



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN PRODUCCIÓN VEGETAL

EFFECTOS DEL CARBÓN MINERAL EN LA MORFOFISIOLOGÍA DE
PLÁNTULAS DE CACAO TIPO NACIONAL (*Theobroma cacao* L.)

Ing. Agr. Borys Wilfrido Loaiza Dávila

Artículos profesionales de alto nivel

TUTOR: Ing. José Nicasio Quevedo Guerrero, MSc.

MACHALA
2022

PENSAMIENTO

“CUALQUIER MOMENTO ES IDEAL PARA APRENDER ALGO NUEVO”

Albert Einstein

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con todo el cariño que un padre puede tener por sus hijos, Jandry y Bronnys Loaiza, que son mi principal inspiración para seguirme superando, a mi esposa Ing. Jessica Coyago, que es mi compañera de vida que siempre me está apoyando y comprendiendo en cada meta que me propongo alcanzar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica de Machala (UTMACH) su centro de posgrados y al Comité Académico de Investigación Científica del Programa de Maestría en Agronomía mención en Producción vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que dio las facilidades para conseguir culminar con éxito este reto académico en mi formación personal.

Ing. José Nicasio Quevedo Guerrero MSc, tutor del trabajo de investigación por su gran apoyo y voluntad que tuvo durante todo el proceso; planteamiento del tema, trabajo de campo, laboratorio e informe final. Al Ing. Irán Rodríguez Delgado MSc cotutor, que colaboró de forma voluntaria en la estructura del diseño estadístico. Al futuro colega Jonathan Zhiminaicela-Cabrera, por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio, contribuyendo a que se dé el cumplimiento de los objetivos planteados para esta investigación.

A todos los profesores que de una u otra forma impartieron sus conocimientos durante cada módulo dictado.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Por medio de la presente declaro ante el Comité de la Maestría EN AGRONOMÍA MENCIÓN en PRODUCCIÓN VEGETAL de la Universidad Técnica de Machala, que el trabajo titulado Efectos del carbón mineral en la morfofisiología de plántulas de cacao tipo Nacional (*Theobroma cacao* L.) de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona al no ser referenciado debidamente en el texto: parte de ella o en su totalidad no ha sido aceptada para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

Ing. Agr. Borys Wilfrido Loaiza Dávila.

CI. 0703967810

Machala, 20 de enero de 2022.

REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

Informe tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

2%

2

scielo.sld.cu

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Apagado

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Por medio de la presente declaro ante el Comité de la Maestría EN AGRONOMÍA MENCIÓN en PRODUCCIÓN VEGETAL de la Universidad Técnica de Machala, que el trabajo titulado Efectos del carbón mineral en la morfofisiología de plántulas de cacao tipo Nacional (*Theobroma cacao* L.) desarrollado por el Ing. Agr. Borys Wilfrido Loaiza Dávila, fue estructurado en función de dar solución a un problema existente en los viveros de cacao en cuanto a obtención de plantas de calidad, el mismo que no contiene plagio, lo escrito por otros autores y citados en este trabajo fue debidamente referenciado en el texto, y puedo certificar que es un trabajo original y que aporta de forma directa a mejorar la producción de plantas de calidad del cultivo de cacao.

Ing. Agr. José Nicasio Quevedo Guerrero, MSc.

CI. 0703870030

Machala, 20 de enero de 2022.

CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA

Yo, Borys Wilfrido Loaiza Dávila con C.I. 0703967810; autor del trabajo de titulación EFECTOS DEL CARBÓN MINERAL EN LA MORFOFISIOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE CACAO TIPO NACIONAL (*Theobroma cacao* L.) en opción al título de Magíster en Agronomía, Mención Producción Vegetal, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad de la originalidad de este y el cuidado al remitirse a las fuentes bibliográficas respectivas para fundamentar el contenido expuesto, asumiendo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cedo a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su democratización a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia Creative Commons Attribution-No Comercial – Compartir igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4,0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de esta.

Ing. Agr. Borys Wilfrido Loaiza Dávila.

CI. 0703967810

CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN

13

Fecha de presentación: marzo, 2021

Fecha de aceptación: mayo, 2021

Fecha de publicación: agosto, 2021

EFECTOS DEL CARBÓN MINERAL EN LA MORFOFISIOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE CACAO TIPO NACIONAL (THEOBROMA CACAO L.)

EFFECTS ON THE MORPHOPHYSIOLOGY OF NATIONAL TYPE COCOA SEEDLINGS (THEOBROMA CACAO L.) USING CHARCOAL

Borys Wilfrido Loaiza Dávila¹

E-mail: lborys1@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0900-2729>

José Nicasio Quevedo Guerrero¹

E-mail: jquevedo@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8974-5628>

Irán Rodríguez Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Rigoberto Miguel García Batista¹

E-mail: rmgarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

¹ Universidad Técnica de Machala, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Loaiza Dávila, B. W., Quevedo Guerrero, J. N., Rodríguez Delgado, I., & García Batista, R. M. (2021). Efectos del carbón mineral en la morfofisiología de plántulas de cacao tipo nacional (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 92-98.

RESUMEN

El uso de carbón mineral históricamente fue una fuente ampliamente utilizada por sus bondades, en la actualidad existen muchos usos que se dan para este compuesto mineral no destinado a la incineración debido a sus propiedades químicas y físicas. Se están realizando estudios con el fin de poder determinar su uso en la agricultura, se atribuye beneficios para mejorar la estructura física, química y biológica de los suelos. Para este estudio se empleó un experimento factorial completo bajo el esquema de aleatorización de un diseño completamente al azar, debido a que se manipularon simultáneamente tres factores de estudio donde las condiciones del entorno experimental y el material experimental son homogéneas. Los factores de estudio fueron: Dosis de carbón mineral (0-10-15-20 gramos), Tamaño de funda (26 x 16 y 20 x 12 cm.), Corte apical de semillas (1/3). El uso de carbón mineral tuvo una influencia directamente proporcional a la dosificación sobre variables morfológicas y fisiológicas, en un 80% de las raíces en plántulas originadas de semillas con corte de 1/3 se observó cambios de estructura axonomorfa a fasciculada. El uso de carbón mineral permite mejorar las propiedades físicas del suelo, mejora el área radicular lo que propicia una mayor área foliar, haciendo conveniente la utilización de este mineral en la agricultura.

Palabras clave:

Carbón mineral, sistema radicular, corte apical, raíces atrofiadas, cuidado vivero.

ABSTRACT

The use of mineral coal was historically a widely used source for its goodness, nowadays there are many uses for this mineral compound not destined for incineration due to its chemical and physical properties. Studies are being conducted in order to determine its use in agriculture, it is attributed benefits to improve the physical, chemical and biological structure of soils. For this study a complete factorial experiment was used under the randomization scheme of a completely randomized design, because three study factors were manipulated simultaneously where the conditions of the experimental environment and the experimental material are homogeneous. The study factors were: Charcoal dose (0-10-15-20 grams), size of sheath (26 x 16 and 20 x 12 cm), apical seed cut (1/3). The use of mineral charcoal had an influence directly proportional to the dosage on morphological and physiological variables, in 80% of the roots in seedlings originated from seeds with 1/3 cut, changes from axonomorphic to fasciculate structure were observed. The use of charcoal improves the physical properties of the soil, improves the root area which leads to a greater leaf area, making the use of this mineral in agriculture convenient.

Keywords:

Charcoal, root system, apical cut, stunted roots, nursery care.

<https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/474>

RESUMEN

El uso de carbón mineral históricamente fue una fuente nutricional ampliamente utilizada por sus bondades, en la actualidad existen muchos usos que se dan para este compuesto mineral no destinado a la incineración debido a sus propiedades químicas y físicas. Se están realizando estudios con el fin de poder determinar su uso en la agricultura, se atribuyen beneficios para mejorar la estructura física, química y biológica de los suelos. Para este estudio se empleó un experimento factorial con un diseño completamente al azar (ya que se estudian todas las combinaciones de tratamientos posibles) completamente al azar (la distribución de tratamientos se realiza completamente al azar en las unidades experimentales a nivel de todo el experimento), debido a que se manipularon simultáneamente dos factores de estudio en condiciones homogéneas del entorno y el material experimental. Los factores de estudio fueron: Dosis de carbón mineral (0-10-15-20 gramos/Kg de suelo), Tamaño de funda (26 x 16 y 20 x 12 cm.). El uso de carbón mineral tuvo una influencia directamente proporcional a la dosificación sobre variables morfológicas y fisiológicas, en un 80% de las raíces en plántulas originadas de semillas con corte de 1/3 se observó cambios de estructura axonomorfa a fasciculada. El uso de carbón mineral permite mejorar las propiedades físicas del suelo, mejora el área radicular lo que propicia una mayor área foliar, haciendo conveniente la utilización de este mineral en la agricultura.

Palabras clave: Carbón mineral, sistema radicular, corte apical, raíces atrofiadas, cuidado vivero.

ABSTRACT

The use of charcoal has historically been a widely used nutritional source due to its goodness, nowadays there are many uses for this mineral compound not destined for incineration due to its chemical and physical properties. Studies are being carried out to determine its use in agriculture, with benefits attributed to improve the physical, chemical, and biological structure of soils. For this study, a factorial experiment was used with a completely randomized design (since all possible combinations of treatments are studied) completely randomized (the distribution of treatments is completely randomized in the experimental units throughout the experiment), since two study factors were manipulated simultaneously under homogeneous conditions of the environment and the experimental material. The study factors were: Charcoal dose (0-10-15-20 grams/kg soil), bag size (26 x 16 and 20 x 12 cm). The use of charcoal had an influence directly proportional to the dosage on morphological and physiological variables, in 80% of the roots in seedlings originated from seeds with a 1/3 cut, changes from axonomorphic to fasciculate structure were observed. The use of charcoal improves the physical properties of the soil, improves the root area which leads to a greater leaf area, making the use of this mineral in agriculture convenient.

Keywords: Charcoal, root system, apical cut, stunted roots, nursery care.

ÍNDICE GENERAL

PENSAMIENTO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	5
REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN	6
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	7
CESIÓN DE DERECHO DE AUTORÍA	8
CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
ÍNDICE GENERAL	12
LISTA DE FIGURAS Y TABLAS	14
LISTA DE ABREVIATURA Y SÍMBOLO	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO 1. FOMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL	20
1.1. Antecedentes morfosiológicos e históricos del carbón mineral	20
1.1.1. Objetivos del estudio	20
Objetivo General	20
Objetivo Específico	21
1.2. Antecedentes conceptuales y referenciales.	21
Importancia del cultivo de cacao	21
Morfofisiología	21
Cultivar ICS-95	22
Carbón mineral	22
CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1. Ubicación del estudio	23
2.4. Métodos	24
2.5. Diseño experimental	25
2.6. Modelo matemático	25
2.7. Croquis del experimento establecido.	26

2.9. Procedimiento estadístico.....	27
2.9.1. Prueba de verificación de normalidad de datos.....	27
2.9.2. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	28
2.9.3. Prueba de interacción entre los niveles o versiones de los factores de estudio.....	28
2.9.4. Diferencia estadística entre tratamientos.....	28
2.9.5. Factores de estudio.....	28
Factor de estudio carbón mineral	28
Factor de estudio medida de fundas	29
Nivel de significancia utilizado en las pruebas estadísticas	29
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	30
CAPÍTULO 5. DISCUSIONES.....	42
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	50

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura. 1 Provincia de El Oro en Ecuador, (B) Cantón Machala, el punto en el mapa señala la ubicación exacta de la Colección viva de árboles de cacao UTMACH.	23
Figura. 2 Proceso de revisión sistemática de la literatura (RSL).	24
Figura. 3 Cultivar ICS-95 maduro utilizado en el estudio. Fuente: naturkakao.gt.....	24
Figura. 4 Croquis del establecimiento del experimento.	26
Figura. 5 Diagrama de caja variable largo de la hoja (cm).	30
Figura. 6 Diagrama de cajas variable ancho de la hoja (cm).	31
Figura. 7 Diagrama de caja variable número de hojas.	32
Figura. 8 Diagrama de caja variable peso seco de hojas (g).	33
Figura. 9 Diagrama de caja variable altura de la planta.	34
Figura. 10 Diagrama de cajas variable peso seco del tallo.....	35
Figura. 11 Diagrama de caja variable diámetro de la raíz.	36
Figura. 12 Diagrama de cajas variable longitud de la raíz.....	37
Figura. 13 Diagrama de cajas variable peso seco de la raíz.	38
Figura. 14 Atrofiamiento radicular A. Raíces de fundas de 20x12 cm. B. Raíces de fundas de 26x16 cm. De izquierda a derecha los tratamientos de T3 a T0.	39
Figura. 15 Estructura morfológica de las raíces. A. Características de las raíces sin corte apical. B. Raíces con corte apical en las semillas.	40
Figura. 16 Estructuras microscópicas analizadas. A. Tejido de sostén. B. Tejido Vascular. C. Tejido conductor. D. Estomas en la hoja. E. Epidermis raíz. F. Epidermis tallo.	41
Tabla. 1 Características de las variables evaluadas.....	26
Tabla. 2 Prueba de Tukey para la variable largo de hoja.	30
Tabla. 3 Prueba de Tukey para la variable largo de hoja.	31
Tabla. 4 Prueba de Tukey para la variable número de hojas.....	32
Tabla. 5 Prueba de Tukey para la variable peso seco de hoja (g).	33
Tabla. 6 Prueba de Tukey para la variable altura de planta (cm).	34
Tabla. 7 Prueba de Tukey para la variable peso seco de tallo (g).....	35
Tabla. 8 Prueba de Tukey para la variable diámetro de raíz.	36
Tabla. 9 Prueba de Tukey para la variable longitud de raíz.....	37
Tabla. 10 Prueba de Tukey para la variable peso de raíz.	38

LISTA DE ABREVIATURA Y SÍMBOLO

Theobroma cacao L. (*T. cacao* L.)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

INTRODUCCIÓN

Las estadísticas de la FAO muestran que, a principios del nuevo milenio, 2.570 millones de personas dependían de la agricultura, la caza, la pesca o la silvicultura, incluidas las que se dedicaban activamente a este trabajo y las que dependían de ellas sujetas al desempleo (Saldaña-Cortés & Anzola morales., 2020) La agricultura alimenta las economías de la mayoría de los países en desarrollo. La agricultura solo se considera una actividad económica en las estadísticas comerciales. La agricultura como forma de vida, patrimonio, identidad cultural, acuerdo ancestral con la naturaleza no tiene valor monetario (Parada-Gutiérrez & Veloz-Cordero., 2021).

Otras importantes contribuciones no monetarias de la agricultura incluyen hábitats y paisajes, protección del suelo, gestión de cuencas hidrográficas, secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad. Pero quizás la contribución más importante de la agricultura es que da salida al hambre a los más de 850 millones de personas desnutridas, principalmente en las zonas rurales (Viveros & Porras, 2006).

Debido a estos antecedentes ahí que entender que el género *Theobroma* comprende más de 25 especies diferentes de los cuales una especie es considerada como la más diversa por sus genotipos y fenotipos *Theobroma cacao* L., cultivo perenne perteneciente a la familia de las Malváceas (Dostert et al., 2012). Esta especie silvestre es originaria de la cuenca del río Amazonas, de acuerdo a las evidencias arqueológicas que indican la domesticación hace 5300 años en la provincia de Zamora Chinchipe de la República del Ecuador (Zarrillo et al., 2018).

El cultivo de cacao comprende un rubro importante en la economía de varios países como: Costa de Marfil, Camerún, Ghana, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador, México, Indonesia, Malasia y Papua Nueva Guinea (Quintero & Díaz Morales, 2004). Tomando en consideración a estos países productores y otros a nivel mundial en promedio en el año 2019, la producción de cacao en grano fue 283,680 t. De las cuales Ecuador produjo 162,546.1 t (FAO, 2020).

En Ecuador la producción de cacao es el segundo rubro de exportaciones agrícolas, después del banano, aportando a la economía principalmente de la región Costa y Amazónica del país, especialmente en las provincias de: Los Ríos, Manabí, El Oro y Sucumbíos (Villamar et al., 2016).

Las exportaciones de cacao en grano seco en el Ecuador son un factor incidente para la dinamización de la economía, en la generación de empleo y sobre todo la aportación que genera al PIB. Las variaciones de precio a nivel internacional son un factor determinante para la economía del país (Córdova et al., 2021).

CAPÍTULO 1. FOMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la provincia de El Oro, el rendimiento de este cultivo es variable, especialmente por la edad de los cultivos, los cuales deben ser renovados (Barrezueta-Unda & Chabla-Carrillo, 2017). Aunque se hayan desarrollado programas de renovación de las plantaciones de cacao nacional (García-Batista et al., 2019) se debe seguir trabajando en la búsqueda de soluciones para potenciar las plantaciones de esta zona agrícola. La provincia de El Oro tiene un alto potencial agronómico que se debe a la alta diversidad morfoagronómica de sus cultivares como es el caso del banco de germoplasma de la Universidad Técnica de Machala (Quevedo Guerrero et al., 2020).

En este sentido al conocer la importancia a nivel mundial y dentro de la provincia, se debe tomar en cuenta que el mercado internacional tiene una tendencia creciente a la producción agroecológica, utilizando alternativas ecológicas que permiten obtener rendimientos óptimos y de muy buena calidad. Los productos de origen sintético tiene un aumento en su desarrollo, innovación e investigación (Camino et al., 2016).

Una alternativa para la producción agroecológica es la implementación de conocimientos ancestrales en el manejo del cultivo, entre ellas se encuentra el uso de enmiendas edáficas que permitan mejorar las condiciones para su desarrollo fisiológico del cultivo, como el carbón (Sanchez-Reinoso et al., 2020).

El carbón mineral en los últimos años está siendo investigado, gracias a sus propiedades para la remediación de los suelos de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Zama *et al.*, 2018). Aunque una de las principales fuentes para el uso en la agricultura es el carbón vegetal (Sanchez-Reinoso *et al.*, 2020), no se descarta el uso del carbón mineral, en el suelo su comportamiento permite mejorar las propiedades físicas (porosidad, estructura y textura) (Freibauer *et al.*, 2004).

A su vez, otro aspecto importante a considerar es que el desarrollo morfofisiológico habitual de un cultivo garantiza una producción óptima. La etapa inicial es la de mayor importancia, la cual empieza con la germinación hasta el estado de plántula, para el trasplante in situ, donde se establecerá la plantación y cumplirá su ciclo fenológico completo. La importancia de esta fase radica en la obtención de plantas vigorosas, producidas en los semilleros o viveros bajo las condiciones idóneas (López, 2017).

Por esta razón se realizó una asociación entre las propiedades benéficas que puede aportar la aplicación del carbón mineral en los sustratos (Pinzón *et al.*, 2020) para determinar el efecto del carbón mineral pulverizado en el desarrollo fenotípico y agronómico de plántulas de cacao de tipo nacional a nivel de vivero.

CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes morfofisiológicos e históricos del carbón mineral

La morfofisiología es de gran importancia en el estudio de organismos humanos y vegetales, la importancia de estudiarlo se debe a que los seres vivos y la cadena trófica, se debería investigar y explotar algunas consideraciones como su interacción con el medio, con fines de observar técnicas o maneras de producir alimentos de mejor calidad en espacio y tiempo (Pereira, 2016).

Por medio, de estas técnicas en dependencia del ambiente y características morfoagronómicas se puede entender de mejor manera el comportamiento fisiológico de los cultivos como en el caso de cultivo de *Coccothrinax borhidiana*. El estudio de la morfofisiología de las plantaciones permitirá mejorar los rendimientos de los cultivos. Además, contribuir a la comprensión de la biología de las semillas (Pernús & Sánchez, 2021). El estudio de estas características ha permitido determinar los beneficios del uso de abonos verdes en el desarrollo vegetativo de los cultivos (Suárez et al., 2004).

Debido a la mejora que genera, se indaga que mecanismos permitirían mejorar la morfofisiología de plántulas de cacao en vivero, como es el caso de las propiedades que produce el carbón en los suelos y sobre las características morfoagronómicas de las plantas de cacao (Gorotiza Pinzón et al., 2020). Considerando estas mejoras y las reservas naturales de carbón en Ecuador (Palacios et al., 2019) es importante ver cómo utilizar de manera sostenible los recursos naturales.

Entendiendo que los reservorios de carbón en Ecuador han sido estudiados especialmente en suelos de la región andina del país, siendo las turbas un sitio, donde se depositan los mayores reservorios de carbón (Chimner & Karberg, 2008). Así, la turba por ejemplo en Cayambre-Coca tenía 4 m de espesor, aC de 3.000 años, y había acumulado 140 kgC m². La tasa aproximada de acumulación de carbono a largo plazo es de 46 gC m² año¹.

1.1.1. Objetivos del estudio.

Objetivo General

- Demostrar los efectos de tratamientos del carbón mineral, tamaño de funda y el corte apical de semillas en la morfofisiología de plántulas de cacao tipo nacional (*Theobroma cacao* L.)

Objetivo Específico

- Evidenciar el efecto combinado del carbón mineral y la cantidad de sustrato en parámetros morfofisiológicos, mediante cortes histológicos, en los órganos vegetativos de plántulas de cacao.
- Caracterizar las plántulas de cacao tipo nacional (*T. cacao* L.) sometidas a los tratamientos en estudio.
- Comparar las posibles influencias del carbón mineral en parámetros de la morfofisiología de plántulas de cacao nacional (*T. cacao* L.).

1.2. Antecedentes conceptuales y referenciales.

Importancia del cultivo de cacao

El cultivo de cacao supone ingresos económicos para los países de América Latina y el Caribe (LAC), especialmente para los mercados Europeos y Americanos, donde se destina la mayor producción de cacao obtenida los países miembros de LAC (Chaustre & Castillo, 2018). El cultivo de cacao se ha convertido en un rubro de gran interés produciendo en las nuevas generaciones de productores el interés por buscar estrategias que mejoren la calidad de los granos. Este cultivo es de gran importancia para sus países productores, pero el cacao Ecuatoriano referente de calidad se ha convertido en rubro de vital importancia en la economía del país (El Salous et al., 2020). En el caso de Ecuador por su importancia de calidad se han desarrollado estrategias de marketing para obtener una denominación de origen (Lombeida & Herrera, 2018).

Morfofisiología

Las características morfofisiología de las plantas de cacao, no permiten conocer cuál es el comportamiento vegetativo del cultivo ante la presencia de 2 factores que influyen sobre la morfología o la fisiológica. Así, el CATIE utiliza esta caracterización en sus programas de mejoramiento genético, colecta información novedosa que permite distinguir al comparar entre cultivares o tratamientos los materiales más sobresalientes expuestos a condiciones adversas entre otras (Arciniegas Leal, 2005). Estas características permiten adicionalmente conocer la respuesta de las especies vegetales a

factores no solo abióticos como el ambiente, sino también bióticos como insectos plagas y enfermedades que causan un efecto a la producción y rentabilidad (Loor et al., 2020).

Cultivar ICS-95

El cultivar ICS-95 pertenece al grupo genético trinitario, tiene como país de origen Trinidad y Tobago de ahí que viene su nombre, sus características de alta productividad han dado paso a nuevas investigaciones, permitiendo obtener nuevos clones como es el caso del clon CCN-51, sus altos rendimientos y características agronómicas han permitido que se cultive en todo el país (Fuentes et al., 2015; Mora et al., 2021).

Carbón mineral

Las propiedades físicas y químicas del carbón mineral se han utilizado en varias industrias, especialmente las propiedades químicas en la sistematización de componentes y derivados, en la industria carbonífera (Martínez et al., 2017). Este contenido de carbón está ampliamente conservado en los parámetros de las zonas andinas del país, siendo aplicado en algunas industrias (Ubelaker et al., 1995).

CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del estudio

El área de estudio fue un invernadero establecido en la Granja Experimental Santa Inés en la Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). Ubicada en las coordenadas geográficas $3^{\circ}15'52.29''$ S, $79^{\circ}57'4.3''$ W, en el Cantón Machala, Provincia de El Oro-Ecuador (Figura 1.).

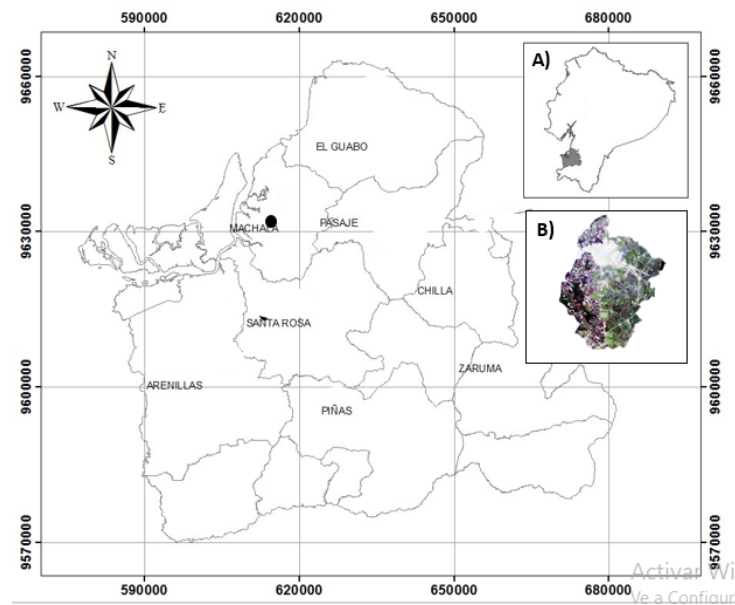


Figura. 1 Provincia de El Oro en Ecuador, (B) Cantón Machala, el punto en el mapa señala la ubicación exacta de la Colección viva de árboles de cacao UTMACH.

Según el sistema de clasificación de climas este sitio corresponde al clima seco a semihúmedo, con un total pluviométrico anual entre 500 y 1.000 mm; la estación seca es muy marcada; y las temperaturas medias elevadas, superiores a 24°C . De acuerdo al mapa de taxonomía de suelos del Atlas de la provincia de El Oro, indica que se encuentran en los órdenes de suelos que van desde los Entisoles en las llanuras aluviales hasta los Inceptisoles en los sitios de mayor altura a nivel del mar y una humedad relativa de 84% (Villaseñor *et al.*, 2015).

2.2 Mapeo sistemático de literatura

Para describir de una manera óptima el mapeo sistemático de literatura de la investigación se elaboró un mecanismo ampliamente utilizado en la revisión sistemática de la literatura o por sus siglas (RSL).

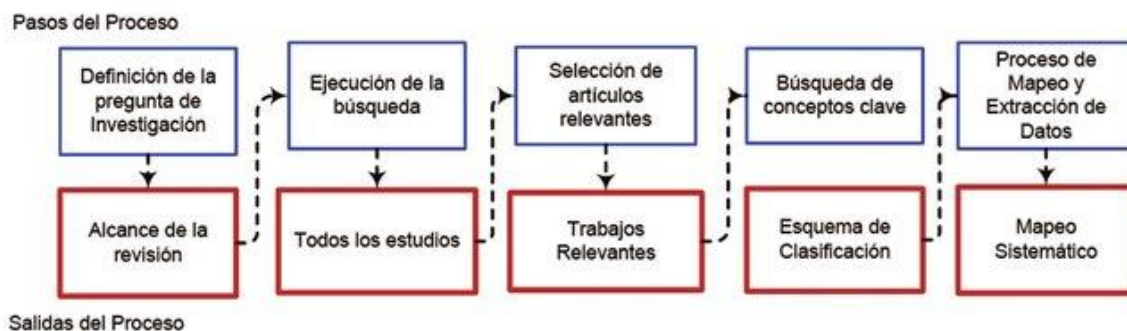


Figura. 2 Proceso de revisión sistemática de la literatura (RSL).

2.3. Material vegetal

Los cacaos utilizados en el estudio fueron el “ICS-95” un híbrido trinitario creado en 1931 en productividad, moderadamente resistente a enfermedades, fino de aroma y de buen sabor (Quintana Fuentes *et al.*, 2014). Colectados de la colección de cacaos de la granja Santa Inés, para ello se consideraron mazorcas maduras y sanas, cuyas características de las semillas seleccionadas del centro de las mazorcas, teniendo en cuenta que presenten buen tamaño, forma y peso, que el punto de crecimiento radical no presente mal formación (Figura 3).

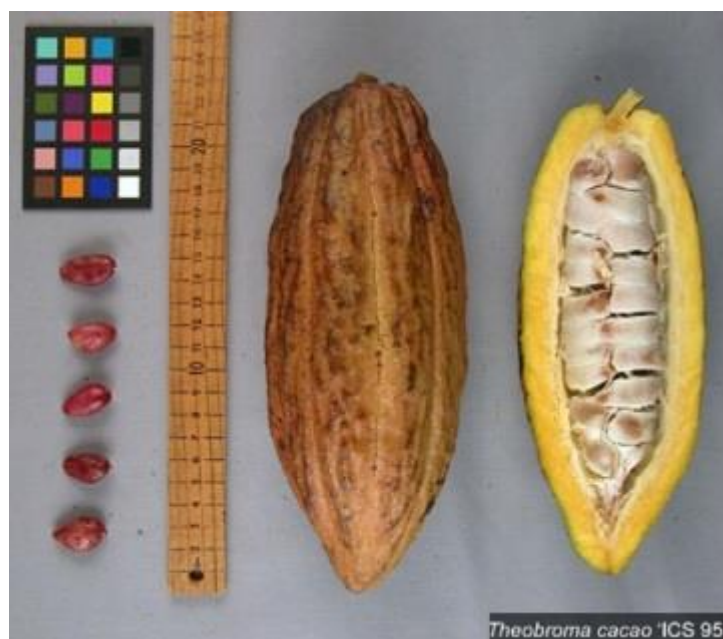


Figura. 3 Cultivar ICS-95 maduro utilizado en el estudio. Fuente: naturkakao.gt

2.4. Métodos

Para medir las variables morfológicas se utilizó pie de rey, cinta métrica y balanza gramera digital. Para evitar daños para las mediciones de la variable de las raíces en el

proceso se realizó un corte en la zona basal de la funda en todo su ancho, de forma delicada se procedió a lavar las raíces para evitar daños mecánicos que influyan en los valores de peso de raíces por contenidos de suelo. Los análisis de materia seca se realizaron en el laboratorio de química inorgánica en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. Los datos micrométricos se tomaron con un microscopio marca AmScope, con los respectivos softwares y cámara modelo MD500 con una resolución de 5.0MP debidamente calibrada para las mediciones.

2.5. Diseño experimental

Se empleó un experimento factorial completamente al azar, se manipularon simultáneamente dos factores de estudio donde las condiciones del entorno y el material experimental fueron homogéneas. Los factores de estudio: Dosis de carbón mineral (0-10-15-20 gramos/Kg de suelo), Tamaño de funda (26 x 16 y 20 x 12 cm).

2.6. Modelo matemático

Se estudiaron 2 factores de estudio que tienen 2 versiones y cuatro niveles, con 4 repeticiones cada uno, se obtuvieron 32 unidades experimentales. Cada unidad experimental constó de 9 unidades muestrales homogéneas en tipo de sustrato, cantidad, procedencia, tamaño de funda y la selección de semillas sembradas. Todas las unidades muestrales cumplieron con características morfológicas uniformes en cada genotipo, se sembraron simultáneamente la misma fecha a una misma profundidad y posición. El modelo matemático de un experimento factorial completamente al azar, está representado por la siguiente ecuación lineal, siendo este un modelo no aditivo, en el cual se estudian las posibles interacciones entre los tratamientos de cada factor de estudio:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : Observación obtenida en el i -ésimo tratamiento del FE A, en el j -ésimo tratamiento del FE B y en la K -ésima repetición.

μ : Media general de la variable de respuesta.

τ_i : Efecto principal producido por el i -ésimo tratamiento, o sea, los niveles o versiones del FE A, con i que va desde 2 hasta el número total de tratamientos.

γ_j : Efecto principal producido por el j-ésimo tratamiento, o sea, los niveles o versiones del FE B, con j que va desde la 2 hasta el número total de tratamientos.

$(\tau\gamma)_{ij}$: Efecto de interacción producido entre el i-ésimo tratamiento del FE A y el j-ésimo tratamiento de FE B.

ϵ_{ijk} : Error experimental asociado, o sea, la desviación en el i-ésimo tratamiento del FE A, j-ésimo tratamiento de FE B, y en la k-ésima repetición.

2.7. Croquis del experimento establecido.

El prefijo G indica la cantidad de gramos que se utilizaron, y el prefijo R el número de repetición de izquierda a derecha el primer R1 y R3 son semillas sin corte apical y el R2 y R4 contienen corte apical en sus semillas, la descripción del croquis se encuentra en la (Figura 4).

G0R1	G0R2	G0R3	G0R4	TAMAÑO DE FUNDA 26 X 16
G10R1	G10R2	G10R3	G10R4	
G15R1	G15R2	G15R3	G15R4	
G20R1	G20R2	G20R3	G20R4	
G0R1	G0R2	G0R3	G0R4	TAMAÑO DE FUNDA 20 X 12
G10R1	G10R2	G10R3	G10R4	
G15R1	G15R2	G15R3	G15R4	
G20R1	G20R2	G20R3	G20R4	
CON CORTE	SIN CORTE	CON CORTE	SIN CORTE	

2.8. Variables estudiadas

Para las variables morfológicas se tomaron 9 muestras de plantas homogéneas y para las variables fisiológicas se tomaron 3 muestras con características de homogeneidad entre su morfología y sanidad (Tabla 1.).

Tabla. 1 Características de las variables evaluadas.

Características	Variables	Tipo de variable
Morfológicas	Altura de tallo (cm)	Cuantitativa
	Diámetro del tallo (cm)	Cuantitativa

	Largo de hoja (cm)	Cuantitativa
	Ancho de hoja (cm)	Cuantitativa
	Número de hojas	Cuantitativa
	Diámetro de la raíz (cm)	Cuantitativa
	Habito de crecimiento	Cualitativa
	Materia seca hojas (g)	Cuantitativa
	Materia seca tallos (g)	Cuantitativa
	Peso seco raíz (g)	Cuantitativa
	Largo del estoma (μm)	Cuantitativa
	Ancho del estoma (μm)	Cuantitativa
Fisiológicas	Diámetro del estoma (μm)	Cuantitativa
	Ancho epidermis (μm)	Cuantitativa
	Número de haces vasculares	Cuantitativa

2.9. Procedimiento estadístico

Para el procesamiento se utilizó el software R, para el procesamiento de los datos y la representación gráfica de los diagramas de cajas y la comparación de las medias obtenidas en el procesamiento por medio del paquete Tydiverse y Statics. Adicional, para comprobar el método de mejor aplicación se realizó una prueba estadística basada en un ANOVA factorial Inter grupos por medio de SPSS Statics

2.9.1. Prueba de verificación de normalidad de datos

Se usó la prueba de Shapiro -Wilk para comprobar si la distribución de datos sigue una distribución similar a la distribución normal.

H0: Existe una distribución similar a la distribución normal en los datos de las variables estudiadas.

H1: Al menos unas de las variables estudiadas no siguen una distribución similar a la distribución normal.

2.9.2. Prueba de homogeneidad de varianzas

Se usó la prueba de Levene para comprobar si el material y el entorno experimental es homogéneo o no.

H0: Se asume que las variables estudiadas tienen varianzas homogéneas.

H1: No se asume que las variables estudiadas tienen varianzas homogéneas.

2.9.3. Prueba de interacción entre los niveles o versiones de los factores de estudio

Se realizó un análisis de varianza factorial intergrupala para comprobar si existe interacción entre los niveles o versiones de los factores de estudio.

H0: No existe interacción entre los tratamientos de cada factor de estudio en las variables estudiadas.

H1: Existe interacción entre los tratamientos de cada factor de estudio en las variables estudiadas.

2.9.4. Diferencia estadística entre tratamientos

Se realizó un análisis de varianza unifactorial intergrupos para comprobar si existen diferencias estadísticas entre los tratamientos de cada factor de estudio en función de cada variable medida. Dado que no se encontraron diferencias significativas, se omitió aplicar la prueba post hoc de Duncan.

2.9.5. Factores de estudio

Factor de estudio carbón mineral

H0: Las medias de las variables de los tratamientos en las diferentes dosis de carbón mineral son iguales.

H1: Al menos una de las medias de las variables de los tratamientos en las diferentes dosis de carbón mineral es iguales.

Factor de estudio medida de fundas

H0: Las medias de las variables de los tratamientos en las diferentes medidas de funda son iguales.

H1: Al menos una de las medias de la de las variables de los tratamientos en las diferentes medidas de funda son iguales.

Nivel de significancia utilizado en las pruebas estadísticas

El nivel de significancia usado fue 5 % en todas las pruebas realizadas, dado que este es el establecido en proyectos de experimentación e investigación agronómica.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

El uso de carbón mineral está siendo investigado actualmente con la aplicación en la agricultura como en el caso del proyecto de nombre Agronomía del centro tecnológico agrario y agroalimentario (Itagra CT), por ello, no se encuentran resultados actualmente en el cultivo de cacao aplicando carbón mineral, pero se puede tomar como referencia los resultados presentados en otros cultivos o el carbón vegetal aplicado en cacao (Agrario, 2020) basado en esta premisa se realiza un análisis de gráficos estadísticos. La naturaleza de la cual se obtiene el carbón no influye en los resultados positivos sobre el área foliar que se presenta en la figura (Figura 5 y 6).

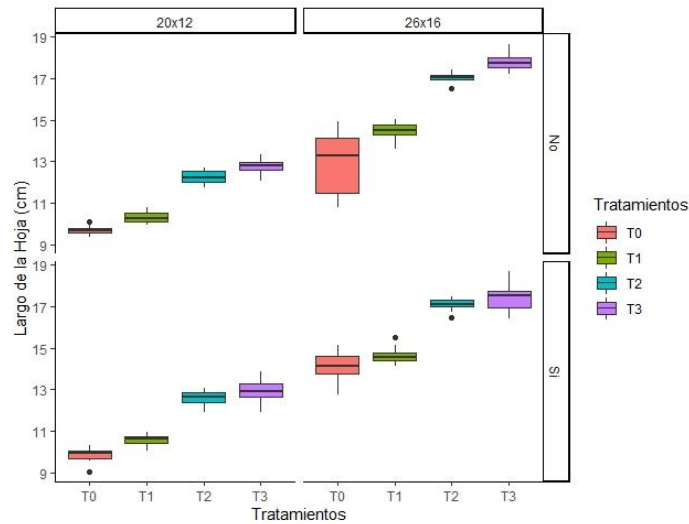


Figura. 5 Diagrama de caja variable largo de la hoja (cm).

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 2 Prueba de Tukey para la variable largo de hoja.

Dosis de carbón mineral	N	HSD Tukey ^{a, b}		
		Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	12,0250		
Tratamiento 1	9		12,6500	
Tratamiento 2	9			15,5250
Tratamiento 3	9			15,9250
Sig.		1,000	1,000	,224

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,250.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

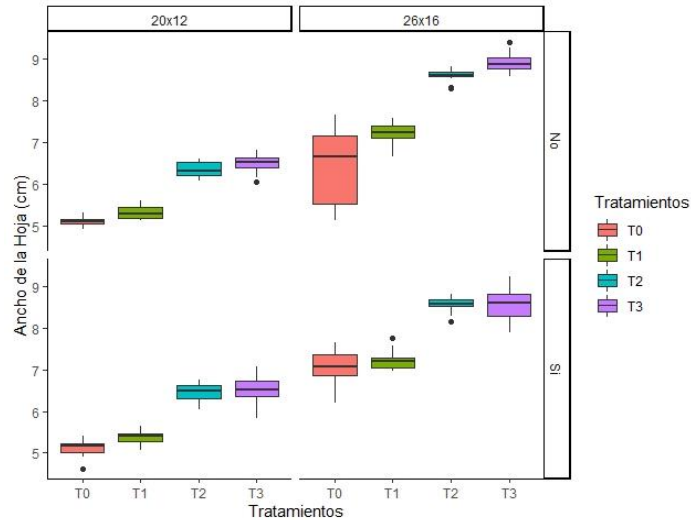


Figura. 6 Diagrama de cajas variable ancho de la hoja (cm).

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 3 Prueba de Tukey para la variable largo de hoja.

Ancho de hoja				
HSD Tukey ^{a, b}				
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	6,0125		
Tratamiento 1	9		6,3250	
Tratamiento 2	9			7,7625
Tratamiento 3	9			7,9625
Sig.		1,000	1,000	,224

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,063.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.
- b. Alfa = ,05.

Al igual que los valores obtenidos para el largo y ancho de las hojas, también se puede evidenciar mayor número de hojas a los 72 días en el tratamiento T3. Sin embargo, para el número de hojas existieron valores medios a las siete hojas en todos los tratamientos, el peso de las hojas dio mejores resultados en las semillas sin corte y con corte en el tratamiento 3, con mayor sesgo en aquellas semillas con corte apical, la media fue de 8, valores semejantes a los obtenido por (Gorotiza Pinzón, 2020) al igual que el contenido de materia seca al aplicar 15 gr (Figura 7 y 8).

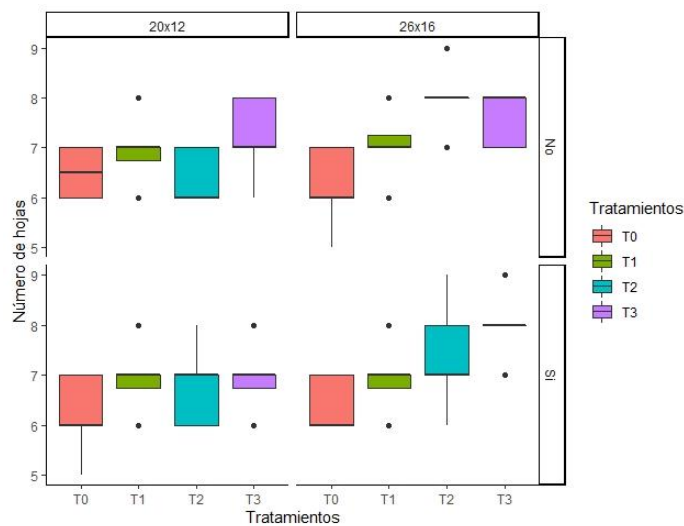


Figura. 7 Diagrama de caja variable número de hojas.

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 2 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 4 Prueba de Tukey para la variable número de hojas.

Número de hojas			
HSD Tukey ^{a, b}			
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos	
		1	2
Testigo	9	6,0833	
Tratamiento 1	9	6,2500	
Tratamiento 2	9		7,7500

Tratamiento 3	9		7,9167
Sig.		,710	,710

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,146.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

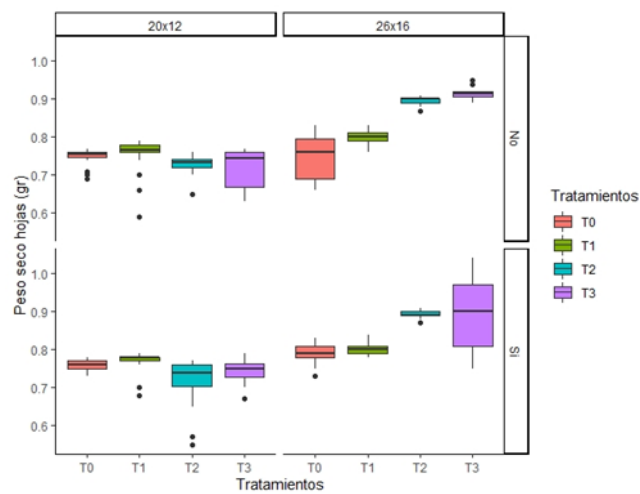


Figura. 8 Diagrama de caja variable peso seco de hojas (g).

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 2 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 5 Prueba de Tukey para la variable peso seco de hoja (g).

Peso seco de hoja				
HSD Tukey ^{a, b}				
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	,8017		
Tratamiento 1	9		,8433	
Tratamiento 2	9			1,0350
Tratamiento 3	9			1,0617
Sig.		1,000	1,000	,223

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Los pesos y la altura de la planta (Figura 9 y 10), aunque con menos variaciones permiten obtener mejores valores en los tratamientos 2 y 3, sin existir influencia en el corte apical estos tamaños fueron menores en el tamaño de las raíces teniendo menor diámetro aquellas que tuvieron corte lo que ayudaría a prevenir atrofiamiento radicular (Gorotiza Pinzón et al., 2020), estudio previos demuestran el aumento en la altura de la planta (Fiallos-Ortega et al., 2015). Beneficios que se han adjudicado al uso de carbón vegetal para mejorar la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas (Fiallos-Ortega et al., 2015).

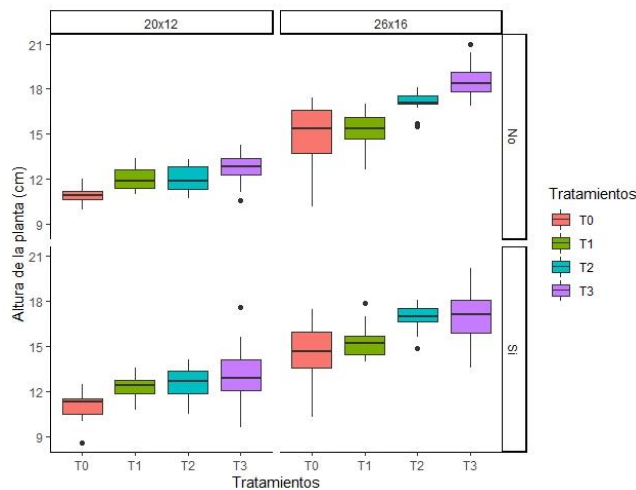


Figura. 9 Diagrama de caja variable altura de la planta.

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 6 Prueba de Tukey para la variable altura de planta (cm).

		Altura de planta		
HSD Tukey ^{a, b}		Subconjuntos		
Dosis de carbón mineral	N	1	2	3

Testigo	9	14,5250		
Tratamiento 1	9		15,1500	
Tratamiento 2	9			18,0250
Tratamiento 3	9			18,4250
Sig.		1,000	1,000	,224

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,250.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

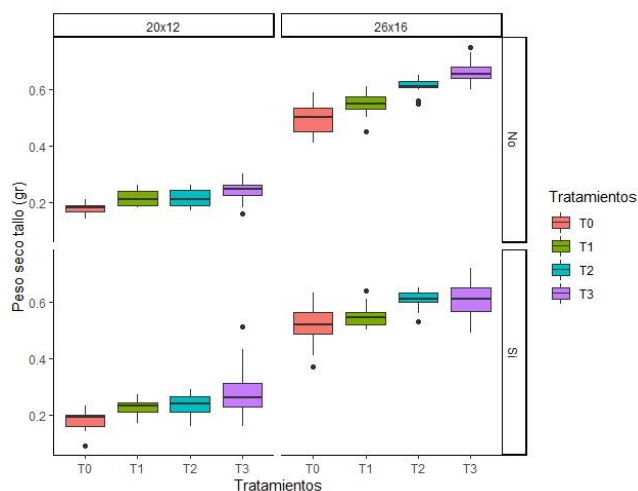


Figura. 10 Diagrama de cajas variable peso seco del tallo.

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 7 Prueba de Tukey para la variable peso seco de tallo (g)

Peso seco de tallo				
HSD Tukey ^{a, b}				
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	,4017		
Tratamiento 1	9		,4433	
Tratamiento 2	9			,6350
Tratamiento 3	9			,6617

Sig.		1,000	1,000	,223
------	--	-------	-------	------

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

El área radicular en las plántulas de cacao fue creciente y directamente proporcional a las dosis de carbón mineral con medias en los valores sin sesgos marcados, hubo menor longitud en las semillas con corte además se evidencio cambios al 80% del sistema radicular de axonomorfa a fasciculada con mayor cantidad de raíces, valores representados en la longitud y el peso de la raíz (Figura 12 y 13).

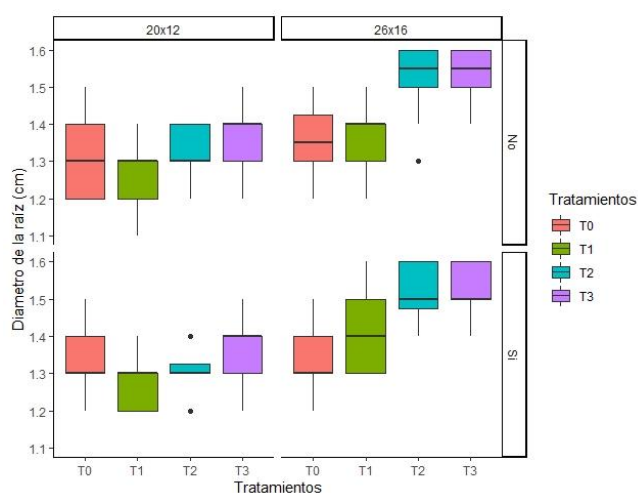


Figura. 11 Diagrama de caja variable diámetro de la raíz (cm).

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 8 Prueba de Tukey para la variable diámetro de raíz.

Diámetro de raíz				
HSD Tukey ^{a, b}				
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	1,4017		
Tratamiento 1	9		1,4433	

Tratamiento 2	9			1,6350
Tratamiento 3	9			1,6617
Sig.		1,000	1,000	,223

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,001.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

Un correcto desarrollo radicular se ve influenciado directamente por las condiciones generadas en el suelo, cuando mayor es la aplicación de carbón mineral la CIC aumenta de manera positiva lo que permite un mejor intercambio con los nutrientes del suelo (Agraria, 2020).

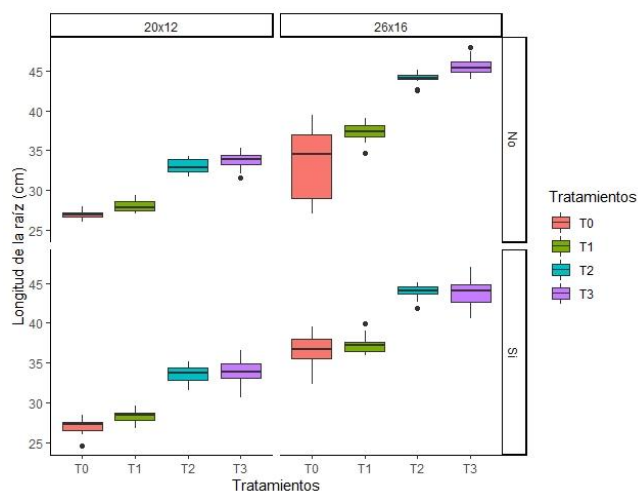


Figura. 12 Diagrama de cajas variable longitud de la raíz (cm).

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 3 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 9 Prueba de Tukey para la variable longitud de raíz.

Longitud de raíz				
HSD Tukey ^{a, b}				
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos		
		1	2	3
Testigo	9	32,7408		
Tratamiento 1	9		33,7617	
Tratamiento 2	9			38,4575

Tratamiento 3	9			39,1108
Sig.		1,000	1,000	,225

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,667.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

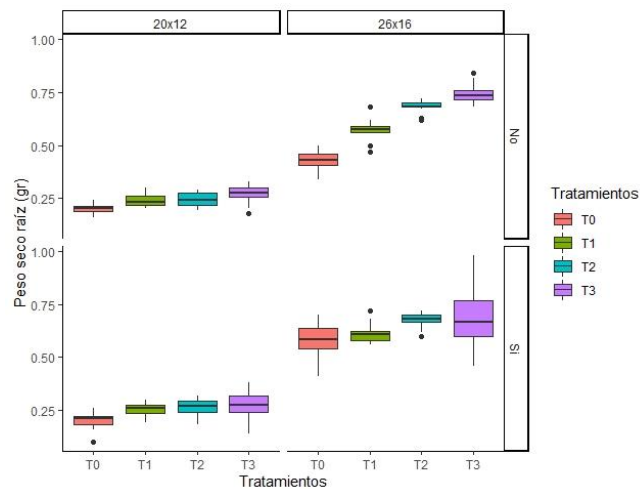


Figura. 13 Diagrama de cajas variable peso seco de la raíz.

Estos resultados fueron constatados con la prueba de Tukey evidenciando que se agrupan los datos obtenidos en 2 subconjuntos los cuales demuestran las diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Tabla. 10 Prueba de Tukey para la variable peso de raíz.

Peso de raíz			
HSD Tukey ^{a, b}			
Dosis de carbón mineral	N	Subconjuntos	
		1	2
Testigo	9	,2808	
Tratamiento 1	9	,2883	
Tratamiento 2	9		,3275
Tratamiento 3	9		,3325
Sig.		,132	,449

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 6,667E-5.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.

b. Alfa = ,05.

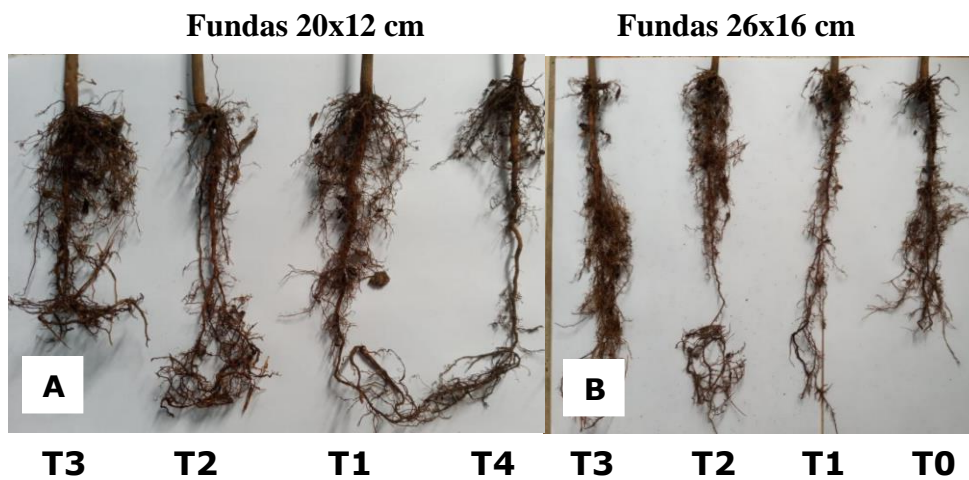


Figura. 14 Atrofiamiento radicular A. Raíces de fundas de 20x12 cm. B. Raíces de fundas de 26x16 cm. De izquierda a derecha los tratamientos de T3 a T0.

El uso del carbón mineral permite mejorar el área radicular, dando paso a una mejor área foliar, resultando conveniente la utilización de este mineral en la agricultura. Sin embargo, debido a sus efectos en los cambios morfológicos que produjo en las raíces se debería estudiar más estos hallazgos para definir si se deben al corte de 1/3 realizado en las semillas o las aplicaciones de carbón mineral.

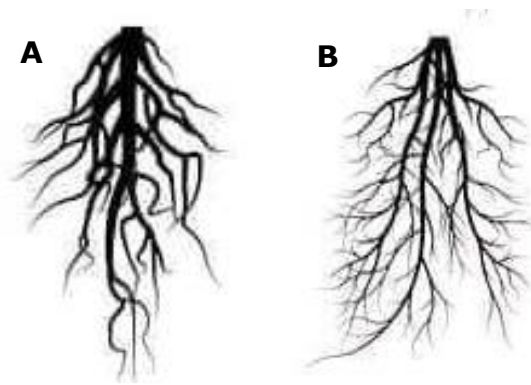


Figura. 15 Estructura morfológica de las raíces. A. Características de las raíces sin corte apical. B. Raíces con corte apical en las semillas.

Microscópicamente la aplicación de carbón mineral no influyó en las variables medidas largo, ancho y diámetro de estomas, ancho de epidermis y número de haces vasculares, lo que permite dar a conocer que la aplicación de carbón mineral no influye en las variables estudiadas. Los tejidos vegetales de las plántulas de cacao permitieron conocer las condiciones osmóticas especialmente los datos de número y tamaño de las estomas, por ello se realizó los cortes de los tejidos al medio día, previamente regadas las plantas cinco horas antes, esto para homogeneizar y reducir el error mecánico al momento de registrar estas variables en el estudio.

El corte apical de las semillas produjo variaciones en la estructura morfológica del sistema radicular, comúnmente identificado en cacao sembrado por semillas como axonomorfa a una estructura poco común en cacao fasciculado en un 80% de aquellas que se realizó el corte.

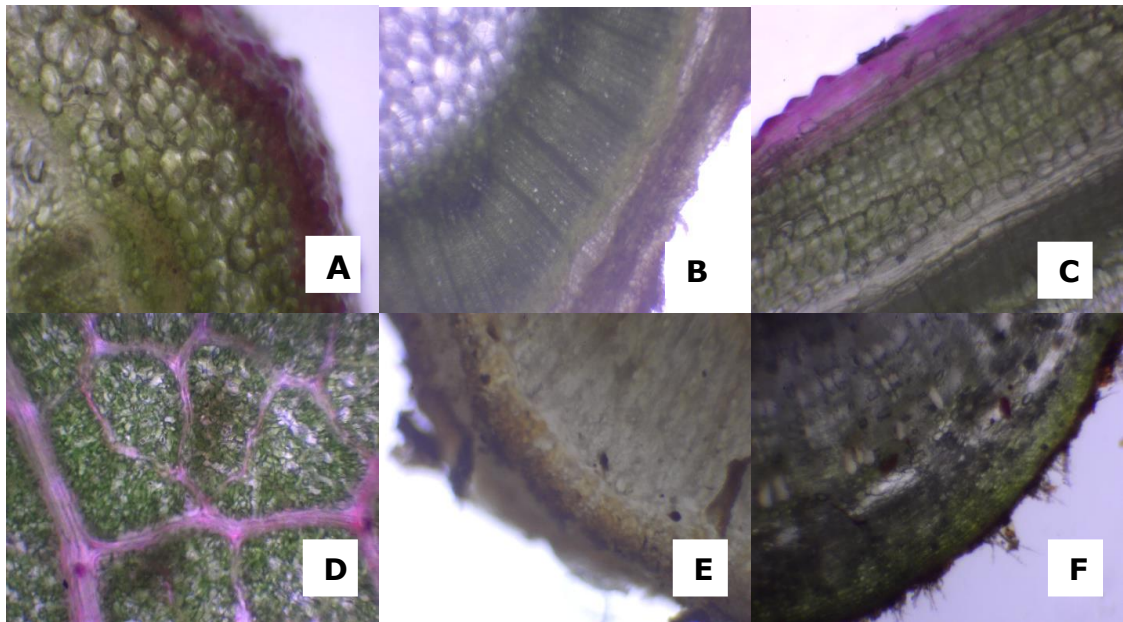


Figura. 16 Estructuras microscópicas analizadas. A. Tejido de sostén. B. Tejido Vascular. C. Tejido conductor. D. Estomas en la hoja. E. Epidermis raíz. F. Epidermis tallo.

Al analizar en el microscopio los tejidos de la raíz, tallo y hojas. No se observaron variaciones en las estructuras en ninguno de los tratamientos, estas observaciones permiten aseverar que no hay una influencia directa de la aplicación mineral sobre los tejidos estudiados, aunque no existen variaciones evidentes al microscopio los tratamientos en fundas de 26x16 cm con la aplicación de 15 g de carbón mineral presentaron estructuras ligeramente grandes con respecto al tratamiento testigo. En las variables microscópicas no se encontraron mayores variaciones significativas permitiendo inferir que el uso de carbón mineral no influye de forma negativa sobre estos parámetros analizadas.

DISCUSIONES

Un análisis comparativo en los valores obtenidos para las variables largo y ancho de las hojas de las medias obtenidas se puede evidenciar los beneficios que produce la aplicación de carbón mineral, sobre el área foliar especialmente en las semillas sin corte apical un tercio de las semillas con dosis de 15 g presentando mejor homogeneidad, estos datos se correlacionan a investigaciones realizadas con carbón vegetal en el cultivo de soya donde se incrementó el área foliar (Suppadit et al., 2012).

La altura de las plántulas de cacao presenta resultados favorables con el uso del carbón mineral, al igual que utilizando carbón de origen vegetal proveniente de las cascavas de cacao (mazorca) (Barrezueta Unda & Sisalima Morales, 2021) siendo otra característica de importancia el número de brotes en las plántulas.

La utilización de fundas con medidas de 26x16 cm. permiten un desarrollo morfofisiológico óptimo en el sistema radicular, las fundas menos eficientes para ser utilizadas como portainjertos (plántulas) son las de 20x12 cm. Presentaron atrofiamiento radicular en los 18 primeros centímetros de desarrollo, especialmente en aquellos donde se habían aplicado dosis de carbón mineral, esto se debe a la influencia que produce el carbón previamente analizado sobre el sistema radicular.

Se debe destacar que la aplicación de carbón mineral aumentó el crecimiento de raíces secundarias especialmente en las fundas de 26x16 cm, donde hubo mayor crecimiento radicular, permitiendo tener mayor asimilación de nutrientes y el aprovechamiento del agua del sustrato, sin necesidad de usar ningún tipo de enraizador adicional que promueva el crecimiento radicular en las plántulas de cacao (Fiallos-Ortega et al., 2015).

El uso de carbón mineral tuvo una influencia directamente proporcional a la dosificación sobre variables morfológicas y fisiológicas tales como: altura de la planta, materia seca del tallo, largo de hoja, ancho de la hoja, materia seca de las hojas, diámetro de las raíces, materia seca de raíces. En menor medida sobre el número de hojas y diámetro del tallo.

El corte apical en las semillas representó una variación en la estructura morfofisiología de las raíces, especialmente en aquellas donde se realizó el corte apical a 1/3 de la semilla, suprimiendo la raíz principal por raíces secundarias y el aumento de raíces

secundarios y número de pelo absorbentes en el sistema radicular véase (Figura 13.). Así, el corte apical de las semillas influye en las características morfológicas de las raíces (Fiallos-Ortega et al., 2015).

CONCLUSIONES

El efecto positivo del carbón mineral se evidencio en el crecimiento de la altura de las plántulas de cacao, el tamaño de funda influye directamente en el desarrollo del sistema radicular, mientras que el corte apical produjo un cambio estructural en la raíz.

La caracterización morfoagronómica de plántulas de cacao con descriptores tales como altura de plántula, tamaño de la hoja, número de hojas, etc., permitieron establecer diferencias estadísticas en la influencia producida por los diferentes tratamientos.

Los cortes histológicos en los órganos vegetativos de las plántulas de cacao no mostraron ninguna diferencia o influencia negativa en los tratamientos aplicados.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar la influencia que produce el carbón mineral en los parámetros físicos químicos y biológicos del suelo.

Se deberían evaluar otras características morfofisiológicas en otros ciclos de vida del cultivo de cacao, con el fin de conocer cuáles son los beneficios o posibles impactos que se producirían las continuas aplicaciones de este mineral en las otras etapas fenológicas del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrario, C. T. (2020). Proyecto AGROMINA: ensayos agronómicos con carbón mineral. Tierras de Castilla y León: Agricultura, (291), 52-60.
- Arciniegas Leal, A. M. (2005). *Caracterización de árboles superiores de cacao (Theobroma cacao L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE*.
- Barrezueta-Unda, S. A., & Chabla-Carrillo, J. E. (2017). Características sociales y económicas de la producción de cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 25. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.952
- Barrezueta Unda, S., & Sisalima Morales, P. (2021). Efectos de biochar en el desarrollo vegetativo de Theobroma cacao L. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 86-91. Recuperado a partir de <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/473>
- Camino, S. M., Diaz, V. A., & Villacis, D. P. (2016). Posicionamiento y eficiencia del banano, cacao y flores del Ecuador en el mercado mundial/Positioning and efficiency of bananas, cocoa and flowers in the global market. *Ciencia Unemi*, 9(19), 48–53.
- Chaustre, R. A. C., & Castillo, P. C. C. (2018). La importancia de la exportación del cacao en Colombia y los países en América Latina. *Revista Investigación & Gestión*, 1(1), 18–27.
- Chimner, R. A., & Karberg, J. M. (2008). Long-term carbon accumulation in two tropical mountain peatlands, Andes Mountains, Ecuador. *Mires & Peat*, 3.
- Córdova, K. S. A., Campoverde, J. M. Q., Unda, S. B., Montealegre, V. J. G., & Romero, H. C. (2021). Análisis económico de la exportación del cacao en el Ecuador durante el periodo 2014–2019. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 2430-2444.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., Torre, M. I., & Weigend, M. (2012). *Hoja botánica: Cacao* (Primera Ed). Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C.
- El Salous, A., Martillo García, J., Gómez Vargas, J., & Martínez Alcivar, F. (2020). Mejoramiento de la calidad del cultivo de cacao en Ecuador. *Rev Venez Gerenc*, 25(3).
- Fiallos-Ortega, L. R., Flores-Mancheno, L. G., Duchi-Duchi, N., Flores-Mancheno, C. I., Baño-Ayala, D., & Estrada-Orozco, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de Medicago sativa. *Ciencia y Agricultura*, 12(2), 13–20.
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D. ., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma*, 122(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Fuentes, L. F. Q., Castelblanco, S. G., & Jerez, A. G., & Guerrero, N. M. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 252–265.

- García Batista, R., Quevedo Guerrero, J., & Socorro Castro, A. (2019). Valoración del estado agronómico de las plantaciones de cacao nacional en el Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2(2), 109–119.
- Gorotiza Pinzón, J., Quevedo Guerrero, J., & García Batista, R. M. (2020). Efectos del corte apical en semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) ICS 95 en sustrato con biocarbón para la obtención de portainjertos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 66–72.
- Lombeida, M. D. Q., & Herrera, J. V. A. (2018). Denominación de origen de cacao ecuatoriano: ¿Un aporte de marketing global? *INNOVA Research Journal*, 3(10.1), 68–76.
- Loor, M. A. V., Cabrera, A. B., Coello, D. V., Mora, M. L., Aragón, A. R., & Loor, A. E. A. V. (2020). Antagonismo in vitro de bacterias endófitas formadoras de endosporas frente a *Moniliophthora roreri* HC. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2).
- López, M. S. E. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) “cacao.” *Arnaldoa*, 24(2), 609–618. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24212>
- Martínez, M., Garbán, G., Gamboa, A., & Rodríguez, R. (2017). Conversión de Carbón a Productos Líquidos mediante Despolimerización Asistida por Solventes: una Revisión de los Fundamentos y Avances en la Región. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(1), 39–46. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i1.240>
- Mora, C., Quevedo, J., Zhiminaicela, J., Herrera, S., Morocho, A., León, J. (2021). Influencia de la madurez de las mazorcas de cacao: calidad nutricional y sensorial del cultivar CCN-51. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 27-40. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2706 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2706>
- PALACIOS, I., CASTRO, S., & RODRÍGUEZ, F. (2019). Almacenamiento de carbono como servicio ambiental en tres reservas naturales del Ecuador. *Revista Geoespacial*, 16(1), 1-14.
- Parada-Gutiérrez, O., & Veloz-Cordero, R. L. (2021). Análisis socioeconómico de productores de cacao, localidad Guabito, provincia Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Holguín*, 27(1), 1-17.
- Pereira, M. M. S. (2016). Manual de prácticas para el fortalecimiento del proceso formativo de la morfofisiología vegetal. *CIENCIAMATRIA*, 2(3), 41–56.
- Pernús, M., & Sánchez, J. A. (2021). Germinación de *Coccothrinax borhidiana* (Arecaceae), palma endémica de Punta Guanós, Matanzas, Cuba. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 42, 69–76.
- Pinzón, J. G., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2020). Efectos del corte apical en semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) ICS 95 en sustrato con biocarbón para la obtención de portainjertos. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 66–72.
- Quevedo Guerrero, J. N., Ramírez Villalobos, M., Zhiminaicela Cabrera, J., Noles León, M. J., Quezada Hidalgo, C., & Aguilar Flores, S. (2020). Diversidad morfoagronómica: caracterización de 650 árboles de *Theobroma cacao* L.

Universidad Y Sociedad, 12(6), 14–21.

- Quintana Fuentes, L. F., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A., & Martínez Guerrero, N. (2014). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CC51, ICS60 e ICS95, en la montaña santaderena, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 6(1), 252–265.
- Quintero, M. L., & Díaz Morales, K. M. (2004). El mercado mundial del cacao. *Agroalimentaria*, 9(18), 47–59.
- Sanchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. A., & Restrepo, H. (2020). Use of Biochar in agriculture. *Acta Biológica Colombiana*, 25(2), 327–338. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n2.79466>
- SALDAÑA-CORTÉS, C., & ANZOLA MORALES, O. L. Innovación y cultura: una aproximación a los grupos de investigación de agricultura, silvicultura y pesca en Colombia. *Revista ESPACIOS*. ISSN, 798, 1015.
- Singh, B. P., & Cowie, A. L. (2015). Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil. *Scientific Reports*, 4(1), 3687. <https://doi.org/10.1038/srep03687>
- Suárez, G., Pérez, A., Martínez, F., Guillot, J., Blanco, A., & Vázquez, Z. (2004). Influencia de los abonos verdes en la obtención de plantas híbridas de cacao (*Theobroma cacao* Lin.) Effect on green manure on hybrid cacao (*Theobroma cacao* Lin.). . *Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao, Santiago de Cuba (Cuba)*.
- Suppadit, T., Phumkokrak, N., & Pongsuk, P. (2012). The Effect of using Quail Litter Biochar on Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72(2), 244–251. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392012000200013>
- Ubelaker, D. H., Katzenberg, M. A., & Doyon, L. G. (1995). Status and diet in precontact highland ecuador. *American Journal of Physical Anthropology*, 97(4), 403–411. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330970407>
- Villamar, F. L., Salazar, J. C., & Quinteros, E. M. (2016). Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador/Strategies for cultivation, marketing and export of aroma fine cocoa in Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(18), 45–55.
- Villaseñor, D., Chabla, J., & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia de El Oro. *Revista Científica CUMBRES*, 1(2), 28–34.
- Viveros, L., & Porras, C. (2006). ¿ Es posible una América Latina sin hambre en 2025. Artículo de opinión. FAO: América Latina sin Hambre, 2025.
- Zama, E. F., Reid, B. J., Arp, H. P. H., Sun, G.-X., Yuan, H.-Y., & Zhu, Y.-G. (2018). Advances in research on the use of biochar in soil for remediation: a review. *Journal of Soils and Sediments*, 18(7), 2433–2450. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2000-9>
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severt, P.,

Hurtado, J., Yopez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879–1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>

ANEXOS



Medición del sustrato y peso del carbón mineral



Llenado de fundas y ubicación por tratamiento



Identificación de tratamientos y siembra de las semillas



Lecturas de pH



Germinación de la semilla y plántulas de cacao de 40 días