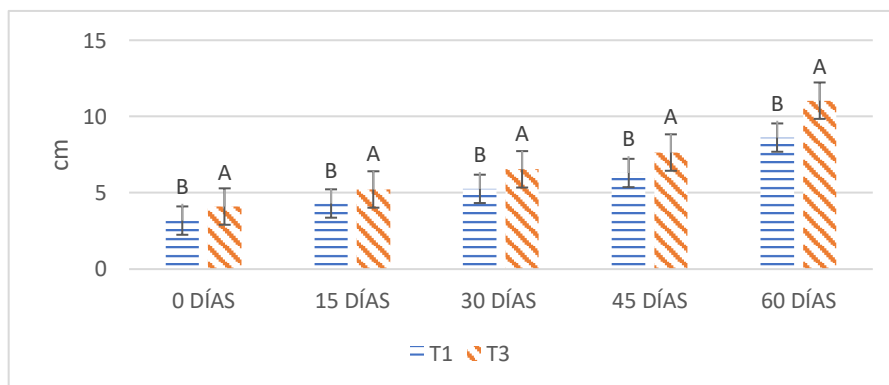
Posterior al trasplante de los brotes juveniles de *C. peltata* en los tratamientos, se evaluaron sus características morfológicas en distintos periodos de tiempo, estableciendo comparaciones, donde:

#### Altura.

Se tomaron datos de los brotes de *C. peltata* el día del trasplante, a los 15 hasta 60 días, la altura varía conforme van transcurriendo los días, en el T1 (C+S) se obtuvieron promedios generales de 8.62 cm de altura, mientras que en el T3 (C+CA+S) tuvo un promedio general de 11.04 cm. Siendo este tratamiento el que tuvo mejor interacción en cuanto a crecimiento, como se indican en la figura 2.

**Figura 2.**

*Altura de C. peltata* L.

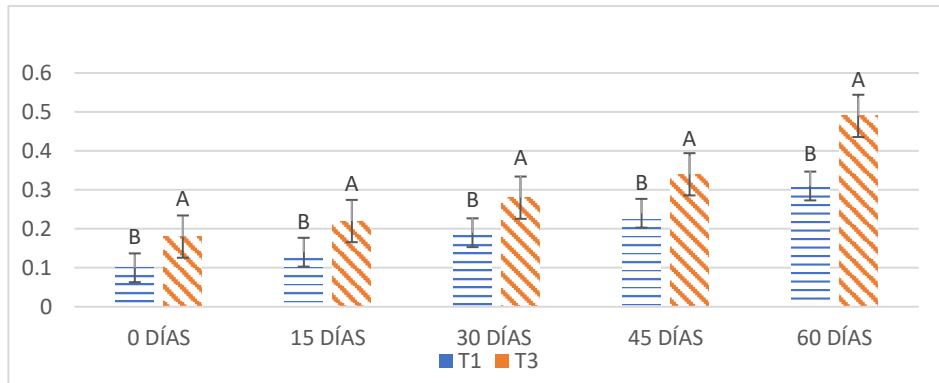


#### Diámetro de tallo.

Se tomaron datos el día del trasplante, a los 15 hasta 60 días, donde se evidenció que el diámetro con el T3 (C+CA+S) obtuvo mejores resultados teniendo un promedio de 0.49 mm, mientras que en el T1 (C+S) se tuvo un promedio de 0.31 mm, en la figura 3 se muestran las diferencias de los tratamientos.

**Figura 3.**

*Diámetro de tallo de C. peltata L.*

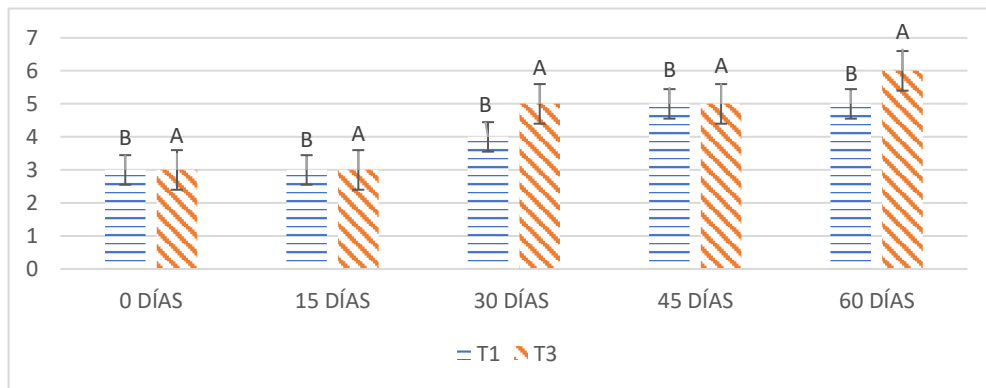


### Número de hojas

Se observó que el número de hojas/brotes fue de 5 en el T1 (C+S), mientras que en el T3 (C+CA+S) se obtuvieron 6 hojas, como se observa en la figura 4.

**Figura 4.**

*Número de hojas de C. peltata L.*

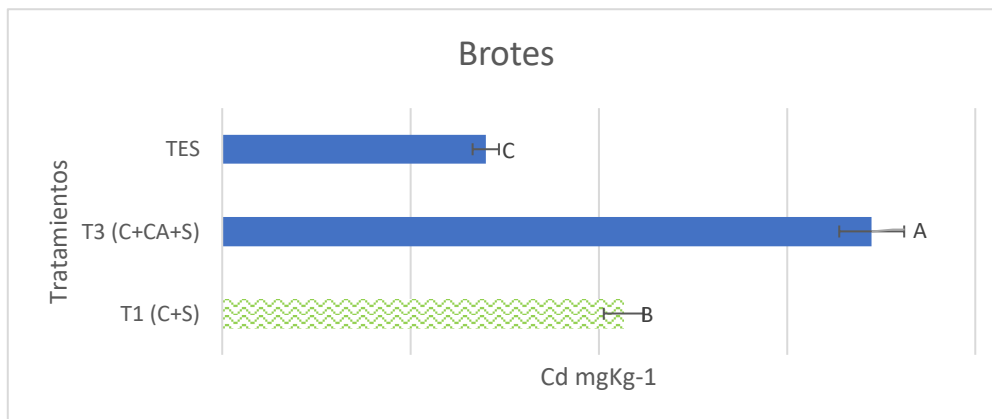


### Concentración química de cadmio en brotes

En lo que corresponde al T1(C+S), de acuerdo a los análisis realizados el valor preliminar de cadmio en el tejido de los brotes juveniles de *C. peltata L.*, fue de 0.07 mg/kg<sup>1</sup> al inicio de la investigación y al finalizar la investigación se obtuvo valores de 0.10 mg/kg<sup>1</sup>, en la figura 5 se observa.

**Figura 5.**

*Concentración de cadmio en los brotes de C. peltata L.*

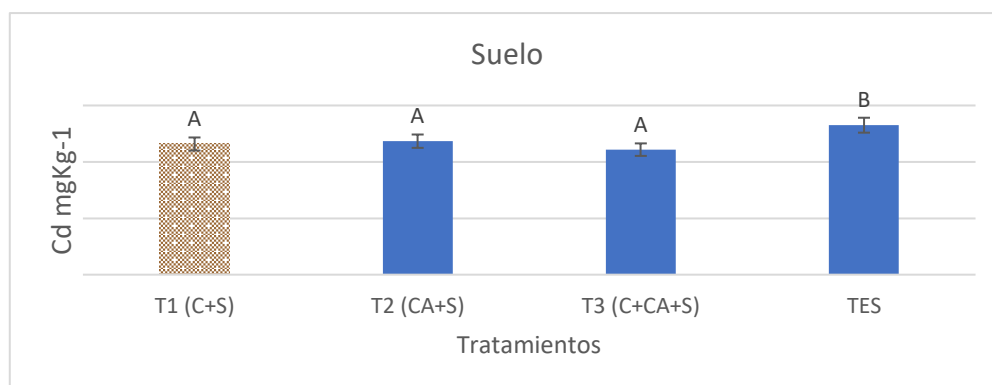


### Concentración de cadmio en el suelo

De acuerdo a los análisis realizados el valor preliminar en este estudio tal como se indica en la figura 6, fue de 0.53 mg/kg<sup>-1</sup> de cadmio y al finalizar el proyecto de investigación se determinó una disminución de cadmio en el suelo de 0.46 mg/kg<sup>-1</sup> en el T1 (C+S).

**Figura 6.**

*Concentración de cadmio en el suelo.*



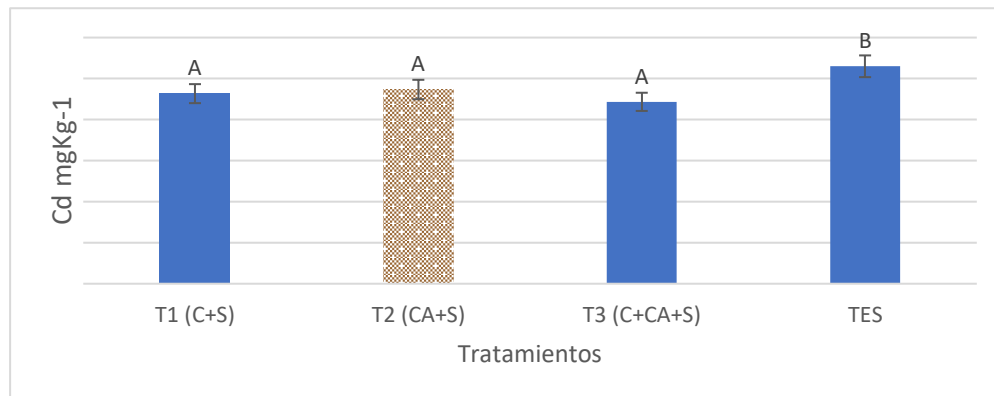
#### **4.1.2. Aporte del carbón activado proveniente de cascarilla de arroz en la disminución de cadmio en sustrato de plantación de cacao.**

En el T2 (CA+S) se evidenció disminuciones de cadmio en el suelo, siendo este de 0.47 mg/kg, como se demuestra en la figura 7. En base a los estudios realizados se demostró

por medio del análisis que el carbón activado posee buenas propiedades y un buen rendimiento en cuanto adsorción.

**Figura 7.**

*Carbón activado en el suelo.*

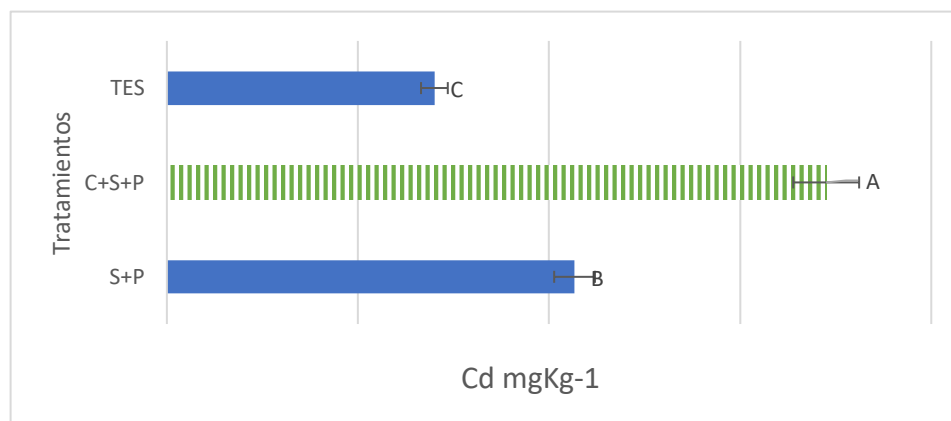


#### **4.1.3. Efecto de brotes juveniles de *C. peltata* L asociado con carbón activado y sustrato de plantación de cacao para disminuir la presencia de cadmio**

El rendimiento del T3 (C+CA+S) juega un papel significativo ya que los brotes juveniles absorbieron en sus tejidos un  $0.17 \text{ mg/kg}^{-1}$  de cadmio, en la figura 8 se indica. Mientras que el suelo del mismo tratamiento tuvo una disminución de cadmio considerable de  $0.44 \text{ mg/kg}^{-1}$ .

**Figura 8.**

*Efecto de brotes de *C. peltata* L., asociado con carbón activado.*



## 4.2. Discusión

De acuerdo a Álvarez (40), quien utilizó la especie guarumo (*C. hololeuca*) en estado juvenil indica que pueden alcanzar hasta los 10 metros de altura, por lo general estas especies mantienen una buena adaptabilidad en el lugar donde se estableció. Estos resultados tienen una estrecha relación con los resultados del trabajo investigativo de Muñoz (41), quien usó *C. peltata* L en sustrato de cacao, obteniendo promedios generales del diámetro del tallo de 0.27 cm, promedio obtenido en dos meses, además obtuvo un considerable número de hojas en buen estado y cero mortalidad.

Los resultados de las dos investigaciones concuerdan con los resultados de las variables morfológicas obtenidos en el presente estudio, donde se indica que los brotes de *C. peltata* L., demostraron buena adaptación al suelo, manteniendo un buen desarrollo y crecimiento tanto en sus tallos y hojas, durante todo el transcurso del proyecto de investigación. Ambas especies demuestran una buena adaptabilidad al entorno en el que se encuentran.

Vidal *et al.* (39), evidenciaron que la especie *C. peltata* L., mantiene una alta absorción de Hg en la raíz, seguida de las hojas y finalmente el tallo. Este comportamiento se debe a que las raíces están expuestas directamente al metal presente en el suelo, y sobre ellas se adhiere una gran cantidad del metal en las paredes celulares para así evitar efectos tóxicos en las partes superiores de la planta.

Lo que concuerda con los resultados obtenidos del presente estudio, ya que los análisis realizados de toda la planta evidenciaron contenidos de cadmio, es decir que *C. peltata* L. cumplen con sus funciones de absorción.

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio de Jiménez *et al.* (42), quienes evaluaron eficiencia fitorremediadora en suelos contaminados con arsénico, obtuvieron valores preliminares al inicio de la investigación de 7.12 mg/kg. Y al finalizar el ensayo los

valores de arsénico obtenidos fueron T4 con 0.55 mg/kg, seguido de T3 con 0.11 mg/kg y finalmente los tratamientos T2, T0 y T1 con valores menores a 0.10 mg/kg., utilizando especies como *Lupinus pubescens*, *Plantago major* y *Scirpus californicus*, por lo que concluyeron que la disminución del arsénico se debe a la acción remediadora de plantas.

Según lo mencionado se puede corroborar que la intervención de especies con capacidad fitorremediadora ayudan a bajar los niveles de concentraciones de metales pesados en el suelo.

Del Rosario *et al.* (43), realizaron un estudio donde aplicaron carbón activado para adsorber tres diferentes tipos de metales pesados, entre ellos: cadmio. La capacidad de adsorción que obtuvieron de cadmio fue de 26,5 mg g. Esto concuerda con los resultados obtenidos del T2 y T3 donde se evidenció una disminución considerable de cadmio, debido a la asociación de carbón activado.

De acuerdo a los resultados del estudio de Vidal *et al.* (39), donde se empleó la especie *C. peltata* para remover Hg del suelo estuvieron entre 15.7% y 33.7 %, en cuatro meses de crecimiento de la planta, lo que implica que esta especie tiene una significativa capacidad para ser empleada en remediación de suelos contaminados. Al igual que en la acumulación del contaminante en tejidos, las variables de mayor influencia en las tasas de remoción del suelo son el tiempo de tratamiento y el grado de contaminación del suelo. Ambos estudios coinciden con que el uso de *C.peltata* es eficiente.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los 3 diferentes tratamientos donde se hace el uso de carbón activado y planta refieren a los de Jiménez y Ramos (42), quienes explican en su estudio que en los tratamientos con plantas la disminución se produce por la presencia de las plantas fitorremediadoras.

Además, Caviedes *et al.* (44), corroboran que se ha demostrado que el carbón activado tiende a ser un adsorbente eficiente para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en cualquier tipo de ambiente.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- Los niveles de contaminación de cadmio en el suelo antes de la investigación corresponden a  $0.53 \text{ mg/kg}^{-1}$  y al final del proyecto de investigación en el T1 corresponde a  $0.46 \text{ mg/kg}^{-1}$ , en el T2 con  $0.47 \text{ mg/kg}^{-1}$  y por último en el T3 con  $0.44 \text{ mg/kg}^{-1}$ .
- La elaboración y asociación del carbón activado de cascarilla de arroz en los tratamientos demostró su capacidad como una alternativa limpia, segura y amigable con el medio.
- Entre los 3 diferentes tratamientos usados en el proyecto de investigación, el T3 (Carbón activado de cascarilla de arroz + suelo de cacao 1:4 + *C. peltata* L) presentó mejores resultados en cuanto absorción de cadmio en el material vegetal de los brotes y disminución en el suelo por la aplicación del carbón activado favoreciendo la remoción del cadmio.

## 5.2. Recomendaciones

- Realizar experimentos donde se haga uso de brotes juveniles de *C. peltata* L (guarumo) y realizar estudios comparativos entre plantas acumuladoras de metales pesados para evaluar su capacidad de absorción.
- Estudiar otras concentraciones de carbón activo obtenido de otras materias primas celulósicas, para disminuir la presencia de cadmio en el suelo de cultivos de cacao.
- Es necesario realizar análisis individuales de la planta tales como: raíz, tallo y hojas para determinar la concentración de cadmio que posee cada parte. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la remediación de suelos contaminados con cadmio puede ser un proceso costoso ya que el éxito depende de varios factores, como la naturaleza del tratamiento y la extensión de la contaminación, la elección del método de tratamiento y la implementación adecuada del mismo.

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFIA**

1. Li C, Zhou K, Qin W, Tian C, Qi M, Yan X, et al. A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and Remediation Techniques [Internet]. Vol. 28, Soil and Sediment Contamination. Taylor & Francis; 2019 [cited 2022 Jun 30]. p. 380–94. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15320383.2019.1592108>
2. Llatance WO, Gonza Saavedra CJ, Guzmán Castillo W, Pariente Mondragón E. Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao*) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. Revista Forestal del Perú [Internet]. 2018 [cited 2022 Jun 30];33(1):63. Available from: <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>
3. Chancay Alcívar LF, Delgado Demera M, Salas Macías CA. Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus efectos ambientales. La Técnica: Revista de las Agrociencias ISSN 2477-8982. 2022 Mar 31;91.
4. Florida Rofner N. Cadmium in soil and cacao beans of peruvian and south american origin. Rev Fac Agron Medellin [Internet]. 2021 [cited 2022 Jun 29];74(2):9499–515. Available from: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame>
5. García Paredes F de M, Romero Panduro DM. Remediación de suelo agrícola dedicado al cultivo de arroz con concentraciones de Cadmio, mediante la aplicación de microorganismos eficaces y carbón activado. Universidad César Vallejo; 2021.
6. Gramlich A, Tandy S, Andres C, Chincheros Paniagua J, Armengot L, Schneider M, et al. Cadmium uptake by cocoa trees in agroforestry and monoculture systems under conventional and organic management. Science of the Total Environment. 2017 Feb 15;580:677–86.
7. Gramlich A, Tandy S, Gauggel C, López M, Perla D, Gonzalez V, et al. Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras. Science of the Total Environment. 2018 Jan 15;612:370–8.
8. Huaraca-Fernandez JN, Pérez-Sosa L, Bustinza-Cabala LS, Pampa-Quispe NB, Huaraca-Fernandez JN, Pérez-Sosa L, et al. Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión [Internet]. Vol. 31, Información tecnológica. Centro de Información Tecnológica; 2020 [cited 2022 Jun 28]. p. 139–52. Available from:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642020000400139&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642020000400139&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

9. Arévalo-Gardini E, Obando-Cerpa ME, Zúñiga-Cernades LB, Arévalo-Hernández CO, Baligar V, He Z. Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) En tres regiones del Perú. *Ecología aplicada* [Internet]. 2016 [cited 2022 Jun 28];15(2):81. Available from: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>
10. Furcal-Beriguete P, Torres-Morales JL. Determinación de concentraciones de cadmio en plantaciones de *Theobroma cacao* L. en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* [Internet]. 2020 [cited 2022 Jun 28];33. Available from: <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5027>
11. Niu ZX, Sun LN. Evaluation of the cadmium and lead phytoextraction by castor bean (*Ricinus communis* L.) in hydroponics. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [Internet]. IOP Publishing; 2017 [cited 2022 Jun 29]. p. 012063. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/69/1/012063>
12. Alaboudi KA, Ahmed B, Brodie G. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*. 2018 Jun 1;63(1):123–7.
13. Llanos Páez O, Ríos Navarro A, Jaramillo Páez CA, Rodríguez Herrera LF. La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia* [Internet]. 2016 [cited 2022 Jun 28];11(2):150–60. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552016000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
14. van Es H. A New Definition of Soil. *CSA News* [Internet]. 2017 Oct [cited 2023 Mar 4];62(10):20–1. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/320253582\\_A\\_New\\_Definition\\_of\\_Soil](https://www.researchgate.net/publication/320253582_A_New_Definition_of_Soil)
15. Murtaza G, Murtaza B, Khan Niazi N, Sabir M. Soil contaminants: Sources, effects, and approaches for remediation. *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*. 2014 Jan 1;171–96.

16. da Silva IGS, de Almeida FCG, da Rocha e Silva NMP, Casazza AA, Converti A, Sarubbo LA. Soil Bioremediation: Overview of Technologies and Trends. *Energies* 2020, Vol 13, Page 4664 [Internet]. 2020 Sep 8 [cited 2023 Mar 4];13(18):4664. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/18/4664/htm>
17. Prieto Méndez J, González Ramírez C, Román Gutiérrez A, Prieto García F. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales* [Internet]. 2009 [cited 2023 Mar 7];10(1):29–44. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
18. Núñez López RA, Meas Vong Y, Ortega Borges R, Olgún Palacios E. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*. 2004;55.
19. Van Konijnenburg A. *Agricultura Orgánica. El suelo: sus componentes físicos*. 2006. p. 3–5.
20. Ortiz Bernad I, Sanz García J, Dorado Valiño M, Villar Fernández S. Técnicas de recuperación de suelos contaminados [Internet]. 2007 [cited 2023 Mar 8]. Available from: [http://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](http://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)
21. Carvajal RR. *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos*. Primera edición. Produmedios; 1997. 24 p.
22. Romero Ledezma KP, Eróstegui Revilla CP. *Contaminación por metales pesados*. 2009;
23. Khalid S, Shahid M, Niazi NK, Murtaza B, Bibi I, Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. *J Geochem Explor*. 2017 Nov 1;182:247–68.
24. Angelova V, Ivanova R, Delibaltova V, Ivanov K. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Ind Crops Prod*. 2004 May 1;19(3):197–205.

25. Jin Y, Luan Y, Ning Y, Wang L. Effects and mechanisms of microbial remediation of heavy metals in soil: A critical review [Internet]. Vol. 8, Applied Sciences (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2018 [cited 2022 Apr 23]. p. 1336. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/8/1336/htm>
26. Islam E ul, Yang X e., He Z li, Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. J Zhejiang Univ Sci B. 2007;8(1):1–13.
27. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. The effects of cadmium toxicity [Internet]. Vol. 17, International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020 [cited 2022 Jun 29]. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/11/3782/pdf?version=1591013773>
28. Kubier A, Wilkin RT, Pichler T. Cadmium in soils and groundwater: A review. Appl Geochem [Internet]. 2019 Sep 9 [cited 2022 Jun 29];108:1. Available from: </pmc/articles/PMC7147761/>
29. Cota-Ruiz K, Nuñez-Gastelúm J, Delgado-Rios M, Martinez-Martinez A. Biorremediación: actualidad de conceptos y aplicaciones. Revista de Ciencias Biológicas y de la Sal. 2019;XXI:37–44.
30. Delgadillo-López AE, González-Ramírez CA, Prieto-García F, Villagómez-Ibarra JR, Acevedo-Sandoval O. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystem [Internet]. 2011 [cited 2023 Mar 7];12:597–612. Available from: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
31. Pandey VC, Bajpai O. Phytoremediation: From Theory Toward Practice. In: Phytomanagement of Polluted Sites: Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation. Elsevier; 2018. p. 1–49.
32. Muñoz Chavez GL. Evaluación in vitro de la capacidad de maní forrajero (*Arachis pintoi* W.C) y guarumo (*Cecropia peltata* L) en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio . [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ; 2017.

33. Muthusaravanan S, Sivarajasekar N, Vivek JS, Paramasivan T, Naushad M, Prakashmaran J, et al. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. *Environ Chem Lett* [Internet]. 2018 Jun 8 [cited 2022 Jun 29];16(4):1339–59. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-018-0762-3>
34. Valle Borges ÁI. Evaluación de la capacidad adsorbente del guarumbo (*Cecropia peltata*) para la remoción de hidrocarburos en agua. [Internet]. [Chetumal]: Universidad de Quintana Roo; 2018 [cited 2022 Apr 24]. Available from: <http://risisbi.uqroo.mx/bitstream/handle/20.500.12249/1931/TD419.2018-1931.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
35. Anastasio Moreno S, Ríos Hurtado JC, Flores Villaseñor SE. Carbón activado: generalidades y aplicaciones. *Activated carbon: generalities and applications. CienciAcierta*. 2021;
36. García-Guel YY, Múzquiz-Ramos EM, Ríos-Hurtado JC. Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 2019;22:1–16.
37. Carvajal Ramirez A, Delgado Cruz AN. Obtención de carbón activado a partir de cascarilla de arroz y cuesco de coco, para la adsorción de oro de soluciones cianuradas. [Cali]: Universidad del Valle; 2018.
38. Filippín AJ, Luna NS, Pozzi MT, Pérez JD. Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física obtaining and characterizing of carbon activated from olivic and olive-residues by physical activation. *Avances en Ciencias e Ingeniería-ISSN* [Internet]. 2017 [cited 2023 Mar 8];8(3):59–71. Available from: [http://www.exedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/59](http://www.exedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/59)
39. Vidal Durango JV, Marrugo Negrete JL, Jaramillo Colorado B, Perez Castro LM. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Ingeniería y desarrollo* [Internet]. 2010 [cited 2022 Jun 29];27:113–29. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-34612010000100007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612010000100007)

40. Álvarez Barahona PK. Caracterización morfológica e identificación de zonas potenciales de conservación de guarumo (*Cecropia hololeuca*), en los siete transectos del proyecto banco de germoplasma. [Latacunga]; 2015.
41. Muñoz Chávez GL. Evaluación in vitro de la capacidad de maní forrajero (*Arachis pintoi* W.c) y guarumo (*Cecropia peltata* L) en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio. [Riobamba]: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2017.
42. Jiménez Reascos EG, Ramos Collaguazo BA. Evaluación de la eficiencia fitorremediadora de *Lupinus pubescens*, *Plantago major* y *Scirpus californicus* en suelos contaminados con arsénico [Internet]. [Quito]: Universidad Politécnica Salesiana. Sede Quito; 2019 [cited 2023 Mar 5]. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17488>
43. del Rosario Sun-Kou M, Obregón-Valencia D, Pinedo-Flores Á, Paredes-Doig L, Aylas-Orejón J. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje \*1 2 1 adsorption of heavy metals using activated carbons prepared from aguaje stones. *Rev Soc Quím Perú*. 80(4):2014.
44. Caviedes Rubio DI, Muñoz Calderon RA, Perdomo Gualtero A, Rodríguez Acosta D, Sandoval Rojas IJ. Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región* [Internet]. 2015 Sep 9 [cited 2023 May 11];13(1):73–90. Available from: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/710/1359>

**CAPÍTULO VI**  
**ANEXOS**

## Anexo 1.

### Análisis de contenido de cadmio en el material vegetal y suelo

  
**ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"**  
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS  
Km 5 Carretera Quevedo - El Empalme: Apartado 24  
Quevedo - Ecuador Teléfonos: 783044 783128 Ext. 201

Nombre del Propietario:	JENNIFER LISSET LOPEZ AGUIAR	Teléfono:	S/N	Reporte N°:	10090
Nombre de la Propiedad:	S/N	Cultivo:	Guarumo	Fecha de muestreo:	20/09/2022
Localización:	Quevedo	Los Rios	Provincia	Fecha de ingreso:	22/09/2022
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	13/10/2022

**RESULTADO E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE CADMIO SEMITOTAL EN SUELO Y TEJIDO FOLIAR**

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Cd mg kg <sup>-1</sup>
1148	Suelo	0.53
1149	Tejido	0.07

**Instrumento de análisis:** EAA-HGA (Espectrómetro de absorción atómica acoplado a Horno de Grafito)  
**Método de extracción en suelo (semitotal):** Agua regia (HNO<sub>3</sub>-HCl) relación 3:1  
**Método de extracción en tejido:** Acido nítrico-perclórico (HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>) relación 4:1  
**Límite de detección en suelo (L.D):** 2.37 ug L<sup>-1</sup> Cd  
**Límite de cuantificación en suelo (L.C):** 3.05 ug L<sup>-1</sup> Cd  
**Límite de detección en tejido (L.D):** 3.52 ug L<sup>-1</sup> Cd  
**Límite de cuantificación en tejido (L.C):** 6.94 ug L<sup>-1</sup> Cd  
**Nivel crítico en suelo agrícola:** (Cd) 2 mg kg<sup>-1</sup> (TULA, acuerdo Nro. 061, Año II- N.:316, mayo de 2015)

*Las muestras serán guardadas en el Laboratorio por tres meses. Tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados*

**RESPONSABLE DFTO.**  **LABORATORISTA** 

## Anexo 2.

### Establecimiento de esquejes de *C.peltata* L en arena.



**Anexo 3.**

*Brotos de C. peltata L*



**Anexo 4.**

*Brotos juveniles de C. peltata L*



**Anexo 5.**

*Obtención de carbón a base de cascarilla de arroz.*



**Anexo 6.**

*Activación de carbón.*



**Anexo 7.**

*Trasplante de brotes juveniles a los tratamientos.*

