



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

BIOCHAR COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS NIVELES  
DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO (THEOBROMA CACAO L),  
CULTIVAR CCN-51

QUITO ORELLANA JIMENA ADELAIDA  
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

BIOCHAR COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS  
NIVELES DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO  
(THEOBROMA CACAO L), CULTIVAR CCN-51

QUITO ORELLANA JIMENA ADELAIDA  
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA  
2020



# UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN  
TRABAJO EXPERIMENTAL

BIOCHAR COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS NIVELES DE  
ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO (*THEOBROMA CACAO L*), CULTIVAR  
CCN-51

QUITO ORELLANA JIMENA ADELAIDA  
INGENIERA AGRÓNOMA

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

MACHALA, 21 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA  
2020

# Tesis de grado JAQO

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE  
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

4%

2

[repositorio.uteq.edu.ec](http://repositorio.uteq.edu.ec)

Fuente de Internet

3%

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 3%

Excluir bibliografía

Apagado

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, QUITO ORELLANA JIMENA ADELAIDA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado BIOCHAR COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS NIVELES DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO (THEOBROMA CACAO L), CULTIVAR CCN-51, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de diciembre de 2020



QUITO ORELLANA JIMENA ADELAIDA  
0104682257

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser Él quien me inspiro y me dio las fuerzas necesarias para continuar este extenso camino universitario para obtener uno de mis anhelos y sueños más deseados.

A mis queridos padres Luz Orellana y Manuel Quito, quienes me han dado el ejemplo siempre de superarme a mí misma, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral para lograr alcanzar mis metas propuestas en la vida.

A mi prima Grecia Sánchez que gracias a ella y a sus consejos de seguir adelante y no desfallecer en mis estudios a pesar de venir desde otra ciudad y acoplarme al nuevo ritmo de vida y a sus dos hijas que estuvieron presentes durante toda mi preparación en la universidad.

A mis amados hermanos y sobrino que siempre confiaron en mí y me apoyaron incondicionalmente.

Quito Orellana, Jimena A.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida de mis queridos padres, por formar parte de ellos y permitir que haya culminado con éxito mi carrera, por bendecirme cada día de mi vida con la maravillosa oportunidad de disfrutar de la compañía y amor de todos mis seres queridos.

Gracias a mis padres por ser mis pilares principales durante toda mi vida y carrera universitaria, gracias a ellos por confiar y creer en mí y en mis anhelos de superarme día a día, gracias a mi madre por estar siempre dispuesta a ayudarme hasta en lo imposible por verme triunfar en la vida y a mi padre por siempre estar pendiente de que todo este yendo bien.

Gracias a mi prima querida Grecia que me acompañó noches enteras con una tacita de café hasta que terminada mis tareas y poder irnos a descansar, gracias por ser una hermana más para mí y ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance sin esperar nada a cambio, solo la satisfacción de verme triunfar como profesional.

Agradezco a todos y cada uno de mis docentes desde primer ciclo a décimo, que me impartieron sus conocimientos y me ayudaron a formarme para ser una profesional y una mejor persona, de manera especial a mi tutor y amigo el Ing. Agr. José Quevedo Guerreño quien siempre nos apoyó en todo momento.

Gracias a la vida por permitirme conocer a personas que se convirtieron en mis mejores amigos y compañeros de clases y que ahora forman parte de mi gran familia.

Quito Orellana, Jimena A.

## RESUMEN

### BIOCARBÓN COMO ENMIENDA EDÁFICA PARA BAJAR LOS NIVELES DE ABSORCIÓN DE CADMIO EN CACAO (*Theobroma cacao* L.), CULTIVAR CCN-51

**Autora:**

Quito Orellana, Jimena

**Tutor:**

Quevedo Guerrero, José

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo que es sembrado mayormente en América Latina y El Caribe, por las condiciones climáticas óptimas que algunas zonas tropicales y subtropicales presentan para que se desarrolle con vigor. Las exportaciones de cacao junto con otras frutas tropicales y las flores son los principales productos que mantienen la economía del país y que contribuyen en la alimentación diaria de muchos otros países. Con las regulaciones de los niveles permitidos de metales pesados presente en los alimentos que realizó la Unión Europea (UE) en el 2014 y que entró en vigencia desde el 1 de enero del 2019; las exportaciones de cacao ecuatoriano se vieron afectadas, especialmente en nuestra provincia. Desde ese enfoque nació este proyecto de investigación cuya finalidad fue establecer alternativas agronómicas de manejo del cultivo con enmiendas edáficas para equilibrar la absorción de cadmio por las plantas de cacao. El cacao ecuatoriano es uno de nuestros productos insignia más conocido a nivel mundial por su aroma y sabor. Siendo el cacao clonal CCN-51 un híbrido resistente a enfermedades con una excelente producción, de bajo aroma y sabor si no se le da un beneficio y manejo postcosecha apropiado, por lo que ha generado una serie de críticas por parte de ciertos sectores industriales. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la enmienda edáfica de biocarbón en combinación con otras enmiendas edáficas sobre los niveles de Cadmio en el suelo

y frutos de cacao CCN-51, en una finca ubicada en Río Negro, Santa Rosa, de la provincia de El Oro cuyo suelo y frutos de cacao registraban niveles altos de este elemento. Se analizó la cantidad de cadmio en un total de 28 muestras compuestas, que se tomaron de 10 plantas a las que se le aplicaron los tratamientos y el testigo respectivamente. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS. La metodología que se utilizó fue una estadística descriptiva analizando cinco variables en cada uno de los seis tratamientos y el testigo (T0). Para evaluar los niveles de cadmio (Cd) presentes en el suelo del cultivo se realizó un análisis de suelo, las muestras se tomaron de los bloques de los seis tratamientos y el bloque testigo, se enviaron al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP) con sede en la provincia de Quevedo. El T3 en el análisis de cadmio es el más representativo porque existe menor absorción de cadmio en relación a los otros tratamientos. Mientras que para las diferentes variables analizadas como: NAM los mejores tratamientos fueron el T2 (B100F5G50G) y T3 (B50F10G10G). Para la variable PDM el mejor tratamiento fue T4 (F10G50G) seguido de los tratamientos T3 (B50F10G10G) y T6 (B50CAL50G50G) que muestran también resultados muy interesantes. En NMPLNS el mejor tratamiento fue el T1 (B100G50G) seguido por el T6 (B50CAL50G50G). En PCGAF el T3 (B50F10G10G) y T4 (F10G50G) fueron los más sobresalientes. La variable PCGAS señala que el T3 (B50F10G10G) y T4 (F10G50G) son los tratamientos más significativos. Todos los tratamientos que contienen Biocarbón son los que mejores medias y mayor significancia estadística presentan. Se recomienda el uso de Biocarbón en combinación con Fossil Shell Agro y gallinaza en dosis de 50 g, 10 g y 10 g respectivamente para bajar los niveles de absorción de cadmio y aumentar el rendimiento de la producción de cacao.

**Palabras claves:** cacao CCN - 51, Biocarbón, Fossil shell agro, absorción, cadmio.

## SUMMARY

### BIOCHAR AS A SOIL AMENDMENT TO LOWER THE LEVELS OF CADMIUM ABSORPTION IN CACAO (*Theobroma cacao* L.), CULTIVAR CCN-51

**Author:**

Quito Orellana, Jimena

**Tutor:**

Quevedo Guerrero, José

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a crop that is planted mainly in Latin America and the Caribbean, due to the optimal climatic conditions that some tropical and subtropical areas present for it to develop vigorously. Cocoa exports along with other tropical fruits and flowers are the main products that maintain the country's economy and contribute to the daily diet of many other countries. With the regulations of the permitted levels of heavy metals present in food made by the European Union (EU) in 2014 and which came into effect from January 1, 2019; Ecuadorian cocoa exports were affected, especially in our province. From that approach, this research project was born whose purpose was to establish agronomic alternatives for crop management with edaphic amendments to balance the absorption of cadmium by cocoa plants. Ecuadorian cocoa is one of our flagship products best known worldwide for its aroma and flavor. Being the CCN-51 clonal cocoa a disease resistant hybrid with excellent production, low aroma and flavor if it is not given a benefit and proper postharvest handling, it has therefore generated a series of criticisms from certain industrial sectors. The objective of this research was to determine the effect of the edaphic amendment of biochar in combination with other edaphic amendments on the levels of Cadmium in the soil and cocoa fruits CCN-51, in a farm located in Río Negro, Santa Rosa, de la province of El Oro whose soil and cocoa fruits registered high

levels of this element. The amount of cadmium was analyzed in a total of 28 composite samples, which were taken from 10 plants to which the treatments and the control were applied respectively. For the statistical analysis the SPSS program was used. The methodology that was used was a descriptive statistic analyzing five variables in each of the six treatments and the control (T0). To evaluate the levels of cadmium (Cd) present in the soil of the crop, a soil analysis was carried out, the samples were taken from the blocks of the six treatments and the control block, they were sent to the National Institute of Agricultural Research of Ecuador (INIAP) based in the province of Quevedo. The T3 in the cadmium analysis is the most representative because there is less cadmium absorption in relation to the other treatments. While for the different variables analyzed as: NAM, the best treatments were T2 (B100F5G50G) and T3 (B50F10G10G). For the PDM variable, the best treatment was T4 (F10G50G) followed by treatments T3 (B50F10G10G) and T6 (B50CAL50G50G) which also show very interesting results. In NMPLNS the best treatment was T1 (B100G50G) followed by T6 (B50CAL50G50G). In GAAP, the T3 (B50F10G10G) and T4 (F10G50G) were the most outstanding. The PCGAS variable indicates that T3 (B50F10G10G) and T4 (F10G50G) are the most significant treatments. All the treatments that contain Biocarbón are the ones with the best means and the highest statistical significance. The use of Biocarbón in combination with Fossil shel agro and chicken manure is recommended in doses of 50 g, 10 g and 10 g respectively to lower the levels of cadmium absorption and increase the yield of cocoa production.

**Keywords:** CCN - 51 cocoa, Biochar, Fossil shell agro, absorption, cadmium.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Origen e historia del cacao en Ecuador .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Clasificación taxonómica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Morfología.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Descripción botánica .....</b>	<b>16</b>
2.4.1. <i>Sistema radicular .....</i>	16
2.4.2. <i>Tallo y Ramas .....</i>	17
2.4.3. <i>Hojas .....</i>	18
2.4.4. <i>Flor.....</i>	19
2.4.5. <i>Fruto .....</i>	19
2.4.6. <i>Semilla.....</i>	19
<b>2.5. Importancia del cacao en Ecuador .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6. El cacao en el mundo y en Ecuador.....</b>	<b>21</b>
<b>2.7. Condiciones edafoclimáticos requeridas por el cultivo de cacao .....</b>	<b>24</b>
2.7.1. <i>Clima.....</i>	24
2.7.2. <i>Temperatura .....</i>	24
2.7.3. <i>Precipitación y requerimientos de agua .....</i>	24
2.7.4. <i>Altitud.....</i>	24
2.7.5. <i>Luminosidad .....</i>	25
2.7.6. <i>Suelos .....</i>	25
2.7.7. <i>Acidez del suelo (pH) .....</i>	25
2.7.8. <i>Vientos .....</i>	25
<b>2.8. Condiciones climáticas y edafoclimáticos en el cultivo de cacao en Ecuador ...</b>	<b>26</b>
<b>2.9. Cacao CCN-51.....</b>	<b>26</b>
2.9.1. <i>Principales características .....</i>	26
2.9.2. <i>Producción potencial.....</i>	28
2.9.3. <i>Importancia económica.....</i>	28
<b>2.10. Manejo agronómico del cultivo de cacao orgánico .....</b>	<b>29</b>
2.10.1. <i>Labores culturales .....</i>	29
2.10.2. <i>Aspectos del suelo .....</i>	29

2.10.3.	<i>Densidad poblacional y siembra</i> .....	29
2.10.4.	<i>Podas</i> .....	29
2.10.5.	<i>Manejo de arvenses</i> .....	30
2.10.6.	<i>Riego</i> .....	31
2.10.7.	<i>Requerimientos nutricionales del cacao</i> .....	31
2.10.8.	<i>Fertilización</i> .....	33
2.10.9.	<i>Cosecha</i> .....	35
2.10.10.	<i>Post-cosecha</i> .....	36
2.10.11.	<i>Importancia del análisis de suelo</i> .....	37
<b>2.11.</b>	<b>Biocarbón</b> .....	<b>38</b>
2.11.1.	<i>Historia y origen</i> .....	38
2.11.2.	<i>Definición de biocarbón</i> .....	39
2.11.3.	<i>El biocarbón como enmienda edáfica en cultivos</i> .....	40
<b>2.12.</b>	<b>Procesos de fabricación del Biocarbón</b> .....	<b>42</b>
2.12.1.	<i>Materias Primas</i> .....	42
2.12.2.	<i>Procesos para obtener Biocarbón</i> .....	42
2.12.3.	<i>Pirólisis lenta</i> .....	43
2.12.4.	<i>Pirólisis rápida</i> .....	43
2.12.5.	<i>Pirólisis ultrarrápida</i> .....	44
2.12.6.	<i>Gasificación</i> .....	44
2.12.7.	<i>Carbonización hidrotérmica</i> .....	44
<b>2.13.</b>	<b>Composición del Biocarbón</b> .....	<b>44</b>
<b>2.14.</b>	<b>Impactos ambientales del Biocarbón</b> .....	<b>45</b>
<b>2.15.</b>	<b>Efecto del Biocarbón sobre las propiedades y características del suelo</b> .....	<b>45</b>
<b>2.16.</b>	<b>Cadmio</b> .....	<b>46</b>
2.16.1.	<i>Cadmio en el suelo</i> .....	47
2.16.2.	<i>Cadmio en cacao</i> .....	48
2.16.3.	<i>Efecto negativo del cadmio en el ser humano</i> .....	49
2.16.4.	<i>El cadmio en las plantas</i> .....	49
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>74</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>83</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> La planta producida por semilla crece con un tronco recto y forma una horqueta o mesa. ....	188
<b>Figura 2:</b> La planta producida por yemas o estacas tiene forma de rama y no tiene horqueta.....	18
<b>Figura 3:</b> Exportaciones tatoes de cacao en los últimos cinco años. ....	21
<b>Figura 4:</b> Gráfico de pastel de las regiones de mayor producción de cacao .....	22
<b>Figura 5:</b> Rendimiento en toneladas en área cosechada y producción de cacao en grano. ....	233
<b>Figura 6:</b> Principales zonas de producción de cacao en Ecuador. ....	24
<b>Figura 7:</b> Ilustración del uso de biochar en el suelo y sus efectos.....	4141
<b>Figura 8:</b> Flujo del cadmio en el medio.....	488
<b>Figura 9:</b> Mapa de ubicación de la finca “Familia Ramón” .....	5151
<b>Figura 10:</b> Comparación de medias para la variable número de almendras por mazorca.....	633
<b>Figura 11:</b> Comparación de medias para la variable peso (g) de mazorcas.....	644
<b>Figura 12:</b> Comparación de medias para el número de mazorcas por planta. ...	644
<b>Figura 13:</b> Comparación de medias para el peso (g) de 100 almendras frescas. ....	655
<b>Figura 14:</b> Comparación de medias para el peso (g) de 100 almendras secas. ...	666
<b>Figura 15:</b> Dispersión de los tratamientos para variable número de almendra por mazorca.....	677
<b>Figura 16:</b> Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de mazorcas. ....	688
<b>Figura 17:</b> Dispersión de los tratamientos para variable número de mazorcas por planta. ....	699
<b>Figura 18:</b> Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de 100 almendras frescas.....	700
<b>Figura 19:</b> Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de 100 almendras frescas.....	7171

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Balanza gramera, Biocarbón, Gallinaza, Fossil shel Agro, Silicato de calcio y Cal agrícola .....	83
<b>Anexo 2:</b> Elaboración de biocarbón con materia prima de residuos cacao (mazorcas secas).....	83
<b>Anexo 3:</b> Peso y preparación de los tratamientos .....	844
<b>Anexo 4:</b> Ahoyado con el hércules y aplicación de tratamientos .....	844
<b>Anexo 5:</b> Aplicación de los tratamientos .....	855
<b>Anexo 6:</b> Toma de datos en campo .....	855
<b>Anexo 7:</b> Cosecha de las mazorcas de cacao del proceso de investigación .....	866
<b>Anexo 8:</b> Muestras de las 70 plantas que estaban sometidas a los tratamientos	866
<b>Anexo 9:</b> Peso de 100 almendras frescas.....	87
<b>Anexo 10:</b> Peso de 100 almendras secas.....	877
<b>Anexo 11:</b> Peso de mazorcas.....	888
<b>Anexo 12:</b> Toma de muestras de suelo al final de la investigación .....	888
<b>Anexo 13</b> Resultados de los análisis de Cd en cacao y suelo .....	899
<b>Anexo 14:</b> Resultados de los análisis de Cd en cacao y suelo .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> se muestran las principales características del cacao CCN-51. ....	26
<b>Tabla 2:</b> Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.....	333
<b>Tabla 3:</b> Tratamientos manejados .....	544
<b>Tabla 4:</b> Análisis de Cd en suelo. ....	577
<b>Tabla 5:</b> Análisis de Cd en cotiledón.....	588
<b>Tabla 6:</b> Análisis de Cd en mazorca.....	588
<b>Tabla 7:</b> Análisis de Cd en testa. ....	599
<b>Tabla 8:</b> ANOVA de los tratamientos estudiados. ....	60
<b>Tabla 9:</b> Pruebas de Normalidad de variables estudiadas.....	61

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao a pesar de que es originario de América, se cultiva principalmente en Asia, África y Sudamérica, los principales países productores a nivel mundial son: Costa de Marfil con una producción de 38%, Ghana con el 19% e Indonesia con el 13%. Mientras que en América Latina el mayor productor es Brasil con el 5%, Ecuador con el 4% y Venezuela con el 0.6% (López et al., 2016). El continente europeo y China, son los mayores productores de los derivados del cacao como los chocolates selectos y gourmets, manteca de cacao, licores, productos para la medicina y cosmetología (González et al., 2018), exigiendo calidad en la materia prima.

En la actualidad el Ecuador produce cacao en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha, Guayas, El Oro, Cañar, Azuay y Amazonía, contribuyendo notablemente a los ingresos económicos del país (Muñoz, 2018). El Ecuador es reconocido internacionalmente por producir un cacao de calidad y es apreciado por sus características organolépticas únicas, por lo que obtuvo la denominación Sabor arriba, los principales mercados internacionales para exportar el cacao ecuatoriano son: Estados Unidos (93.3 mil Ton), Holanda (34.1 mil Ton) y Malasia (19.1 mil Ton), luego están países como México, Canadá, Alemania y otros con menos del 12% (Morales et al., 2018).

El cacao es uno de los principales rubros económicos del Ecuador, desde finales del siglo XVIII beneficiando económicamente las Independencias y la revolución liberal. Desde 1895 - 1913 (20 años) el Ecuador se mantuvo en primer lugar, exportando cacao entre el 15 - 25% de la demanda internacional (GoRaymi, n.d.). En la actualidad el país cuenta con más de 600 mil ha, y en las dos últimas décadas se ha venido cultivando la variedad CCN-51 por su alto nivel de rendimiento en producción, tolerancia a enfermedades y precocidad. Los pequeños y grandes

productores ven en esta variedad la oportunidad de prosperar con la exportación de este cacao. (CAMAE, 2020)

En países del Latino América, en Ecuador existe la problemática de la absorción de cadmio (Cd) por parte de las plantas de cacao, lo cual afecta a la economía del país ya que la Unión Europea (UE) regularizo el contenido de cadmio en cacao y sus derivados, entrando en vigor el Reglamento UE de la Comisión N°. 488/2014 que modifica el Reglamento CE N°. 1881/2006 y fija que a partir del 1 de enero del 2019 entra en vigencia para la UE, donde se indica que los niveles máximos de Cd permitidos en diversos productos de cacao van desde 0.10 a 0.80  $\mu\text{g g}^{-1}$  (Comisi et al., 2014).

Esta problemática en el sector cacaotero ecuatoriano es de suma importancia ya que los pequeños y grandes agricultores se ven afectados por la presencia de Cd en sus cultivos, debido la disponibilidad de este elemento de manera natural y por intervención del hombre, que afecta a la producción de mediana y gran escala, afectando económicamente al país. El cadmio es uno de los elementos más nocivos y tóxicos por su alta solubilidad en el agua, lo que facilita para que las plantas lo absorban y entre a formar parte de la cadena alimenticia, provocando serios problemas al ser humano y a las plantas disminuyendo su productividad y crecimiento. (Dalcorso et al., 2010)

Para evitar la absorción de Cd por parte de las plantas se debe tener un meticuloso control en el manejo de los cultivos y su relación con los metales pesados, gracias a las investigaciones de otros autores hoy conocemos que existen otras maneras de mitigar la absorción de Cd por parte de las plantas, utilizando carbones vegetales o biocarbón, que están relacionados con la inmovilización de contaminantes, mitigación del cambio climático, secuestro de carbono, reducción de gases de efecto invernadero, que gracias a su porosidad puede fijar las

sustancias nocivas y mejorar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. (Balta, 2019)

Por todos los beneficios que brinda el biocarbón tanto al suelo como a las plantas y al ser humano, se realizó esta investigación sobre el uso de biocarbón para bajar los niveles de absorción de cadmio en cacao CCN - 51.

### **Objetivo General.**

- Determinar el efecto de la enmienda edáfica biocarbón sobre los niveles de Cadmio en el suelo y frutos de cacao CCN-51.

### **Objetivos específicos.**

- Evaluar la eficiencia del biocarbón como una enmienda edáfica para disminuir los niveles de absorción de cadmio en el suelo de una plantación cacaotera.
- Determinar el efecto de la aplicación de la enmienda edáfica biocarbón en los niveles de Cadmio en frutos de cacao CCN-51.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Origen e historia del cacao en Ecuador

El cacao (*Theobroma cacao*, L.) fue el nombre dado por Carl von Linne quien clasificó por primera vez el árbol del cual provienen las semillas de cacao (Verdesoto, 2009). Este cultivo es originario de la zona tropical que comprenda la región amazónica que incluye territorios de Ecuador, Perú, Bolivia, Colombia y Brasil, se piensa que este cultivo fue distribuido y cultivado a lo largo del territorio por los aborígenes del Imperio Inca. Otra posibilidad es que el cacao se haya desarrollado de manera espontánea en los lugares actuales de cultivo y existe una tercera ideología, que pudieron ser los monos y las ardillas, quienes transportaron las semillas por los diferentes territorios tropicales, debido a su agradable sabor que presenta el mucilago del cacao. (Guaman, 2007)

Nuestro país en la actualidad cultiva el cacao fino y de aroma y el CCN-51 o llamado de Ramilla. Desde los años 70, que se introdujo el CCN-51, quien supera la producción con relación a las demás variedades de cacao.

El cacao CCN-51 es un cacao híbrido, del Trinitario (originario de Trinidad, una isla del Océano Atlántico) por Forastero (nativo de la Amazonia ecuatoriana). También lo conocemos como cacao Don Homero en honor a su creador, Homero Castro Zurita, nacido en Ambato en 1922. Quien en el año de 1965 desarrollo el clon, al que denomino Colección Castro Naranjo (árbol - planta) 51 (CCN-51), que en la actualidad es uno de los cacaos de mayor producción en el país y a nivel mundial. Es un cacao que contiene grandes cantidades de manteca de cacao y muy resistente a plagas y enfermedades.

### 2.2. Clasificación taxonómica

Reino:	Plantae
Tipo:	Magnoliophyta

Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Malvales
Familia:	Sterculiaceae
Género:	<i>Theobroma</i>
Especie:	cacao L.

### 2.3.Morfología

El árbol de cacao es un árbol que crece silvestre, en los bosques de América Central, en la zona situada entre los 26 grados al norte y 26 grados al sur de Ecuador, los arboles cultivados son más pequeños los cuales facilitan su recolección y cultivo, no suele sobrepasar los dos o tres metros de altura. Se encuentran también como árbol cultivado en las zonas tropicales del oeste de África y Asia su tamaño mediano normalmente alcanza una altura entre 6 a 8 metros de altura, puede alcanzar hasta los 20 metros cuando crece libremente bajo sombra intensa. Su corona es densa redondeada y con un diámetro de 7 a 9 metros. Su tronco es recto y se puede desarrollar en formas muy variadas según las condiciones ambientales. Con excepción del cacao Nacional de Ecuador y del Amelonado de África, los que en ocasiones alcanzan alturas hasta unos 12 metros. Cultivado con alta luminosidad el tamaño es más reducido que con exceso de sombra. (Zambrano, 2013)

### 2.4.Descripción botánica

#### 2.4.1. *Sistema radicular*

Este sistema radicular está conformado por una raíz pivotante que penetra más de 2 m de profundidad en el suelo, y que permite que la planta absorba los nutrientes y elementos naturales del suelo, también consta de un sistema de raíces laterales bien distribuidas alrededor de 15 cm debajo de la superficie del suelo. (Montes, 2016)

#### 2.4.2. Tallo y Ramas

Cuando una planta de cacao es originaria de una semilla sexual el tallo principal o tronco, desarrolla verticalmente hasta una altura de 0.80 a 1.50 m de manera normal. Luego se bifurca y da origen a 3,4 o 5 ramas, distribuidas a la misma altura formando lo que se conoce como verticilo, molinillo o mesa (Figura 1). Las ramas que forman la copa del árbol son las primarias y secundarias, las primarias son las que primero salen del tronco principal de estas las secundarias y estas las terciarias.

Cuando existe una mala poda la planta disminuye su producción, la poda debe ser de formación y tener una buena distribución para tener buenos rendimientos de producción del fruto. Los chupones crecen de manera vertical y formación del tallo adicionales que también forman otra mesa o molinillo. Estos chupones a veces crecen por encima de la ramificación primaria del tallo principal, formando capas y produciendo el crecimiento indeseable de la planta. (García, 2011)

El crecimiento de una planta producida asexualmente a parte de una yema injertada, es diferente a la planta reproducida sexualmente. Al igual que si la planta es producida por estacas o ramillas enraizadas. En este caso el tallo principal es similar a una rama primaria, es decir, no crece verticalmente ni tampoco forma una mesa o molinillo (Figura 2), a este tipo de plantas se las llama también plantas clonadas o reproducidas vegetativamente.

La clonación es la manera más práctica y aconsejable de reproducción de cacao por su precocidad y buen rendimiento, por la facilidad de manejo y porque se puede cultivar más plantas por unidad de área.

El tipo de planta que presenta mejor crecimiento, su follaje es menos abundante, crece menos favoreciendo su manejo, control de plagas y enfermedades, es la planta que es reproducida vegetativamente o asexualmente. (García, 2011)



**Figura 1:** La planta producida por semilla crece con un tronco recto y forma una horqueta o mesa.

Fuente: (Infocafes, 2013)



**Figura 2:** La planta producida por yemas o estacas tiene forma de rama y no tiene horqueta

Fuente: (Infocafes, 2013)

### 2.4.3. Hojas

Las hojas de cacao son perennes, llegan a medir de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho están colocadas alternamente una fila frente a la otra, son de forma simples, elípticas u ovaladas, terminando en punta, los filos son lisos, son de color

verde oscuro en el haz y más claras en el envés de la hoja, cuelgan de un peciolo. (Montes, 2016)

#### 2.4.4. *Flor*

Su flor es hermafrodita, pentámera de ovario supero, lo que indica que la flor en su estructura floral consta de 5 sépalos, el androceo formado por 10 filamentos, 5 son fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminoides), el gineceo (pistilo) está formado por un ovario supero con 5 lóculos funcionando desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo. La polinización en cacao es entomófila para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en hora de la tarde. Al día siguiente en horas de la mañana la flor está completamente abierta. Las anteras cargadas de polen se abren y están viables, casi inmediatamente por un periodo aproximado de 48 horas esta es la única etapa disponible para la polinización, donde muchos insectos actúan como agentes principales de polinización especialmente una “mosquita” del género *Forcipomya* los demás agentes son de menor importancia. (Zambrano, 2013)

#### 2.4.5. *Fruto*

El fruto de cacao es una baya, es de diferentes tamaños, colores y formas dependiendo del tipo de variedad. Mide aproximadamente entre 30 cm de largo y 10 cm de ancho, en su interior contiene de 20 a 40 semillas que están rodeadas por una pulpa. Las mazorcas maduras no se abren ni caen del árbol por si solas, necesitan de un agente externo ya sea animales o el hombre, lo que beneficia para su diseminación y propagación. (Torres, 2012)

#### 2.4.6. *Semilla*

La forma de la semilla es de forma oblonga y varía mucho en tamaño, algunas en la parte más larga son redondas como son las semillas de cacao tipo Criollo y del

Nacional de Ecuador, otras son más aplanadas como las del cacao Forastero. El color también varía mucho desde blanco ceniciento o puro hasta un morado oscuro y en todas las tonalidades. (Montes, 2016)

## 2.5.Importancia del cacao en Ecuador

Las exportaciones en el 2015, de la pepa de oro en un 30% estuvieron destinadas a los Estados Unidos de Norte América con 91.3 mil toneladas métricas, seguidos por Holanda con un 14% equivalente a 34 mil TM, por encima de Malasia con el 9% igual a 21 mil TM, y seguido por México con el 8% con 19 mil TM. (Paspuel, 2018)

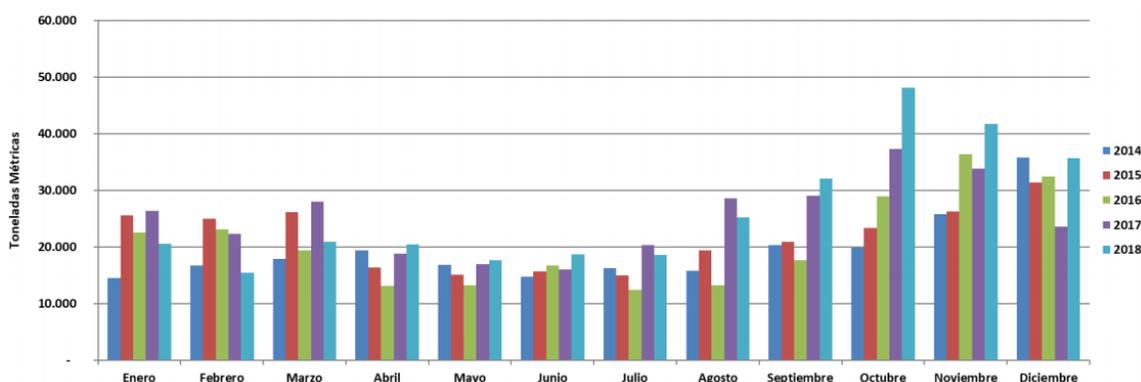
La producción de cacao y la exportación de sus granos han sido actividades económicas de significativa tradición e importancia para diversas zonas de la Costa ecuatoriana. Aunque en la actualidad su magnitud es menor a la que tuvo a inicios del siglo pasado, continúa representando un cultivo destacado en la producción agrícola del país, contando además con un producto altamente posicionado en el mercado internacional de cacao fino de aroma, como el reconocido cacao Nacional. (Paspuel, 2018)

Cifras de la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao (ANECACAO) dan cuenta que el volumen de cacao y sus productos derivados que se exportó en el ejercicio 2015 alcanzó las 236 mil TM, siendo el cacao en grano el rubro mayoritariamente más importante al representar 90.7 % del total exportado, seguido por elaborados de cacao con 8.9% y una participación mínima para el producto terminado como chocolate (apenas 0.4%). Las exportaciones de cacao en grano provinieron en su mayor parte del tipo fino de menor calidad (con una participación de 47%), que es la de menores requisitos de calidad entre los tipos de cacao de variedad fino de aroma, seguido por la variedad CCN-51 (con 30%) y por los tipos de cacao Nacional que cuentan con los requisitos más altos de calidad, que en conjunto representan el 23%. (Paspuel, 2018)

La estratificación del cultivo de cacao en Ecuador está representada principalmente por pequeños productores, aproximadamente el 70%, seguido por productores medianos con un 20% y grandes productores que representan aproximadamente un 10%. Según la ICCO, Ecuador se encuentra entre los principales productores de granos de cacao, ocupa el tercer lugar a nivel mundial, representa el 7% de la producción mundial total. El continente africano con el 73.3% lidera la producción mundial, seguido por el continente americano con una participación del 16.7% y Asia y Oceanía con el 19%.(Anecacao, 2019)

Las exportaciones de cacao en los últimos cinco años se han venido incrementando, pero su pico más elevado fue en octubre del año 2018 llegando a más de 45 mil TM, como se muestra en la (Figura 3).

## EXPORTACIONES TOTALES DE CACAO ÚLTIMOS 5 AÑOS



**Figura 3:** Exportaciones totales de cacao en los últimos cinco años.  
Fuente:(Anecacao, 2019)

### 2.6.El cacao en el mundo y en Ecuador

En el mundo, cacao se produce en las regiones de Centro, Sur América y el Caribe (Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, República

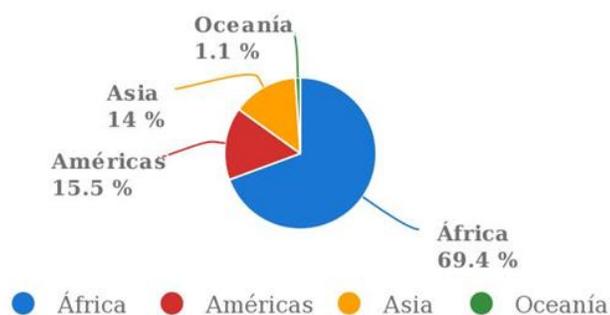
Dominicana, El Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Santa Lucía, Trinidad y Tobago y Venezuela), África (Benín, Camerún, Congo, Costa de Marfil, Guinea Ecuatorial, Gabón, Ghanas, Guineas, Liberia, Madagascar, Nigeria, Sao Tome y Príncipe, Sierra Leona, Tanzania, Togo, Uganda), Asia y Oceanía (Fiji, India, Indonesia, Malasia, Papua, Nueva Guinea, Filipinas, Samos, Islas Solomón Sri Lanka, Tailandia, Vanuatu, Vietnam). (Pineda, 2018)

Según los datos de la FAO (2013 - 2018) los mayores productores de cacao a nivel mundial son Costa de Marfil con 1,448,992 y Ghana con 835,466 de toneladas producidas durante estos últimos cinco años. (FAOSTAT, 2020)

En el siguiente (Figura 4) se muestra el porcentaje de producción en cada región a nivel global, siendo Oceanía con el mayor porcentaje de producción.

#### Proporción de producción de Cacao, en grano por región

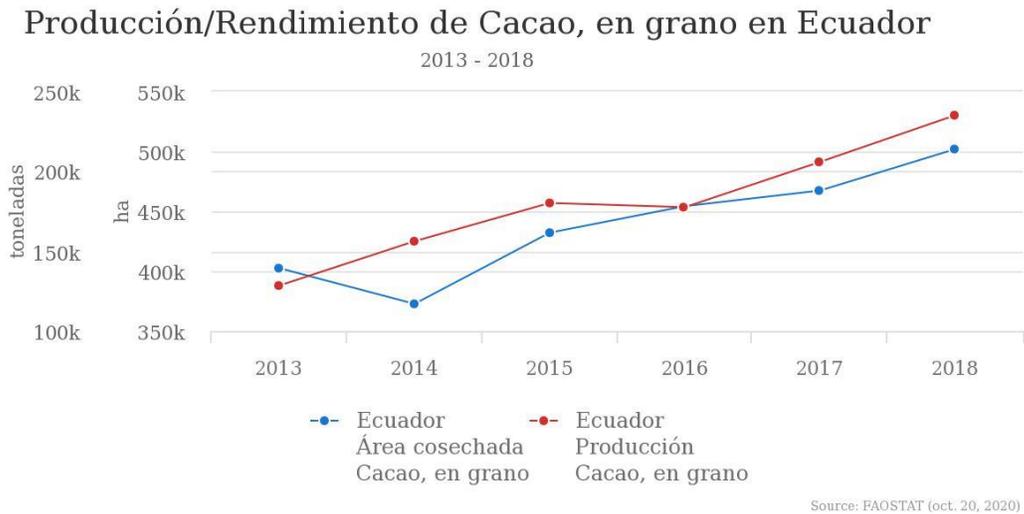
Promedio 2013 - 2018



Source: FAOSTAT (oct. 20, 2020)

**Figura 4:** Gráfico de pastel de las regiones de mayor producción de cacao  
Fuente: (FAOSTAT, 2020)

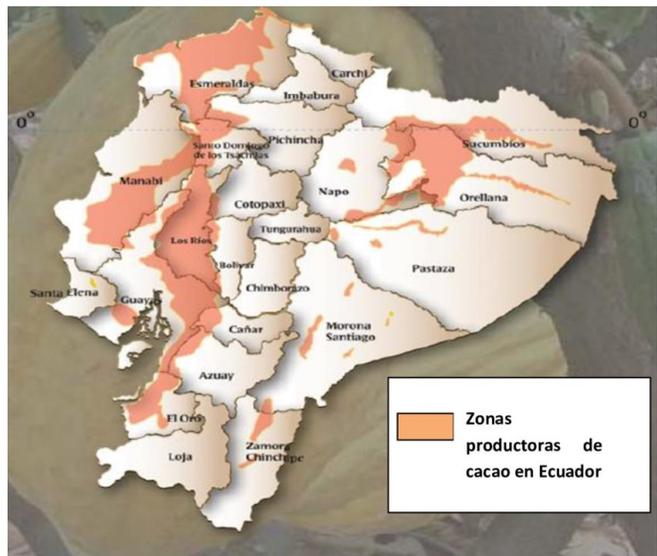
En Ecuador, existe un aumento considerable desde el año 2013 hasta el 2018, con relación al área cosechada y la producción de cacao (Figura 5)



**Figura 5:** Rendimiento en toneladas en área cosechada y producción de cacao en grano.

Fuente: (FAOSTAT, 2020)

Las principales zonas de producción de cacao a nivel nacional se encuentran en Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Orellana, Sucumbios, Napo y las zonas de menor producción son El Oro, Azuay, Cañar, Bolívar, Cotopaxi, Pichincha, Carchi, Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, como se indica en el mapa de la (figura 06).



**Figura 6:** Principales zonas de producción de cacao en Ecuador.

Fuente: (ResearchGate, 2011)

## **2.7. Condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo de cacao**

### *2.7.1. Clima*

El cacao es una especie umbrófila o esciófita, es decir que necesita de sombra para poder crecer, tener un buen desarrollo y una buena producción. Para que el cacao tenga un mejor desarrollo y por ende una buena productividad es necesario que los cultivos estén plantados en zonas bajas tropicales, y que tengan las mejores condiciones ambientales, los más importantes son la humedad relativa, la precipitación y la temperatura. (Ramos, 2019)

### *2.7.2. Temperatura*

Las temperaturas que se consideran recomendables para el cultivo de cacao son entre 22 y 30 °C en promedio, un óptimo es de 25 °C y una Humedad relativa entre 70 y 80%. (Ramos, 2019)

### *2.7.3. Precipitación y requerimientos de agua*

El cacao es una de las plantas que es poco tolerante a la falta de humedad en el suelo, por lo que necesita de una adecuada distribución de agua o lluvias durante todo el año, siendo lo mínimo de 100 mm/mes y una precipitación anual de 1.200 a 2.800 mm/año. Pero si llega a presentarse demasiadas lluvias, que vayan de 1.800 a 3.000 mm/año, es necesario que los suelos tengan un buen drenaje. (Varas, 2016)

### *2.7.4. Altitud*

Desde el nivel del mar hasta los 1.200 msnm siendo el óptimo de 500 a 600 metros. (Ramos, 2019)

#### 2.7.5. *Luminosidad*

Se estima que un grado lumínico menor del 50% del total de la luz limita la productividad, mientras que un grado mayor al 50% del total de luz recibida aumenta de sobremanera para la productividad de cacao (González, 2008)

#### 2.7.6. *Suelos*

Para que el cacao tenga un buen desarrollo radicular los suelos deben ser bien profundos, con capacidad para retener agua, porosidad suficiente para permitir la penetración de las raíces, la circulación del aire y la adecuada infiltración y percolación del agua.

Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo de cacao son los franco arenosos. Las arcillas tienen la habilidad de impregnar agua dentro de su estructura cristalina. Los suelos arenosos, a pesar de tener un buen espacio poroso para la penetración de raíces, necesitan de una buena retención de agua, razón por la que no son recomendados para la siembra de cacao en lugares carentes de agua o secos. (INTA, 2010)

#### 2.7.7. *Acidez del suelo (pH)*

El cacao es una de las plantas que tiene la capacidad de adaptarse a diferentes tipos de acidez. Se puede cultivar en suelos muy ácidos con pH inferiores a 5, hasta en suelos muy alcalinos con pH superiores a 8. Pero las mejores condiciones para su desarrollo son los suelos que tienen pH intermedio. (INTA, 2010)

#### 2.7.8. *Vientos*

Los fuertes vientos causan defoliaciones en el cultivo de cacao o la caída prematura de hojas, por el efecto secante en el microclima de la plantación, porque las hojas pierden su humedad. En lugares donde los vientos son fuertes y existe poca sombra, la defoliación es más severa. En estos lugares donde los vientos son

fuertes, es necesario la presencia de cortinas rompe vientos, para reducir los daños en el cultivo de cacao. (INTA, 2010)

## 2.8. Condiciones climáticas y edafoclimáticas en el cultivo de cacao en Ecuador

En el país las temperaturas óptimas para el cultivo de cacao van desde los 23 °C a los 25 °C, la precipitación anual es de 1250 a 3000 mm, humedad de 70 % - 85%, MSNM van desde 0 - 1400, se desarrolla mejor en suelos Franco limosa - Franco arcillosa y el pH del suelo va de 6 a 7, estos son los valores óptimos en Ecuador. (Sánchez et al., 2017)

## 2.9. Cacao CCN-51

El clon CCN-51 nace de los diferentes clones CCN que fueron obtenidos del híbrido entre los clones ICS-95 x IMC-67, habiendo procedido luego a realizar un segundo cruce entre dicho híbrido con un cacao encontrado por Castro en el Oriente ecuatoriano y denominado "Canelos". (Engracia, 2018)

El CCN-51 es uno de los cacaos ecuatorianos clonados que el 22 de junio del 2005 fue declarado, mediante acuerdo ministerial No 040, un bien de alta productividad. Dicho clon cultivado en Ecuador, es considerado cacao ordinario, corriente o común. (Engracia, 2018)

### 2.9.1. Principales características

En la **Tabla 1** se muestran las principales características del cacao CCN-51.

<b>Tabla 1.</b> Principales características del cacao CCN-51	
Características	
Peso de 100 pepas secas (g)	154
Porcentaje de graso (%)	52
Porcentaje de cáscara (%)	15

Porcentaje de proteína (%)	12
Índice de mazorcas	7 u. x lb. De cacao seco
Promedio de mazorcas sanas cosechadas al año por árbol adulto	20 a 30 o según la densidad de siembra
Producción promedia de cacao seco por árbol al año (lb)	3 a 4

(Engracia, 2018)

Además:

- Este clon de cacao llega a superar los 50 quintales por hectárea de producción en fincas tecnificadas.
- Es un clon que no necesariamente necesita una polinización cruzada para su fructificación ya que es autocompatible.
- Es un cultivar precoz, por que inicia su producción a los 24 meses después de haber sido plantados.
- Es tolerante a la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) enfermedad que afecta la producción en casi todas las variedades de cacao.
- Es sensible a Monilla (*Moniliophthora roreri*).
- Crece de forma erecta, es de baja altura, lo que es beneficioso para las labores agronómicas como la poda y la cosecha entre otras.
- El índice de semilla es de 1,45 g./semilla seca y fermentada comparado con el índice promedio de 1,2 g./semilla seca.
- El índice de semillas por mazorca es de 45, mucho más alto que el promedio normal de 36 semillas por mazorca.
- Es un clon cosmopolita que se adapta a casi todas las zonas tropicales desde el nivel del mar hasta los 1.000 m.s.n.m. (Engracia, 2018)

### 2.9.2. *Producción potencial*

De acuerdo a las investigaciones que realizó el Agr. Homero Castro, así como a los ensayos en las plantaciones del rancho “San Jacinto” donde se utilizaron plantas de CCN-51 y CCN10, se estima que la producción potencial de una huerta de cacao sembrado con este material fluctúa entre 70 qq. (3.400 Kg) y 100 qq. (4.500 Kg) por hectárea (Engracia, 2018).

En los países productores de cacao se viene trabajando para mejorar la calidad del grano, incrementar el rendimiento por hectárea y por razones económicas. Las diferentes investigaciones han dado mucha importancia al aspecto genético, densidad de siembra, poda, fertilización, controles fitosanitarios, entre otras. (Engracia, 2018)

### 2.9.3. *Importancia económica*

El Ecuador es reconocido a nivel mundial por su producción de cacao fino de aroma, llamado Cacao Arriba o variedad Nacional que es el cacao tradicional, y por el cacao CCN-51, que es un clon conocido también como “Don Homero”. La producción de este cultivo es muy importante para la economía del país, lo que representa el tercer rubro de exportación agrícola y constituye una fuente de ingresos para más de 150.000 pequeños productores de las tierras bajas en la Costa, Amazonía y Sierra. (Engracia, 2018)

La diferencia en la productividad del cacao tanto del CCN-51 como el cacao criollo (fino y de aroma de gran demanda internacional) es bastante amplia. El grano del cacao criollo o Nacional tiene una productividad de apenas 6 quintales por hectárea, debido a que sus plantaciones no reciben el mismo tipo de manejo que se ofrece para el cacao CCN-51. En muchas de las haciendas el cacao CCN-51 supera los 50 quintales por hectárea. Además, se lo puede cultivar de manera

precoz, pues su producción inicia a los 24 meses de haber sido sembrado en campo. (Engracia, 2018)

## **2.10. Manejo agronómico del cultivo de cacao orgánico**

### *2.10.1. Labores culturales*

Son aquellas labores o actividades que se realizan antes, durante y después del iniciar un cultivo, iniciando desde la siembra hasta la cosecha de los productos, con la finalidad de que las plantas se desarrollen de manera óptima y tener un buen rendimiento en la producción.

### *2.10.2. Aspectos del suelo*

Los suelos que son aptos para el cultivo de cacao son los suelos arcillo-arenosos, con una profundidad de 1m., que tengan una buena capacidad de drenaje, para que no existan encharcamientos de agua durante los inviernos y que el pH sea de 5.5 a 6.5, son excelentes para que el cultivo de cacao se desarrolle exitosamente. (Batista, 2009)

### *2.10.3. Densidad poblacional y siembra*

Para los clones de cacao destinados para sembrar es recomendable que sea de una distancia de 3x3 m., para una densidad de 1.111 plantas por hectárea, mientras que para los híbridos es de 3x4 m., para obtener una densidad de 833 plantas por hectárea. Estas distancias están permitidas siempre y cuando se tome en cuenta el marco de plantación. (Anecacao, 2015)

### *2.10.4. Podas*

La poda es la eliminación de ramas no deseadas, es una actividad muy importante porque influye positiva o negativamente en el rendimiento de la producción del cacao durante meses o años. Esta labor es la que diseña la forma y estructura del árbol para el resto de toda la vida útil de la planta. (Sánchez et al., 2017)

Una buena poda puede estimular la producción de flores, más vainas y frutos maduros. Las herramientas que se pueden utilizar para realizar la poda son: la sierra de arco, tijeras de podar cuchillos de chupón y podadoras de mango largo. En todos los países productores de cacao de América Latina y el Caribe es recomendable realizar las podas para obtener plantas sanas, de calidad productiva y mejor rendimiento por hectárea. (Sánchez et al., 2017)

Existen varios tipos de poda como son:

*Poda de formación*

*Poda de mantenimiento*

*Poda de sanitaria*

*Poda de rehabilitación*

*Poda del sombrío*

#### 2.10.5. Manejo de arvenses

El control de malezas o arvenses se realiza en los cultivos con la finalidad de evitar la competencia por nutrientes, agua, espacio, luz y porque éstas son hospederas de plagas y enfermedades, especialmente de áfidos que son transmisores de enfermedades. El daño que causan es principalmente durante el establecimiento y la fase juvenil del cultivo, en la cual la presencia de maleza depende de la condición original del terreno, el tipo de sombra temporal o permanente. (Sánchez et al., 2017)

#### 2.10.6. *Riego*

El agua necesaria para una plantación de cacao en edad productiva ( $\geq 5$  años) demanda de 4-6 mm de agua/día. Teniendo un valor medio de 5 mm/día, para que la planta se desarrolle y produzca sin restricciones de agua, un área sembrada de cacao debe recibir al menos 1.825 mm de agua al año, ya sea de la lluvia o riego. Pero no existen recomendaciones técnicas a seguir en relación a las necesidades hídricas en cacao, el Instituto de Investigaciones de Cultivos Tropicales en el Sureste de India. (Orozco y López, 2016)

Los investigadores no hacen proyecciones sobre la respuesta favorable o no en la productividad del cultivo. Esta información es aún desconocida. Es importante recalcar que la demanda, eficiencia en el uso, los beneficios y los efectos positivos del riego en la productividad difieren según los clones y la etapa de vida del cultivo. (Orozco y López, 2016)

#### 2.10.7. *Requerimientos nutricionales del cacao*

Los nutrientes requeridos en cultivos de cacao disminuyen rápidamente con el pasar del tiempo, porque no se emplea fertilizantes y las plantas envejecen con mayor facilidad. Los resultados de los planes de fertilización realizados brindan un rendimiento promedio de 255qq de cacao seco/Ha, lo que demuestra que existe un aumento hasta del 100% sobre los cultivos que no son fertilizados con normalidad. Cuando se realiza el análisis contable existe un balance positivo en cuanto a ingresos y egresos. (Herrera, 2018)

Para conocer que nutrientes le falta al cultivo, primero se debe realizar un análisis de suelo para determinar los requerimientos idóneos que se necesita el cultivo y poder hacer las aplicaciones necesarios de fertilizantes, que deber ser bien distribuidas todo el año en el suelo húmedo o a principio de la época lluviosa, se debe aplicar en el área donde cubre la poca del árbol, media luna, circular o en

hoyos pero se debe mezclar el fertilizante con el suelo y no dejarlo solo en la superficie. (Herrera, 2018)

Para evitar la pérdida de la eficacia de los fertilizantes por varios factores como el escurrimiento o evaporación, se aconseja aplicar de tres a cuatro veces al año durante las estaciones más adecuadas para aprovechar al máximo la fertilización y obtener el incremento deseado en la producción. (Héctor Herrera, 2018)

Para una efectiva fertilización en cacao y tener buen rendimiento en producción lo principal es hacer el análisis de suelo y de ahí tomar la mejor decisión en cuanto a cantidad y tipo de nutrimentos que necesita el cultivo en sí.

Las cantidades que son extraídas al producir un kg de cacao seco por ha/año en cada cosecha son:

- Nitrógeno 31 - 40
- Fósforo 5 - 6
- Potasio 54 - 86
- Calcio 5 - 8
- Magnesio 5 - 7

Se debe saber las cantidades extraídas para poder devolver al suelo al momento de la fertilización ya que existe una pérdida por solubilidad, lavado, absorción de microorganismos y la mayor parte de nutrientes que toma la planta no son aprovechados por las almendras por tal motivo las aplicaciones deben ser en mayores concentraciones de fertilizantes, en Ecuador existen reportes mayores a los 1000 kg de cacao seco/ha, aplicando una cantidad de N 150 kg/ha año, P 90 kg y K 200 kg. Para nuestro país es recomendable en plantaciones en producción aplicar 50 g de N, 50 g de  $P_2O_5$  y 50 g de  $K_2O$  por planta/año. (Herrera, 2018)

Pero de manera general no existe una dosis definitiva para la fertilización ya que depende de diferentes factores y condiciones tanto de la planta como el suelo, para cualquier recomendación de fertilización la base es hacer el análisis de suelo. (Herrera, 2018)

#### 2.10.8. Fertilización

Una excelente practica de apoyo para la fertilidad del suelo en los cultivos de cacao consiste en mejorar y mantener el contenido de materia orgánica en el suelo a través de la aplicación de estiércol. Se recomienda adoptar técnicas de cultivo que disminuyan al máximo la erosión del suelo; por ejemplo, manteniendo una cobertura vegetal en el suelo. Se deben aplicar fertilizantes orgánicos e inorgánicos pero que sean los apropiados bajo recomendaciones científicas que avalen su eficacia, para maximizar los beneficios y minimizar las perdidas. (Sánchez et al., 2017)

Se recomienda que para realizar una fertilización es necesario realizar análisis de suelos de las fincas para poder establecer un plan nutricional. A continuación, se presentan de manera referencial los requerimientos nutricionales aproximados para un cultivo de cacao (Tabla 2).

**Tabla 2:** Niveles de los diferentes elementos para clasificar el estado nutricional de un suelo para cacao.

Parámetro	Rango de Fertilidad Relativa		
	Alto	Medio	Bajo
pH (en agua 1:25)	7.6-6.5	6.4-5.1	<5.0
Materia orgánica (Combustión húmeda)	>6.1	6	<3.0
Nitrógeno total % (kjedahl)	>0.41	0.40-0.16	0.2

Relación C/N	9.5-10.4	15.5-10.5	>15.6 o <9.4
Fósforo P pp (Mehlich)	>16	15-16	<5
Fósforo P/ml (Olsen modificado)	>21	20-12	<12
Fósforo "disponible" P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm (Truog)	>120	119-21	<20
Potasio intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	>0.41	0.40-0.16	<0.15
Potasio extraíble. meq/100 ml (Olsen modificado)	>0.41	0.40-0.21	<0.20
Azufre S-SO <sub>4</sub> /ml (Fósforo monocálcico 500 ppm P)	>21	20-13	<12
Calcio Intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	>18.1	18.1-4.1	<4
Calcio extraíble meq/100 ml (Cloruro de potasio 1N)	>4.1	2-Apr	<2
Magnesio Intercambiable meq/100 g (Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	>4.5	4.4-0.9	<0.8
Magnesio extraíble meq/100 ml (Cloruro de potasio 1N)	>2.1	2.0-0.8	<0.8
Capacidad de intercambio de cationes meq/100 g ( Acetato de Amonio 1N, pH, 7.0)	>30.1	30-12.1	<12
Saturación de aluminio % (KCL, 1N)	0.1	11-25	<26
Aluminio meq/100 ml (KCL,1N)	<0.3	0.31-1.50	>1.51

(Sánchez et al., 2017)

A pesar de tener un esquema general de fertilización incluye una primera abonada de las plantas después del segundo mes del trasplante con alto contenido de fosforo y nitrógeno que deberá replicarse seis meses después. En el segundo año se emplea un esquema similar con dos fertilizaciones anuales, pero aumentando la dosis de fertilizante en un 20%. A partir del tercer año es recomendable fertilizar el cultivo de cacao después de la poda, aumentando la dosis en un 10% por año a incorporando una formula completa que contenga potasio y microelementos, hasta el quinto año, tiempo en el que se deberá realizar nuevamente un análisis del suelo para ajustar las dosis de fertilizantes.

Las fertilizaciones se deben hacer según las condiciones climáticas de cada zona de cultivo y que se realicen antes de los periodos intensos de lluvia. (Sánchez et al., 2017)

#### 2.10.9. Cosecha

Esta labor se debe realizar cuando se visualice que las mazorcas van llegando a su madurez y están en óptimas condiciones, los colores cambiantes son los indicadores precisos, las mazorcas de color verde se tornan amarillas, las de color rojo se tornan anaranjadas o se vuelven amarillo anaranjado fuerte o pálido. También emanan un aroma agradable o pueden presentar un sonido huevo al ser golpeadas con los dedos.

Para que sea una buena labor de cosecha se debe evitar en lo posible los cortes innecesarios a los cojinetes florales y a las ramas. Se debe separar siempre las mazorcas sanas de las enfermas. (Paredes, 2009)

#### 2.10.10. *Post-cosecha*

Las labores que constituyen la post-cosecha son:

- **Transporte:** tanto grandes como medianos y pequeños productos aún mantienen la forma tradicional de transportar el cacao fresco ya sea en sacos o carretas, tiradas por animales hacia la terraza o sala de fermentación para someterlos a dicho proceso. (Batista, 2009)
- **Fermentación:** es la acción más importante del proceso ya que en esta fase se logra obtener el aroma y el sabor del cacao. Reside principalmente en almacenar los granos frescos en cajones, baldes, bandejas o barriles de madera, su finalidad es propiciar el deceso del embrión, donde la pulpa forma parte de este proceso, la acción de los microorganismos, el aire y la alta temperatura; dando paso al proceso de transformación bioquímica interna y externa de las almendras para obtener granos con las condiciones necesarias y adecuadas de aroma y sabor. El proceso de fermentación se puede efectuar en cajones de madera individual, cajones tipo Escalera, entre otras formas. (Paredes, 2009)

El tiempo que dura el proceso de fermentación está estrechamente relacionado con el tipo genético del cacao cosechado, así los cacaos de tipo Nacional o sus híbridos su tiempo de fermentación es de cuatro a cinco días, los cacaos Trinitarios fermentan bien en cinco días y el cacao CCN-51 necesita de cinco a seis días de fermentación. (Paredes, 2009)

- **Secado:** luego de la fermentación los granos de cacao tienen una humedad del 55% y es necesario disminuir el porcentaje de humedad a un 7% al final. Esta labor es un proceso en el cual los granos de cacao son sometidos al sol o a calor artificial, este proceso de secado evita la presencia de olores desagradables, el deterioro en los granos y la presencia de hongos internos y externos, se debe hacer despacio, sin altas temperaturas, removiendo cada dos horas con rastrillos de madera para

no maltratar los granos. Se conoce que el cacao ha llegado al 7% de humedad porque al presionar con las manos, la almendra y la cascarilla se quiebran fácilmente y tiene un sonido como cascajo. (Paredes, 2009)

- **Almacenamiento:** antes de llevar las almendras a lugar de acopie, deben pasar por la zaranda para liberar cualquier impureza que este junto con las almendras. Las almendras serán colocadas en sacos adecuados para esta labor y luego serán almacenados en lugares frescos, ventilados y limpios. (Paredes, 2009)

#### 2.10.11. *Importancia del análisis de suelo*

El análisis de fertilidad del suelo es una práctica que se realiza a través de un análisis químico de un numero representativo de muestras de un terreno particular y los datos de apreciación procedentes de investigaciones anteriores en diferentes suelos, con la finalidad de deducir las dosis de fertilización adecuadas para un rendimiento esperado. Las soluciones extractoras manipuladas en los laboratorios representan la absorción de nutrientes por las plantas. Así el nivel de cada elemento conseguido en el análisis de suelo, es un índice de la cantidad referente de esa substancia aprovechable en el suelo para el desarrollo normal de las plantas. (Schweizer, 2011)

Un aspecto primordial es que la muestra tiene que ser representativa del área que se quiere analizar, debido a que la precisión ( semejanza del valor obtenido con el valor real) y la precisión (reproducibilidad) de las deducciones adquiridas del análisis, dependen en gran medida de la homogeneidad y representatividad de la muestra examinada. El investigador entrega al laboratorio para analizar una cantidad de 500 g a 1000 g de suelo que constituye 1 ha o más de terreno; en el laboratorio se utiliza alrededor de 0,5 g a 10 g de esa muestra para ejecutar los análisis solicitados; de ahí la importancia de adquirir una buena muestra de suelo para el diagnóstico de fertilidad. (Schweizer, 2011)

## **2.11. Biocarbón**

### *2.11.1. Historia y origen*

El biocarbón (biochar en inglés) es el producto de la desintegración térmica de materia orgánica en un ambiente restringido de oxígeno destinado para ser aplicado en suelos, a diferencia del carbón vegetal cotidiano que se utiliza con fines energéticos o combustible. Es calificado como una enmienda edáfica por sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, capaces de aumentar el rendimiento de cultivos y beneficiar la fertilidad del suelo. Además, puede ser elaborado en base a un sinfín de materias primas y diversas condiciones de carbonización, brindándole características fisicoquímicas especiales, como grupos poliaromáticos condensados que brindan estabilidad, alta porosidad, retención de iones en la superficie, entre otros beneficios. (Segura, 2018)

La práctica del uso del biocarbón en la agricultura se remonta en el periodo precolombino, conocido como Terras Pretas (Tierra negra) en Brasil. Estos suelos amazónicos se determinan por el alto contenido de carbono que contienen, hasta 150 g C kg<sup>-1</sup> suelo, en relación con los suelos adyacentes (20 - 30 g C kg<sup>-1</sup> de suelo). (Balta, 2019)

En la actualidad existen muchas investigaciones sobre el uso del biocarbón como enmienda edáfica, pero desde el siglo XIX y XX se ha venido utilizando el carbón en la agricultura como fertilizante y componente mejorador del suelo, debido a los hallazgos de partículas similares al carbón en suelos muy fértiles conocidos como Terra Preta do Indio, en la Amazonia. Estas evidencias establecen que nuestros antepasados modificaban la fertilidad del suelo con la quema de troncos, ramas, malezas y con el carbón y ceniza que usaban para coser sus alimentos (Segura, 2018). Por tal razón los suelos tienen un origen antropogénico y se pronostica que hallan en asentamientos indígenas. (C. Martínez, 2015)

En la Amazonia a muchos suelos de este origen se les considera estériles y los estudios de la Tierra Preta permitió concluir que ésta muestra excelentes propiedades benéficas tanto para el suelo como para los cultivos, como el alto nivel de materia orgánica y carbono, superior reserva de nutrientes, altos contenidos de humedad, mayor capacidad de intercambio catiónico y actividad microbiana (Lehmann & Joseph, 2015).

Luego de obtener todos estos resultados benéficos de los estudios, los investigadores deciden emplear una tecnología similar obteniendo carbón de la quema de desechos vegetales para aplicar al suelo y capturar de carácter relativamente permanente el exceso de carbono atmosférico y ayudar positivamente el efecto del cambio climático y optimizar los suelos y de esta manera el aumento en el rendimiento de los cultivos. (Segura, 2018)

#### 2.11.2. *Definición de biocarbón*

Existen diferentes definiciones, desde una perspectiva de la producción, el biocarbón es un compuesto elaborado por la combustión que sufre la materia orgánica en presencia limitada del oxígeno, llamada pirólisis a temperaturas que van desde los 350-500 °C, resultando un material abundante en carbono y cenizas, mejorando el suelo. (Huerta, 2020)

Desde el punto de vista químico, es un producto que puede ser elaborado en base a diferentes agregados orgánicos y bajo diferentes condiciones de carbonización. Resultando una estructura muy compleja por la creación de estructuras tipo grafito hasta anillos aromáticos de elevado peso molecular, que permanecen por muchos años en el suelo. (Huerta, 2020)

Desde la perspectiva de lo aplicativo, el biocarbón es una enmienda para el suelo, por la propiedades físicas, químicas y biológicas y la interacción con el suelo y la

planta. Aumenta el rendimiento de la producción, recicla los nutrientes del suelo y captura el carbono atmosférico en el suelo como si fuera carbono orgánico. (Guerra, 2015)

### 2.11.3. *El biocarbón como enmienda edáfica en cultivos*

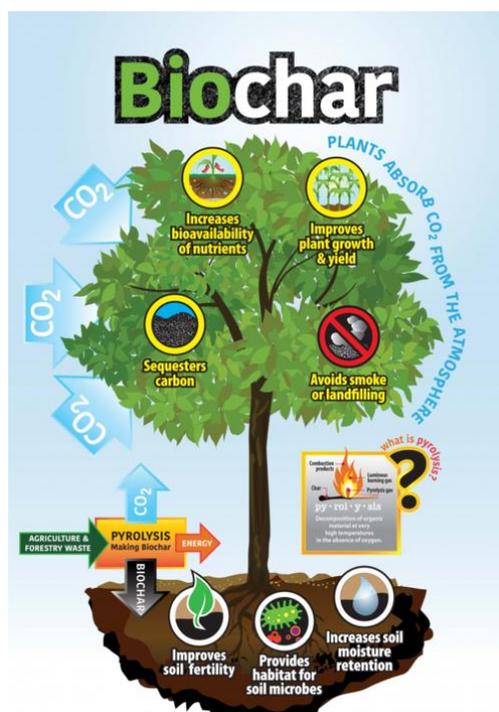
Por los resultados favorables de los estudios de algunos investigadores, el biocarbón es aplicado al suelo de los cultivos ya sea en combinación con fertilizantes orgánicos e inorgánicos, con la finalidad de aumentar el rendimiento de producción, hasta en un 200% en comparación con los tratamientos que no poseen fertilizantes y sin enmiendas de biocarbón. (C. Martínez, 2015)

En la actualidad y con las investigaciones sobre el uso y beneficios del biocarbón en el suelo la mayoría de los países industrializados y en vía de desarrollo están implementando campañas para la conservación y restauración de los suelos de cultivo y erosionados. Las diferentes investigaciones sobre los efectos del biocarbón, como enmienda orgánica, por los altos niveles de carbono que mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo, cumple un papel significativo en la gestión sostenible de los suelos. Los resultados de un sin número de investigaciones demuestra que las aplicaciones de biocarbón impiden la lixiviación de los nutrientes, incrementa el nivel de pH, los contenidos de calcio, magnesio, potasio y hace más disponible el fósforo. (Quiguiri y Robalino, 2019)

El biocarbón también ayuda a disminuir el uso de fertilizantes sintéticos y químicos en los cultivos, retiene las emisiones del CO<sub>2</sub>, influye en la estructura porosa del suelo, retiene agua y nutrientes y permite la aireación del suelo que ayudara para el desarrollo y crecimiento de las plantas, es decir que brinda al suelo características fisicoquímicas óptimas para el desarrollo de los cultivos. (Córdova, 2019)

Gracias a la interacción del biocarbón con los fertilizantes, los efectos en la biota del suelo y su importancia en la ecología del mismo son factores que no se tiene mayor conocimiento, ya que el estudio del aporte positivo del biocarbón en la actualidad es muy reciente. Por lo general las investigaciones están más encaminadas al estudio de la estructura física del biocarbón y las interacciones con los microorganismos, como las micorrizas (Figura 7).

Algunas de las investigaciones han encontrado resultados positivos como el aumento de la actividad microbiana en suelo con enmiendas de biocarbón, dicha capacidad se da debido a la estructura de microporos que brinda el biocarbón, que permite el alojamiento de colonias microbianas, pero aún no se tiene el conocimiento sobre el tipo de comunidad microbiana que puede ser favorecida y el tipo de actividad favorable que puedan realizar. (Abenza, 2012)



**Figura 7:** Ilustración del uso de biocarbón en el suelo y sus efectos.  
Fuente: (Deep Roots, n.d.)

## **2.12. Procesos de fabricación del Biocarbón**

### *2.12.1. Materias Primas*

Las materias primas utilizadas para la elaboración de biocarbón son de cualquier tipo de biomasa natural, que atraviesan por el proceso de pirólisis. Las propiedades deseadas al elaborar biocarbón serán según la selección de la biomasa, así como el método que se emplee para obtener el biocarbón. Teóricamente se puede utilizar desde residuos agrícolas, forestales, de granja, domésticos hasta industriales. Pero el material de partida determina alguna de sus características como el contenido de macro y micronutrientes, la estructura física, la capacidad de retención de agua, el aumento de microorganismo, etc., por lo que es importante saber los resultados que dará como enmienda de los suelos. (Huerta, 2020)

### *2.12.2. Procesos para obtener Biocarbón*

Se utiliza tecnología termoquímica para convertir la biomasa en fuentes de energía renovable, siguiendo un proceso adecuado, que son cuatro categorías generales: pirólisis lenta, pirólisis rápida, pirólisis ultrarápida y gasificación. (Escalante et al., 2016)

La pirólisis sucede cuando existe ausencia completa de oxígeno mientras tanto la gasificación ocurre cuando existe reducida o poca cantidad de oxígeno, pero (Brick, 2010) plantea un quinto proceso llamado carbonización hidrotérmica.

El proceso de pirólisis que transforma la biomasa y otros materiales orgánicos de baja densidad energética ( $\sim 1.5 \text{ GJ m}^{-3}$ ) a: líquidos de alta densidad energética, conocidos como bio-aceites ( $\sim 22 \text{ GJ m}^{-3}$  o  $\sim 17 \text{ MJ kg}^{-1}$ ), a sólidos de alta densidad energética conocidos como biocarbón ( $\sim 18 \text{ GJ kg}^{-1}$ ) y a un gas de relativamente baja densidad energética, conocido como gas de síntesis (syngas) ( $\sim 6 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). (Laird, Brown, Amonette y Lehmann 2009)

Principalmente la pirólisis comprende el calentamiento de materiales orgánicos a temperaturas mayores a los 400°C sin la presencia de oxígeno. Los materiales se degradan por acción de la temperatura, liberando una fase de vapor y generando una fase sólida residual lo que se conoce como biocarbón. Si los vapores de este proceso se enfrían se produce la condensación en compuestos líquidos polares y de alto peso molecular llamado bio-aceite, por lo tanto, los compuestos volátiles de bajo peso molecular se mantienen en la fase gaseosa (conocidos como, gas de síntesis o syngas). Las transformaciones fisicoquímicas del proceso de pirolisis son complejas y dependen básicamente de la naturaleza de la biomasa. (Escalante et al., 2016)

#### 2.12.3. *Pirólisis lenta*

Es proceso se consigue a través de temperaturas alrededor de los 500°C, con velocidades o tasas de calentamiento de 0.1-1 °C s<sup>-1</sup>, formando sólidos, líquidos y gases en cantidades equivalentes, suelen conservarse largos tiempos de residencia en donde los gases tienen la posibilidad de seguir transformándose para poder formar el carbón. (Peña, 2019)

#### 2.12.4. *Pirólisis rápida*

Este proceso es una variante de la pirólisis, pero realizando a una temperatura más elevada alrededor de los 1.000°C; este procedimiento de transformación termoquímica de la biomasa tiene la ventaja de certificar gasificación casi en su totalidad de la biomasa, mejorando el gas pobre, utilizándolo para el calentamiento del reactor y servir para sintetizar el metanol y sustituir el uso de la gasolina. (Peña, 2019)

#### 2.12.5. *Pirólisis ultrarrápida*

Este proceso es calificado como una versión mejorada de la pirólisis rápida, ya que las tasas de calentamiento son muy altas, ( $>1.000\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ ), con un tiempo de reacción de pocos segundos, permitiendo obtener una pequeña cantidad de material sólido (10%) y un 60% de un gas rico en hidrógeno y monóxido de carbono. (Peña, 2019)

#### 2.12.6. *Gasificación*

Es el proceso de la transformación de la biomasa en una mezcla de gases combustibles ( $\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) en ambientes controlados de oxígeno. Este es un proceso de combustión incompleta de la biomasa que es realizado a altas temperaturas ( $700\text{-}1,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), donde se obtiene el gas combustible formado básicamente por hidrógeno, metano y monóxido de carbono. (Peña, 2019)

#### 2.12.7. *Carbonización hidrotérmica*

Es una de las tecnologías para generar biocarbón, se basa en emplear calor a materiales que contienen gran cantidad de agua, como lodos residuales, restos de café, algas, entre otros, que inmersos en agua y aunque la temperatura es elevada, no se llega al punto de ebullición. Con este proceso se puede carbonizar materiales sólidos con lignina y celulosa, al igual que polisacáridos disueltos en agua. También se puede elaborar biocarbones a temperaturas bajas ( $\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y tiempo limitado. En este proceso no es necesario secar los materiales. No ha tenido gran desarrollo y existe pocas plantas piloto. (Escalante et al., 2016)

### **2.13. Composición del Biocarbón**

Definir la composición del biocarbón es una compleja ya que éste se elabora de una gran variedad de biomasa y procesos de carbonización. La propiedad que la define, es que la parte orgánica del biocarbón está compuesta por una alta concentración de C, los que forman los compuestos aromáticos que se caracterizan

por anillos de seis átomos de Carbono unidos entre ellos sin la presencia de Oxígeno o Hidrógeno, quienes son los átomos más abundantes en la materia orgánica viva. Cuando estos anillos aromáticos se organizan en forma de láminas apilados, forman el grafito. Por las altas temperaturas que se usan para obtener el biocarbón, el grafito no se forma en cantidades significativas. Por el contrario, el C se organiza de manera más irregular, conteniendo O y H, y en otros minerales como las cenizas. Por tal razón los componentes del biocarbón no se puede caracterizar o definir debido a la complejidad y variabilidad. (Oses, 2013)

#### **2.14. Impactos ambientales del Biocarbón**

El uso de biocarbón es una de las maneras de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos. En la actualidad existen investigaciones con buenos resultados en las propiedades que tiene el biocarbón como un elemento de remediación ambiental, por la capacidad para disminuir la lixiviación y la escorrentía superficial, el bloqueo de hidrocarburos aromáticos policíclicos, así como la absorción de las plantas a pesticidas y metales pesados. (Iglesias, 2018)

El biocarbón contiene un alto nivel de carbono y es muy resistente a la descomposición, por lo que trabaja como un almacén de carbono recalcitrante al ser incorporado al suelo para ayudar a mejorarlo. Este carbono está retenido y no se transforma en CO<sub>2</sub> por lo que se libera lentamente a la atmósfera y contribuye a disminuir la concentración de ese gas en el ambiente, por lo que es considerado un agente inhibidor del cambio climático. (Balta, 2019)

#### **2.15. Efecto del Biocarbón sobre las propiedades y características del suelo**

El uso del biocarbón como enmienda edáfica puede alterar las propiedades físicas tales como la textura, estructura, distribución del tamaño del poro, área superficial total y la densidad aparente, dando como resultado una mejor aireación,

capacidad de retención de humedad, crecimiento de las planta y facilidad de labores del suelo. Las partículas del biocarbón pueden cerrar total o parcialmente la porosidad del suelo alterando la estructura y disminuyendo la filtración de agua. (Escalante et al., 2016)

El biocarbón puede mejorar las funciones del suelo por que funciona como portador de microorganismos, incrementando la población de hongos micorrízicos y los niveles de infección por *Rhizobium* por lo que es incorporado a los trabajos de bioremediación de los suelos, al utilizar el biocarbón este aumenta la capacidad de retención de nutrimentos en el suelo con la perseverante disminución de la necesidad de aplicar elevadas dosis de fertilizantes químicos. (Escalante et al., 2016)

La aplicación del biocarbón en el suelo aumenta la permeabilidad al agua, reduce la esorrentía y costos de riego, mejora la aireación, hace más (Escalante et al., 2016) fácil y eficiente el laboreo, usado como encalado ha mejorado el balance del pH.

## **2.16. Cadmio**

El cadmio (Cd) es un elemento químico raro en la naturaleza que se lo encuentra asociado al zinc, es de una tonalidad blanca ligeramente azulada, con un peso atómico de 112 y una densidad relativa de 8 y de 8 isótopos estables, este elemento químico no se lo encuentra en estado libre y su único mineral de cadmio es la “greenockita” o sulfuro de cadmio, siendo este el único mineral de cadmio, casi todo lo que se produce es por la obtención como subproducto de fundición y refinado de minerales del zinc. Este elemento químico es utilizado en productos como pinturas, baterías, pilas, soldaduras, abonos, pigmentos, asbestos, farmacéutica, barras para reactores nucleares, porcelana, vidrio, fotografía, etc. (Londoño et al., 2016)

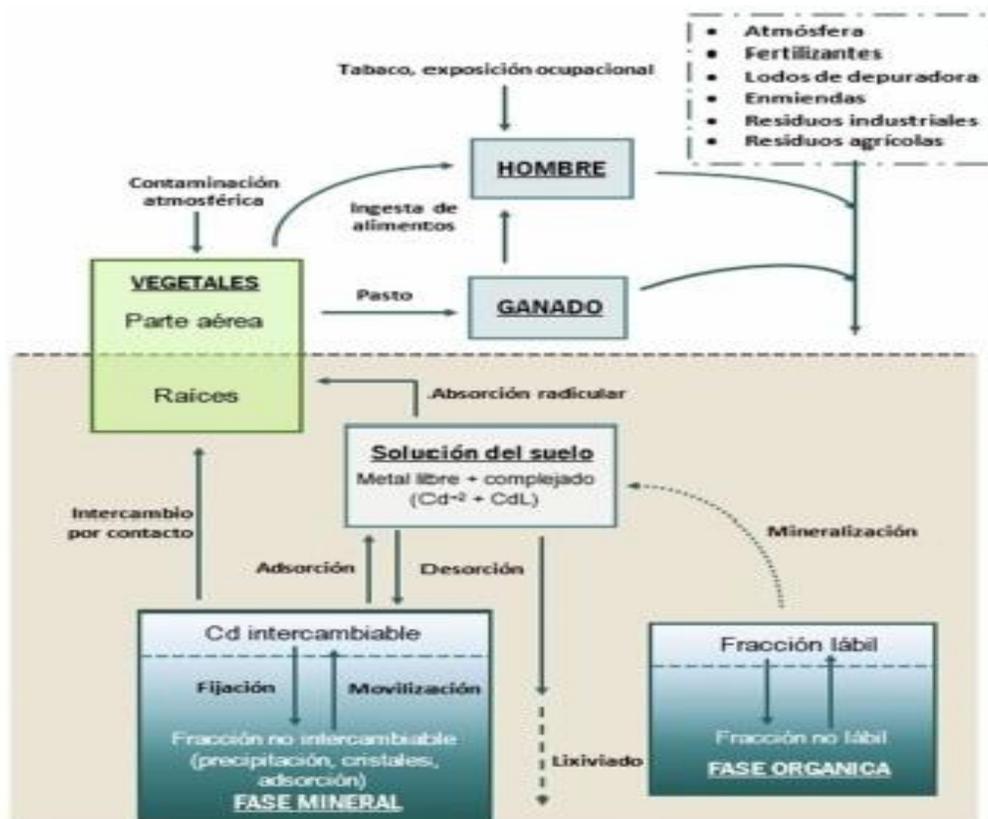
Según (Sánchez, 2016) el cadmio se comporta de manera similar al zinc, pero al mismo tiempo es más afín al azufre y móvil en los ambientes ácidos, este metal pesado se encuentra distribuido en la corteza terrestre de forma o fuente natural, la abundancia en rocas sedimentarias e ígneas no excede el 0,3 mg/kg y las concentraciones de este metal son parecidas a las que se encuentran en depósitos arcillosos y en rocas metamórficas, aunque en estos casos las concentraciones de cadmio son de forma considerablemente bajas, gran parte de la dispersión del cadmio en el medio ambiente tiene como causa el desgaste y erosión de rocas.

#### 2.16.1. Cadmio en el suelo

La presencia del cadmio en el suelo es desequilibrada ya que puede llegar no solo de la meteorización de la roca madre sino también por medio de la atmósfera o de manera directa como el abuso de fertilizantes biosólidos y fosfatados. Cuando se ha producido una solubilización del cadmio, esto puede dar lugar a una serie de reacciones en formas menos solubles, que logran y permiten su retención en el suelo, su biodisponibilidad y movilidad de este elemento en sistemas de agua y en suelos depende de su forma química. Los valores normales de cadmio en suelo son inferiores de  $1 \text{ mgKg}^{-1}$ , logrando mantenerse en un intervalo de 0,001 a 0,5 mg/kg, donde no es elevado su poder toxicológico, pero con un incremento del metal en el suelo logrando adquirir un elevado potencial tóxico. (Ortiz, 2017)

El cadmio es uno de los elementos más nocivos en el suelo, para la salud humana este elemento químico es absorbido por las planta y algunas como la planta de cacao lo almacenan en sus frutos, esta absorción de cadmio por parte de las plantas y la incorporación del cadmio en la dieta alimenticia humana es de gran importancia a que el metabolismo se ve alterado por la presencia y consumo de este elemento a través de los frutos y acumularse en los riñones permaneciendo en este sitio unos 17 a 30 años. Por otro lado, las concentraciones de cadmio que

son permitidas en los suelos agrícolas como máximo en países de la Unión Europea es de  $3 \text{ mg/kg}^{-1}$ , (Figura 04) tomando en cuenta que los suelos superiores a  $3 \text{ mg/kg}$  en cadmio son considerados como suelos fitotóxicos. (Pedraza, 2017)



**Figura 8:** Flujo del cadmio en el medio  
Fuente: (Sánchez, 2016)

### 2.16.2. Cadmio en cacao

El cadmio presente en los suelos agrícolas es absorbido por las plantas como  $Cd^{2+}$ , debido a que geoquímicamente este elemento es muy móvil en el suelo y en el agua, la planta de cacao es capaz de absorber este metal pesado desde el suelo y almacenarlo en los granos o almendras de las mazorcas. En los productos derivados del cacao como polvo de cacao, manteca de cacao, chocolates, entre otros, se han detectado altos contenidos de cadmio superiores a los permitidos, esto genera una alerta que debe ser monitoreada en todos los procesos relacionados a la cadena del cacao. La presencia de este metal pesado debe estar

asociada a la localización del cultivo de cacao, debido al material parental del suelo en relación al uso de los fertilizantes fosforados (Rodríguez, 2017)

Los contaminantes metálicos del cacao son aquellos metales pesados como el cadmio, presentes en el cacao añadidos de forma no intencional como el resultado de la producción, elaboración, fabricación, preparación, etc. Estos metales pesados se los pueden encontrar de manera natural o por la actividad antropogénica, ser absorbidos por medio de las raíces de las plantas y llevadas a los granos o almendras concentrándose para posteriormente ser tomados por el ser humano siendo un riesgo para la salud.

Durante el proceso del beneficio del cacao existen lo que se conoce como variaciones en sus características fisicoquímicas del grano en función al fermentador y secado de estos que alteran las concentraciones de los metales pesados en los granos o almendras así también la calidad e inocuidad del producto final como el chocolate, etc. (Castebianco, 2018)

#### *2.16.3. Efecto negativo del cadmio en el ser humano*

El efecto negativo presente en el ser humano depende del tipo de exposición ya sea por el aire contaminado (humo de cigarrillos, incineradoras, etc.), consumo de agua y alimentos contaminados. Ausencia de Fe, Cu, Zn y Ca en el ser humano facilitan la absorción de Cd, por lo que afecta a los órganos más sensibles como: el riñón, hígado, pulmones, huesos, y placenta. El tabaco, mariscos tienen altas concentraciones de Cd, provocando cáncer, estrés oxidativo, alteración de los genes, etc. (Martínez et al., 2012)

#### *2.16.4. El cadmio en las plantas*

Las sustancias ácidas producidas en la rizósfera facilitan a las plantas la absorción de cadmio. Los exudados radiculares, en especial los ácidos carboxílicos, son los que incrementan dicha absorción. Los factores que se ven asociados para que la

planta absorba el cadmio son; la especie, edad y desarrollo radicular. La presencia de este metal puede estar presente en mayor cantidad en los tejidos vegetales que en el suelo. La concentración de Cd no es igual en las distintas partes de la planta, la secuencia es de la siguiente manera; raíces > tallos > hojas > frutas > semillas, pero las proporciones pueden variar de acuerdo a la especie y a las etapas fenológicas de cada cultivo. (Herrera, 2011)

Las plantas presentan signo de toxicidad cuando la cantidad de cadmio en el suelo es superior a los 8 *mg/kg*, la concentración biodisponible de Cd en el suelo es >0.001 *mg/kg* mientras que en la planta es de 3 - 30 *mg/kg*, alguno de estos límites han sido superados en cacao, pero no se han reportado daños fisiológicos. Las plantas más jóvenes absorben más Cd que las plantas más antiguas debido a que estas tienen las raíces más profundas y absorben mayor cantidad de Ca desde el subsuelo que contiene menos Cd, las plantaciones más antiguas tienen mayor Ca en la capa superior del suelo lo que impiden la absorción del cadmio. (Meter, Atkinson y Laliberte, 2019)

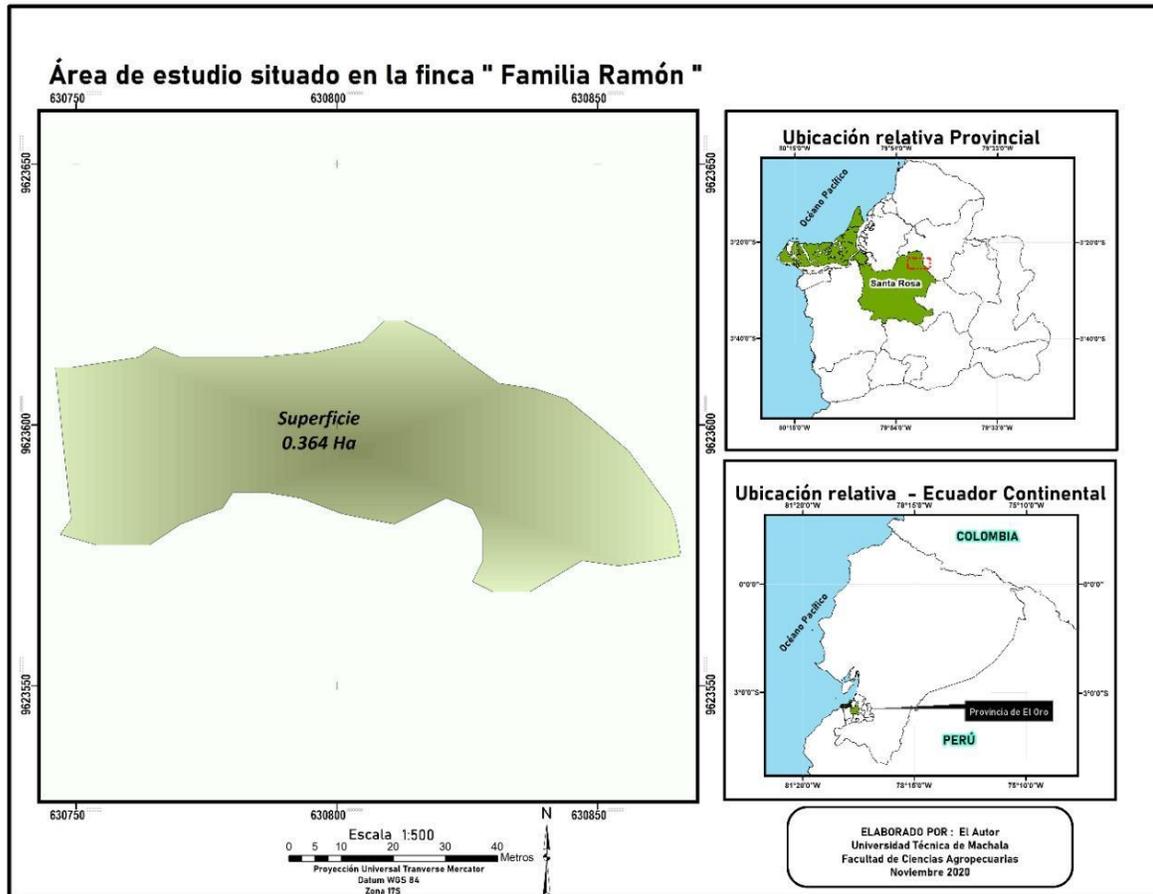
La absorción del Cd está relacionada directamente con la acidez, a mayor contenido de Cd mayor absorción por la planta, a mayor temperatura mayor velocidad de reacciones y mayor solubilidad, a mayor unión de minerales será menor la absorción del Cd, a mayor humus mayor CIC por lo que existirá menor cantidad de Cd en la solución, lo que significa que la planta absorbe menos cantidad de este metal pesado. (Bradly, 2019)

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1. Localización del trabajo

La investigación se realizó en la finca "Familia Ramón", perteneciente al cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro. (Figura 9)



**Figura 9:** Mapa de ubicación de la finca "Familia Ramón"

Fuente: Elaborado por el autor.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente, el área de investigación se encuentra entre las siguientes coordenadas:

Coordenadas: UTM (Universal Transverse Mercator)

Datum: WGS 84 (World Geodetic System 1984)

Zona: 17 S

Latitud: 3° 24' 11.8260"

Longitud: 79° 49' 21.1925"

Altitud: 49 msnm

### 3.1.3. *Materiales utilizados en campo*

Barreno

Hércules

Podón

Machete

Balanza gramera

Tijeras de podar

Fundas

Biocarbón

Gallinaza

Fossil Shell Agro

Silicato de Ca

GPS

Muestras de suelo

Análisis de suelo

Análisis de mazorcas, cotiledón y testa

### 3.1.4. *Material genético*

Para este trabajo de investigación se utilizó 70 plantas de cacao, que se encuentran en una finca en Río Negro, de la provincia de El Oro.

### 3.1.5. *Productos utilizados para la fertilización en los diferentes tratamientos*

Biocarbón

Gallinaza

Fossil shel Agro

Silicato de Ca

Cal agrícola

### 3.1.6. Factores evaluados

Dentro de la investigación se evaluaron factores después de ocho meses de iniciado el estudio, las variables analizadas fueron: número de almendra por mazorca, peso (g) de mazorcas, número de mazorca por planta, peso (g) de 100 almendras frescas, peso (g) de 100 almendras secas, análisis de cadmio en el suelo después de aplicar los tratamientos y contenidos de cadmio en cotiledón, mazorca y testa, en 28 muestras compuestas de cada variable.

### 3.1.7. Formulación y aplicación de los tratamientos

La superficie experimental de estudio es de 3.640 m<sup>2</sup> (0.364 ha), donde se establecieron seis tratamientos y un testigo (Tabla 3), que cada uno asume 10 plantas y se desarrolló a campo abierto en el sector de Río Negro desde el 26 de octubre del 2019, luego se aplicó una segunda dosis el 23 de noviembre, una tercera aplicación se hizo el 21 de diciembre del 2019, la cuarta aplicación fue el 25 de enero del 2020, la quinta aplicación fue el 29 de febrero y la última fue el 28 de marzo, hasta que se empezó a tomar datos desde el 27 de junio del 2020.

La investigación se realizó en 70 plantas de cacao, de la cuales 10 plantas fueron el testigo (sin tratamiento) a las que llamamos tratamiento cero o testigo (T0).

Durante la etapa de aplicación y estudio, se hizo el ahoyado con el hércules para facilitar la incorporación de los tratamientos en el suelo, se separó la hojarasca del lugar para aplicar las dosis y posteriormente se tapó los hoyos para que las dosis no sean lavadas por el agua. (ver anexos 4 y 5). Luego se aplicó los tratamientos alrededor de las plantas seleccionadas aleatoriamente, durante la fase de floración, en un anillo de 50 cm, para no causar daños a la planta (ver anexos 4 y 5).

Los tratamientos que se formularon fueron los siguientes:

T1: Biocarbón 100g + gallinaza 50g (B100G50G)

T2: Biocarbón 100g + Fossil Shell Agro 5g + gallinaza 50g (B100F5G50G)

T3: Biocarbón 50g + Fossil Shell Agro 10g + gallinaza 10g (B50F10G10G)

T4: Fossil Shell Agro 10g + gallinaza 50g (F10G50G)

T5: Silicato de calcio 50g + gallinaza 50g (SCA50G50G)

T6: Biocarbón 50g + Cal agrícola 50g + gallinaza 50g (B50CAL50G50G)

T7: TESTIGO

En suelos arenosos y en climas húmedos, los fertilizantes orgánicos o sintéticos deben ser suministrados en seis o más dosis fraccionadas y no es una sola aplicación.

**Tabla 3:** Tratamientos manejados

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T0
Biocar bón 100g + gallina za 50g	Biocar bón 100g + Fossil Shell Agro 5g + gallina za 50g	Biocar bón 50g + Fossil Shell Agro 10g + gallina za 50g	Fossil Shell Agro 10g + gallina za 50g	Silic ato de calc io 50g + gall inaz a 50g	Biocarb ón 50g + Cal agrícola a 50g + gallina za 50g	Testi go absol uto

## **3.2. Metodología**

### *3.2.1. Métodos*

Se elaboró el biocarbón a base de mazorcas enfermas de cacao recolectadas en la finca (ver anexo 2), con la finalidad de utilizarlo como enmienda edáfica para controlar los niveles de absorción de cadmio. Una vez obtenidas las mazorcas carbonizadas las trituramos para obtener el biocarbón en polvo. Se pesó y se prepararon las dosis para cada tratamiento (ver anexo 3).

Los análisis de cadmio para conocer los niveles de este elemento presente en el suelo se realizaron después de aplicar los tratamientos, para obtener los datos comparativos del cadmio presente en el suelo y las partes representativas de la planta (ver anexo 13).

Las partes de las plantas que se tomaron para realizar los análisis después de aplicar el biocarbón en sus diferentes concentraciones fueron en cotiledón, mazorca, testa y suelo (ver anexos 8, 9 10, 11 y 12).

### *3.2.2. Cultivo ya establecido*

Para realizar esta investigación se etiqueto a 70 plantas, con una edad de siembra de 8 años y sembradas a 3 metros entre plantas y 3 metros entres hileras. Es una plantación orgánica, con riego por gravedad.

### *3.2.3. Labores culturales*

- ***Control de arvenses***

Se realiza de manera manual con machete o rozadora frecuentemente.

- ***Riegos***

Se tiene un calendario de riego de acuerdo con el clima y la temporada. El riego es por gravedad.

- ***Fertilización***

En el lugar de la investigación no se aplicó ningún fertilizante durante los siguientes nueve meses (octubre 2019 a junio 2020) que duro el estudio en campo de los tratamientos, esto se hizo con la finalidad de no intervenir con los resultados finales.

- ***Podas***

Durante el proceso de investigación se realizaron dos podas de mantenimiento en el área experimental.

- ***Cosecha***

La cosecha se realizó a los 3 meses (junio) después de la última aplicación de los tratamientos. Basándonos en un tamaño estándar de mazorcas, se utilizó tijeras de podar para la cosecha sin dañar los cojinetes florales y se almaceno en sacos de yute hasta llevar al lugar donde se procedió a tomar los datos como el número de almendra por mazorca, peso (g) de mazorcas, número de mazorca por planta, peso (g) de 100 almendras frescas, peso (g) de 100 almendras secas, análisis de cadmio en el suelo después de aplicar los tratamientos y contenidos de cadmio en cotiledón, mazorca y testa.

- ***Post - cosecha***

Luego de cosechar las mazorcas se procedió a sacar las almendras y llevarlas al proceso de fermentación por 2 días en sacos de yute y se lo volteo, al 5 día nuevamente se lo volteo. El proceso de fermentación esta terminado cuando ya no existe un olor fuerte como a vinagre, se hace la prueba de corte para confirmar la muerte del cotiledón y se escoge las almendras que no estén con defectos.

Se pesaron 100 g de cacao en fresco y se refrigero (ver anexo 9) y también se pesó 100 g de almendras secas y tostadas (ver anexo 10), para su posterior envió al laboratorio INIAP para sus análisis de cadmio.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de cadmio en el suelo

En el análisis de suelo que se realizó en el INIAP, Tabla 4, los resultados obtenidos fueron los siguientes, el T3 (B50F10G10G), presentó (0,46) con relación a los niveles de cadmio en el suelo según (Ortiz, 2017) que los intervalos permitidos van de 0,001 a 0,5 mg/kg, donde no es elevado su poder toxicológico, pero con un incremento del metal en el suelo logrando adquirir un elevado potencial tóxico.

**Tabla 4:** Análisis de Cd en suelo.

Contenidos de Cd/mg L <sup>-1</sup> en suelo	
T1	0,5
T2	0,58
T3	0,46
T4	0,52
T5	0,47
T6	0,68
T7	0,5

### 4.2. Análisis de cadmio en cotiledón.

Se puede apreciar en la Tabla 5 que al realizar los análisis de cadmio en cotiledón en los 7 tratamientos el que menor contenido de Cd presentó es el T6 (B50CAL50G50G) con (0,73) por debajo de los niveles de Cd permitidos por la UE que van desde (0,10 - 0,80). Según (Comisi et al., 2014), indica que los niveles máximos de Cd permitidos en productos derivados de cacao van desde 0.10 a 0.80  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

**Tabla 5:** Análisis de Cd en cotiledón.

<b>Contenidos de Cd/mg L<sup>-1</sup> en cotiledón</b>	
<b>T1</b>	0,78
<b>T2</b>	0,8
<b>T3</b>	0,8
<b>T4</b>	0,88
<b>T5</b>	0,78
<b>T6</b>	0,73
<b>T7</b>	0,78

#### **4.3. Análisis de cadmio en mazorca.**

De acuerdo a la Tabla 6 que al realizar los análisis de cadmio en mazorca en los 7 tratamientos el que menor Cd presentó es el T3 (B50F10G10G) con (0,93).

**Tabla 6:** Análisis de Cd en mazorca.

<b>Contenidos de Cd/mg L<sup>-1</sup> en mazorca</b>	
<b>T1</b>	1,18
<b>T2</b>	1
<b>T3</b>	0,93
<b>T4</b>	1,01
<b>T5</b>	1
<b>T6</b>	1
<b>T7</b>	1

#### 4.4. Análisis de cadmio en testa.

Podemos observar en la Tabla 7 en el análisis de cadmio en testa que el T3 (B50F10G10G), presentó el (0,80) esto nos demuestra que al utilizar biocarbón como enmienda edáfica en dosis pequeñas por un tiempo prologado ayuda a que la planta absorba menos cadmio.

**Tabla 7:** Análisis de Cd en testa.

Contenidos de Cd/mg L <sup>-1</sup> en testa	
T1	0,85
T2	0,88
T3	0,8
T4	0,98
T5	0,8
T6	0,88
T7	0,83

#### 4.5. Resultados obtenidos en las variables de estudio.

Para comprobar cuáles de los 6 tratamientos obtuvo el efecto más idóneo al momento de evaluar las variables número de almendras por mazorca (NAM), peso (g) de mazorcas (PDM), número de mazorca por planta (NMPLNS), peso (g) de 100 almendras frescas (PCGAF) y peso (g) de 100 almendras secas (PCGAS), efectuamos ANOVA de un factor, cuyos resultados en la Tabla 8 nos muestran que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en función de las variables medidas, pero el 0,057 de significancia nos indica que debemos analizar con más profundidad los resultados. Por lo que se realizó pruebas de normalidad de Shapiro Wilk y comparación de medias de los

diferentes tratamientos. Este contraste se llevó a cabo para comprobar si se verifica la hipótesis de normalidad necesaria para corroborar que los resultados de los análisis efectuados por el ANOVA son confiables.

**Tabla 8:** ANOVA de los tratamientos estudiados.

ANOVA					
PCGAF	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	31,570,843	6	5,261,807	2,175	0,057
Dentro de grupos	152,376,800	63	2,418,679		
Total	183947,63	69			

Se puede apreciar en la Tabla 9 que al realizar las pruebas de normalidad de Shapiro -Wilk algunos de los 7 tratamientos si presentan diferencias estadísticas significativas en función de las cinco variables de estudio llevadas a cabo en la investigación.

El tratamiento T2 (B100F5G50G) presenta una significancia de (0.050) y el T6 (B50CAL50G50G) presenta una significancia de (0.026) en la variable NAM.

Mientras que en la variable PCGAF el T5 (SCA50G50G) presenta una significancia de (0.000282) y Testigo presenta una significancia de (0.042) analizado por Shapiro -Wilk, lo que nos demuestra que al usar Biocarbón como enmienda edáfica en el suelo se obtienen buenos resultados.

**Tabla 9:** Pruebas de Normalidad de variables estudiadas.

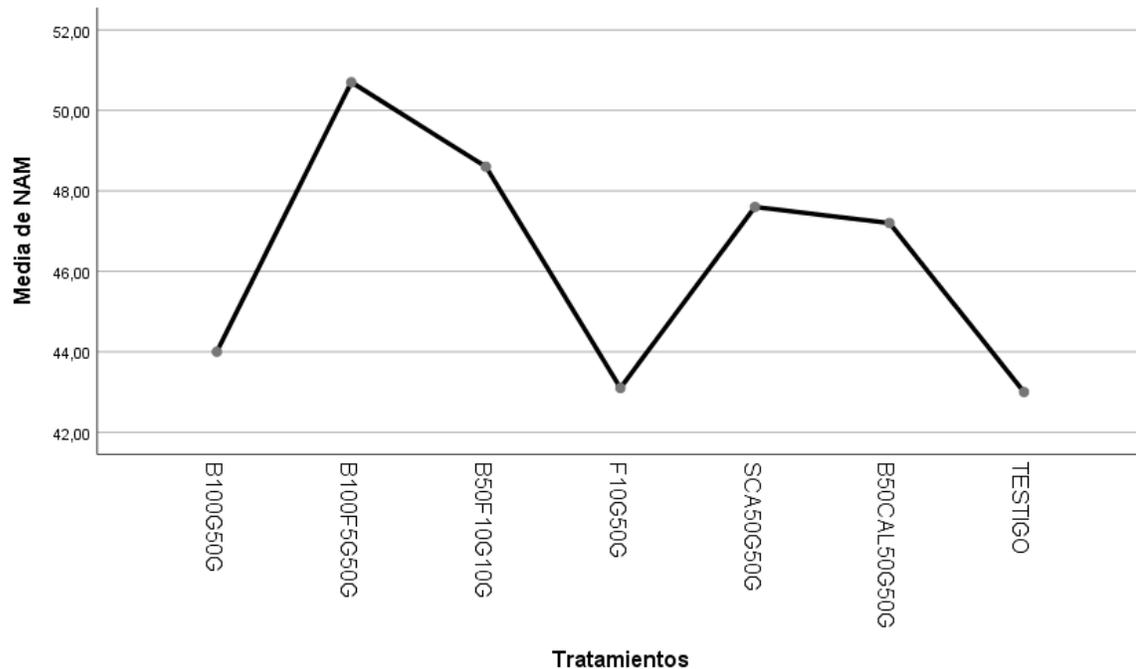
Pruebas de normalidad				
Tratamientos		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
NAM	B100G50G	0.93874826	10	0.53917093
	B100F5G50G	0.84489471	10	0.05049306
	B50F10G10G	0.85616063	10	0.06874042
	F10G50G	0.89496378	10	0.19273043
	SCA50G50G	0.92911574	10	0.43925108
	B50CAL50G50G	0.82133747	10	0.02630334
	TESTIGO	0.96523076	10	0.84345285
PDM	B100G50G	0.95957742	10	0.78104311
	B100F5G50G	0.93656852	10	0.51549941
	B50F10G10G	0.95758846	10	0.75806418
	F10G50G	0.94951505	10	0.66276607
	SCA50G50G	0.92919346	10	0.44000605
	B50CAL50G50G	0.92080428	10	0.36371183
	TESTIGO	0.90317031	10	0.23728996
NMPLNS	B100G50G	0.90575927	10	0.25311273
	B100F5G50G	0.93102083	10	0.45800809
	B50F10G10G	0.96325529	10	0.82225688
	F10G50G	0.95814293	10	0.76450727
	SCA50G50G	0.94766476	10	0.64096034
	B50CAL50G50G	0.94152366	10	0.57008907
	TESTIGO	0.90034385	10	0.22100833
PCGAF	B100G50G	0.93331282	10	0.4812563
	B100F5G50G	0.94273645	10	0.58384488

	B50F10G10G	0.91472012	10	0.31501158
	F10G50G	0.96362775	10	0.8263111
	SCA50G50G	0.65910851	10	0.00028246
	B50CAL50G50G	0.93625656	10	0.51215888
	TESTIGO	0.83792585	10	0.04166891
PCGAS	B100G50G	0.93765477	10	0.52722475
	B100F5G50G	0.93920285	10	0.54417781
	B50F10G10G	0.95112013	10	0.68176533
	F10G50G	0.90367606	10	0.24031148
	SCA50G50G	0.95876594	10	0.77171419
	B50CAL50G50G	0.92784883	10	0.42706982
	TESTIGO	0.9323808	10	0.47171441
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.				
a. Corrección de significación de Lilliefors				

#### 4.6.Resultados obtenidos de la cosecha

##### 4.6.1. Número de almendra por mazorca (NAM).

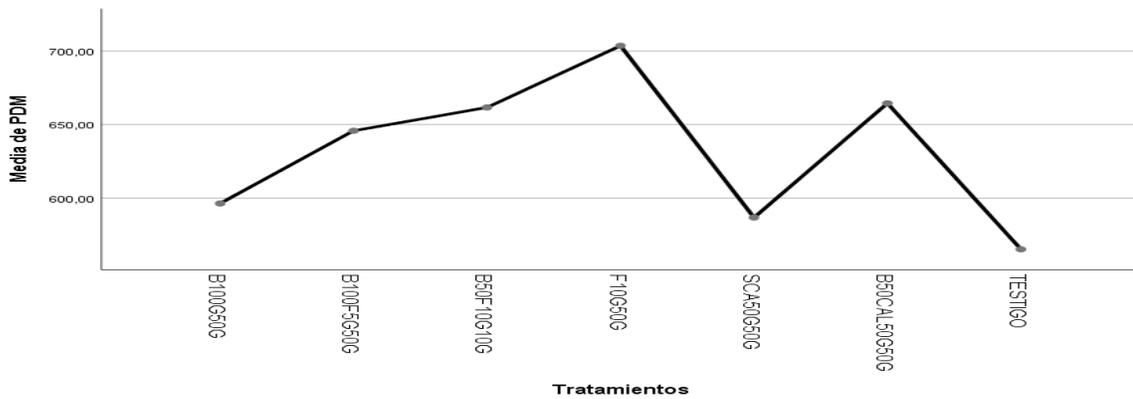
Podemos observar en la Figura 10 la comparación de las medias entre los tratamientos, a pesar de que no existe diferencias estadísticas entre todos ellos, aun así, después de efectuar el ANOVA unifactorial, se puede notar variaciones en el número de mazorcas entre el T2(B100F5G50G) y T3 (B50F10G10G) esto se debe a la aplicación de Biocarbón de 100 g, Fossil Shell Agro 5 g y de Gallinaza 50 g. También se puede apreciar que los tratamientos menos efectivos fueron el T1 (B100G50G) y T4 (F10G50G).



**Figura 10:** Comparación de medias para la variable número de almendras por mazorca.

#### 4.6.2. Peso (g) de mazorcas (PDM).

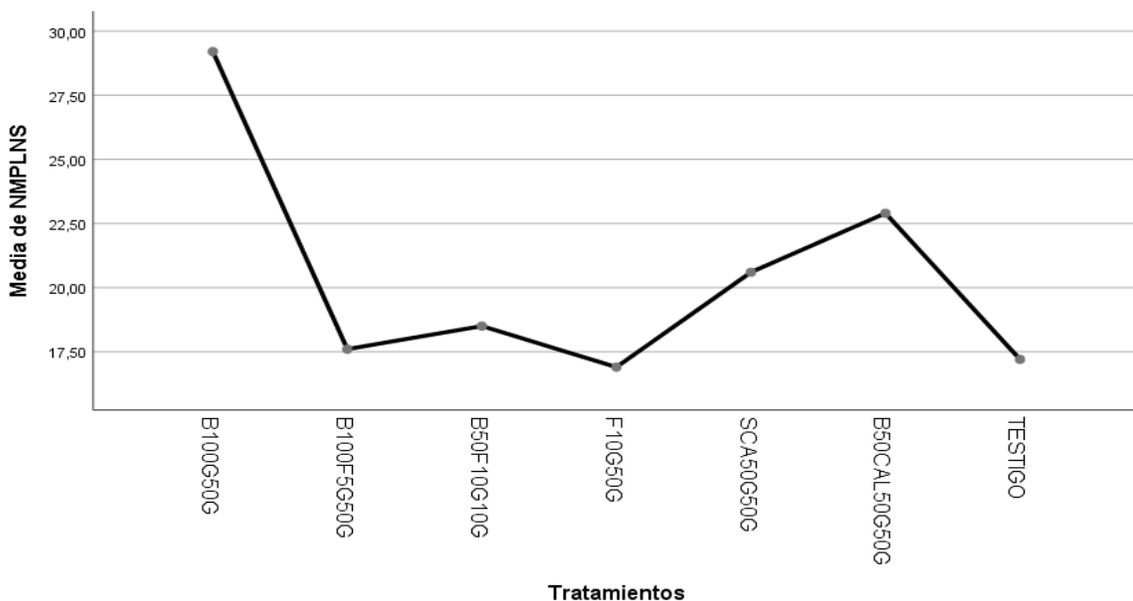
Podemos apreciar en la Figura 11 que el tratamiento más efectivo al momento de obtener peso de gramos de mazorca es el T4 (F10G50G) al utilizar la dosis Fossil Shell Agro 10 g y Gallinaza 50 g. Dos de los menos efectivos resultaron ser T1 (B100G50G) con la combinación de Biocarbón 100 g y Gallinaza 50 g y el T5 (SCA50G50G) con Silicato de Calcio 50 g y Gallinaza 50 g. Se puede notar el antagonismo existente de la gallinaza y los dos elementos (Silicato y Biocarbón).



**Figura 11:** Comparación de medias para la variable peso (g) de mazorcas.

#### 4.6.3. Número de mazorca por planta (NMPLNS).

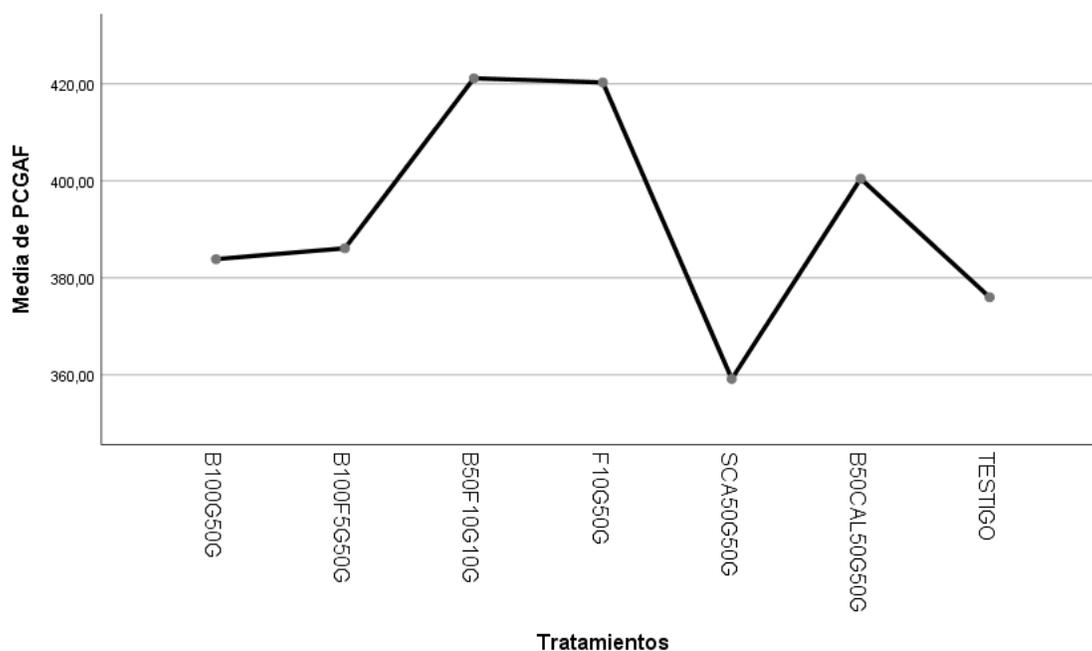
Se observa en la Figura 12 que la combinación del T1 (B100G50G) que es de Biocarbón 100 g y Gallinaza 50 g, resultó ser más efectivo al momento de obtener aproximadamente 28 mazorcas por planta. El T4 (F10G50G) que es de Fossil Shell agro 10 g y Gallinaza 50 g, se obtuvo el peor rendimiento al estar levemente por debajo del tratamiento testigo. Esto se debe al no existir una buena sinergia entre Fossil Shell Agro y gallinaza.



**Figura 12:** Comparación de medias para el número de mazorcas por planta.

#### 4.6.4. *Peso (g) de 100 almendras frescas (PCGAF).*

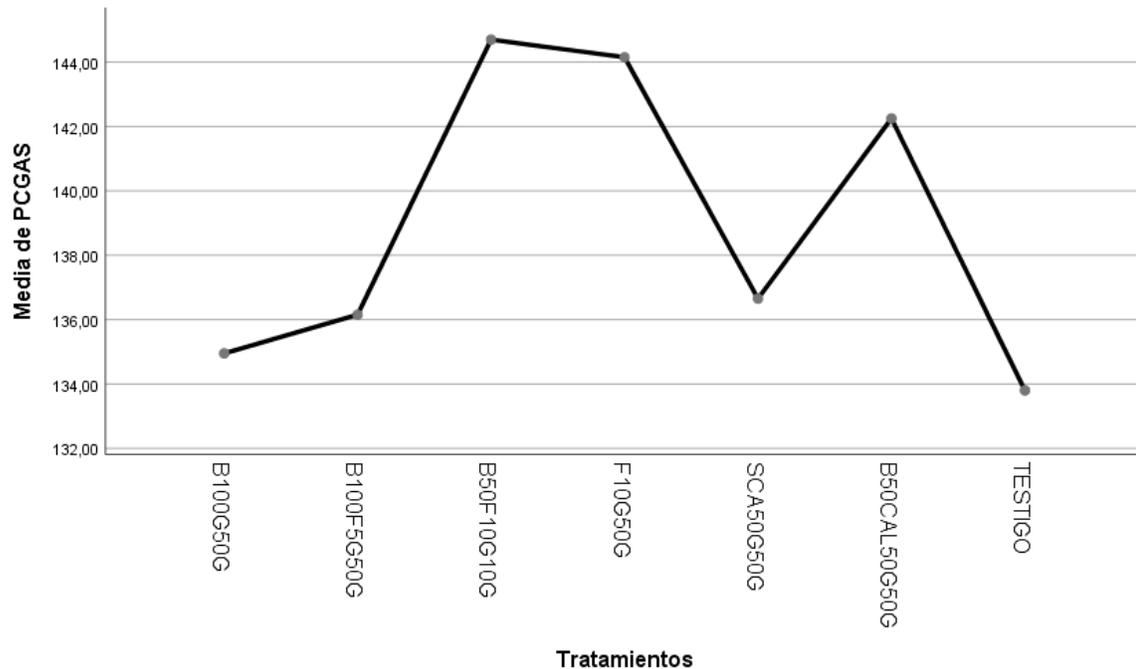
Al comparar las medias existentes en la Figura 13 podemos notar que los tratamientos T3 (B50F10G10G) y T4 (F10G50G) obtuvieron los mejores resultados y al momento estuvieron casi a la par con un peso aproximado 421 g y 420g de 100 almendras frescas respectivamente. La combinación de los 50 g Silicato de calcio y 50 g gallinaza perteneciente al T5 (SCA50G50G) arrojó el peor rendimiento de peso de las almendras frescas.



**Figura 13:** Comparación de medias para el peso (g) de 100 almendras frescas.

#### 4.6.5. *Peso (g) de 100 almendras secas (PCGAS).*

Se puede notar en la Figura 14 que los tratamientos T3 (B50F10G10G) y T4 (F10G50G) siguen manteniendo un óptimo rendimiento al poseer los valores más alto de peso en gramos de 100 almendras, pero, también se puede apreciar que existe una leve variación entre ellos con aproximadamente 146 g (tratamiento 3) y 144 g (tratamiento 4) respectivamente esto se debe al uso del Biocarbón aplicado en el tratamiento 3.

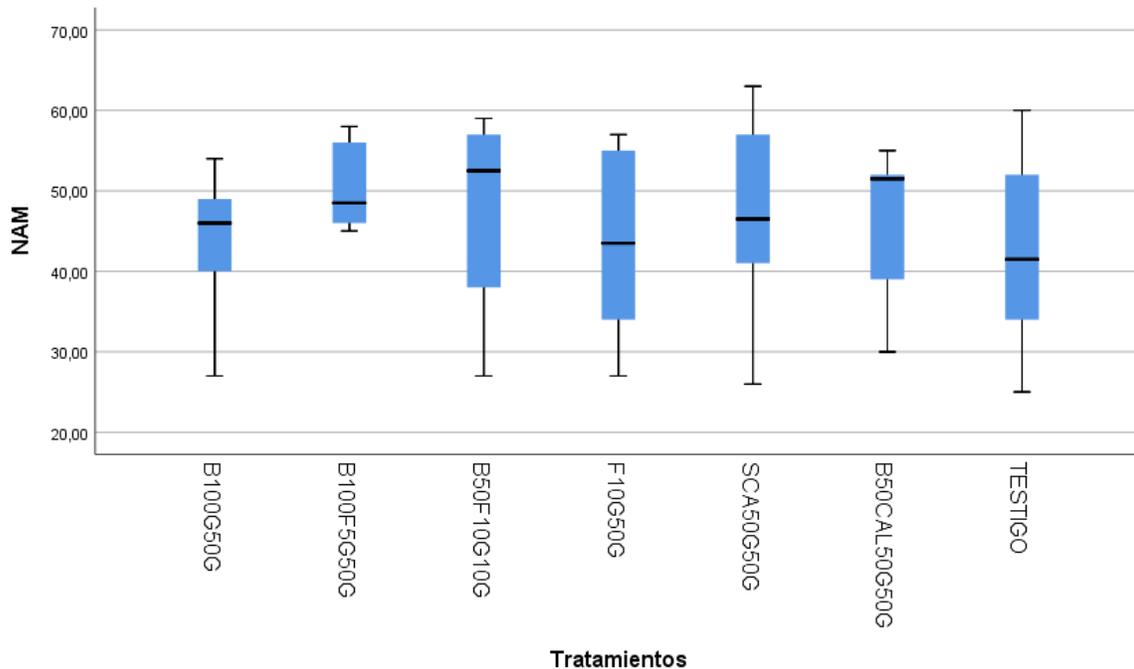


**Figura 14:** Comparación de medias para el peso (g) de 100 almendras secas.

### Cuartiles de los tratamientos

#### Número de almendra por mazorca (NAM).

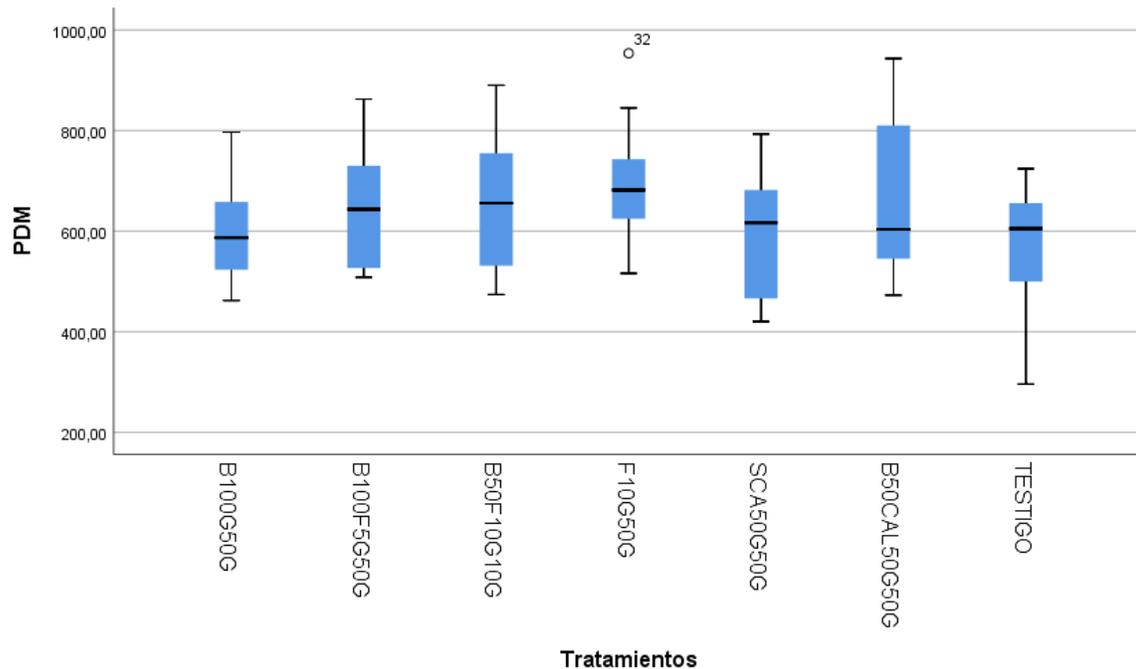
En la Figura 15, el T2 en el cual se aplica Biocarbón 100 g + Fossil Shell Agro 5 g + gallinaza 50 g el número de almendras por mazorca se vuelven más uniformes con respecto a los tratamientos T1 (B100G50G) Biocarbón 100 g + gallinaza 50 g y T4 (F10G50G) Fossil Shell Agro 10 g + gallinaza 50 g. Se puede afirmar que la combinación de Biocarbón, Fossil Shell Agro y gallinaza resulta más efectivo si se busca obtener un buen número de almendras.



**Figura 15:** Dispersión de los tratamientos para variable número de almendra por mazorca.

#### **Peso (g) de mazorcas (PDM).**

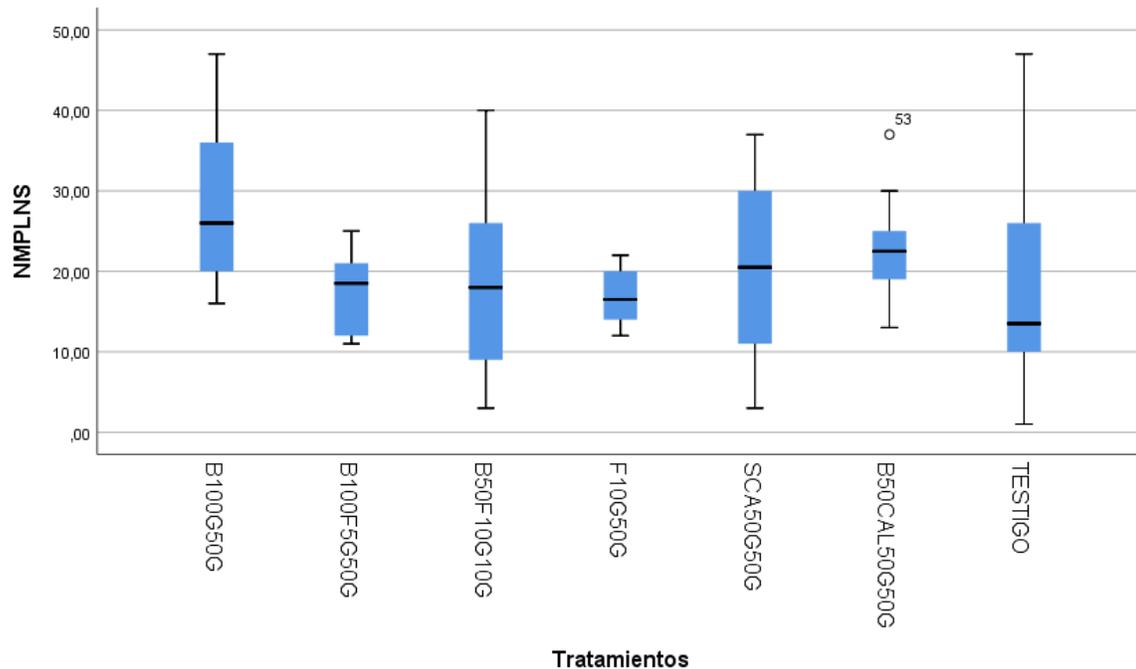
Podemos observar en la siguiente Figura 16 que el T4 (F10G50G) es más efectivo al momento de obtener una mejor homogeneidad del peso de gramos de mazorca al realizar combinación Fossil Shell Agro 10 g + gallinaza 50 g. La aplicación de Silicato de calcio 50 g + gallinaza 50 g el cual pertenece al T5 (SCA50G50G) no mantuvo su uniformidad a la hora de obtener pesos de mazorcas.



**Figura 16:** Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de mazorcas.

### Número de mazorca por planta (NMPLNS).

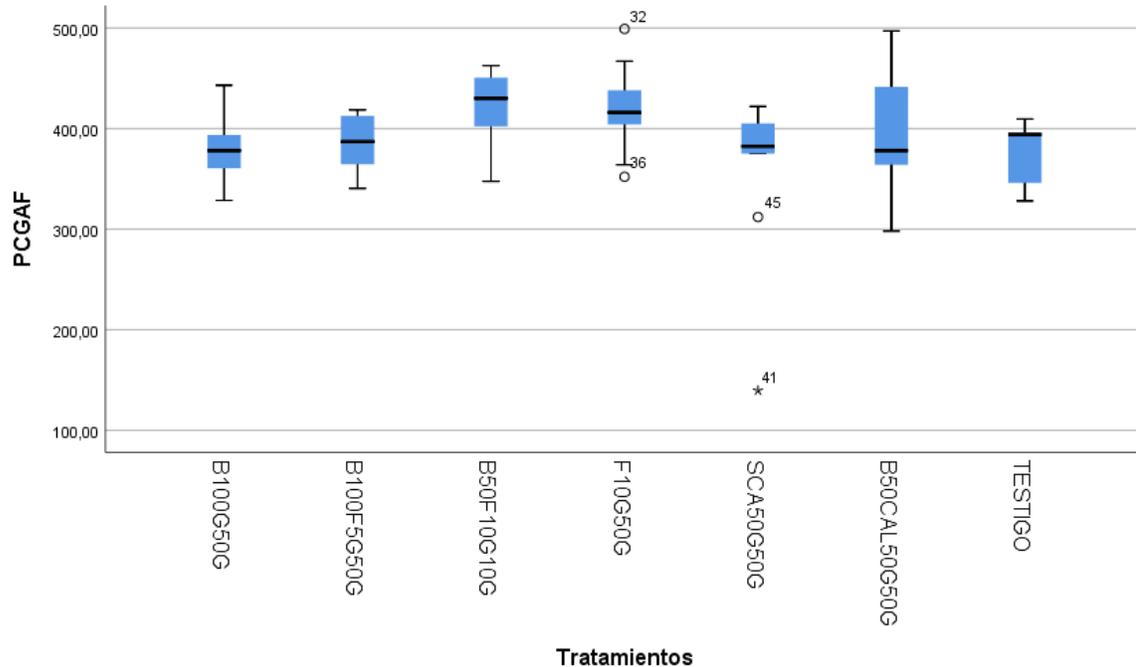
Se puede apreciar en la Figura 17 que el T4 (F10G50G) con la formulación: Fossil Shell Agro 10 g + gallinaza 50 g a pesar de poseer el peor rendimiento, resulta ser el mejor a la hora de tener homogeneidad en el número de mazorcas. La aplicación del T1: Biocarbón 100 g + gallinaza 50 g (B100G50G) no es una muy buena fuente de aportación si se desea conseguir uniformidad.



**Figura 17:** Dispersión de los tratamientos para variable número de mazorcas por planta.

### **Peso (g) de 100 almendras frescas (PCGAF).**

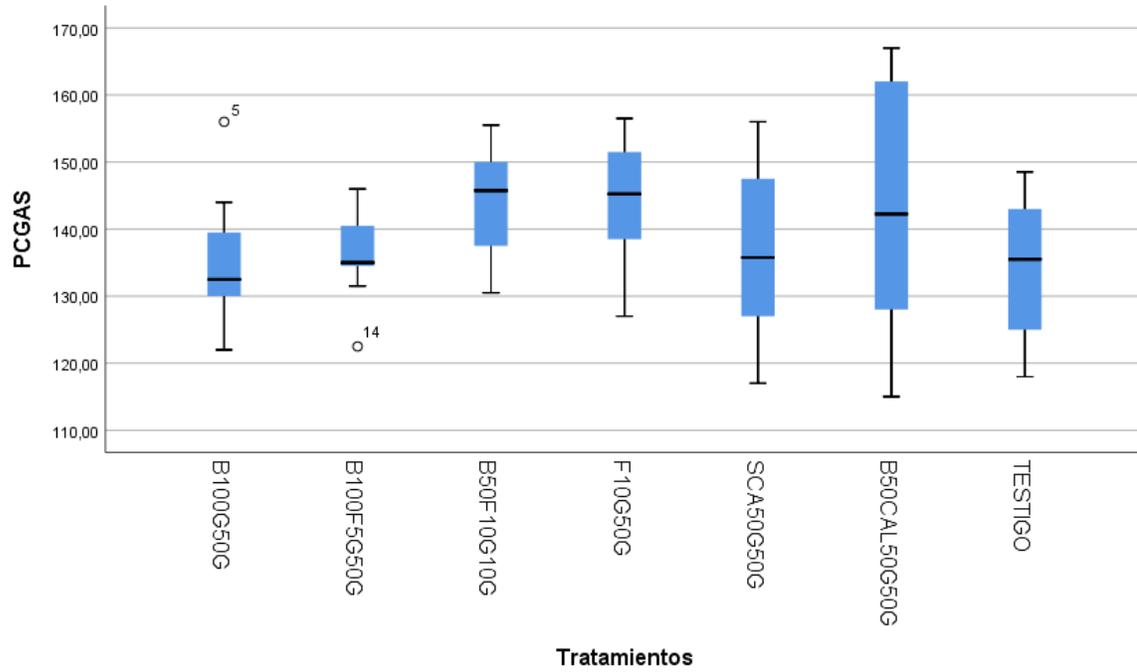
Observando la Figura 18, la combinación de los 50 g Silicato de calcio y 50 g gallinaza perteneciente al T5 (SCA50G50G) es la peor aplicación si se desea poseer una excelente uniformidad al momento del peso en gramos de 100 almendras frescas. Esto se puede deber a que existe antagonismo por parte de los 2 elementos (Silicato de Calcio y Gallinaza)



**Figura 18:** Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de 100 almendras frescas.

### **Peso (g) de 100 almendras secas (PCGAS).**

Se puede denotar en la Figura 19 que los mejores tratamientos para tener uniformidad a la hora de conseguir peso en gramos de 100 almendras son T3 (B50F10G10G) y T4 (F10G50G) esto se logra a través de la aplicación de Biocarbón 50 g + Fossil Shell Agro 10 g + gallinaza 10 g efectuado en el T3 y Fossil Shell Agro 10 g + gallinaza 50 g por parte del cuarto tratamiento.



**Figura 19:** Dispersión de los tratamientos para variable peso (g) de 100 almendras frescas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- En los análisis de cadmio en el suelo, realizados en el INIAP, el T6 demostró la menor cantidad de Cd, siendo el mejor resultado debido a la presencia de biocarbón con relación a los demás tratamientos.
- La respuesta de los análisis de Cd en cotiledón el que menor concentración de este metal obtuvo fue el T6, mientras que para la presencia de Cd en mazorca y testa fue el T3, estos tratamientos en su formulación contenían biocarbón 50 g, lo que demuestra que el uso de esta enmienda edáfica disminuye los niveles de absorción de Cd en las plantas de cacao.
- En la variable PCGAS el mejor tratamiento es el T3 porque almendras secas es lo que necesita el productor llevar a comercializar y el T3 en los análisis de Cd este dentro del rango requerido por UE.

## **5.2.Recomendaciones**

- Utilizar en cultivos de cacao Biocarbón combinado con Fossil Shell Agro y Gallinaza, es una ayuda económica y cuida del medio ambiente evitando la liberación de los gases de efecto invernadero, mejorando las propiedades fisicoquímicas del suelo y disminuyendo la absorción de cadmio por las plantas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abenza, D. P. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. *The European Union's Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*, 111. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3492-x\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-3492-x_2)
- Anecacao. (2015). *Distancia de siembra | Anecacao Ecuador*. <http://www.anecacao.com/index.php/es/servicios/articulos-tecnicos/distancia-de-siembra.html>
- Anecacao. (2019). *SECTOR EXPORTADOR DE CACAO*. 9. <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019.pdf>
- Antony Huerta. (2020). "INFLUENCIA DEL BIOCARBÓN ELABORADO CON RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS SOBRE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE LA PAPA EN EL CENTRO EXPERIMENTAL ECOLÓGICO DE TUYU RURI, NOVIEMBRE 2018 A ABRIL 2019." *UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"*, 118.
- Arvelo Sánchez, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Cacao Buenas Prácticas para América Latina. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*.
- Balta, R. (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*, 123. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3874/balta-crisologo-rafael-ananias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Batista, L. (2009). Guía Técnica El Cultivo de Cacao. *Centro Para El Desarrollo Agropecuario y Forestal CEDAF*, 2(1), 232. <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>
- Bradly Espinoza. (2019). EFECTO DEL COMPOST, DOLOMITA Y MAGNOCAL EN EL CONTENIDO DE CADMIO DEL SUELO Y LOS GRANOS DE CACAO

- (Theobroma cacao L.) DEL CLON CCN-51. *Universidad Nacional Agraria De La Selva*, 93.  
[http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1492/BJEP\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1492/BJEP_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camae. (2020). *Año estupendo para el cacao: sube más de 330 dólares en 2020*.  
[http://www.camae.org/cacao/ano-estupendo-para-el-cacao-sube-mas-de-330-dolares-en-2020/#:~:text=Año estupendo para el cacao%3A sube más de 330 dólares en 2020,-7 febrero%2C 2020&text=Ecuador%2C el tercer productor mundial,tolerancia a enfermedades y preco](http://www.camae.org/cacao/ano-estupendo-para-el-cacao-sube-mas-de-330-dolares-en-2020/#:~:text=Año%20estupendo%20para%20el%20cacao%3A%20sube%20más%20de%20330%20dólares%20en%202020,-7%20febrero%202020&text=Ecuador%20el%20tercer%20productor%20mundial,tolerancia%20a%20enfermedades%20y%20preco)
- Comisi, L. A., Alimentaria, C., Alimentaria, C., Alimentarios, A., Alimentarios, A., Europea, A., & Alimentaria, S. (2014). Statement on tolerable weekly intake for cadmium. *EFSA Journal*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>
- Córdova Jessica. (2019). "CARACTERIZACIÓN DE INSECTOS HEMIMETÁBOLOS DEL ORDEN HEMIPTERA COMO GRUPO BIOINDICADOR EN UN PROCESO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA CON ENMIENDAS DE BIOCHAR EN EL CIPCA". *UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA DEPARTAMENTO*, 76.  
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/499/1/T.AMB.B.UEA.3185>
- Dalcorso, G., Farinati, S., & Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. In *Plant Signaling and Behavior* (Vol. 5, Issue 6, pp. 663–667). Landes Bioscience. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11425>
- David Laird, Robert Brown, J. A. y J. L. (2009). *Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar*. 6(3), 16. <https://doi.org/10.1002/bbb>
- Deep Roots. (n.d.). *Biochar (OUT OF STOCK) – Deep Roots Project*. Retrieved November 30, 2020, from <https://www.deep-roots-project.org/deep-roots-products/biochar>
- Engracia, J. (2018). "Evaluación de cuatro tipos de poda de mantenimiento en el cultivo de cacao (Theobroma cacao) CCN-51 en la zona de Zapotal, provincia de Los Ríos." *UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO*, 85.

- <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3325/1/T-UTEQ-0153.pdf>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. Universidad Veracruzana*, 16. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- FAOSTAT. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fátima, M., Manuel, C., José, F., Mayra, P., Wilson, B., & Albán Miriam. (2018). Cadena de comercialización del cacao nacional en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 11(1), 7. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i1.131>
- González-López, G. C., Quevedo-Guerrero, J. N., & García-Batista, R. M. (2018). ALTERNATIVAS ORGÁNICAS PARA EL CONTROL DE MONILIASIS (MONILIOPHTHORA RORERI, CIF Y PAR) EN EL CULTIVO DE CACAO. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 59. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12429/1/DE00015\\_TRABAJODETITULACION.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12429/1/DE00015_TRABAJODETITULACION.pdf)
- GoRaymi. (n.d.). *Historia del cacao en Ecuador*. Retrieved December 1, 2020, from <https://www.goraymi.com/es-ec/zamora-chinchipe/zamora/denominaciones-origen/historia-cacao-ecuador-a979c40c8>
- Grace Muñoz. (2018). Evaluación de la capacidad antioxidante en cacao Nacional fino de aroma (*Theobroma cacao* L.), de las principales zonas productoras del Ecuador. In *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.12.025><http://www.depkes.go.id/resources/download/info-terkini/hasil-risikesdas-2018.pdf><http://www.who.int/about/licensing/>
- Guaman, C. (2007). Estudio De Factibilidad Para El Cultivo De “Cacao 51” En La Parroquia Cristóbal Colón De La Ciudad De Santo Domingo De Los Colorados Y Su Comercialización. *Escuela Politecnica Nacional Facultad De Ciencias*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/731/1/CD-1118.pdf>

Guerra, P. (2015). Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 101. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A%0A>

Héctor Herrera. (2018). "DIAGNOSTICO DEL ESTADO NUTRICIONAL Y RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION EN CACAO CCN- 51 EN LA FINCA EL CAPULLO, CANTON EL TRIUNFO, PROVINCIA DEL GUAYAS." *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL*, 64. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28440/1/Herrera Mosquera Héctor José.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28440/1/Herrera_Mosquera_Héctor_José.pdf)

Herrera Marcano, T. (2011). La Contaminación Con Cadmio En Suelos Agrícolas. *Universidad Central de Venezuela. Maracay*, 8(1 y 2), 6. [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/1112/1040](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1112/1040)

Infocafes. (2013). *Apreniendo e innovando sobre la producción de plantas de cacao en vivero*. [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/19\\_Guia\\_3\\_Viveros.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/19_Guia_3_Viveros.pdf)

INTA. (2010). *Guía Tecnológica del Cultivo de Cacao. Guia Técnica del Cultivo de Cacaol*, 42. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/12/Guia-CACAO-2010.pdf>

Javier Castebianco. (2018). *TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CON POTENCIAL*. 27(1), 15. [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15402/1/Lgr\\_n27\\_Castebianco.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15402/1/Lgr_n27_Castebianco.pdf)

Jimmy Varas. (2016). "Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad El Rocano del Cantón Arenillas de la Provincia de El Oro." *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*, 131.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6934/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-103.pdf>

José Ramos. (2019). Caracterización y tipificación de fincas productoras de cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional y CCN51 en el Cantón Montalvo - Los Ríos, Ecuador. *UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO*, 118. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3447/P-UTB-FCJSE-EBAS-000192.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Laura Peña. (2019). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GAS Y LÍQUIDO COMBUSTIBLE MEDIANTE EL PROCESO DE PIRÓLISIS DE MADERA PARA APLICACIÓN EN LA ZONA DEL RESGUARDO YAIGOJÉ EN EL VAUPÉS COLOMBIANO. *FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA*, 183. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7399/1/6141226-2019-1-IQ.pdf>

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* - Google Libros. <https://books.google.com.ec/books?id=gWDABgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

López Hernández, C. O., Armenta Ramírez, Aí., & Álvarez García, Y. I. (2016). LA INFLUENCIA DE LAS DENOMINACIONES DE ORIGEN EN EL DESARROLLO ECONÓMICO DE LA REGIÓN SURESTE: CASO TABASCO. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*, Núm. 65 (2), 18. <http://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/1806/1/913-1538-A.pdf>

López, L. O. & A. (2016). *Colocación de esquinas técnicas para la Mejora Productiva Del Cacao*. 62. [https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/141216\\_esquinas\\_tecnicas\\_de\\_cacao.pdf](https://assets.rikolto.org/paragraph/attachments/141216_esquinas_tecnicas_de_cacao.pdf)

Luis, L., Paula, L., & Fabián, M. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 9. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)

- Manuel Paspuel. (2018). Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante "full cacao" en comparación con la fertilización convencional en Pangua. *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR*, 78. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15195/1/T-UCE-0004-A82-2018.pdf>
- Mario Zambrano. (2013). "EVALUACIÓN DE TRES MÉTODOS DE PROPAGACIÓN CLONAL, BAJO DOS TIPOS DE CUBIERTA, UTILIZANDO DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao*) GENÉTICAMENTE DIFERENTES, EN SU FASE DE PRENDIMIENTO DEFINITIVO A NIVEL COMERCIAL EN SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS." *Universidad Nacional De Loja*, 55. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/897/1/tesis cd Copy.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/897/1/tesis%20cd%20Copy.pdf)
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58 Tesis. *UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA*, 94. [http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5921/Martinez\\_Chavez\\_Carla\\_Cristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A%0A](http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5921/Martinez_Chavez_Carla_Cristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0A%0A)
- Martínez, K., Souza, V., Bucio, L., Gómez, L., & Gutiérrez, M. (2012). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta Toxicológica Argentina*, 21(1), 17. [https://www.toxicologia.org.ar/bibliotecavirtual/acta\\_toxicologica/vol\\_21\\_1/martinez\\_flores.pdf](https://www.toxicologia.org.ar/bibliotecavirtual/acta_toxicologica/vol_21_1/martinez_flores.pdf)
- Meter, A; Atkinson, RJ; Laliberte, B. (2019). Cadmio en el caco de America Latina y el Caribe: Analisis de la investigación y soluciones potenciales para la mitigación. In *Biodiversity International*. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/102354/Bioiversity-CAF-Review-Cd-Cacao-13Nov2019-ES.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Mireya García. (2011). "Estudio Agromorfológico y fisicoquímico de ecotipos de cacao cultivados en los municipios de Usulután y California del Departamento de Usulután en El Salvador.". *UNIVERSIDAD DR. JOSÉ MATÍAS DELGADO FACULTAD DE AGRICULTURA E INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA*, 60.

[https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA  
VIRTUAL/TESIS/04/AGI/ADTESGE0001266.pdf](https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA_VIRTUAL/TESIS/04/AGI/ADTESGE0001266.pdf)

Montes, M. (2016). "Efectos del fosforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51, en la zona de Babahoyo. *UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA TRABAJO*, 46. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAG-ING-AGROP-000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortiz Sánchez, J. (2017). *ECOTOXICOLOGÍA DEL CADMIO, RIESGO PARA LA SALUD POR LA UTILIZACIÓN DE SUELOS RICOS EN CADMIO*. 22. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/JAVIER ORTIZ SANCHEZ.pdf>

Oses Orbegozo, A. (2013). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. *Ander. Universidad Autónoma de Barcelona*, 96. <https://core.ac.uk/download/pdf/18416021.pdf>

Paredes, N. (2009). Manual de cultivo de cacao para la Amazonía ecuatoriana. *Manual*, 76(76), 96. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4786/7/iniapeecam76.pdf>

Pedraza, E. T. (2017). "DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE CADMIO EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DEL CACAO CCN-51 EN SUELO ALUVIAL Y RESIDUAL." *Revista de Investigación En Agroproducción Sustentable*, 1(2), 86. <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/viewFile/365/415>

Pineda Jaimes, A. L. (2018). El cacao: una apuesta para la transformación del territorio en el occidente de Boyacá. *UNIVERSIDAD ESTERNADO DE COLOMBIA*, 75. [https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/681/1/DHA-spa-2018-El\\_cacao\\_una\\_apuesta\\_para\\_la\\_transformacion\\_del\\_territorio\\_en\\_el\\_occidente\\_de\\_Boyaca.pdf](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/681/1/DHA-spa-2018-El_cacao_una_apuesta_para_la_transformacion_del_territorio_en_el_occidente_de_Boyaca.pdf)

Quiquiri María y Robalino Dina. (2019). VARIACIÓN DE CONDICIONES EDÁFICAS

- EN EL PROCESO DE RESTAURACIÓN CON ENMIENDAS DE BIOCARBÓN.  
*UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA DEPARTAMENTO*, 73.  
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/533/1/T.AMB.B.UEA.3218.pdf>
- ResearchGate. (2011). *Principales zonas de producción de cacao en Ecuador Fuente:...* | Download Scientific Diagram. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2Principales-zonas-de-produccion-de-cacao-en-Ecuador-Fuente-MAGAP-IEPI-FAO-2010\\_fig1\\_277109169](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2Principales-zonas-de-produccion-de-cacao-en-Ecuador-Fuente-MAGAP-IEPI-FAO-2010_fig1_277109169)
- Rodríguez Albarracín, H. S. (2017). Dinámica del cadmio en suelos con niveles altos del elemento, en zonas productoras de cacao de Nilo y Yacopí, Cundinamarca. *Universidad Nacional de Colombia*, 133.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62944>
- Sánchez Barrón, G. (2016). ECOTOXICOLOGÍA DEL CADMIO RIESGO PARA LA SALUD DE LA UTILIZACIÓN DE SUELOS RICOS EN CADMIO. *Universidad Complutense Trabajo*, 23. [http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA\\_SANCHEZ\\_BARRON.pdf](http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA_SANCHEZ_BARRON.pdf)
- Schweizer, S. (2011). Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. *INTA Costa Rica*, 19. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>
- Segura Diana. (2018). "Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta." *Tecnológico de Costa Rica*, 4(1), 94.  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10315/control\\_calidad\\_biocarbón\\_producción\\_terra\\_preta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10315/control_calidad_biocarbón_producción_terra_preta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sergio Iglesias. (2018). "APLICACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE BIOMASA RESIDUAL DE EUCALIPTO PARA EVALUAR LA PRODUCTIVIDAD CON MAÍZ EN EL AUSTRO ECUATORIANO." *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA*, 145.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3394/iglesias-abad-sergio-fernando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stephen Brick. (2010). *Biochar : Assessing the Promise and Risks To Guide U . S . Policy*.

November, 24. [https://www.nrdc.org/sites/default/files/biochar\\_paper.pdf](https://www.nrdc.org/sites/default/files/biochar_paper.pdf)

Torres, L. A. (2012). Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. *Universidad De Cuenca*, 141.

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>

Verdesoto, P. S. (2009). Caracterización química preliminar de cacao (*Theobroma cacao*) de los municipios de Omoa y La Masica, Honduras. *ZAMORANO*, 66.

<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/316/1/AGI-2009-T045.pdf>

## 7. ANEXOS



**Anexo 1:** Balanza gramera, Biocarbón, Gallinaza, Fossil shel Agro, Silicato de calcio y Cal agrícola.



**Anexo 2:** Elaboración de biocarbón con materia prima de residuos cacao (mazorcas secas).



**Anexo 3:** Peso y preparación de los tratamientos.



**Anexo 4:** Ahoyado con el hércules y aplicación de tratamientos.



**Anexo 5:** Aplicación de los tratamientos.



**Anexo 6:** Toma de datos en campo



**Anexo 7:** Cosecha de las mazorcas de cacao del proceso de investigación



**Anexo 8:** Muestras de las 70 plantas que estaban sometidas a los tratamientos



**Anexo 9:** Peso de 100 almendras frescas



**Anexo 10:** Peso de 100 almendras secas



**Anexo 11:** Peso de mazorcas



**Anexo 122:** Toma de muestras de suelo al final de la investigación



**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 :	Ramón Romero Carlos Armando	Telef :	0992053919	Reporte N° :	7475
Nombre de la Propiedad :	La Pradera	Cultivo :	Cacao	Fecha de muestreo :	29-09-2020
Localización :	Rio Negro	Pasaje	El Oro	Fecha de ingreso:	29-09-2020
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	16-10-2020

**RESULTADOS DE ANÁLISIS ESPECIAL DE CADMIO EN CACAO**

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	*Cd
		mg L <sup>-1</sup>
437	T1 Cotiledón de cacao	0.78
438	T2 Cotiledón de cacao	0.80
439	T3 Cotiledón de cacao	0.80
440	T4 Cotiledón de cacao	0.88
441	T5 Cotiledón de cacao	0.78
442	T6 Cotiledón de cacao	0.73
443	T7 Cotiledón de cacao	0.78
444	T1 Cáscara de mazorca	1.18
445	T2 Cáscara de mazorca	1.0
446	T3 Cáscara de mazorca	0.93
447	T4 Cáscara de mazorca	1.01
448	T5 Cáscara de mazorca	1.0
449	T6 Cáscara de mazorca	1.0
450	T7 Cáscara de mazorca	1.0
451	T1 Testa	0.85

**Anexo 133** Resultados de los análisis de Cd en cacao y suelo

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	*Cd
		mg L <sup>-1</sup>
452	Trat 2 Testa	0.88
453	Trat 3 Testa	0.80
454	Trat 4 Testa	0.98
455	Trat 5 Testa	0.80
456	Trat 6 Testa	0.88
457	Trat 7 Testa	0.83
458	T1 Suelo	0.50
459	T2 Suelo	0.58
460	T3 Suelo	0.46
461	T4 Suelo	0.52
462	T5 Suelo	0.47
463	T6 Suelo	0.68
464	T7 Suelo	0.50

<b>Método de extracción:</b> Agua regia (HNO <sub>3</sub> -HCl/ relación 3:1)
<b>Instrumento de análisis:</b> EAA-HGA ( Horno de Grafito acoplado a Espectrómetro de absorción atómica)
<b>Límite de detección:</b> 0.37 ug kg <sup>-1</sup> Cd
<b>Límite de cuantificación:</b> 1.22 ug kg <sup>-1</sup> Cd
<b>Nivel crítico en suelos agrícola:</b> (Cd) 2 mg kg <sup>-1</sup> (TULA, acuerdo Nro. 061, Año II- N.-316, mayo de 2015)

*X. W. [Signature]*  
RESPONSABLE DITO.



*[Signature]*  
LABORATORISTA

**Anexo 144:** Resultados de los análisis de Cd en cacao y suelo