UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.) EN LA ESTABILIZACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN EL SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN TEJIDOS DE PLANTONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

NANCY KIARA VÁSQUEZ DIAZ

PUCALLPA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 108-2019-CGyT-FCsFyA-UNU

En el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, siendo las 10:15 horas del día 31 de diciembre del 2019, se reunieron los miembros del jurado evaluador designado con memo Mult. 225-2019-UNU-FCsFYA-CGT conformado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal	Presidente
Dr. Marco Antonio Chota Isuiza	Miembro
Dr. Roly Baldoceda Astete	Miembro

Para evaluar la sustentación de tesis **"EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa* L.f.) EN LA ESTABILIZACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN EL SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN TEJIDOS DE PLANTONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)"**, presentado por la bachiller **NANCY KIARA VÁSQUEZ DÍAZ,** asesorado por el **Ing. David León Moreno.**

Terminada la sustentación se procedió a las preguntas las cuales fueron absueltas de manera sustentatoria por la sustentante, por lo que el jurado evaluador **APROBÓ** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **BUENO.** En consecuencia, la sustentante está expedito para obtener el título de **INGENIERO AMBIENTAL,** siendo las 11:12 horas del mismo día, se dio por concluido el acto académico.

Dr. Carlos Panduro Carbajal
Presidente

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza
Miembro

Dr. Roly Baldoceda Astete
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su **APROBACIÓN** ante el jurado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Carlos Panduro Carbajal

Presidente

Dr. Roly Baldoceda Astete

Miembro

Dr. Marco Antonio Chota Isuiza

Miembro

Ing. David León Moreno

Asesor

Bach. Nancy Kiara Vásquez Díaz

Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°033-2020

La **Dirección General de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa L.f.*) EN LA ESTABILIZACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN EL SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN TEJIDOS DE PLANTONES DE CACAO (*Theobroma cacao L.*).

Cuyo autor (es)	:	**VÁSQUEZ DIAZ, NANCY KIARA**
FACULTAD	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
ESCUELA PROFESIONAL:		INGENIERIA AMBIENTAL
ASESOR	:	Dr. LEÓN MORENO, DAVID

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 03%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 27/01/2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL
DRA. GINA PAZ CARPIO
Direc. Gral. Prod. Intel.

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, NANCY KIARA VASQUEZ DIAZ
Autor de la TESIS titulada:
"EFECTO DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLAS DE AGUAJE (Mauritia Flexuosa L.F.) EN LA ESTABILIZACIÓN DEL CADMIO (Cd) EN EA SUELO Y SU ACUMULACIÓN EN TEJIDOS DE PLANTONES DE CACAO (Theobroma Cacao L.)"

Sustentada el año: 2019
Con la asesoría de: ING. DAVID LEON MORENO
En la Facultad de: CIENCIAS FORESTALES y AMBIENTALES
Carrera Profesional de: INGENIERÍA AMBIENTAL

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- [x] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.
En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 10 / 02 / 2020

Email: KIARA.VASQUEZ@HOTMAIL.COM
Firma:
Teléfono: 951831552
DNI: 73494549

DEDICATORIA

A Dios:

Por brindarme fortaleza e inteligencia y permitirme haber llegado hasta este momento, por darme todos los días las fuerzas para salir adelante y lograr mis objetivos trazados.

A mi querida madre Eva:

Por ser lo más importante en mi vida y haberme sacado adelante, por brindarme siempre su amor y su apoyo incondicional.

A mis hermanos:

Oliver, Weny, Milagros y Andres, también a mi cuñada Dexy y mi sobrinita Alesha, por estar conmigo siempre y demostrarme su cariño, porque están siempre acompañándome en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi esposo, Alex:

Por su amor, paciencia, apoyo y confianza en todo momento de nuestras vidas y por motivarme a ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por darme las fuerzas para salir adelante y cumplir con mis objetivos, a mi familia por el amor y apoyo demostrado y a las siguientes instituciones y personas que han contribuido en la ejecución de la presente tesis.

A la Universidad Nacional de Ucayali por brindarme en sus recintos las enseñanzas a través de profesores idóneos de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, por su esmerada labor, a quienes valoro, respeto y guardo una profunda gratitud y reconocimiento.

A mi asesor Ing. David León Moreno por su amistad, tiempo y por el valioso asesoramiento y constante apoyo durante toda la etapa de realización del presente trabajo de investigación.

A mis revisores Dr. Carlos Panduro Carbajal, Dr. Roly Baldoceda Astete y al Dr. Marco Antonio Chota Isuiza, por sus oportunas observaciones y el tiempo que invirtieron en este documento.

A todas las personas que de alguna u otra forma ayudaron en la realización del presente proyecto de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

RESUMEN xiv

ABSTRACT xv

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 3

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1.1. Formulación del problema..... 4

CAPITULO II 5

2.1. MARCO TEÓRICO 5

2.1.1. Antecedentes del problema..... 5

2.1.2. Origen y distribución del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.)..... 7

2.1.3. Clasificación taxonómica de la especie (*Theobroma cacao* L.)..... 8

2.1.4. Características botánicas de la especie (*Theobroma cacao L.*)..... 8

2.1.5. Aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) 10

2.1.6. Propiedades físico-químicas del carbón activado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.)* 11

2.1.7. Metales pesados en el cultivo del cacao *(Theobroma cacao L*.).....13

2.1.8. El carbón activado 14

2.1.9. El carbón activado en la adsorción de metales pesados 20
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 23
CAPITULO III 25
3.1. METODOLOGÍA.....25
3.1.1. Método de la investigación.....25
3.1.2. Área de estudio.....25
3.1.3. Características climáticas del lugar de estudio 26
3.1.4. Población y muestra.....26
3.1.5. Diseño estadístico..... 26
3.1.6. Procesamiento de recolección de datos 29
3.1.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....31
3.1.8. Procedimiento para la recolección de datos.....33
3.1.9. Tratamiento de los datos..... 33
CAPITULO IV..... 34
4.1. RESULTADOS..... 34
4.1.1. Resultados del contenido inicial y final de Cd en los suelos.....34
4.1.2. Resultados del contenido de Cd en los tejidos. 36
4.2. DISCUSIÓN 38
4.2.1. Contenido de Cd en los suelos 38
4.2.2. Contenido de Cd en los tejidos 39
CAPITULO V..... 41

5.1. CONCLUSIONES 41

5.2. RECOMENDACIONES 42

BIBLIOGRAFÍA 43

ANEXOS 47

Anexo 1 48

Anexo 2 50

Anexo 3 60

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del carbón activado……..12

Tabla 2. Temperatura de carbonización y composición del carbonizado...20

Tabla 3. Tipos de carbón natural y su efecto en la adsorción de metales pesados…… 21

Tabla 4. Contenido inicial y final de Cd en los suelos……34

Tabla 5. Contenido de Cd en los tejidos de los platones de cacao…… 36

Tabla 6. Análisis estadistico del Cd en el suelo (media, desviación típica, error intervalos de confianza y limites…….....48

Tabla 7. Análisis de varianza del Cd en el suelo al 0.05 de significancia.. 48

Tabla 8. Prueba de Tukey para Cd en el suelo al 0.05 de significancia.... 48

Tabla 9. Análisis descriptivo del % Cd en los tejidos (media, desviación típica, error intervalos de confianza y límites)……..49

Tabla 10. Análisis de varianza del % Cd en los tejidos al 0.05 de significancia……...49

Tabla 11. Prueba de Tukey para el % Cd en los tejidos al 0.05 de significancia…….. 49

Tabla 12. Formato de evaluación……..... 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Distribución geográfica de la especie *Theobroma cacao* L. (Motamayor, 2002)……..... 7

Figura 2. La especie *Theobroma cacao* L. (Dostert, 2011)…… 9

Figura 3. Representación de la estructura de un carbón activado (Rodríguez y Molina, 1998)…….....16

Figura 4. Tipos de carbón activado (Martínez, 2012; Niño y Ortiz, 2008)…17

Figura 5. Activación física y química del carbón (Reinoso, citado por Zamora, 2010)……..…….... 19

Figura 6. Ubicación del área de estudio ……...25

Figura 7. Distribución del área experimental ……27

Figura 8. Contenido de inicial, final y restante de Cd en el suelo…… 35

Figura 9. Porcentaje de Cd estabilizado en el suelo……35

Figura 10. Porcentaje de acumulación de Cd en los tejidos de los plantones de cacao…… 37

Figura 11. Disposición de las semillas en las láminas hierro…… 50

Figura 12. Colocado de las semillas a la mufla…… 50

Figura 13. Carbón activado……..……..…… 51

Figura 14. Almacenamiento del carbón……..…… 51

Figura 15. Pesado del carbón activado.……..……..… 52

Figura 16. Preparación de la solución de nitrato de Cd……..… 52

Figura 17. Acondicionamiento del área de estudio.……..……53

Figura 18. Elaboración del sustrato ……..……..…. 53

Figura 19. Adición de la solución de nitrato de Cadmio Cd $(NO_3)_2$……...…. 54

Figura 20. Semillas de cacao……..…… 54

Figura 21. Divisiones por tratamiento……..…… 55

Figura 22. Primera semana de los plantones testigo de cacao……..… 55
Figura 23. Tratamiento 1 y repeticiones a 15 días de la plantación……56
Figura 24. Tratamiento 2 y repeticiones a 15 días de la plantación……56
Figura 25. Tratamiento 3 y repeticiones a 15 días de la plantación……57
Figura 26. Plantones de cacao 3 meses después de la plantación……57
Figura 27. Toma de muestras de suelo para su respectivo análisis…… 58
Figura 28. Toma de muestras de tejidos para su respectivo análisis…… 58
Figura 29. Resultados de análisis de suelos y tejidos…… 59

RESUMEN

El experimento se llevó a cabo en el Modulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, Región Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Calleria. Ubicado en la carretera Federico Basadre 6.200. La duración del estudio fue de 5 meses. El objetivo principal del trabajo de investigación fue evaluar el efecto del carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la estabilización del cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.). El estudio fue de tipo experimental. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con (4) tratamientos y (3) repeticiones y un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por 3 plantones dispuestos en macetas, en total fueron 36 plantones para todo el experimento. Los promedios de las variables de respuesta fueron analizados mediante la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0.05. Se evaluaron parámetros como: Cd inicial y final, % de Cd estabilizado en suelos, Cd final y porcentaje de Cd acumulado en los tejidos de los plantones. De acuerdo a los resultados las dosis de 30 y 50 % de carbón activado de semillas de aguaje (T2 y T3) fueron las que tuvieron un mayor efecto de Cd estabilizado en el suelo. El T2 estabilizó 4991,7 (47,54%) y el T3 7091,7 (67,54 %) ppm de Cd en el suelo. El efecto fue causado por la gran capacidad de adsorción de tiene el carbón elaborado, así como de las propiedades físicas y químicas del suelo, y el material precursor de carbón (semillas de aguaje). Así mismo el cadmio (Cd) acumulado en los plantones de cacao con el T2 obtuvo un 42,3% de Cd siendo el mayor porcentaje, seguido por el T1 con 31,6 %, T3 con 30,9 % los mismos que fueron mayores al T0, lo que indica que la planta de cacao fisiológicamente tiende a absorber y acumular el Cd en sus tejidos dependiendo de factores como: las propiedades físicas y químicas del suelo y el nivel de concentración de Cd en el suelo.

Palabras clave: Estabilización, Cadmio, acumulación, carbón activado.

ABSTRACT

The experiment was carried out in the Hydroponics Module of the National University of Ucayali, Ucayali Region, Coronel Portillo Province, Calleria District. Located on the Federico Basadre 6.200 road. The duration of the study was 5 months. The main objective of the research work was to evaluate the effect of activated carbon from aguaje seeds (Mauritia flexuosa L.f.) on the stabilization of cadmium (Cd) in the soil and its accumulation in tissues of cocoa seedlings (Theobroma cacao L.). The study was experimental. A Completely Random Design (DCA) was used with (4) treatments and (3) repetitions and a total of 12 experimental units. Each experimental unit was made up of 3 seedlings arranged in pots, in total there were 36 seedlings for the entire experiment. The averages of the response variables were analyzed using the Tukey test at a significance level of 0,05. Parameters were evaluated as: Initial and final Cd,% of stabilized Cd in soils, final Cd and percentage of Cd accumulated in seedlings tissues. According to the results, the doses of 30 and 50% activated carbon from aguaje seeds (T2 and T3) were the ones that had a greater effect of stabilized Cd in the soil. T2 stabilized 4991,7 (47,54%) and T3 7091,7 (67,54%)) ppm of Cd in the soil. The effect was caused by the high adsorption capacity of the processed carbon, as well as the physical and chemical properties of the soil, and the carbon precursor material (aguaje seeds). At the same time, the cadmium (Cd) accumulated in the seedlings of cocoa with, the T2 obtained 42,3% of Cd being the highest percent, followed by T1 with 31,6%, T3 with 30,9% the same that were greater than T0, which indicates that the physiologically cocoa plant tends to absorb and accumulate Cd in their tissues depending on factors such as: the physical and chemical properties of the soil and the level of Cd concentration in the soil.

Keywords: Stabilization, Cadmium, accumulation, activated carbon.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la preocupación por la contaminación de metales pesados en los granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) se ha incrementado considerablemente en los países productores, puesto que existen numerosos casos donde se encontró niveles de metales pesados por encima de los máximos permitidos por el CODEX ALMIENTARIUS, convirtiéndose en un problema de salud y también de implicación ambiental. Es sabido que los metales pesados en niveles excesivos en los alimentos causan perjuicios a la salud humana, por lo tanto, Estados Unidos y países de Europa quienes conforman el principal mercado importador del cacao exigen productos que cumplan con los estándares de calidad, principalmente productos derivados y alimentos que no sobrepasen los límites permisibles de metales pesados tales como el plomo (Pb), cadmio (Cd) y otros (MINAG, 2012).

El problema principal radica en que los países importadores en el reglamento (CE) 1881/2006 enfatizan el contenido máximo de metales pesados en los productos alimenticios. Los cuales varían de 0.5 a 1 ppm de Cd/ Kg de producto. De sobrepasar esos límites en los granos y derivados de cacao estos no podrían ser exportados al mercado internacional, lo que afectaría en gran manera a los productores nacionales, por la amenaza que representan estos elementos (Cd y Pb) para las exportaciones.

Por otro lado, la región Ucayali es considerada una de las principales zonas de producción en el país donde se han realizado estudios para determinar la presencia de metales pesados en suelos y granos, así Huamani *et al*. (2012), Mite (2010), citado por Rivera (2013) y Campos *et al.* (2016), realizaron un muestreo en suelos y tejidos donde indican claramente que en suelos y granos de cacao existen concentraciones de Cd y Pb por encima de los límites permisibles. En suelos se registraron 0.53 y 3.02 ppm y en granos de 0.30 a 1.20 ppm respectivamente.

Estos datos muestran claramente que existe contaminación de metales pesados en el cultivo de cacao en la región Ucayali y actualmente no existe una solución que use técnicas efectivas que ayuden a los productores a solucionar el problema, puesto que las investigaciones relacionadas a este tema aún son escasas. Razón por la cual, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en la estabilización del cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.).

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En países productores varios estudios a nivel de calidad de exportación realizados demostraron que los granos de cacao sobre pasan los límites permisibles de metales pesados como el plomo (Pb) y cadmio (Cd) propuesto por el CODEX ALMIENTARIUS, lo que llevo a la preocupación a los productores ya que se convierte en un problema de interés económico.

En la región Ucayali se determinó la presencia de metales pesados en suelos y granos, en los estudios realizados por así Huamani *et al*. (2012), Mite (2010), citado por Rivera (2013) y Campos *et al.* (2016), se registró que los suelos contienen de 0,53 y 3,02 ppm y en granos de 0,30 a 1,20 ppm de cadmio (Cd) y plomo (Pb) respectivamente. Los resultados obtenidos muestran claramente que existe presencia de metales pesados por encima de los niveles permisibles, pudiendo incrementarse por el uso desmedido e irracional de productos químicos como pesticidas y fertilizantes (nitrogenados y fosfatados) por parte de los productores, ya que estos buscan incrementar el rendimiento por hectárea.

Además, el manejo post cosecha en la mayoría de productores es deficiente generando que el producto final no tenga calidad de exportación y sumado a la presencia de metales pesados el problema se vuelve aún más complicado, representando una gran amenaza para el sector cacaotero en la región y el país.

El problema central radica en como estabilizamos los niveles de cadmio disponible que existe en el suelo, utilizando carbón activado de semillas de aguaje ya que según antecedentes determinan que el carbón activado es un buen adsorbente de metales pesados los cuales siempre representan un peligro tanto para el suelo como para las plantaciones de cacao en nuestra región, si se comporta o no como un insumo que disminuye los niveles cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en los tejidos.

1.1.1. Formulación del problema

Pregunta general

- ¿Cuál es el efecto del carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*) en la estabilización del cadmio (Cd) en el suelo y su acumulación en tejidos de plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

Preguntas específicas

- ¿Cuál es el efecto de las dosis de 10, 30 y 50 % de carbón activado en la estabilización de Cd en el suelo y su acumulación en los tejidos de los plantones de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

- ¿Cuál es la dosis de carbón activado que estabiliza la mayor cantidad de cadmio (Cd) en el suelo?

- ¿Cuál es el tratamiento que permite la mayor acumulación de cadmio (Cd) en los tejidos de cacao *(Theobroma cacao* L.)?

CAPITULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Antecedentes del problema

Zamora (2010), realizó un trabajo en el que se elaboró carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f) y Shapaja (*Attalea phalerata* Mart. Ex Spreng) con el objetivo de evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado con los efectos de 3 variables: Especie, Granulometría y Tiempo de activación. Se realizaron los procedimientos de la preparación, carbonización, activación, secado, tamizado. Los resultados mostraron que ambas especies (Aguaje y Shapaja) poseen calidades aptas y excelentes para ser aprovechados en la preparación de biocarbón.

Meier (2012) realizó una investigación donde se preparó carbón activado a partir de excremento de gallina utilizando temperaturas de entre 300 y 600 °C, el objetivo del estudio fue evaluar la inmovilización de Cu en suelos contaminados con este elemento. Se obtuvo suelo contaminado con Cu el cual se extrajo del Valle de Puchuncaví en Chile. El carbón activado que se elaboró producido se aplicó al suelo contaminado el cual estaba dispuesto en recipientes con porosidad de donde se extraía el agua intersticial, y de esta manera evaluar los posibles cambios en el pH y concentración de cobre (Cu) durante el desarrollo del estudio. Se concluyó que el carbón activado de excremento de gallina removió un 70% de Cu en los suelos contaminados, estos resultados se debieron a las propiedades quelantes del material evaluado, así como a su gran presencia de grupos funcionales.

Belalcázar (2013), realizó un trabajo de investigación en donde evaluó el carbón activado de cascarilla de arroz con el objetivo de promover la multiplicación de bacterias en suelos pobres y mejorar sus propiedades físicas. Para evaluar dicho objetivo se aplicaron 4 tratamientos con tres tiempos de incubación a los: 0, 30 y 60 días. Se

aplicó un 5 % del carbón activado por la cantidad de suelo, tratando de ser homogéneo. Mediante el conteo de los microorganismos de forma manual, donde se utilizó la siguiente ecuación T= (MTC)(CM)(FD)/Vm. Según los resultados del estudio el carbón activado tuvo un efecto, que permitió proliferación de microorganismos en el suelo mejorando sus propiedades físicas. Se concluyó que factores como la temperatura y humedad se relacionan con la eficiencia del carbón.

Sun kou *et al*., (2014), realizaron un estudio donde utilizaron la semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) como materia prima para la elaboración de carbón activado, en la que se utilizó como activante el ácido fosfórico en concentraciones diferentes que fueron: 0,75 y 1,0 g/g. Las propiedades físicas y químicas del ácido fosfórico (H_3PO_4) como material precursor. Se evaluó la eficacia de adsorción en tres metales pesados como: plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr). El carbón activado AG0, 75_600 con un pH mayor a 4 fue el que tuvo una máxima adsorción en el siguiente orden: cadmio (26,5 mg g-1), plomo (74,8 mg g-1) y cromo (18,8 mg g-1). El estudio concluyó que el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado son los factores que más influyeron en el proceso de adsorción.

Obregón, (Citado por Romero, J., 2017), en el estudio se obtuvo biocarbón a partir de semillas de aguajes y aceitunas para conocer la capacidad de adsorción de cadmio en el agua, con fines de remediación debido a la toxicidad de este metal. Para la activación se utilizó el ácido fosfórico (H3PO4). El proceso térmico se realizó a tres temperaturas diferentes, los cuales fueron: 400, 500 y 600 °C. Los resultados mostraron un aumento en la activación a temperaturas de entre 400 y 600°C, asimismo se redujo el área superficial en la zona microporosa. También se observó un incremento de la acidez superficial. De igual manera se pudo determinar que al incrementar el pH de la solución de 2 a 5, existe un aumento en la capacidad de adsorción de cadmio por el carbón activado.

2.1.2. Origen y distribución del cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.)

La especie *Theobroma cacao* L. es originaria de los bosques tropicales de Sudamérica. Las mayores áreas de producción se distribuyen geográficamente entre los 20° de Latitud Norte hasta los 20° de Latitud Sur de acuerdo a los datos de Motamayor, (2002). Así mismo la producción mundial de cacao está distribuida entre los países de América del sur, América central, El Caribe, África y Oceanía, que son países que cuentan con grandes extensiones de bosques húmedos tropicales que son favorables para el crecimiento de la especie (MINAG, 2012). Dentro de los países productores de cacao en cuanto a volumen de producción se destacan los países africanos, aunque dentro de las latitudes antes mencionadas el cultivo del cacao puede crecer y desarrollarse normalmente pudiendo alcanzar rendimientos elevados.



Figura 2. Distribución geográfica de la especie Theobroma cacao L. (Motamayor, 2002).

2.1.3. Clasificación taxonómica de la especie (*Theobroma cacao* L.)

Según el The International Plant Name Index (2019), la clasificación taxonómica más actualizada de la especie *Theobroma cacao* L es la siguiente:

- **Reino** : Plantae (plantas)
- **Subreino** : Tracheobionta (plantas vasculares)
- **División** : Magnoliophyta (plantas con flores, ansgiospermas)
- **Clase** : Magnoliopsida (dicotiledóneas)
- **Subclase** : Dilleniidae
- **Orden** : Malvales
- **Familia** : Sterculiaceae
- **Subfamilia** : Byttnerioideae
- **Género** : Theobroma
- **Especie** : *Theobroma cacao* L.

2.1.4. Características botánicas de la especie (*Theobroma cacao L.*)

Según Opeke (1982) y Dostert (2011), las características botánicas de la especie *Theobroma cacao* L. son las siguientes:

- **Árbol**

Es semicaducifolio puede llegar a los 12 m de altura pero generalmente su promedio varía entre 4 y 8 m principalmente para cultivos comerciales siempre es de altura pequeña para su mejor manipulación.

- **Tallo**

Es de tipo glabro, pubescente en ejes jóvenes. La corteza es de colores oscuros, más o menos alcanza tonalidades de gris y café. Las ramas son de color café y con vellosidades muy finas.

- **Hojas**

Son coriáceas de forma simples, también pueden ser enteras, ovaladas y de forma angosta, son ligeramente asimétricas, 17—48(—60) cm de largo y 7—10(—14) cm de ancho, son pubescentes en ambos

lados. La base de las hojas es redondeada a ligeramente cordada, ápice largamente apiculado. El pecíolo de la hoja es bastante largo mide en promedio es de 14—27 mm.

- **Inflorescencias y flores**

Son caulinares y cimosas. Las flores son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas, tienen un promedio de 10— 20 mm de diámetro. Los sépalos son verdosos y blancos, son anchos, de formas lanceoladas y fusionadas en la base. Los pétalos son de 6—9 mm de largo, amarillentos, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada. Los estambres son lineares; cinco; todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo; los estambres fértiles están dispuestos frente a los pétalos. El ovario es de 2—3 mm de largo, anguloso y pentámero. Los óvulos se disponen en dos filas con 6—12(—16) óvulos por fila.

- **Fruto**

El fruto es grande con forma de baya con estrías, polimorfa, puede ser de esférico a fusiforme, las coloraciones pueden ser púrpura o amarillo en la madurez, es glabro, de 10—20(—35) cm de largo y 7 cm ancho, con 200—1000 gr de peso.



Figura 2. La especie *Theobroma cacao* L. (Dostert, 2011).

2.1.5. Aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.*)

- **Descripción botánica:**

La especie *Mauritia flexuosa L.f.* se clasifica de la siguiente manera, según Bohorquez (Citado por Zamora, 2010):

Reino	**:**	Vegetal
Sub-Reino	**:**	Embryophyta
División	**:**	Spermatophyta
Clase	**:**	Angiospermae
Sub-Clase	**:**	Monocotiledónea
Orden	**:**	Principes
Familia	**:**	Palmaceae
Tribu	**:**	Lepidocaryoidae
Género	**:**	Mauritia
Especie	**:**	Mauritia flexuosa

Nombres comunes: Aguaje,achual (Perú); caranday-guazu, ideuí (Bolivia); buriti, buritί-do-brejo, miriti, buritirana (Brasil); canangucha, moriche, aguaje,miritί (Colombia); moriche (Venezuela).

El aguaje es una palmera arborescente de un solo tallo, que alcanza de 25 a 35 m de altura en su estado adulto. Es una palmera polígama dioica (palmas con flores femeninas, masculinas o bisexuales), el fruto es una drupa, subglobosa o elíptica, mide entre 5 y 7 cm de longitud, y 4 a 5 cm de diámetro, el peso varía entre los 40 y 85 gr. La cosecha empieza de los 7 u 8 años y dura hasta los 40 o 50 años. El rendimiento puede ser estimado entre 15 y 25 t/ha/año. Con mayores concentraciones entre los meses de febrero y agosto con relativa escasez entre los meses de setiembre y noviembre, IIAP (Citado por Zamora, 2010).

- **Distribución del recurso**

El aguaje se encuentra distribuido en toda América Tropical, es una especie nativa amazónica con alta concentración en la Amazonía Peruana, probablemente sea originaria de la cuenca de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali, se cultiva y explota en poblaciones naturales en los departamentos de Loreto, Ucayali, Huánuco y San Martin. Tiene una amplia distribución en Bolivia, Colombia, Ecuador, Venezuela y Guyana. Esta palmera se desarrolla en climas tropicales calurosos y húmedos con suelos drenados, suelos inundados, IIAP (Citado por Zamora, 2010).

En la ciudad de Iquitos se consume entre 131,4 y 174.6 tn/frutos Aguaje mensuales (50 % utilizadas por heladerías y chupeteras y el otro 50 % consumido como fruto o refresco). En promedio 153 toneladas mensuales son consumidas por los pobladores, que equivale a 51,23 toneladas de semillas generadas como desecho mensualmente, Rojas *et al.* (Citado por Zamora, 2010).

2.1.6. Propiedades físico-químicas del carbón activado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.)*

Para la determinación de las propiedades físicas y químicas del carbón activado de aguaje (*Mauritia flexuosa L.f.)* se necesita conocer las propiedades físicas y la composición químicas de las semillas. Según Army y Gallouin (2007), el albumen de la semilla de aguaje es una reserva alimenticia y energética que caracteriza a las especies angiospermas (monocotiledóneas y dicotiledóneas), que son importantes para su crecimiento y desarrollo. Los compuestos químicos presentes en las sustancias de reservas tales como: prótidos, almidón, grasas etc., varían teniendo en cuenta el tipo de semillas. La composición química de la semilla del Aguaje es compleja, y presenta una serie de compuestos siendo el componente principal en mayor cantidad la holocelulosa con un contenido 82 % (bms) del total, este compuesto representa a la proporción mayoritaria de los polisacáridos debido al alto contenido de albumen. Otro compuesto es la lignina que representa un total de 9,49 % (bms) de la

materia seca de la semilla de aguaje. Luego están los aceites grasos que representan un 5,42 %; y las cenizas con 1,93 %, la misma que contiene 0,52 % de sílice.

La preparación del carbón activado de las semillas de aguaje tiene un protocolo descrito en el trabajo realizado por Sun kou *et al*., (2014), donde utilizaron como material precursor semillas de aguaje a razón de 50 g que fue mezclado con una concentración de ácido fosfórico (H_3PO_4) con dos grados de impregnación: 0,75 y 1,0 g /g de H_3PO_4. Para pre secar las semillas impregnadas se colocaron en la estufa a una temperatura de 85 °C por un tiempo de 24 horas. El material impregnado y seco fue colocado dentro de un horno y a una temperatura de 600 °C por dos horas. Por otro lado, en esta investigación el carbón activado de aguaje tuvo promedio de poro constante de 2,6 nm, una acidez superficial de 2,4 y 2,9 mmol $H+g^{-1}$. Así mismo en otro trabajo similar el contenido de humedad en el carbón activado de semillas de aguaje fue de 1.6 % del total de materia seca. El contenido de materia volátil fue de 11.5 %, el contenido de cenizas de 7,2 %, el pH de 4.5, la densidad aparente de 0,39 g/cm^3, y el porcentaje de carbón fijo (CF) de 82% tal como se puede apreciar en el cuadro 2 (Zamora, 2010).

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del carbón activado de aguaje

Propiedad	**Contenido y unidad**
Porosidad (tamaño)	2,6 nm
Acidez superficial	2,4 a 2,9 mmol $H+ g^{-1}$
Humedad	1.6 %
Materia volátil	11.5 %
Cenizas	7.2%
Densidad aparente (Da)	0,39 g/cm^3,
Carbón fijo (CF)	82%

Fuente: Sun kou *et al*., (2014) y Zamora, (2010).

2.1.7. Metales pesados en el cultivo del cacao *(Theobroma cacao L.)*

Los metales pesados tales como el Cd, Pb y los demás elementos pueden depositarse en el suelo de manera antropogénica y llegar a ser absorbidas por las plantas, pero también pueden estar presentes de forma natural. De forma natural provienen de la formación inicial de la roca madre que contiene determinados elementos químicos desde el inicio, también pueden estar dentro de esta forma los suelos formados de las erupciones volcánicas donde los nutrientes se lixivian y se mineralizan para formar complejos coloides. Por otro lado, de manera antropogénica están relacionados a las actividades industriales, mineras, agrícolas etc., que poseen residuos que pueden ser peligrosos para la salud humana (Huertos y Baena, 2008).

Así mismo la contaminación por metales pesados en los granos de cacao puede darse durante la etapa de producción en campo y en el proceso de transformación, en mayor medida si se utiliza productos químicos que contenga estos elementos. El problema de los metales pesados se agrava cuando productores en busca de incrementar sus rendimientos utilizan fertilizantes químicos que contienen estos elementos (Martí *et al*., 2002).

Fisiológicamente Augstburger *et al*., (2000), mencionan que el cacao absorbe los metales pesados que existen naturalmente en los suelos y los acumula en los granos, materia prima en la fabricación de chocolate y demás derivados. Factores como el tipo de suelo, sistema de producción, variedad y los suelos, influyen en las cantidades de metales pesados absorbidas por las plantas de cacao y pueden variar de menor a mayor grado. Existen valores en los que se especifican la cantidad de metales pesados para determinar si un suelo está considerado como contaminado por estos elementos y si lo está, es necesario tomar medidas para mitigar o reducir la contaminación para ello se debe recurrir a las técnicas de remediación convencionales tales como: fitoextracción, estabilización, etc.

Además, los metales pesados son elementos que por su concentración en el suelo inhiben la absorción de nutrientes esenciales para la planta, siendo en grandes concentraciones en el suelo perjudiciales para el cultivo.

La Unión Europea estableció que para suelos donde se produce la agricultura, concentraciones permitidas de 3 ppm y 300 ppm de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), respectivamente. Los metales pesados presentes en cacao y con mayor efecto en la salud humana son Cd y Pb y el cacao aparentemente tiene mayor predisposición a absorberlos (Cuadra, 2015).

2.1.8. El carbón activado

- ✓ **Concepto y generalidades**

El carbón activado es un término genérico que describe a una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos que pueden ser elaborados de restos vegetales o animales y cada una tiene diferentes características físicas y químicas. Se utiliza en la extracción de metales pesados y el elemento químico que posee como componente principal es el carbono (C). La posición que ocupa el carbono en la tabla periódica es única, número atómico de seis sus electrones tienen la capacidad de presentar multifunciones como también lo presentan los diamantes, su número atómico es de 6 y además presenta un bajo peso atómico bajo y también es un elemento de gran estabilidad. El elemento fue descubierto durante muchos años en la historia de la creación de la tierra y se presume que es parte de los meteoritos y estrellas del espacio.

El carbono es un elemento de gran versatilidad, que puede unirse con hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos para formar millones de compuestos ya que es la molécula responsable de la mayoría de compuestos orgánicos (Harry, 2006). En la naturaleza no existe ningún otro elemento que sea tan poderosamente adsorbente de metales pesados que el carbón, el mismo que posee distintas variaciones de estructura de acuerdo al material precursor y de donde se originan (Harry, 2006).

El carbón natural obtenido de restos vegetales o animales contiene en su estructura una serie de láminas con una alta porosidad. La porosidad es determinante en el carbón natural y su eficientica en la adsorción de metales pesados, y esta eficiente y porosidad así como de las demás características físicas y químicas depende de la fuente de donde se origina (Obregón, 2012).

- ✓ **Estructura del carbón activado y sus propiedades**

El carbón activado es un material que se caracteriza porque contiene carbono pero no grafito, en la figura 3 se puede apreciar la característica de porosidad que posee, las láminas de grafeno tienen gran influencia sobre la porosidad ya que de estas depende para formar orificios de diferentes tamaños que le dan esa particularidad. Además posee una estructura de tipo bidimensional en donde los átomos de carbono están colocados en láminas tipo planas las mismas que tienen una forma hexagonal, cuando estos materiales se preparan con tratamientos de altas temperaturas, se da la carbonización de precursores orgánicos, y el siguiente paso es la activación que puede ser de tipo física y química siendo el objetivo principal incrementar el porcentaje de poros (Gonzales *et al*., 2014).

La característica más resaltante de los carbones activados es la porosidad. Los poros del carbón natural varían de 2 a 20 mm, estos a su vez tiene una longitud manométrica de <0,9 nm, micrométrica de <2nm; y macrométrica de <50mm; también el biocarbón presenta un área de superficie de 1360 m2/g (Meier, 2012). Los microporos son la característica que se relaciona más a la adsorción de metales pesados, pero los mesoporos y macroporos también son importantes porque estos intervienen en el proceso de adsorción de elementos a la parte interna de cada partícula y función que también cumple los microporos. (Obregón, 2012).

Existen grupos funcionales que están presentes en la superficie del biocarbón, y son aquellos que se relacionan a su acidez. El biocarbón depende de estos grupos funcionales para su adsorción. Los heteroátomos dependen de la composición de cada materia prima con la que se elabora el carbón natural y del contenido de oxígeno presente en ella.

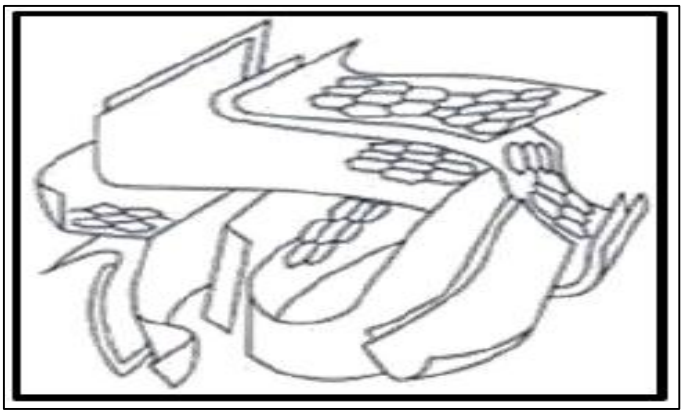


Figura 3. Representación de la estructura de un carbón activado (Rodríguez y Molina, 1998).

- **Tipos de carbón activado**

Según IUPAC, se clasifican en dos grupos según al tamaño y disposición de sus partículas:

Carbón Activado en Polvo (CAP): Tipo de carbón conformado por partículas de entre 1 y 100 um, presenta un aspecto similar a las harinas (figura 4A) el cual pasó por un proceso de molienda y tamizado, sus campos son aplicados en sistemas líquidos por su estructura y tamaño, el proceso para utilizado para separar el carbón se denomina decantación. Es importante mencionar que aunque su estructura física sea similar a la de una harina sus poros son del tamaño antes mencionado (Martínez, 2012).

Carbón Activado Granular (CAG): Este tipo de carbón presenta granos separados que su principal característica es que tiene forma monolítica, sus tamaños reales de partículas son mayores a 100 μm pero también con tamaños menores a 1 cm (figura 4B).

Así mismo estos carbones pueden ser de dos subtipos el troceado, los cuales se producen mediante molienda y carecen de forma, y el carbón activado conformado, que tiene una gran cantidad de formas estas pueden ser de tipo: cilindros, discos, esférica, etc., y se prepara utilizando la técnica de peletización (Niño y Ortiz, 2008).

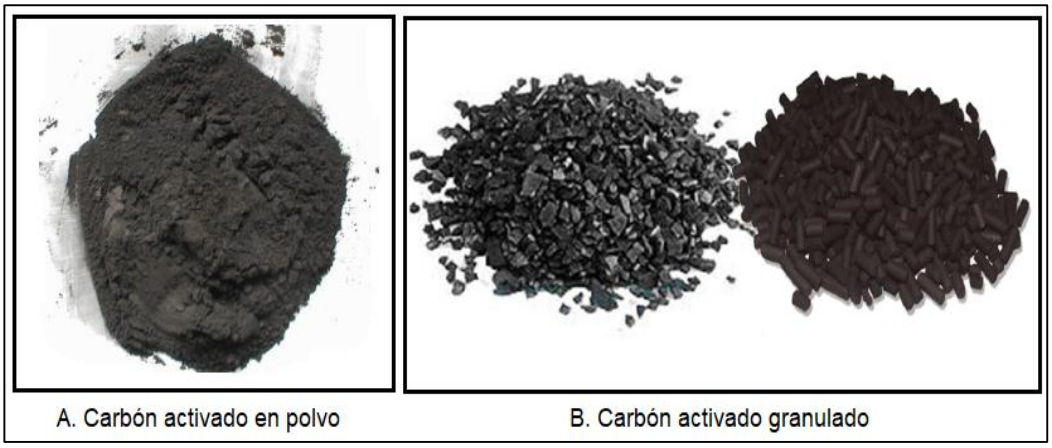


Figura 4. Tipos de carbón activado (Martínez, 2012; Niño y Ortiz, 2008).

Métodos de obtención de carbón activado

Existen dos formas paras la preparación del carbón activado y esta puede darse de manera física y química. A continuación de describen cada una de ellas:

- ✓ **Activación por el método físico**

La activación física normalmente se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización del precursor y la gasificación controlada del producto carbonizada. En el proceso de carbonización se eliminan elementos como hidrogeno y oxigeno del precursor para dar lugar a un esqueleto carbonoso con una estructura porosa rudimentaria. Durante la gasificación el carbonizado se expone a una atmosfera oxidante que elimina los productos volátiles y átomos de carbono aumentando el volumen d los poros y la superficie especifica. La carbonización y la activación se realizan en distintos tipos de hornos, principalmente rotatorios construidos a base de acero y materiales refractarios, para soportar temperaturas cercanas a 1000 ^{o}C, Reinoso (Citado por Zamora, 2010).

El método físico comprende dos etapas de obtención:

- La primera consiste en una pirolisis del material base para transformarlo en carbón vegetal (carbonización en medio poco oxidante a 500 ^{o}C). Se obtiene entonces un material adsorbente cuya superficie es del orden 10 m^2/g, Gomella *et al.* (Citado por Zamora, 2010).
- La segunda, es un proceso térmico que consiste en una oxidación controlada a 1000 ^{o}C en atmosfera cuyo poder oxidante se reduce mediante la inyección de gas carbónico o vapor de agua. El tratamiento es relativamente largo de (10-48 hrs), en el que se destruyen la totalidad de materiales volátiles residuales y se desarrolla una superficie del carbón activado del orden de 600 m^2/g y en ocasiones hasta 1500 m^2/g, Gomella *et al.* (Citado por Zamora, 2010).

✓ **Activación por el método químico**

El método de activación química se caracteriza por que la carbonización y la activación tienen lugar a una sola etapa, llevada a cabo por la descomposición térmica de la materia prima impregnada con agentes químicos, tales como ácido fosfórico, cloruro de zinc, hidróxido de potasio o tiocianato potásico, siendo esta realizada casi exclusivamente para carbones producidos de materia prima vegetal de origen reciente y obteniéndose rendimientos de hasta un 50 % (bms), basándose la economía del proceso principalmente de la recuperación del agente activante utilizado, Ovin (Citado por Zamora, 2010).

La porosidad de los carbones que se obtiene por activación química es generalmente por acciones de deshidratación química que tiene lugar a temperaturas mucho más bajas con respecto al método físico. Donde el material impregnado es sometido a temperaturas entre 500 y 700 ^{o}C. Siendo la misión de los agentes activantes disminuir la formación del material volátil y alquitranes, Robau (Citado por Zamora, 2010).

Entre los dos métodos de obtención del carbón activado, físico y químico, el método químico presenta más ventajas debido a que la materia prima no requiere de una previa carbonización, y no es necesario un equipamiento especial para proveer el agente de activación. El control del proceso se reduce básicamente a vigilar la temperatura y el tiempo de carbonización-activación y la reducción de la formación de alquitrán, brea y otros residuos indeseables es máxima, Castillo (Citado por Zamora, 2010).

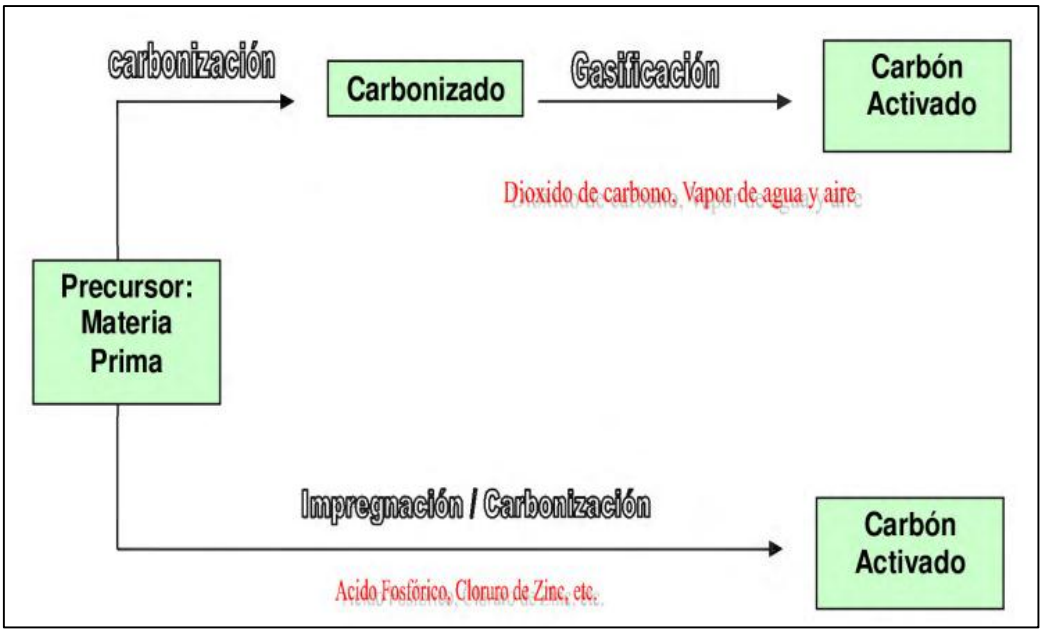


Figura 5. Activación física y química del carbón (Reinoso, citado por Zamora, 2010)

La temperatura de carbonización puede variar de acuerdo a la naturaleza de la materia prima a utilizar. En tal sentido Zhang *et al*., (2013) realizó en su estudio una comparación de área superficial y cantidad de grupos funcionales orgánicos que desarrollan diferentes tipos de carbones elaborados por pirolisis a diferentes tiempos y temperaturas entre ellas 300°C 2h, 400°C 1h, 400°C 2h, 500°C 1h, 500°C 2h, 600°C 1h, 600°C 2h, siendo a los 400°C a 2 h, la temperatura y tiempo óptimo para desarrollar un carbón de alta calidad.

El efecto del proceso de carbonización en el carbono fijo, materia volátil y rendimientos en masa de los carbonizados se cualifican en la tabla 1, especificando que a temperaturas bajas de carbonización es posible obtener los mayores rendimientos debido a que se describen un mínimo de pérdida de masa Cazetta *et al.,* (2014).

Tabla 2. Temperatura de carbonización y composición del carbonizado.

Temperatura de carbonización (°C)	**Análisis químico del carbonizado**		**Rendimiento de carbonizado sobre masa seca (0% de humedad)**
	% de carbono fijo	**% de materia volátil**	
300 - < 400	Bajo	Alto	Alto
400 – 500	Medio	Medio	Medio
> 600	Alto	Bajo	Bajo

Fuente: Bernal, (2017).

2.1.9. El carbón activado en la adsorción de metales pesados

Se entiende por adsorción al proceso por el cual se adhieren a la superficie del carbón distintos compuesto y metales pesados; este producto puede ser utilizado como enmienda y presenta gran eficiencia, siendo su característica más sobresaliente que es de bajo costo (Gaskell y Morocho, 2015). La adsorción es uno de los procesos que más se utiliza en la industria que es donde se reconoce su importancia en la industria química y también en el laboratorio (Turbert y Talanquer, 1997).

En el proceso denominado adsorción principalmente se extrae algún tipo de materia para que se pegue, se una o se adhiera en otra superficie distinta, el cual mayormente es sólida. La sustancia que es adsorbida se le denomina como “adsorbato” y la fase adsorbente se le conoce como “adsorbente” (Gaskell y Morocho, 2015). Se considera dos tipos de adsorción: la adsorción química y física; siendo la forma en que el adsorbente se relaciona con el adsorbato, la principal diferencia entre

ellos. Así mismo la adsorción física funciona más con las interacciones electrostáticas; por el contrario, en la química se dan más interacciones con enlaces químicos (Turbert y Talanquer, 1997).

Por otro lado, diversos estudios demostraron la capacidad del carbón natural para inmovilizar los metales pesados que están acumulados en grandes cantidades en el suelo, reduciendo así la acumulación de estos elementos en los tejidos de las plantas (Wang *et al*., 2013). El proceso de adsorción depende mucho de la temperatura y de más factores físicos y químicos del suelo.

Existe un factor que es determinante en la bioacumulación de metales pesados en los tejidos de las plantas que es la disponibilidad de estos elementos para ser absorbidos. Estudios donde se aplicó en carbón natural fueron realizados para demostrar su efectividad en suelos contaminados por la minería, en donde se pudo apreciar que: el pH, la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) incrementó las tasas del biochar y la disponibilidad de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de estos desechos se redujeron (Wang *et al*., 2013). La tabla 3 muestra los tipos de carbón natural, la temperatura de elaboración y los contaminantes que son adsorbidos.

Tabla 3. Tipos de carbón natural y su efecto en la adsorción de metales pesados.

Materia prima	Temperatura de elaboración	Contaminante	Efecto
Tallos de algodón	450 °C	Cd	Bioreducción de la biodisponibilidad de Cd en el suelo, por adsorción y co-precipitación.
Madera	400 °C	As	Reducción significativa de As en el follaje de *Miscantus*.

Eucalipto	550 °C	As, Cd, Cu, Pb, Zn	Disminución de As, Cd, Cu, Pb, Zn en el cultivo de maíz.
Residuos de podas	500 °C	Cr, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Reducción significativa de la biodisponibilidad de Cd, Pb, y Zn. Mostrando una mayor reducción con el Cd; y un incremento en el pH, CIC y capacidad de retención de agua.
Estiércol de gallina	550 °C	Cd, Cu, Cr, Pb	Reducción significativa de acumulación de Cd, Cu y Pb. Suelo mejorado, reducción de Cr (IV) a Cr (III).
Lodos residuales	500 °C	Cu, Ni, Cd, Pb, Zn	Reducción significativa en la disponibilidad para las plantas de los metales estudiados.
Paja de arroz	No es claro	Cu, Cd, Pb.	Reducción significativa en las concentraciones de Cu, Pb y Cd en suelos contaminados; biocarbón con alta afinidad de adsorción de Cu.

Fuente: Wang *et al*., (2012)**.**

El Carbón natural se origina por el proceso de descomposición en esa biomasa y posteriormente de la incineración del mismo de la biomasa, tal proceso se realiza en un horno o mufla sin presencia de oxigeno (Meier, 2012). Dentro de los parámetros físicos en la preparación del carbón natural la temperatura cumple un rol importante principales para aumentar su capacidad de adsorción, la temperatura óptima para preparar el carbón varía entre los 300 a 700 °C (Meier 2012). En un estudio se preparó carbón natural con residuos de trigo a una temperatura de 500 °C y 700 °C el resultado origino un carbón con alta área de superficie (>300 m2/g), caso contrario los que trabajaron a una temperatura de 300 °C a 400 °C obtuvieron un área superficial menor (<200m2/g). El primer carbón con una alta área superficial presentó una alta adsorción para compuestos orgánicos (Tang *et al*., 2013).

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Metales pesados:** Los metales pesados son elementos que están presentes en forma natural en el suelo (origen de los suelos) generalmente están en bajas concentraciones por eso también se les denominan elementos traza. Estos elementos son indestructibles, pudiendo ser diluidos y también lixiviados.

- **Estabilización:** Técnica de remediación que sirve para inmovilizar metales pesados el suelo, mediante la adsorción en superficies de otros elementos externos. Se distingue la fitoestabilización que utiliza plantas, la bioestabilización que utiliza microorganismos como hongos y bacterias y también mediante la utilización de sustancias o materiales estabilizantes como el biochar.

- **Fitoextracción:** Se define como absorción de metales pesados que las plantas realizan por medio de las raíces, que a su vez los acumulan en los tejidos.

- **Hiperacumulación:** Capacidad de ciertas especies de plantas para acumular metales pesados en hojas, tallos, raíces y frutos en cantidades superiores a las de otras plantas acumuladoras, sin presentar problemas de toxicidad.

- **Contaminación:** Introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio que provocan que esto sea inseguro o no apto para su uso.

- **Carbón activado:** Es un término genérico que describe a una familia de adsorbentes carbonáceos altamente cristalinos y con una porosidad interna altamente desarrollada. Se utiliza en la extracción de metales pesados y su característica principal es que presenta una alta porosidad.

- **Adsorción:** Adhesión de un finísimo estrato de moléculas, líquidas o gaseosas, a la superficie de sólidos (por ejemplo, carbón activo) con los que aquéllas entran en contacto.
- **Carbonización:** Proceso de formación de un material con un mayor contenido de carbono que el precursor orgánico. Suele ser un proceso de pirólisis que da lugar a un residuo carbonoso casi puro.
- **Macroporos:** Se llaman así a los poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro sea superior a los 500 Angstroms.
- **Mesoporos:** Poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro queda comprendido entre los 500 y los 30 Angstroms.

- **Microporos:** Poros contenidos en el carbón activo cuyo diámetro sea inferior a 30 Angstroms.

- **Densidad aparente:** Es el peso por unidad de volumen de una masa homogénea de carbón activo. Para asegurar la sedimentación uniforme del carbón granulado en el cilindro medidor, se utiliza un sistema de alimentación mediante tolvas vibrantes.

CAPITULO III

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Método de la investigación

- **Tipo de investigación**

El método de la investigación es experimental. La finalidad de este tipo de investigación es la manipulación o alteración de una variable, en un ambiente estrictamente vigilado y controlado por el investigador. También utiliza la observación, estudios de correlación y de desarrollo.

3.1.2. Área de estudio

El experimento se llevó a cabo en el Modulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, Región Ucayali, provincia de Coronel Portillo, distrito de Calleria. Ubicado en la carretera Federico Basadre 6,200. Geográficamente el área está situado a 08º 23’ 39.6’’ de latitud sur y 74º 34’ 39.8’’de longitud oeste a 144 msnm. La duración del estudio fue de 5 meses.

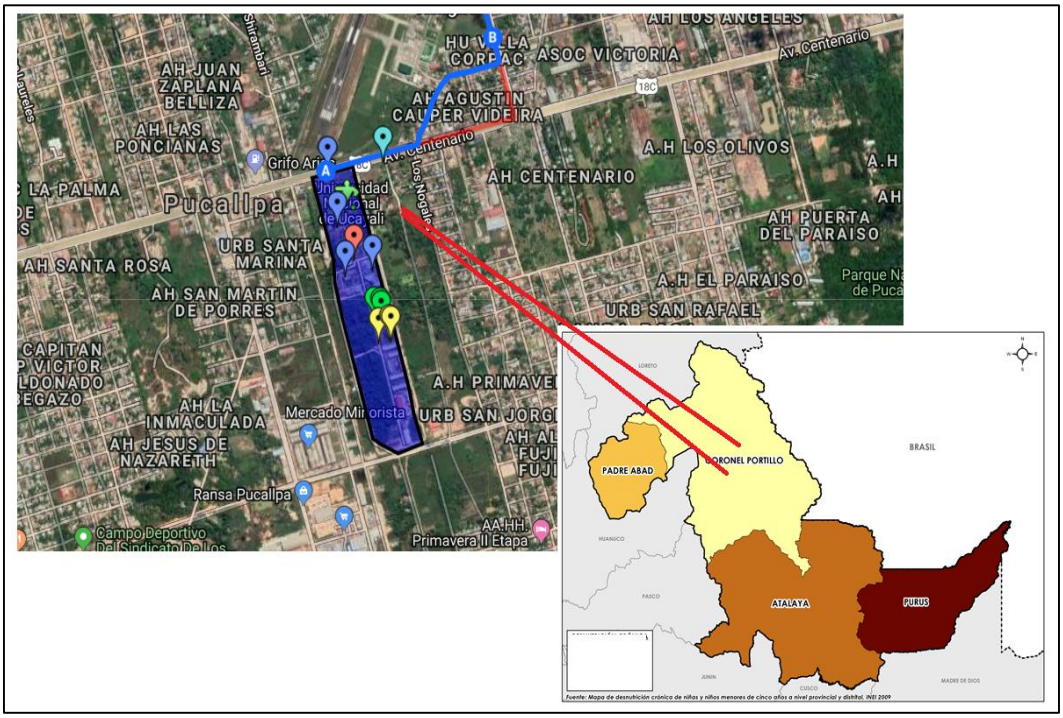


Figura 6. Ubicación del área de estudio (Google Earth, 2018).

3.1.3. Características climáticas del lugar de estudio

Según el Sistema Holdrige, se clasifica como “bosque húmedo tropical” y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema “bosques tropicales semi-siempre verde estacional” (MINAG, 2009).

Las condiciones climáticas promedio para la ciudad de Pucallpa son:

- Temperatura máxima anual 36,5°C.
- Temperatura media anual 26,9°C.
- Temperatura mínima anual 17,4°C.
- Temperatura promedio del laboratorio 28 °C.
- Precipitación promedio anual 1773,0 mm.

3.1.4. Población y muestra

- **Población**

En el presente estudio la población estuvo conformada por los 80 plantones de cacao que existen en el vivero forestal de la Universidad Nacional de Ucayali y fue tomado como una referencia.

- **Muestra**

En el estudio el tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico intencional, en las que se seleccionó un número de 36 plantones de acuerdo al diseño estadístico propuesto en la investigación experimental.

3.1.5. Diseño estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con (4) tratamientos y (3) repeticiones y un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada por 3 plantones dispuestos en macetas, en total fueron 36 plantones para todo el experimento. Los promedios de las variables de respuesta fueron analizadas mediante la prueba de Tukey a un nivel de significación de 0,05. El modelo matemático

del diseño, la tabla de ANVA (Análisis de varianza) y fueron los siguientes:

$$Yij = u + Ti + Eij$$

Yij = Cualquier observación en estudio.

u = Media general.

Ti = Efecto de i – esimo tratamiento en estudio.

Eij = Efecto de la j – esima observación en el i – tratamiento en estudio.

A.N.V.A

FV	GL
Tratamiento	3
Repeticiones	2
Error	6
Total	11

Distribución del área experimental:

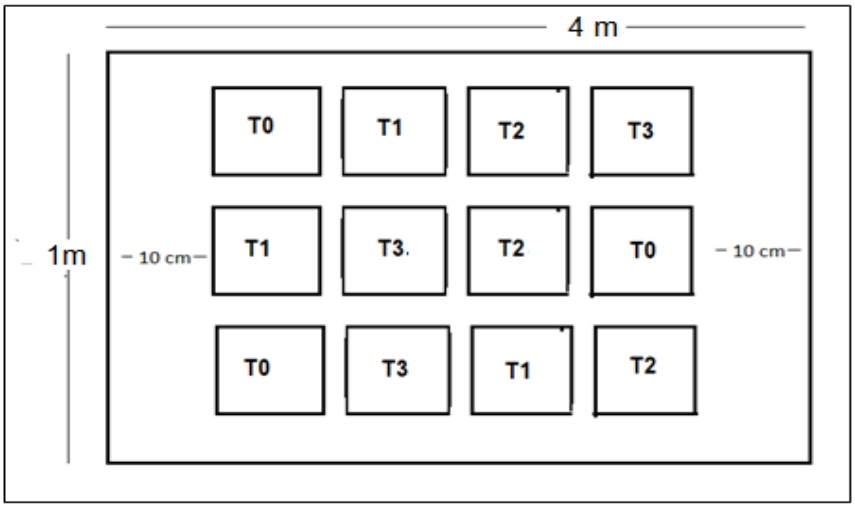


Figura 7. Distribución del área experimental.

- **Variables y su operacionalización**

  Variables dependientes

  - Contenido inicial y final de Cd en suelos.
  - Contenido inicial y final de Cd en tejidos.

  Variables Independientes

  - Dosis de carbón activado de semillas de aguaje.

Las variables se operaron de la siguiente forma:

Contenido inicial y final de Cd en suelos

Se determinó el contenido de Cd en el suelo al inicio, antes del trasplante de los plantones en las macetas y al final del experimento. Se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica para la cuantificación del mismo. Este análisis se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), en el laboratorio de suelos, en la ciudad de Tingo Maria.

Contenido inicial y final de Cd en tejidos

Se determinó el contenido de Cd en tejidos como hojas y tallos de los plantones de cacao, al inicio se consideró cero por haber sido plantadas de semillas, y al final del experimento se sacrificó los plantones para su análisis correspondiente. Se utilizó el método de espectrofotometría de absorción atómica para la cuantificación del mismo. Este análisis se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), en el laboratorio de suelos, en la ciudad de Tingo María.

Dosis de carbón activado

Las dosis utilizadas para cada tratamiento en el estudio fueron las siguientes:

- **Tratamiento (T0)** = Sustrato convencional de cacao + solución concentrada de 10 g/L de Cd $(NO_3)_2$.
- **Tratamiento (T1)** = Sustrato convencional de cacao + solución concentrada de 10 g/L de Cd $(NO_3)_2$ + carbón activado al 10 % (300 g).
- **Tratamiento (T2)** = Sustrato convencional de cacao + solución concentrada de 10 g/L de Cd $(NO_3)_2$ + carbón activado al 30 % (900g).
- **Tratamiento (T3)** = Sustrato convencional de cacao + solución concentrada de 10 g/L de Cd $(NO_3)_2$ + carbón activado al 50 % (1500g).

3.1.6. Procesamiento de recolección de datos

a) Preparación del sustrato

Para la preparación del sustrato se utilizó tierra negra un 50 %, compost un 30 %, arena 20 % (Paredes, 2003). Para el experimento completo se preparó un promedio 300 kg de sustrato, para utilizar 3 kg en cada maceta. Se utilizaron bolsas de polietileno de 3 kg.

b) Preparación del carbón activado de aguaje

Para la preparación del carbón activado se utilizó el protocolo de Sun Kou (2014):

- **Material precursor**

Se recolectaron las semillas de aguaje de un lugar de la ciudad (60 kg) principalmente de los mercados de la ciudad. Se aplicó a las semillas de aguaje una concentración determinada de ácido fosfórico (H_3PO_4, Merck) a fin de obtener una razón de impregnación de 1,0 g H_3PO_4 /g precursor, luego se filtró al vacío la mezcla y se pre-secó a una

temperatura de 85 °C en una estufa durante un tiempo de 24 horas. Se calculó el porcentaje de humedad de las semillas, el cual está expresado por la diferencia de pesos (antes y después de ser secadas en una estufa) y se define en % de humedad (g de H_2O/100 g de muestra). El cálculo se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$\%HUMEDAD = \frac{PESOinicial - PESOfinal}{PESOinicial} X\ 100$$

- **Temperatura y Tiempo de Carbonización**

El material precursor fue carbonizado por un tiempo de aproximado 2 horas a una temperatura de 600 ºC, en una mufla en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ucayali. Luego se procedió a la molienda del carbón, lavado con agua destilada con la ayuda de un papel filtro y posteriormente se secó a temperatura ambiente durante un tiempo de 24 horas aproximadamente antes de ser mezclado con el sustrato.

c) Disposición de las bolsas y aplicación del carbón activado

Las bolsas fueron de polietileno fueron un total 12 bolsas. Una vez preparado el carbón activado de semillas de aguaje, se procedió a realizar el cálculo por medio de una regla de tres simples para determinar las diferentes concentraciones (10, 30 y 50 %) y luego ser aplicada y mezclada con el sustrato finalmente fueron colocadas en las bolsas.

d) Preparación de la solución de Cd y aplicación

Para asegurar que las macetas contengan la misma cantidad de Cd se preparó una solución de Cd concentrada mezclando en una probeta de 1 litro de capacidad 10 g de Cd $(NO_3)_2$ con 1 litro de agua destilada para obtener cadmio concentrado a 10 g/L. Luego de la preparación de la solución, se aplicó a todas las bolsas con la misma cantidad (10 g/L). Finalmente se dejó reposar por dos días para luego tomar una muestra inicial de suelo de las bolsas para analizarla.

e) Análisis de suelo, tejidos de los plantones de cacao y su evaluación

Para el análisis de suelo se tomó una muestra inicial de todas las bolsas a evaluar. La muestra de suelo fue de 1kg, de las que se analizaron: M.O, pH, N, y Cd. Al final del experimento se tomó una muestra de 1 kg de todas las bolsas para evaluar el contenido de Cd en el suelo. Por otro lado para el análisis de tejidos de igual forma se analizó el contenido de Cd en hojas y tallos al final, para lo cual se tomaron un promedio de 10 plantoncitos que salieron de la cama de germinación y al final del experimento se procedió a sacrificar a todos los plantones para determinar el contenido de final de Cd en hojas y tallos. El número de evaluaciones tanto para suelos y tejidos fue de 2.

3.1.7. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

a) Técnicas de recolección de datos

- **Observación experimental:** cuando se aplicaron los diferentes tratamientos de carbón activado fue necesario observar el comportamiento de los plantones de cacao trasplantados. Los cuales se quemaron por el alto contenido de nitrato de cadmio y se tuvo que volver a sembrar directamente en las bolsas desde semillas.

- **Análisis documental:** revisión bibliográfica de estudios previos para determinar las dosis de carbón activado de aguaje, así como las dosis de Cd y la preparación del carbón.

- **Análisis de metales pesados en laboratorio:** este proceso se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica para el análisis de Cd en suelos y tejidos en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

b) Materiales insumos equipos e instrumentos de recolección de datos

- **Materiales, insumos y equipos**

  Material vegetal

  - Semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f).
  - Semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.).

- **Insumos y materiales**

  - Arena.
  - Compost.
  - Tierra negra.
  - Nitrato de $Cd(NO_3)_2$.
  - Ácido fosfórico (H_3PO_4).
  - Alcohol.
  - Agua destilada.
  - Wincha.
  - Cordeles.
  - Libreta de campo.
  - Espátula.
  - Bolsas de plástico de 3 kg.
  - Cinta adhesiva.
  - Probeta.
  - Frascos de Erlenmeyer.
  - Pipeta.
  - Agitador.

- **Equipos**

  - Estufa
  - Mufla
  - Balanza analítica
  - Laptop.
  - Cámara fotográfica.

- **Instrumentos de recolección de datos**

  - Ficha de evaluación (anexo 3).

3.1.8. Procedimiento para la recolección de datos

El procedimiento para la recolección de datos fue el siguiente:

- **Trabajo de campo**
  - Elaboración del carbón activado de semillas de aguaje.
  - Preparación del área experimental.
  - Preparación del sustrato.
  - Aplicación de Cd en el suelo
  - Siembra de las semillas de cacao y obtención de los plantones.
  - Análisis de Cd en el suelo y tejidos de los plantones.

- **Trabajo de laboratorio**
  - Análisis de Cd en el suelo.
  - Análisis de Cd en el tejido de los plantones.

- **Matriz de resultados**
  - Tablas estadísticas y figuras.
  - Análisis de datos.
  - Interpretación de datos.

3.1.9. Tratamiento de los datos

En el presente trabajo de investigación los datos fueron tabulados y procesados con el paquete estadístico SPSS 21 (2013). Se realizó el análisis de varianza de todos los tratamientos en estudio a un nivel de significancia del 0,05 %, así mismo se realizó la prueba de promedios de Tukey a un nivel de 0,05 de significancia.

CAPITULO IV

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Resultados del contenido inicial y final de Cd en los suelos

Tabla 4. Contenido inicial y final de Cd en los suelos.

Tratamiento	Dosis de Carbón activado (%)	Contenido Cd en el suelo (ppm)			
		Inicial de Cd	Final de Cd (Estabilizado)	Cd restante	% de Cd estabilizado
T0	0	10 500	250	10 250	2,4 **a**
T1	10	10 500	2 968,3	7 531,7	28,3 **b**
T2	30	10 500	4 991,7	5 508,3	47,54 **c**
T3	50	10 500	7 091,7	3 408,3	67,54 **d**

Analizadas a 0.05 de significancia. Letras iguales no presentan diferencias significativas.

En la tabla 4 se muestra los resultados del Cd inicial y final en los suelos de todos los tratamientos estudiados, donde se observa en cuanto al contenido final de Cd y el porcentaje total estabilizado en el suelo son diferentes y según el análisis de varianza (ANOVA) al 0,05 de significancia indica que existen diferencias significativas entre ellos (ver anexo 9.1). El suelo de todos los tratamientos estudiados tuvo un contenido de 10 500 ppm de Cd, de los cuales el T0 tuvo un contenido final estabilizado de 250 ppm, el T1 con 2 968,3, el T2 con 4 991,7 y el T3 con 7 091,7 ppm de Cd en el suelo (figura 9).

Los porcentajes de Cd estabilizado en el suelo fueron: de 2,4 % para el T0, 28,3% para el T1, 47,54% para el T2 y 67.54 % para el T3 (figura 10). Según lo indicado por estos datos el tratamiento con mayor % de Cd estabilizado es el T3 el cual uso 50 % de carbón activado de semillas de aguaje para lograr estabilizar un 67,54 % de Cd en el suelo de los plantones de cacao, seguido por el T2 con 30% de carbón activado y el T1 con el 10% de carbón activado que fue el que tuvo una menor porcentaje de Cd estabilizado en el suelo de los plantones

de cacao de 28,3%, el mismo que fue mayor que el tratamiento testigo (T0) en el cual no se utilizó carbón activado (figura 9). Estos resultados muestran que el carbón activado de semillas de aguaje si tiene efecto en la estabilización de Cd en el suelo, si se aplica en mayores cantidades como lo mostrado en el presente estudio.

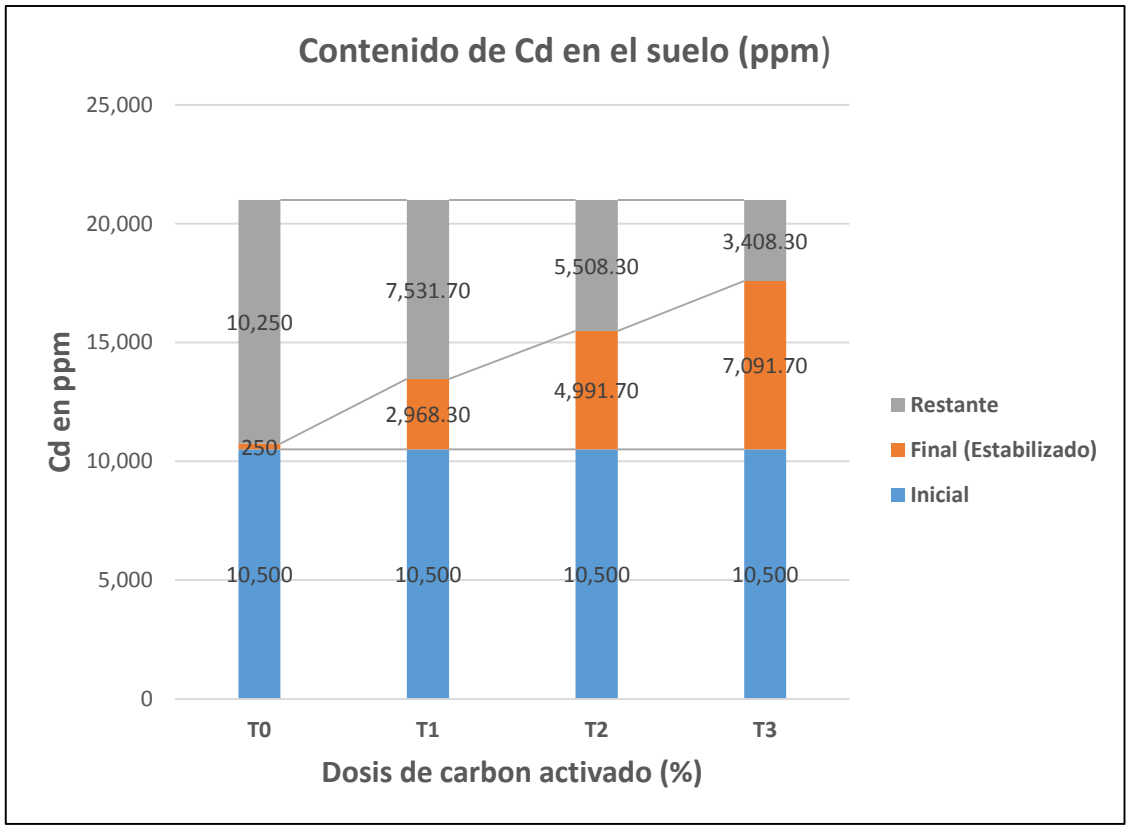


Figura 8. Contenido de inicial, final y restante de Cd en el suelo.

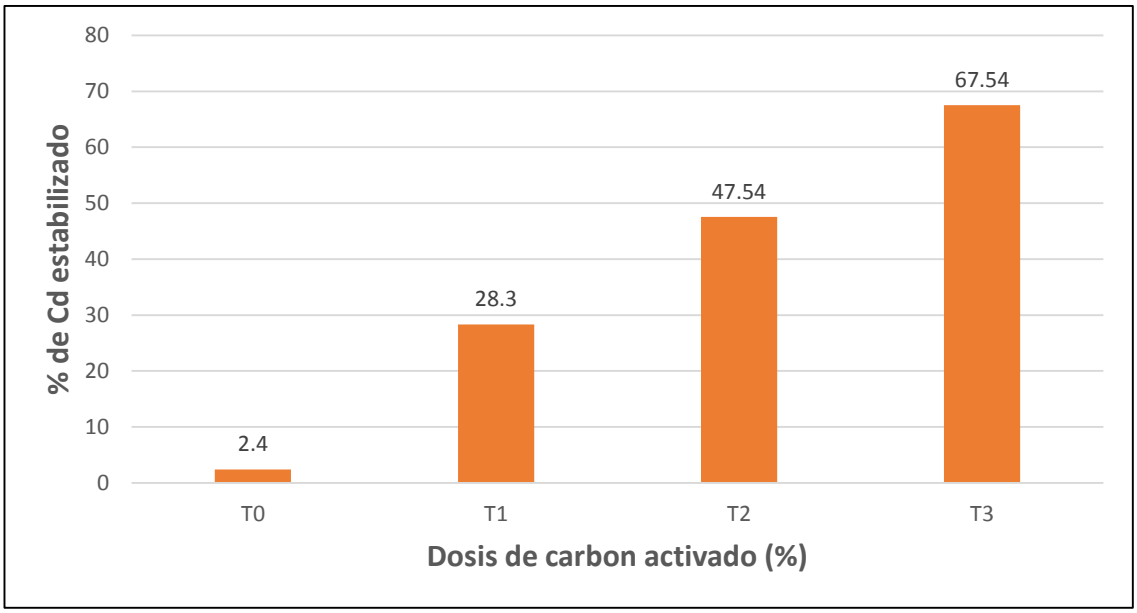


Figura 9. Porcentaje de Cd estabilizado en el suelo.

4.1.2. Resultados del contenido de Cd en los tejidos.

Los resultados del contenido de Cd en los tejidos de los platones de cacao se muestran a continuación:

Tabla 5. Contenido de Cd en los tejidos de los platones de cacao.

Tratamiento	Dosis de carbón activado (%)	Cd en tejidos (foliar + tallo + raíces)		
		Contenido inicial (ppm)	Contenido final (ppm)	% de Cd acumulado
T0	0	0	18,6	0,18 **a**
T1	10	0	3 319,3	31,6 **b**
T2	30	0	5 445,3	51,8 **c**
T3	50	0	4 252	40,5 **d**

Analizadas a 0.05 de significancia. Letras iguales no presentan diferencias significativas.

En la tabla 5 se presentan los resultados del contenido inicial, final y el porcentaje acumulado de Cd en los tejidos de los plantones de cacao donde se puede observar una gran variabilidad de resultados en los tratamientos estudiados. Se muestra: el contenido inicial de Cd en los plantones donde se consideró 0 para todos, porque se sembró desde semilla. El contenido final que es representado por el Cd absorbido por los platones de cacao en la que el T2 con 30 % de carbón activado obtuvo la mayor cantidad de Cd (5 445,3 ppm), seguido por el T3 con 50 % de carbón (4252 ppm) y el T1 con 10 % de carbón (3 319,3).

El porcentaje de Cd acumulado en los tejidos, donde se observa que el T2 obtuvo un 51,8 % de Cd que es el mayor, seguido por el T3 con 40,5 %, T1 con 31,6 % los mismos que son mayores al T0 (figura 10). Estadísticamente entre los tratamientos estudiados si existen diferencias significativas según el análisis de varianza (ANOVA) al 0,05 de significancia (ver anexo 9.1) donde se puede observar que es posible reducir la acumulación en tejidos de este elemento aplicando las dosis de carbón activado de semillas de aguaje.

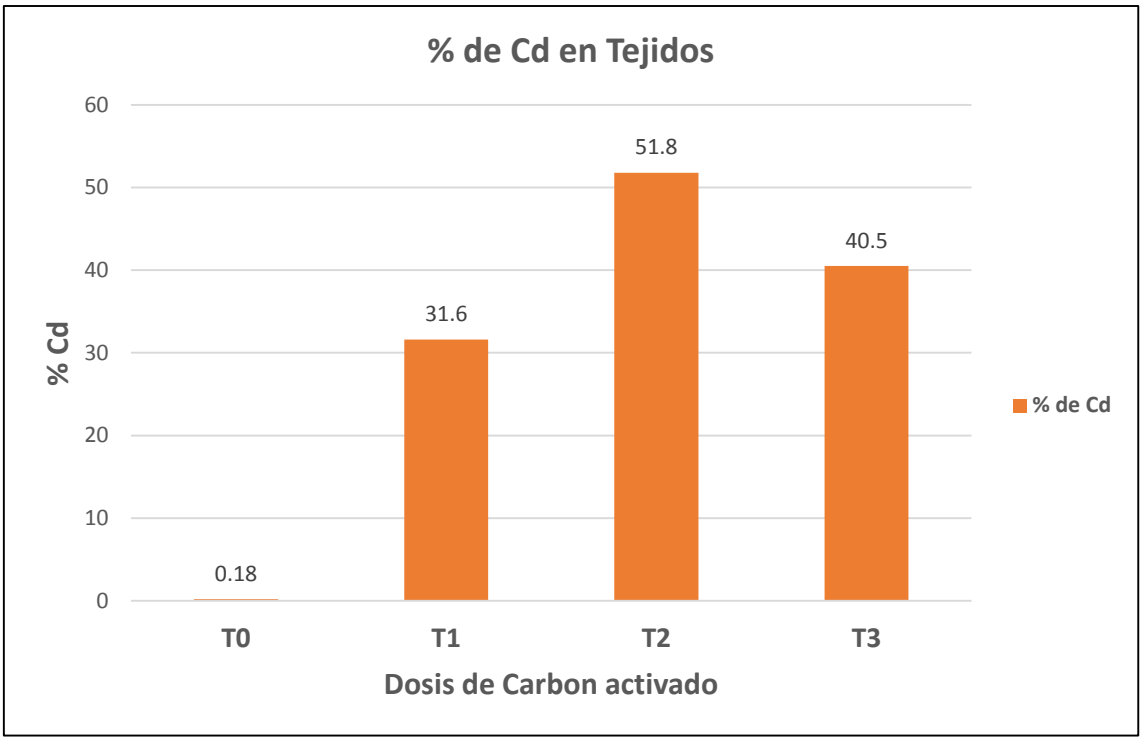


Figura 10. Porcentaje de acumulación de Cd en los tejidos de los plantones de cacao.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Contenido de Cd en los suelos

Los resultados del presente proyecto están relacionados al trabajo realizado por Romero (2017), quien evaluó el carbón activado elaborado de excretas de cerdo en la inmovilización del Pb en el suelo en macetas, utilizando lechuga (*Lactuca sativa* L.) como cultivo prueba. Los resultados mostraron que cuando se aplica un 20 % de carbón se obtiene una eficiencia de inmovilización de Pb en el suelo de 70,34 % comparado con las concentraciones menores de 10 % (49,07 %) y 5 % (38,55 %).

Así mismo en la investigación realizada por Sun kou *et al*., (2014), donde se evaluó la capacidad de las semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f) en la adsorción de Cd y Pb en aguas se pudo observar que factores como: el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado son los factores que más influyeron en el proceso de adsorción, y estos dependen a su vez del material con el que se elaboran. La utilización del carbón activado de semillas de aguaje con la misma metodología de preparación obtuvo una alta adsorción de Cd con 26,5 mg g^{-1} y Pb 74,8 mg g^{-1}, el mismo resultado se obtuvo en el suelo obteniéndose hasta un 67,54 % de Cd estabilizado en el suelo con el T3 en el que se agregó 50 % de carbón activado, lo que quiere decir que el carbón activado de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f) es ideal para adsorción de metales pesados como el Cd para su estabilización en el suelo y producir alimentos más saludables.

Por otro lado, en la investigación realizada por Balta (2019), también puede observarse el mismo efecto del carbón activado, en este caso de madera y residuos de parques y jardinería en la estabilización de Cd en suelos utilizando tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como cultivo prueba bajo condiciones de invernadero. Las plantas de tomate tratadas con carbón activado registraron una absorción total de 3,40 mg Cd maceta^{-1}, mostrando diferencias estadísticas respecto a las plantas tratadas con biochar y el testigo, con valores de 5,21 y

4,03 mg Cd maceta^{-1} respectivamente, afirmando que el carbón activado en dosis altas disminuye considerablemente la disponibilidad de Cd en los suelos, pero también puede reducir la disponibilidad de N, P, K, Ca y Mg por lo que es necesario encontrar una alternativa de uso. Otro aspecto importante es que las condiciones de invernadero no son las mismas que en ambiente de campo real ya que la estabilización de los metales pesados dependerá mucho de las condiciones físicas y químicas del suelo, así como también el contenido de estos elementos en el suelo, puesto que existen suelos menos contaminados que otros y donde no se utilizan cantidades excesivas de productos químicos.

4.2.2. Contenido de Cd en los tejidos

Al respecto desde el punto fisiológico Augstburger *et al*., (2000), menciona que la planta de cacao absorbe los metales pesados como Cd concentrados en el suelo y los acumula en los tejidos, esto afirma que naturalmente el comportamiento fisiológico de las plantas de cacao es absorber estos elementos, en el caso de los plantones de cacao estos estuvieron sembrados en suelos altamente contaminados por Cd (10 500 ppm), pero así mismo se puede observar que una parte de Cd fue acumulado y la otra parte quedo en el suelo estabilizado, se pudo observar que es posible reducir la disponibilidad de este elementos aplicando las dosis de carbón activado de semillas de aguaje.

Así mismo Llatance *et al., (*2018), confirma que la planta de cacao es una planta hiperacumuladora de metales pesados, esta característica es propia de la planta por su fisiología y la acumulación puede ir de menor a mayor concentraciones dependiendo de los niveles de contaminación del suelo. En su evaluación la especie *Theoborma cacao* L. absorbió como valor minimo 0,747 mg/kg^{-1} y máximo 1,684 mg/kg^{-1} más Cd que las demás especies *Pouteria caimito*, *Matisia cordata* Bonpl., *Malvaviscus sp., Vochysia sp., Carludovica palmat*a, *Attalea sp*, que oscilan entre mínimo 0,038 mg/kg^{-1} y máximo 0,19 mg/kg^{-1} lo que comprueba dicho comportamiento.

En otros trabajos como en la investigación realizado por Balta (2019), muestra el mismo comportamiento en las plantas de tomate tratadas con carbón activado que registraron una absorción total de 3,40 mg Cd maceta^{-1}, mostrando diferencias estadísticas respecto a las plantas del tratamiento testigo, con valores de 5,21 y 4,03 mg Cd maceta^{-1} respectivamente.

De igual forma Romero (2017), indica que las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) absorbieron Pb de un suelo contaminado solo en el tratamiento testigo donde no se aplicó carbón activado, aunque en este caso en bajas concentraciones 0,7 kg/mg de Pb adsorbido. Esos resultados muestran que las especies absorben los metales pesados cuando están disponibles, pero eso depende de la concertación de estos elementos en el suelo, las propiedades físicas y químicas, la fisiología de las plantas y las especies.

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto anteriormente y de acuerdo a los resultados en el presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

1. El carbón activado de semillas de aguaje tiene un efecto positivo en el suelo, es decir es recomendable para la estabilización del cadmio en el suelo.

2. El efecto de las diferentes dosis de carbón activado de semillas de aguaje es positivo en el suelo, ya que incluso agregando una menor cantidad de dosis, se puede lograr una buena estabilización de cadmio en el suelo.

3. El carbón activado de semillas de aguaje como estabilizador de cadmio en el suelo es excelente, pero no se puede llegar a la misma conclusión con respecto al efecto del carbón en los tejidos, porque aun en concentraciones elevadas de carbón activado la planta absorbe y acumula grandes porcentajes de cadmio, incluso mayores al tratamiento T0 donde no se utilizó carbón activado.

5.2. RECOMENDACIONES

En las condiciones que se desarrolló el estudio y teniendo en cuenta los imprevistos, se recomienda:

1. Realizar estudios especializados en los que se determine porque, aun utilizando carbón activado de semillas de aguaje la planta acumula cantidades elevadas de cadmio.

2. Realizar investigaciones en los que se determinen si el cadmio acumulado en los tejidos de los plantones de cacao llega finalmente a los granos del cacao.

3. Realizar investigaciones con más especies para realizar carbón activado, de preferencia que pertenezcan a industrias o actividades que provean residuos abundantes en la amazonia peruana.

4. Realizar estudios en plantaciones de cacao y evaluar las ventajas y desventajas de la aplicación del carbón activado de semillas de aguaje.

BIBLIOGRAFÍA

Augstburger, F., Berger J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., Streit. (2000). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. 1ª edición. Guías de 18 cultivos. Cacao*. KleinhadernerWeg 1-82166 Gräfelfing-Alemania. 24 p.

Balta, C. (2019). *El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo el invernadero*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en suelos. Lima –Perú. 56 p.

Belalcázar, T. (2013). *Evaluación del biocarbón derivado de cascarilla de arroz como potenciador del establecimiento y proliferación de bacterias en suelos no perturbados.* Colombia.

Bernal, D. (2017). *Estudio de la preparación de carbones activados funcionales a partir de biomasa.* Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias Química. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá, Colombia. 30, 35, 40 p.

Campos, F. y Flores, C. (2016). *Determinación de Cd y Pb en lo clones predominantes de cacao (Theobroma cacao L.) en las provincias de Padre Abad y Coronel Portillo*. Universidad Nacional de Ucayali. Informe anual de proyecto de investigación docente.

Cazetta, L., Azevedo, P., Pezoti, O., Souza, S., Vargas, M., Paulino, T., Moraes C. y Almeida, C. (2014). *Thermally activated carbon from bovine bone: Optimization of synthesis conditions by response surface methodology.* J. Anal. Appl. Pyrolysis, vol. 110, 455–462 p.

Cuadra, R. (2015). *Cacao y contenido de metales pesados. Red Madre Cacao*. Asociación de apoyo integral a los pequeños productores de cacao de Nicaragua.

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. y Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao.*

Fierro, S. y Antoño, E. (2008). *Evaluación del prendimiento de dos tipos de injerto con tres clones de cacao (Theobroma cacao L.), investigados por el INIAP y dos cultivares de la zona.* Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Estatal de Bolívar. Ec. 3-9-10-15-136 p.

Gaskell, V. y Morocho, D. (2015). *Evaluación de adsorción de plomo y mercurio en carbón activado proveniente de la cascarilla de arroz* [En Línea]. Perú.

Gergova, K. and Eser, S. (1996). *Effects of activation method on the pore structure of activated carbons from apricot stones Carbon N. Y*. vol. 34, no. 7, 879–888 p.

Google Earth (2018). Consultado el 15 de noviembre de 2019. Obtenido de https://www.google.com › intl › earth.

Harry, M. y Rodriguez, F. (2006). *Activated Carbon. Elsevier Science & Technology Books.*

Huamni, H., Huauya, M., Mansilla, L., Florida, N. y Neira, G. (2012). *Presencia de metales pesados en el cultivo de cacao orgánico*. Acta agronómica. 61(4) P, 339-334 p.

Galán, E. y Romero, A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados.* Mancla revista de la sociedad española de mineralogía 10: 48-60 p.

Llatance W., Gonza, C., Guzmán, W. y Pariente, E. (2018). *Bioacumulación de cadmio en el cacao (Theobroma cacao) en la Comunidad Nativa de Pakun,* Perú. Revista Forestal del Perú, 33 (1): 63 – 75 p.

Martí, L., Burba, G. y Cavagnaro, M. (2002). *Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos.* Rev. FCA UN Cuyo. Tomo XXXIV. N° 2. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown N° 500. Casilla de Correo 7. M5528AHB Chacras de Coria. Mendoza. Argentina.

Martínez, G. y Palacio, C. (2010). *Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Martínez, Y. (2012). *Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano. Saudi Med J, vol. 33, 3–8 p.*

Meier, S. (2014). *Biochar Producido a Partir de Excretas de Gallina Reduce la Biodisponibilidad de CU en Suelos Contaminados con este Metal.* Chile.

Ministerio de agricultura-MINAG (2012). *El cultivo de cacao en la Amazonia Peruana. Perfil de Mercado y Competitividad Exportadora de Cacao*. Lima-Perú.

Motamayor, J. (2002). *Diversidad genética y domesticación del cacao. En Biodiversidad, biotecnología y bioseguridad: un enfoque hacia Mesoamérica y El Caribe, programa y resúmenes. Turrialba: CATIE y FAO. 54 p.*

Niño, A. y Ortíz, D. (2008). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vertimientos de una empresa de jabones.*

Obregón, D. (2015). *Estudio Comparativo de la Capacidad de Adsorción de Cadmio Utilizando Carbones Activados Preparados a Partir de Semillas de Aguaje y de Aceituna* [En Línea]. Perú.

Opeke, K. (1982). *Tropical tree crops. Chichester: J. Wiley xvii, 312 p.- illus. Botany of Theobroma cacao 67-123 p.*

Ospina, V., Buitrago, R. y López, D. (2012). *Preparación y caracterización de carbón activado a partir de torta de higuerilla. Tecno Lógicas,* vol.3.

Paredes, M. (2003). *Manejo del cultivo del cacao. PROMAMAZONIA. Ministerio de agricultura.* Perú. 16-17 p.

Rivera, R. (2013). *Guía metodológica para el muestreo y detección de cadmio en suelos, agua, fertilizantes, almendras de cacao y productos derivados.*

Rodriguez, F. y Molina, M. (1998). *Textural and chemical characterization of microporous carbons.* Adv. Colloid Interface Sci., vol. 76, 271–294 p.

Romero, J. (2017). *Eficiencia en la Inmovilización de Plomo en el Suelo Mediante la Aplicación de Cantidades de Biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima.* Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería. 58 p.

Sevilla, U. (2011). *Manual Del Carbón Activo.* Aula.Aguapedia.Org, 1–89 p.

Sifuentes, C. (2013). *Comida Peruana. El cacao peruano*, en línea, disponible en página Web: http:comidaperuana.about.com/od/ingredientes/a/El-cacao peruano.htm (notfound).

Sun-Kou, R., Obregón, D., Pinedo, A., Paredes, A., Aylas, J. (2014). *Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje.* Rev Soc Quím Perú. 80 p.

Tang, J., Wenying, Z., Kookana, R. and Katayama, A. (2013). *Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil*. [En Línea]. Japón: The Society for Biotechnology. The International Plant Name Index (IPNI). Published In: Species Plantarum 2: 782. 1753. Consultado el 20 de setiembre del 2019.

Tubert, I. y Talanquer, V. (1997). *Sobre adsorción de Biocarbón. México.*

Wang, Z., Shen, F., Shen, D., Jiang, Y. y Xiao, R. (2002). *Immobilization of Cu2 + and Cd2 + by earthworm manure derived biochar in acidic circumstance.*

Zamora, G. (2010). *Obtención de carbón activado a partir de semillas, de dos palmeras de la Amazonía Peruana, Shapaja (Atta/eaphalerta) y Aguaje (Mauritia flexuosa), Perú.*

Zhang, W., Mao, S., Chen, H., Huang, L., and Qiu, R. (2013). *Pb (II) and Cr (VI) sorption by biochars pyrolyzed from the municipal wastewater sludge under different heating conditions. Bioresour.* Technol., vol. 147, 545–552 p.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 6. Análisis estadistico del Cd en el suelo (media, desviación típica, error intervalos de confianza y límites).

Descriptivos

Cadmio en PPM (suelo)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T0	3	2,4000	,05000	,02887	2,2758	2,5242	2,35	2,45
T1	3	28,3000	,01000	,00577	28,2752	28,3248	28,29	28,31
T2	3	47,5400	,04000	,02309	47,4406	47,6394	47,50	47,58
T3	3	67,5400	,04000	,02309	67,4406	67,6394	67,50	67,58
Total	12	36,4450	25,12915	7,25416	20,4787	52,4113	2,35	67,58

Tabla 7. Análisis de varianza del Cd en el suelo al 0,05 de significancia.

ANOVA

Cadmio en PPM (suelo)

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6 946,203	3	2 315,401	1596828,345	,000
Intra-grupos	,012	8	,001		
Total	6 946,215	11			

Tabla 8. Prueba de Tukey para Cd en el suelo al 0,05 de significancia.

Cadmio en PPM (suelo)

HSD de Tukey

% de carbon activado	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T0	3	2,4000			
T1	3		28,3000		
T2	3			47,5400	
T3	3				67,5400
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 9. Análisis estadístico del % Cd en los tejidos (media, desviación típica, error intervalos de confianza y límites).

Descriptivos

% de cadmio en tejidos

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
T0	3	,1800	,03000	,01732	,1055	,2545	,15	,21
T1	3	31,6000	,30000	,17321	30,8548	32,3452	31,30	31,90
T2	3	51,8600	,06000	,03464	51,7110	52,0090	51,80	51,92
T3	3	40,5000	,10000	,05774	40,2516	40,7484	40,40	40,60
Total	12	31,0350	20,06141	5,79123	18,2886	43,7814	,15	51,92

Tabla 10. Análisis de varianza del % Cd en los tejidos al 0.05 de significancia.

ANOVA

% de cadmio en tejidos

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4 426,851	3	1 475,617	56 482,951	,000
Intra-grupos	,209	8	,026		
Total	4 427,060	11			

Tabla 11. Prueba de Tukey para el % Cd en los tejidos al 0.05 de significancia.

% de cadmio en tejidos

HSD de Tukey[a]

% de carbon activado	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T0	3	,1800			
T1	3		31,6000		
T3	3			40,5000	
T2	3				51,8600
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 2



Figura 11. Disposición de las semillas en las láminas hierro.



Figura 12. Colocado de las semillas a la mufla.



Figura 13. Carbón activado.



Figura 14. Almacenamiento del carbón.



Figura 15. Pesado del carbón.



Figura 16. Preparación de la solución de nitrato de Cd.



Figura 17. Acondicionamiento del área de estudio.



Figura 18. Elaboración del sustrato.



Figura 19. Adición de la solución de nitrato de Cd $(NO_3)_2$.



Figura 20. Semillas de cacao.



Figura 21. Divisiones por tratamiento.



Figura 22. Primera semana de los plantones testigo de cacao.



Figura 23. Tratamiento 1 y repeticiones a 15 días después de la plantación.



Figura 24. Tratamiento 2 y repeticiones a 15 días de la plantación.



Figura 25. Tratamiento 3 y repeticiones a 15 días de la plantación.



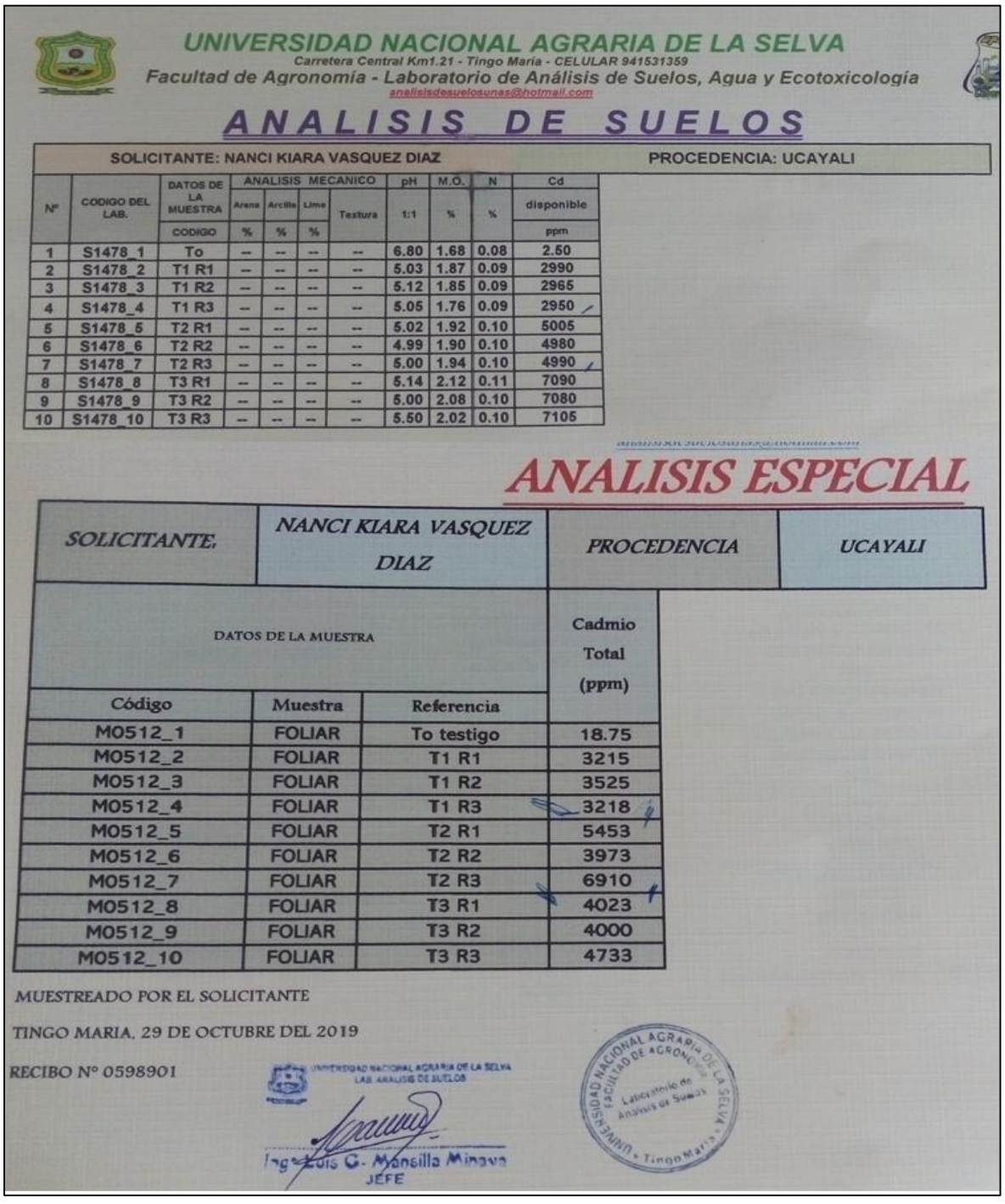
Figura 26. Plantones de cacao 3 meses después de la plantación.



Figura 27. Toma de muestras de suelo para su respectivo análisis.



Figura 28. Toma de muestras de tejidos para su respectivo análisis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km1.21 - Tingo María - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com

ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: NANCI KIARA VASQUEZ DIAZ — PROCEDENCIA: UCAYALI

Nº	CODIGO DEL LAB.	DATOS DE LA MUESTRA	ANALISIS MECANICO				pH	M.O.	N	Cd
			Arena	Arcilla	Limo	Textura	1:1	%	%	disponible
		CODIGO	%	%	%					ppm
1	S1478_1	To	--	--	--	--	6.80	1.68	0.08	2.50
2	S1478_2	T1 R1	--	--	--	--	5.03	1.87	0.09	2990
3	S1478_3	T1 R2	--	--	--	--	5.12	1.85	0.09	2965
4	S1478_4	T1 R3	--	--	--	--	5.05	1.76	0.09	2950
5	S1478_5	T2 R1	--	--	--	--	5.02	1.92	0.10	5005
6	S1478_6	T2 R2	--	--	--	--	4.99	1.90	0.10	4980
7	S1478_7	T2 R3	--	--	--	--	5.00	1.94	0.10	4990
8	S1478_8	T3 R1	--	--	--	--	5.14	2.12	0.11	7090
9	S1478_9	T3 R2	--	--	--	--	5.00	2.08	0.10	7080
10	S1478_10	T3 R3	--	--	--	--	5.50	2.02	0.10	7105

ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE:	NANCI KIARA VASQUEZ DIAZ	PROCEDENCIA	UCAYALI

DATOS DE LA MUESTRA			Cadmio Total (ppm)
Código	Muestra	Referencia	
M0512_1	FOLIAR	To testigo	18.75
M0512_2	FOLIAR	T1 R1	3215
M0512_3	FOLIAR	T1 R2	3525
M0512_4	FOLIAR	T1 R3	3218
M0512_5	FOLIAR	T2 R1	5453
M0512_6	FOLIAR	T2 R2	3973
M0512_7	FOLIAR	T2 R3	6910
M0512_8	FOLIAR	T3 R1	4023
M0512_9	FOLIAR	T3 R2	4000
M0512_10	FOLIAR	T3 R3	4733

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

TINGO MARIA, 29 DE OCTUBRE DEL 2019

RECIBO Nº 0598901

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA LAB. ANALISIS DE SUELOS

Ing. Luis G. Manrique Minaya
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE AGRONOMIA Laboratorio de Análisis de Suelos Tingo María

Figura 29. Resultados de análisis de suelos y tejidos.

Anexo 3

Tabla 12. Formato de evaluación.

Tratamiento	Contenido de Cd en los suelos/ tejidos	
	Cd inicial	Cd Final
0		
1		
2		
3		