



**ESTUDIO DEL BIOCHAR OBTENIDO DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE
PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*, JACQ.), COMO ENMIENDA DE
SUELOS DISTURBADOS EN EL CESAR**

ANDRÉS ALFONSO PEÑALOZA SOTO

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR
2019**

**ESTUDIO DEL BIOCHAR OBTENIDO DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE
PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*, JACQ.), COMO ENMIENDA DE
SUELOS DISTURBADOS EN EL CESAR**

ANDRÉS ALFONSO PEÑALOZA SOTO

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y
SANITARIO**

**Director: LUIS CARLOS DÍAZ MUEGUE
Dr. Ing. Ambiental en Suelos**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR
2019**

PROYECTO: ESTUDIO DEL BIOCHAR OBTENIDO DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*ELAEIS GUINEENSIS*, JACQ.), COMO ENMIENDA DE SUELOS DISTURBADOS EN EL CESAR.

PRESENTADO ANTE: CONSEJO DE FACULTAD INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS.

DEPARTAMENTO: INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA.

ELABORADO POR:

ANDRÉS ALFONSO PEÑALOZA SOTO

CC: 1.065.616.996

DIRECTOR: LUIS CARLOS DIAZ MUEGUE

JURADO CALIFICADOR:

HÉCTOR SEGURA

ORLANDO RUBIANO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, familiares y amigos por el apoyo incondicional durante nuestra carrera al brindarme los recursos necesarios para poder estudiar y anime a seguir adelante. También agradezco a mis profesores por acompañarme en éste proceso de aprendizaje con responsabilidad y templanza. A mis compañeros por la amistad y las experiencias vividas.

También quiero agradecer de manera especial al Grupo de Investigación Energía Ambiental y Biomasa (GEAB) y al semillero de investigación Usos del Carbón y Materiales Lignocelulósicos (UCyML) en cabeza del profesor Luis Carlos Díaz Mueque, ya que gracias a ellos pude tener una grata experiencia en el ámbito profesional, social y personal que me han ayudado a crecer integralmente, para enfrentarme a la realidad del mundo laboral.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	10
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3	JUSTIFICACIÓN.....	13
4	OBJETIVOS.....	14
4.1	Objetivo general.....	14
4.2	Objetivos específicos.....	14
5	MARCO REFERENCIAL	15
5.1	ANTECEDENTES.....	15
5.2	MARCO TEÓRICO	17
5.3	MARCO CONTEXTUAL	20
5.3.1	Zona de estudio.....	20
5.3.2	Economía	21
5.3.3	Geografía	21
5.4	MARCO CONCEPTUAL	21
5.5	MARCO LEGAL	24
6	METODOLOGÍA.....	25
6.1	Descripción.	25
6.2	Tipo de investigación.	25
6.3	Línea de investigación.	25
6.4	Sublínea de investigación.	25
6.5	Etapas 1: Recolección de información primaria y secundaria	25
6.6	Etapas 2: Obtención del biochar.....	25
6.7	Etapas 3: Evaluación del biochar.....	26

6.7.1	Evaluar el biochar de acuerdo a la caracterización de enmiendas.....	26
6.8	Etapa 4: Pruebas agronómicas.....	30
6.8.1	Muestreo previo, post-muestreo, acondicionamiento del terreno y siembra.....	30
6.8.2	Caracterización del suelo.....	30
6.8.3	Crecimiento y biomasa.....	35
7	RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
7.1	RESULTADOS.....	36
7.1.1	Obtención del biochar	36
7.1.2	Caracterización del biochar.....	36
7.1.3	Pruebas agronómicas.....	37
7.2	ANÁLISIS.....	50
7.2.1	Obtención del biochar	50
7.2.2	Caracterización del biochar.....	50
7.2.3	Pruebas agronómicas	50
8	CONCLUSIÓN.....	56
9	RECOMENDACIONES.....	57
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	CRONOGRAMA	64
	PRESUPUESTO.....	65

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Marco Legal	24
Tabla 2. Consideraciones Generales para la Interpretación de Análisis Químicos de Suelos. Fuente: IGAC	34
Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del Biochar	37
Tabla 4. Caracterización del suelo en las diferentes etapas	42
Tabla 5. Crecimiento y biomasa del suelo testigo	46
Tabla 6. Crecimiento y biomasa del suelo experimental	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización zona de estudio (granja UPC).	20
Figura 2. Muestreo sistemático en zigzag.	38
Figura 3. Esquema de siembra por cama	41
Figura 4. pH.	42
Figura 5. Conductividad Eléctrica.	43
Figura 6. Capacidad de Intercambio Catiónico.	43
Figura 7. Retención de Humedad	44
Figura 8. Densidad Real.	44
Figura 9. Fósforo.....	45
Figura 10. Carbono Orgánico.....	45
Figura 11. Número de Plantas.	47
Figura 12. Longitud de Plantas.	47
Figura 13. Longitud de Tallo.	48
Figura 14. Longitud de Raíz.....	48
Figura 15. Número de Bifurcaciones.....	49
Figura 16. Peso.....	49

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Cuesco de palma de aceite (<i>elaeis guineensis</i> , jacq.)	26
Imagen 2. Horno de calentamiento vertical.....	26
Imagen 3. Biochar de cuesco de la palma de aceite.....	36
Imagen 4. Limpieza y delimitación del área	38
Imagen 5. Limpieza (izquierda) y escarbado del terreno (derecha).	39
Imagen 6. División del área. Los banderines azules indican las camas con biochar. Los banderines amarillos el suelo testigo.	39
Imagen 7. Ablandamiento del terreno mediante riego.	40
Imagen 8. Aplicación y mezcla de Biochar.....	40
Imagen 9. Evidencia de la siembra	41

1 INTRODUCCIÓN

El biochar aumenta la productividad y calidad del suelo (Sohi et al., 2009), mejorando el crecimiento de las plantas (Lehmann et al., 2006) gracias a la recalcitrancia de este material frente a otras enmiendas orgánicas y su contribución al incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Cheng et al., 2008, Sohi et al., 2009). El biochar se produce por la denominada descomposición térmica del material orgánico (maderas, estiércoles y residuos de cultivos) bajo un suministro limitado de oxígeno (O₂), y a temperaturas relativamente bajas (<700 °C) (Lehmann y Joseph, 2009).

En el grupo de investigación Energía Ambiente y Biomasa (GEAB) de la Universidad Popular del Cesar se ha venido trabajando en el proyecto de estudio del biochar procedente de residuos del cultivo de palma de aceite (*elaeis guineensis, jacq.*), para su posible uso como enmienda de suelos, especialmente en los suelos del Departamento del Cesar; por lo cual se nos ha facilitado como miembros de dicho grupo, desarrollar ésta investigación que contribuya al desarrollo de la investigación.

En un estudio del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) (IDEAM-U.D.C.A., 2015) sobre la degradación de suelos por erosión en Colombia, el Cesar se encuentra entre los departamentos que presentan una magnitud de erosión superior al 70% respecto a su área y mayor severidad de erosión, afectando su capacidad productiva (Roncallo et al., 2012) principalmente en los municipios ubicados en la zona noroccidental como son: El Paso, Astrea, San Diego, Bosconia, Valledupar, la Paz, Becerril, Agustín Codazzi y el Copey, los cuales tienen más del 50% de su área con diferentes niveles de desertificación según un estudio del IDEAM en convenio con la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) (Corpocesar-Ideam, 2007).

Un ensayo con planta de fríjol en parcelas de la granja de la Universidad Popular del Cesar (UPC) aplicando biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, *jacq.*), nos permitirá evaluar los posibles efectos enmendantes al caracterizar algunas propiedades físicas y químicas del suelo tratado.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha considerado que el 90% de los suelos con mayor potencial agrícola del Departamento del Cesar, han sufrido un proceso de deterioro en sus características físicas, químicas y biológicas, por lo cual está afectada su capacidad productiva y el potencial de producción de los principales sistemas agropecuarios establecidos en la región (Roncallo et al., 2012).

La pregunta es: *¿Puede el biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, jacq.) mejorar las propiedades de éstos suelos disturbados?*

Para establecer si el biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, jacq.) puede ser usado como enmienda en suelos disturbados, es necesario realizar una caracterización del biochar de acuerdo a la caracterización de enmiendas y evaluar el suelo en cuestión antes y después del tratamiento con biochar. Para ello se realizará el proceso de obtención del biochar y un bioensayo con planta de frijol en la granja de la Universidad Popular del Cesar.

3 JUSTIFICACIÓN

El biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis, jacq.*), se presenta como posible alternativa para tratar a los suelos del Departamento del Cesar en procesos de desertificación, favoreciendo en general a la población Cesareense en especial a los agricultores.

El estudio contribuye al conocimiento científico ampliando la gama de posibles enmiendas para suelos disturbados y la posibilidad de réplica en la caracterización de éste tipo de biochar poco estudiado y del bioensayo en futuras investigaciones que permitan su comparación.

Además se fortalecen los estudios del grupo de investigación GEAB sobre éste material, y favorece el posible aprovechamiento en masa de residuos producidos en la industria de palma africana, en especial del cuesco, cuyo adecuado uso y disposición presenta en la actualidad los mayores problemas de este sector de la agroindustria en Colombia (Gómez et al., 2008).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Estudiar el biochar obtenido de residuos del cultivo de palma de aceite (*elaeis guineensis, jacq.*) como enmienda de suelos disturbados en el Cesar.

4.2 Objetivos específicos

- ✓ Producir biochar a partir de residuos del cultivo de palma de aceite (*elaeis guineensis, jacq.*) mediante proceso de pirólisis.
- ✓ Evaluar el biochar obtenido de acuerdo a la caracterización de enmiendas.
- ✓ Estudiar la interacción de suelos con biochar evaluando los efectos de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), retención de humedad, densidad real, fósforo (P), Carbono Orgánico (CO) y, crecimiento y biomasa, en ensayos de cultivo de fríjol a nivel de parcelas.

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 ANTECEDENTES

Para la realización de esta investigación se revisaron algunos estudios sobre el biochar utilizado como enmienda en los suelos, los cuales veremos a continuación en orden cronológico de manera ascendente.

En Novak et al., (2009) los biochares añadidos aumentaron significativamente el valor de pH, P y WHC.

Según Paco (2012), era de esperar que los biochar aumentasen la capacidad de retención de agua del suelo. También pudo observar que la adición de los distintos tipos de biochar provoca un aumento del pH y, en comparación con el suelo base, todos los tratamientos ensayados muestran un aumento de la salinidad, así como del CO.

Al finalizar el bioensayo parece que la adición de enmiendas en forma de biochar conlleva una ligera mejora en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo no parece que el aporte de los distintos tipos de biochar haya permitido una mayor formación de raíces.

En Molina (2013) el suelo tratado es del orden inceptisol con epipedión úmbrico (IGAC, 2013) con textura arenosa - franco – arcilloso (ArFA), el control presentó el pH promedio más alto (6.2) seguido por biochar 8 ton ha⁻¹ (6.0).

La mayoría de las variables fisicoquímicas (a excepción del pH) no presentaron diferencias significativas, por lo tanto se realizaron gráficos del comportamiento del promedio de la variable a través del tiempo del cultivo (tales gráficos sólo pretenden ilustrar la tendencia de crecimiento o decrecimiento de la variable más no implica diferencias significativas entre los datos de los tratamientos).

La densidad real del suelo presentó una disminución en todos los tratamientos siendo el control el tratamiento que mayor cambio tuvo 23.0% de disminución. Mientras que en el caso de la humedad es el tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ el que mayor incremento presentó (2.13%). En cuanto al carbono orgánico el control fue el que mayor aumento mostró con 0.7%.

En el nitrógeno total el control presentó un aumento de 0.02% y los demás tratamientos se mantuvieron estables. Respecto al complejo de cambio se encontró que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyó a lo largo del tiempo del cultivo al igual que el fósforo.

Respecto al número de tallos fue el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ quien presentó el promedio más alto, al igual que la floración con 15 flores/planta.

Fiallos et al., (2015) evidenciaron que el contenido de nitrógeno total del suelo fue de 0,09% antes de la aplicación del biochar, y de 0,11% después de la fertilización. El contenido de fósforo registró un descenso significativo, pues partió de 601,39 mg/kg (antes de la fertilización) y llegó a 592,59 mg/kg (después de la fertilización). El contenido de potasio también reportó un descenso, de 627,19 mg/kg antes de la fertilización a 624,20 mg/kg después de ella. Finalmente, el contenido de carbono orgánico total presentó un incremento significativo, al partir de 0,42% y elevarse a 1,05%. La humedad ascendió de 3,07% a 5,87%. La densidad aparente permaneció igual, mientras que la materia orgánica incrementó de 0,7 a 1,8. El pH incrementó de 4,7 a 6,3. Se obtuvieron los mejores resultados en la producción de alfalfa: menor tiempo de floración, mayor cobertura basal y aérea, así como también mejor altura y mayor número de hojas por tallo.

En Zañudo (2015), la CIC de las mezclas, fue incrementada solo ligeramente por el biochar. Sin embargo en el tratamiento de 10% álamo disminuyó en vez de aumentar, y coincidió ser el lugar donde las plantas se vieron inhibidas y crecieron menos, también la CIC de 10% olote disminuyó en vez de aumentar.

La densidad real del suelo franco arenoso (2.16 Mg m⁻³) fue disminuida en todas las proporciones de los biochar aplicados, a excepción del 5% olote.

La aplicación de los biochar, causó un mayor crecimiento en la altura de las plantas de pepino. La longitud de la raíz tuvo una ligera tendencia a ser más larga mientras más proporción de biochar, sin embargo tampoco hubo una diferencia estadística con respecto al control.

El volumen de las raíces de los tratamientos de álamo y de olote de este estudio tendió a ser mayor a la del control sin ser significativamente diferentes, sin embargo, tendió a disminuir mientras más proporción de biochar

Dume et al., (2015) observaron que la aplicación de materiales de biochar afectó significativamente ($p < 0.01$) el pH y la EC en el suelo tratado, con un incremento de éstos.

No hubo un cambio de clase de textura. Pero, numéricamente, se observó el contenido promedio de arena ($4 \pm 0.01\%$) en el control (0 t ha^{-1}) y el más bajo ($3.33 \pm 0.01\%$) en el suelo tratado con 15 t ha^{-1} de cáscara de café y un incremento en la fracción de arcilla con el promedio más alto ($45.67 \pm 1.06\%$).

La aplicación de biochar significativamente $p < 0.01$ aumentó el contenido promedio de OC, OM, TN y el contenido de P disponible en suelos ácidos. El suelo ácido no tratado tenía $3.7 \pm 0.17\%$ OC, $6.38 \pm 0.21\%$ OM y $0.32 \pm 0.01\%$ TN y $4.51 \pm 0.2 \text{ ppm}$ nivel de fósforo disponible. Sin embargo, después de la incorporación del biochar y el período de incubación de 2 meses, el OC, OM, el nivel disponible de P y TN del suelo ácido aumentó en un 38.84% OC, 36.48% OM, 40.74% TN y 55.78% fósforo disponible.

La adición de biochar afectó significativamente ($p < 0.01$) la CIC del suelo ácido. El suelo ácido no tratado (control) tenía $14.37 \text{ me}/100 \text{ g}$ nivel, sin embargo, debido a la incorporación de biochar y después de 2 meses de período de incubación, el nivel de CIC aumentó de $14,37 \pm 1,05$ a $20,99 \pm 0,70 \text{ me}/100 \text{ g}$.

5.2 MARCO TEÓRICO

La palabra inglesa biochar (en castellano el término todavía no reconocido por la RAE sería biocarbón, por lo que de aquí en adelante se ha utilizado el sustantivo en inglés) es un término de reciente aparición y se refiere a un producto de grano fino y poroso similar en apariencia al carbón vegetal. Se produce a partir de la transformación de distintos tipos de biomasa mediante la técnica denominada pirolisis, que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica bajo un aporte de oxígeno limitado (Paco, 2012). Algunos organismos internacionales que trabajan en la promoción de este material pirogénico, como por ejemplo The

International Biochar Initiative (IBI), y científicos que trabajan en su estudio como Lehmann (2009) proponen en su definición la particularidad de denominar al material pirolizado como biochar cuando su destino es la de aplicación como enmienda orgánica de suelos y para el secuestro de carbono en el mismo, siendo estos últimos aspectos de gran importancia, ya que se descarta el uso de biochar como combustible. De esta forma, se destaca su origen biológico y se diferencia del tradicional carbón vegetal (charcoal) destinado a combustible (Paco, 2012).

El biochar puede aumentar el pH de los suelos, el carbono orgánico y el nitrógeno total, además de otros elementos como fósforo y potasio (Pandey et al., 2016) y es capaz de aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Major et al., 2010).

Una de las ventajas del uso del biochar como enmienda del suelo es que el C puede ser almacenado durante cientos de años, dada la estabilidad del biochar, mejorando el crecimiento de las plantas y el secuestro de carbono en el suelo (Lehmann et al., 2006).

Otros aspectos estudiados son el aumento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas en parte por la mejora de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo (CIC), así como la estimulación de los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua (Fowles, 2007, Glaser et al., 2000). Dichos estudios también hablan de la capacidad de este material para reducir la lixiviación y la escorrentía superficial, aumentar el pH del suelo, así como la absorción de pesticidas y metales pesados (Major, 2010).

En cuanto a beneficios en la producción y requerimiento de nutrientes, se ha encontrado que el biochar permite obtener igual rendimiento de cosecha con una dosis más baja de fertilización que aquellos cultivos en los cuales se aplica la dosis óptima de fertilización (Sohi et al., 2009). Se ha sugerido que el objetivo de aplicación de biochar en suelos de cultivos no sería tanto para aumentar la producción, sino más bien para asegurar un equilibrio de las cosechas, frente a eventos climáticos como por ejemplo sequías (Paco, 2012).

El biochar tiene un amplio uso en la agricultura incluyendo secuestro de carbono por representar una forma de C recalcitrante, aumento de la retención de N, incremento de la capacidad de retención de agua del suelo, biorremediación de suelos y mitigación del cambio climático (Lehmann et al., 2003; Lehmann et al., 2006; Woolf et al., 2010).

La aplicación de biochar utilizando residuos de biomasa de palma de aceite promete ser una tecnología respetuosa con el medio ambiente para su uso en la restauración del suelo de mina. Los biocharres se pueden utilizar directamente para remediar el pH, así como para promover la estabilidad y evitar la lixiviación de metales (Díaz et al., 2016).

5.3 MARCO CONTEXTUAL

5.3.1 Zona de estudio

La granja piloto de la UPC se encuentra ubicada en la zona rural del corregimiento de Valencia de Jesús, jurisdicción del Municipio de Valledupar Departamento del Cesar. Más exactamente en el km 80 por la carretera central que conecta a Valledupar y Valencia de Jesús (vía a Bosconia) después de pasar la entrada a Los Calabazos a mano izquierda, entrando 2,5 km de vía destapada colindando con la vereda El Cielo ($10^{\circ}19'56.8''N$ $73^{\circ}20'08.8''W$) a 10 minutos del casco urbano de Valledupar.

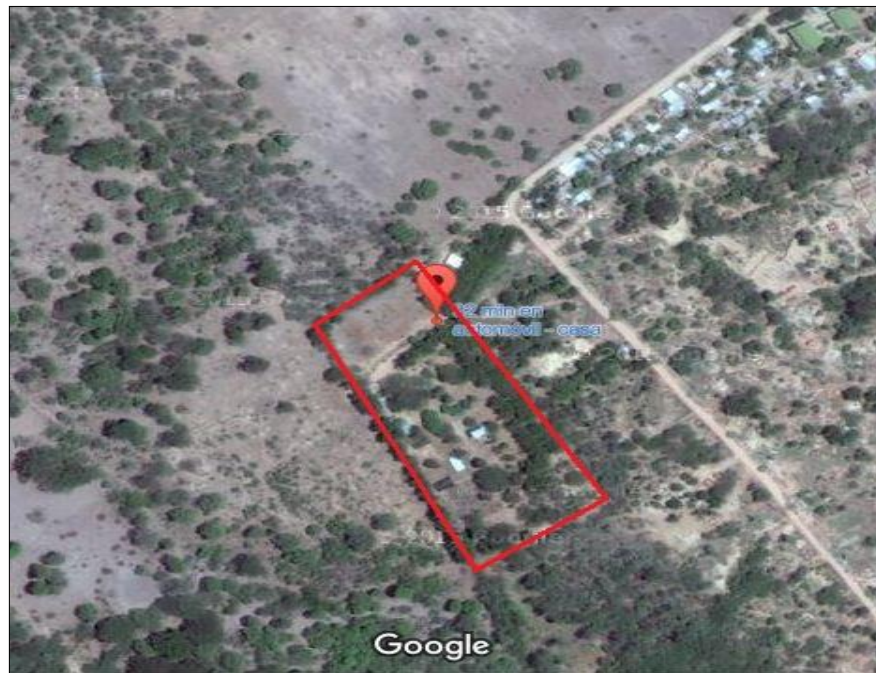


Figura 1. Localización zona de estudio (granja UPC).

La granja piloto de la UPC se encuentra ubicada en la zona rural del corregimiento de Valencia de Jesús, jurisdicción del Municipio de Valledupar Departamento del Cesar. Más exactamente en el km 80 por la carretera central que conecta a Valledupar y Valencia de Jesús (vía a Bosconia) después de pasar la entrada a

Los Calabazos a mano izquierda, entrando 2,5 km de vía destapada colindando con la vereda El Cielo (10°19'56.8"N 73°20'08.8"W) a 10 minutos del casco urbano de Valledupar.

El Cielo es una vereda de 600 habitantes, 150 casas, en donde se trabaja la arcilla para fabricar ladrillos; con una producción de 500.000 ladrillos mensuales (Radio Guatapurí, 2016).

5.3.2 Economía

Los habitantes del corregimiento de Valencia de Jesús se dedican a la ganadería, la agricultura y la alfarería basada en la confección de ladrillos. Los ladrilleros están agremiados en Coarcillas del Cesar y poseen títulos mineros otorgados por el Departamento del Cesar (Radio Guatapurí, 2014).

5.3.3 Geografía

Valencia de Jesús es uno de los 26 corregimientos del municipio de Valledupar, ubicado en su zona suroccidental, entre las estribaciones de las montañas de la Sierra Nevada de Santa Marta y el río Cesar, en el departamento del Cesar. Con una altitud media de 150 m. s. n. m. (Mininterior, 2011).

5.4 MARCO CONCEPTUAL

pH: el pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de éste, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo (USDA, 1999),

Conductividad Eléctrica (CE): medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo, que en valores elevados impiden el buen desarrollo de las plantas. (Mapama, 1994)

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): es una característica importante en el suelo por que determina la adsorción y desorción de nutrientes y por ende, de su disponibilidad en el suelo (Shenbagavalli y Mahimairaja, 2012).

Análisis Elemental: la relación carbono/nitrógeno del suelo desde el punto de vista químico, constituye un índice de gran utilidad en la interpretación de la calidad de la materia orgánica respecto a su fertilidad. (Universidad de Caldas - Unión Europea, 2011),

Humedad: El contenido de humedad en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal (Cisneros, 2005).

Densidad real (Dr): Según el manual de edafología de la Universidad de Chile (Casanova, 2004), la densidad de los suelos a menudo es usada como un indicador de la compactación.

Fósforo (P): La razón principal para medir P en el suelo es para evitar su deficiencia en la planta y predecir el requerimiento de fertilizante. El fósforo contribuye a la formación de las flores y raíces, y para ser aprovechable por la planta, tiene que estar en la solución del suelo (Ciat, 1993).

Carbono Orgánico (CO): El CO es uno de los principales indicadores para determinar la calidad del suelo, siendo el principal elemento que forma parte de la materia orgánica, la cual influye mucho en las propiedades químicas y físicas del suelo, por lo tanto, es importante tener una idea de su contenido en el mismo (Ciat, 1993).

Nitrógeno (N): El nitrógeno (N) es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Unos síntomas de la deficiencia de N son el crecimiento lento y un color verde claro (Ciat, 1993).

Suelo: Según IDEAM-U.D.C.A. (2015) el suelo es un componente fundamental del ambiente, natural, finito, constituido por minerales, aire, agua, materia orgánica, macro y microorganismos que desempeñan procesos permanentes de tipo biótico y abiótico, cumpliendo funciones y prestando servicios ecosistémicos vitales para la sociedad y el planeta.

Suelo disturbado: De acuerdo con la Universidad Austral de Chile (UACH), es aquel que ha perdido su estructura natural; siendo la estructura del suelo según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla.

Enmienda: Según apuntes de Núñez J. en su libro fundamentos de Edafología, una enmienda son todos aquellos materiales que se incorporan al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas o biológicas.

En agricultura se conoce por "enmiendas" aquellas sustancias que se incorporan a los suelos, las cuales actúan principalmente sobre la textura de éste, corrigiendo problemas de compactación o exceso de soltura y actuando sobre las reacciones químicas y/o biológicas, estimulándolas en diversas formas (Basaure, 2011).

5.5 MARCO LEGAL

El marco legal en el cual está basado esta investigación se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Marco Legal

NORMA	DEFINICIÓN	ARTÍCULOS
Constitución Política de Colombia	Garantizar un orden político, económico y social justo.	8, 82, 313.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Estableció la importancia de la conservación de los ecosistemas naturales y el suelo.	3 (literal a, numerales 3 y 9), 8 (literales a y b), 35, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185 y 186.
Resolución 0170 de 2009	Por la cual se declara en Colombia el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos y se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional.	1, 2, 3.
Norma Técnica Colombiana NTC 5167	Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo.	

6 METODOLOGÍA.

6.1 Descripción.

En este trabajo de investigación utilizamos, información primaria y secundaria o sea, de libros, folletos y toda clase de informe relacionado con el trabajo y la información conseguida con el estudio del trabajo de la investigación.

6.2 Tipo de investigación.

En este trabajo utilizamos una investigación descriptiva.

6.3 Línea de investigación.

Sostenibilidad y Gestión Ambiental.

6.4 Sublínea de investigación.

Suelos.

6.5 Etapa 1: Recolección de información primaria y secundaria

6.6 Etapa 2: Obtención del biochar.

Se sometió el cuesco (Imagen 1) de la palma de aceite (*elaeis guineensis*, jacq.) a una temperatura de 450 °C, en horno de calentamiento vertical (Imagen 2) equipado con un set de resistencias en forma de U, cada una con una potencia de 1,5 KW, conectadas en paralelo, enchaquetado y aislado térmicamente con lana de vidrio. El horno cuenta con un espacio reservado para la retorta, en donde se encuentran instaladas las tres resistencias sobre un soporte de cerámica refractaria con fuente de 220 V, en atmósfera inerte (N₂) con flujo de 3 L/min y con tiempo de residencia de 2 horas en un equipo de Análisis Termo Gravimétrico o TGA. El reactor dispone de una entrada para el gas inerte, y un sistema para recoger los alquitranes y desechar los gases producidos como lo muestra la imagen 1.



Imagen 1. Cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, jacq.)



Imagen 2. Horno de calentamiento vertical

6.7 Etapa 3: Evaluación del biochar.

6.7.1 Evaluar el biochar de acuerdo a la caracterización de enmiendas.

Se toma el biochar obtenido se tritura y se tamiza en malla #2 para estandarizar el material, con tamaños de 2 cm. Luego se realizaron las pruebas correspondientes a la caracterización de enmiendas con los siguientes parámetros de acuerdo con la NTC 5167:

pH.

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 5167 (NTC 5167, 2004), el método utilizado para evaluar el pH y la conductividad eléctrica de un producto orgánico, es el mismo empleado para la caracterización de la salinidad en suelos, esto es en pasta de saturación. Se determinó la concentración de H^+ pH-metro de electrodo de vidrio en relación 1:5.

Los resultados fueron presentados en unidades de pH, en un rango de 0 a 14. Según la NTC 5167 (2004) el pH debe ser mayor de 4 y menor de 9.

Conductividad Eléctrica (CE).

La medición se hizo a través de un conductímetro, bajo la NTC 5167 (2004). Los resultados fueron dados en dS/m en relación 1:5.

Valores de CE (dS/m) para algunas enmiendas (Muñoz et al., 2015; Rotondo et al., 2009):

Compost de residuos de finca cafetera: 0,09.

Compost proveniente de los residuos de plazas de mercado: 0,15.

Lombricompuesto de residuos domiciliarios: 1,9.

Lombricompuesto de estiércol de conejo y caballo: 0,42.

Cama de cáscara de arroz con estiércol de pollo: 6,8.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

El método descrito es el del acetato de amonio 1 N pH 7,0 el cual presenta algunas ventajas sobre los demás métodos conocidos. Se basa en el reemplazo de las posiciones de intercambio por el ión amonio y su posterior desplazamiento con una solución de cloruro de sodio, produciendo cloruro de amonio el cual en presencia de formaldehído forma estequiométricamente un complejo nitrogenado y ácido clorhídrico el cual es evaluado con hidróxido de sodio por el método de titulación con hidróxido de sodio y expresado en *me/100 g* (NTC 5167, 2004).

Según la NTC 5167 (2004), la capacidad de intercambio catiónico debe ser mínimo 30 cmol(+)/ Kg (meq/100g).

Análisis Elemental.

Consistió en la determinación de C, H, N, S. El Carbono (C), Hidrógeno (H), el Nitrógeno (N), y el Azufre (S) contenidos en el biochar se utilizando Analizador Elemental Leco TruSpec Micro CHN/CHNS/O. El contenido de oxígeno se calculó por diferencia de masa (100% - C, H, N y % de ceniza). Según la Universidad de Alicante, el análisis elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre presente en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica tanto sólidas como líquidas. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C. Los diferentes productos de combustión CO₂, H₂O y N₂, son transportados mediante el gas portador (He) a través de un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla. Los resultados se fueron dados en porcentajes (%).

En el documento “Certificado Europeo del Biochar - Directrices para una producción sostenible de biochar” según la Fundación Europea de Biochar (EBC, 2012) EBC por sus siglas en inglés, para definir un material como biochar éste debe superar un contenido de carbono del 50% y se considera de primera clase si supera el 60% de acuerdo con la Iniciativa Internacional del Biochar (IBI, 2012) IBI por sus siglas en inglés, en el documento “Directrices estandarizadas para la definición de productos y pruebas de productos para biochar que se usa en el suelo”.

En un informativo del Centro Regional de Investigación INTIHUASI, del Ministerio de Agricultura de Chile (2004) la relación C/N se expresa en términos numéricos (por ejemplo, C/N = 20, significa 20 partes de carbono por una de nitrógeno) y su efecto se resume así:

Relación C/N baja (menor de 20): alta disponibilidad de nitrógeno.

Relación C/N media (20 a 30): disponibilidad moderada de nitrógeno.

Relación C/N alta (mayor a 30): baja disponibilidad de nitrógeno.

Mientras más alta sea la relación C/N habrá más problemas de disponibilidad del nitrógeno del suelo. Llegando en casos extremos a provocar lo que se llama “hambre de nitrógeno”, es decir que los microorganismos al tener mucho alimento energético (carbono) incrementan el consumo de nitrógeno del suelo para su propio desarrollo provocando deficiencias a las plantas (Ministerio de Agricultura de Chile, 2004).

Retención de humedad.

Se determinó la capacidad de retención de agua por saturación, bajo la NTC 5167 (2004). Ésta debe ser mínimo su propio peso según la misma norma. Los resultados se presentaron en porcentaje de saturación (%).

Densidad real (Dr).

El método se basó en la cuantificación de la masa de producto que se deposita libremente por unidad de volumen, en un recipiente de volumen conocido. Según la NTC 5167 (2004), la densidad máxima debe ser de 0,6 g/cm³.

Fósforo (P).

Se determinó por método Olsen modificado (extracción con bicarbonato de sodio 0,5 N a pH de 8,5 y cuantificación colorimétrica con azul de molibdeno) (Olsen et al., 1954), el cual cuenta con dos etapas: la etapa 1 es la extracción por medio de una solución de bicarbonato sodio al 0,5 N y la etapa 2 que es la de cuantificación por espectrofotometría UV-visible a una longitud de onda de 635nm.

Debe ser >1% según la NTC 5167 (2004). Los resultados serán presentados en mg/kg, unidad equivalente al porcentaje.

Carbono Orgánico.

Se determinó por el método Walkley-Black, en el cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. Se determinó por colorimetría, cuantificando el color verde del ácido crómico reducido a $\lambda_{\text{máx}} =$

585 nm, el cual es proporcional a la materia orgánica que reacciona (Walkley, A. y Black, I.A. 1934).

Según la NTC 5167 (2004), el contenido de carbono orgánico oxidable total debe ser mínimo del 15%.

6.8 Etapa 4: Pruebas agronómicas.

6.8.1 Muestreo previo, post-muestreo, acondicionamiento del terreno y siembra.

Se escarbó el área con pico para remover un poco el suelo y permitir que los rayos del sol lo penetraran para airearlo y eliminar posibles patógenos. Luego se dividió el área en 10 camas de 1x1 m

Se limpió el terreno donde se desarrolló la siembra o el bioensayo, se delimitó la zona en áreas de 5x2 m y se realizó el muestreo sistemático en zigzag para su caracterización previa y aleatorio para el post-muestreo tomando 5 muestras..

Se depositaron 3 semillas de frijol por golpe.

Agregamos agua a todas las camas para ablandar un poco el terreno, luego aplicamos 3 litros de biochar por cada cama de dicho tratamiento y lo mezclamos con el suelo, realizamos los huecos y procedimos a sembrar de entre 3 a 4 semillas en cada uno.

6.8.2 Caracterización del suelo.

Se dejaron secar las muestras de suelo al ambiente para equilibrarlas y homogenizar. Luego se tomaron muestras representativas de 5 gramos por muestra para caracterizar los suelos testigos y experimental en los laboratorios de la universidad evaluando el suelo en cuestión con los siguientes parámetros:

pH.

Se determinó el pH utilizando el método del potenciómetro (pH-metro). En relación 1:1 w/v suelo:agua bajo la NTC 5264. Los métodos potenciométricos se basan en la comparación del potencial eléctrico producido por los iones H^+ en la solución con el potencial constante que produce un electrodo de referencia o patrón. Los iones H^+ son medidos por un electrodo de hidrógeno. La escala de pH tiene valores que van del cero (el valor más ácido) al 14 (el más básico).

Interpretar con tabla del IGAC (Ver al final de la Metodología para suelos).

Guerrero (1991) sostiene que agronómicamente la mayoría de elementos esenciales y de cultivos se comportan bien a pHs entre 5,5 y 6,7 y que probablemente el pH óptimo está entre 6,2 y 6,5. El ICA (1992) reporta algunos rangos de tolerancia de pH para algunas plantas de cultivo así:

- ✓ Plantas con rango entre 4,8 y 5,5: Piña, yuca, papa y pastos gordura, braquiaria y puntero.
- ✓ Plantas con rango de pH entre 5,6 y 6,4: Arroz, maíz, tomate, trigo, **fríjol**.
- ✓ Plantas con rango de pH entre 6,5 y 7,3: Alfalfa, trébol, algodón, coliflor, caña de azúcar.

Conductividad Eléctrica (CE).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999), USDA por sus siglas en inglés; la CE de mezclas de suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo y se estimó la midiendo la conductividad eléctrica del extracto del suelo con un conductímetro. Los iones generalmente asociados con salinidad son Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , Na^{+} , H^{+} (cationes) ó NO_3^{-} , SO_4^{-} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , OH^{-} (aniones).

Los resultados fueron presentados en dS/m (relación 1:5).

Interpretar con tabla del IGAC (Ver al final de la Metodología para suelos).

El fríjol tolera una conductividad eléctrica hasta de 1 mmhos/cm; por encima de este nivel, los rendimientos disminuyen significativamente (Schwartz y Gálvez, 1980).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Se determinó mediante el método del acetato de amonio. Para determinar la CIC del suelo se satura los sitios de intercambio con un exceso de acetato de amonio, luego se lava el suelo con alcohol para eliminar el exceso de amonio en la solución del suelo. El amonio que queda ocupa los sitios de cambio, se lixivia el suelo con una solución de cloruro de sodio para desplazar el amonio y se mide la concentración de amonio en el extracto por titulación con hidróxido de sodio (Ciat, 1993).

Los resultados fueron dados en meq/100 g de suelo.

Interpretar con tabla del IGAC (Ver al final de la Metodología para suelos).

Densidad real.

Se determinó por el método del picnómetro.

Según Jaramillo (2002), la densidad real es el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el suelo, es decir, sin involucrar en el volumen el espacio ocupado por los poros; se deduce, entonces, su dependencia de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales en él, como la materia orgánica y los óxidos de hierro.

Para fines prácticos, se asume como un valor promedio adecuado de densidad real para suelos minerales, 2,65 g/cm³. En un suelo cuya mineralogía esté dominada por óxidos de hierro se presentará una densidad real muy por encima del valor promedio anotado anteriormente. De otro lado, los valores por debajo del promedio pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica y/o de aluminosilicatos no cristalinos en el suelo (Jaramillo, 2002). Los resultados fueron presentados en unidades de gr/cm³.

Retención de humedad.

La capacidad de retención de agua o Water Holding Capacity (W. H. C.), se determinó por el método propuesto por Mataix (1999), el cual consiste en pesar 50 gr de suelo seco y tamizado y colocarlo sobre un embudo que contenga un papel filtro previamente pesado. Se coloca el embudo con el filtro y la muestra de suelo sobre un vaso de vidrio y se riega la muestra de suelo con 50 ml de agua destilada, se tapa el embudo con parafilm y se deja por 16 horas. Se lleva un blanco de proceso.

Luego de 16 horas se pesó el suelo mojado junto al filtro. El filtro con la muestras se llevó al horno por 12 horas en una estufa a 100°C y transcurrido ese tiempo se volvió a pesar. Los resultados se presentaron en porcentaje (%).

Fósforo (P) disponible.

Se determinó por método Olsen modificado (Olsen, et al., 1954).

De acuerdo a los rangos y clasificación de los niveles de nutrientes encontrados en algunos análisis de suelo según Landon (1984), el P de Olsen expresado en $\mu\text{g/g}$ (mg/kg) es alto si >15 , medio si está entre 5-15 y bajo si es <5 .

El nivel de P en el suelo para un crecimiento óptimo del cultivo de frijol es de 15 $\mu\text{g/g}$ según Howeler (1983).

Carbono Orgánico.

Se determinó por el método Walkley-Black (Walkley, A. y Black, I.A., 1934), en el cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica. Se determinó por colorimetría, cuantificando el color verde del ácido crómico reducido a $\lambda_{\text{máx}} = 585 \text{ nm}$, el cual es proporcional a la materia orgánica que reacciona.

Interpretar con tabla del IGAC.

Tabla 2. Consideraciones Generales para la Interpretación de Análisis Químicos de Suelos. Fuente: IGAC

 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS												
pH (H ₂ O) 1:1	APRECIACIÓN	P mg Kg ⁻¹ (BRAY II)	K cmol (+) Kg ⁻¹	C.O (%)			N.Total (%)			CIC cmol (+) Kg ⁻¹	SATURACIÓN DE BASES (SB) %	
				CLIMA			CLIMA					
				FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO			
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35	
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.25 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50	
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50	
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I)	APRECIACIÓN		
5.1 - 5.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K							
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA dS m ⁻¹	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI) A 15%	CLASE	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES		
5.6 - 6.0	K DEFICIENTE	>18	>30	>40	0 - 2	NORMAL						
MEDIANAMENTE ÁCIDO					2 - 4			INFERIOR				LÍMITE
6.1 - 6.5					4 - 8							
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1		8 - 16	15%	S1		15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES		
6.6 - 7.3					S2							
NEUTRO					S3							
7.4 - 7.8	CONTENIDO OPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16	SUPERIOR	Na	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES		
LIGERAMENTE ALCALINO		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4		NaS1				
7.9 - 8.4	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8		A 15%				NaS2
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	8 - 16	NaS3					
8.5 - 9.0												
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.							ÁREA DE QUÍMICA				
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .											
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .											
NC(Nivel Crítico): 25 mg Kg ⁻¹ NO ₃ ; 20 mg Kg ⁻¹ NH ₄ ; 20 mg Kg ⁻¹ S disponible (Fosfato de calcio)												
CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):												
N (%): 2,5-4,5; P (%): 0,20-0,75; K (%): 1,5-5,5; Ca (%): 1,0-4,0; Mg (%): 0,25-1,0; S (%): 0,25-1,0												
B (mg Kg ⁻¹): 10-200; Cu (mg Kg ⁻¹): 5-30; Fe (mg Kg ⁻¹): 100-500; Mn (mg Kg ⁻¹): 20-300; Zn (mg Kg ⁻¹): 27-100; Mo (mg Kg ⁻¹): 0.10-0.20; Cl (mg Kg ⁻¹): 100-500												

6.8.3 Crecimiento y biomasa.

Se utilizó como bioindicador planta de fríjol caupí, castilla, chileno o cabecita negra; cuyo nombre científico es *Vigna unguiculata* L. Walp del orden de las leguminosas determinando número de plantas por conteo, medición de planta con cinta métrica, peso con balanza, longitud de tallo, longitud de raíz y número de bifurcaciones.

Según la Asociación de Productores Agropecuarios del Distrito de Morropón en Piura, Perú (Asopromor, 2012), la planta de fríjol Caupí presenta diferentes hábitos de crecimiento: erecto, semierecto, postrado y semipostrado. El tamaño de la planta varía entre 25 cm. (tipos erectos) y 80 cm. (tipos semierectos). La prefloración es de 25 a 30 días y el llenado de grano de 55 a 60 días.

Tabulación y Análisis de resultados

Éstos resultados se van a tabular y hacer gráficas teniendo en cuenta una matriz que puede ser ANOVA o Statgraphics o cualquiera que interprete mejor el proceso de resultados del trabajo de investigación.

7 RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 RESULTADOS

7.1.1 Obtención del biochar

Luego de ser sometido el cuesco el cuesco de palma (*elaeis guineensis, jacq.*) a una temperatura de 450 °C, en horno de calentamiento vertical, se obtuvo el biochar requerido para los ensayos.



Imagen 3. Biochar de cuesco de la palma de aceite

7.1.2 Caracterización del biochar.

Los resultados de los análisis físicos y químicos de biochar procedente de residuos de la palma de aceite se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del Biochar

Análisis	Unidades	Valor
pH	-	6,1*
CE	(dS/m)	0,44**
CIC	(meq/100 gr)	28,8
C	%	65,5
H	%	4,19
N	%	4,25
S	%	0
O	%	18,04
C/N		15,41
Retención de Humedad	%	320
Densidad Real	(gr/cm ³)	0,6
P	mg/kg	1,65
CO	%	0,2

pH* 1:5; **CE 1:5

7.1.3 Pruebas agronómicas.

7.1.3.1 Muestreo previo, post-muestreo, acondicionamiento del terreno y siembra.

- a. *Desmonte, delimitación del área y muestreo previo.* Se limpió el terreno donde se desarrolló la siembra o el bioensayo, se delimitó el área y se realizó el muestreo del suelo para su caracterización previa.



Imagen 4. Limpieza y delimitación del área

En dicha área de 5x2 m se hizo el muestreo previo del suelo de la siguiente manera, tomando 5 muestras.

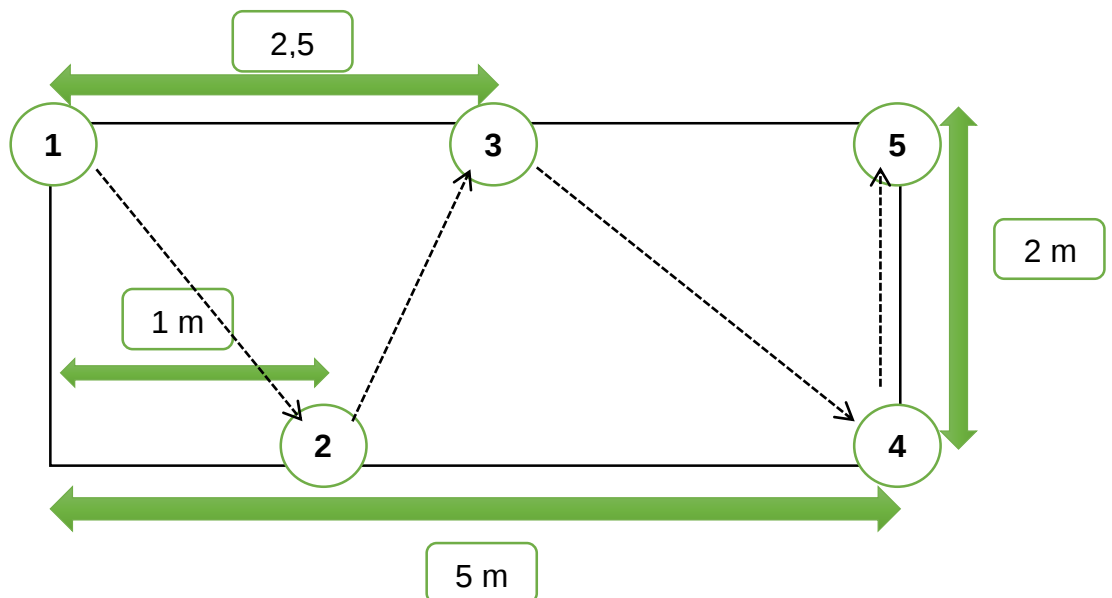


Figura 2. Muestreo sistemático en zigzag.

- b. Preparación del terreno y división del área.** Se escarbó el área con pico para remover un poco el suelo y permitir que los rayos del sol lo penetraran

para airearlo y eliminar posibles patógenos. Luego se dividió el área en 10 camas de 1x1 m como lo muestra la imagen 5 y 6.



Imagen 5. Limpieza (izquierda) y escarbado del terreno (derecha).



Imagen 6. División del área. Los banderines azules indican las camas con biochar. Los banderines amarillos el suelo testigo.

- c. *Aplicación del biochar y siembra.*** Agregamos agua a todas las camas para ablandar un poco el terreno, luego aplicamos 3 litros de biochar por cada cama de dicho tratamiento y lo mezclamos con el suelo, realizamos los huecos y procedimos a sembrar de entre 3 a 4 semillas en cada uno.



Imagen 7. Ablandamiento del terreno mediante riego.



Imagen 8. Aplicación y mezcla de Biochar

Para la siembra por cama se realizó se acuerdo al esquema que se muestra en la figura 3, en cada cama se elaboraron dieciséis (16) huecos.

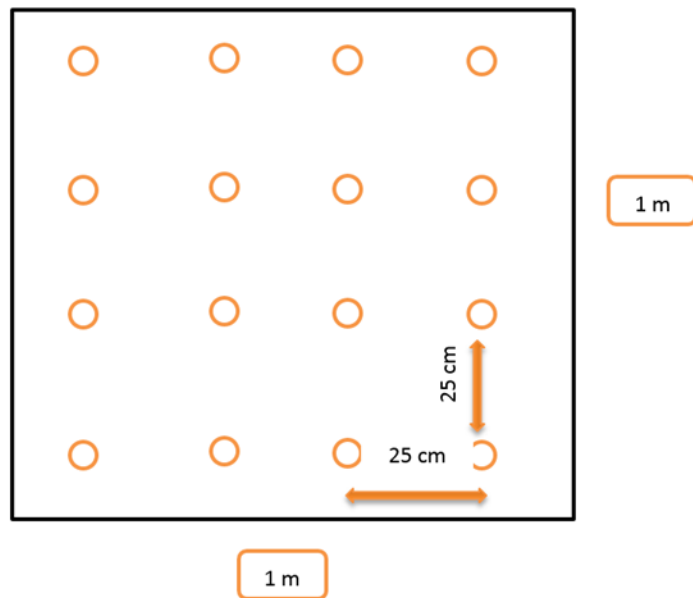


Figura 3. Esquema de siembra por cama



Imagen 9. Evidencia de la siembra

Para todo lo anterior contamos con la asesoría del señor Jhony, técnico ambiental del SENA.

7.1.3.2 Caracterización del suelo.

A continuación se muestra en la tabla 4 la caracterización de los suelo previo, testigo, y experimental, con sus respectivas gráficas.

Tabla 4. Caracterización del suelo en las diferentes etapas.

Parámetro	Unidades	Suelo previo	Suelo testigo	Suelo experimental
pH	(1:5)	6,3	6,9	6,7
CE	(dS/m)(1:5)	0,14	0,36	0,44
CIC	(meq/100 gr)	8,2	9,2	12,4
Retención de Humedad	%	28,18	26,56	30,5
Densidad Real	(gr/cm ³)	2,6	2,2	2
P	mg/kg	0,982	0,814	0,942
CO	%	2,98	0,75	0,76

pH* 1:5; **CE 1:5

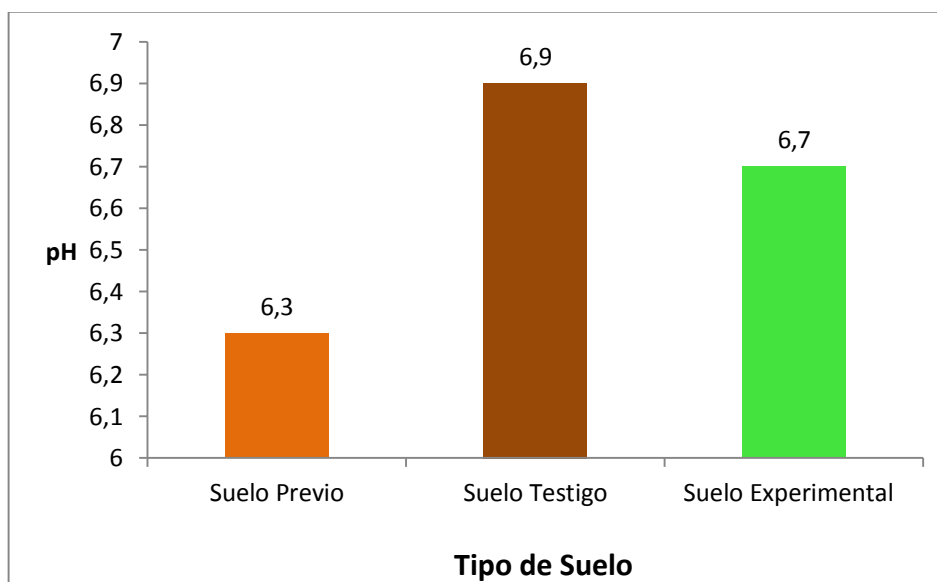


Figura 4. pH.

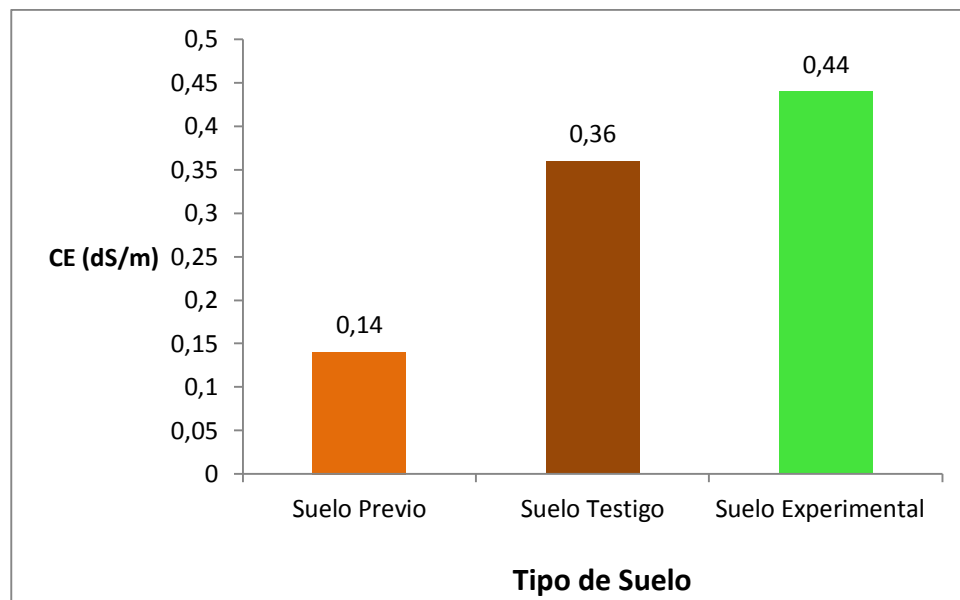


Figura 5. Conductividad Eléctrica.

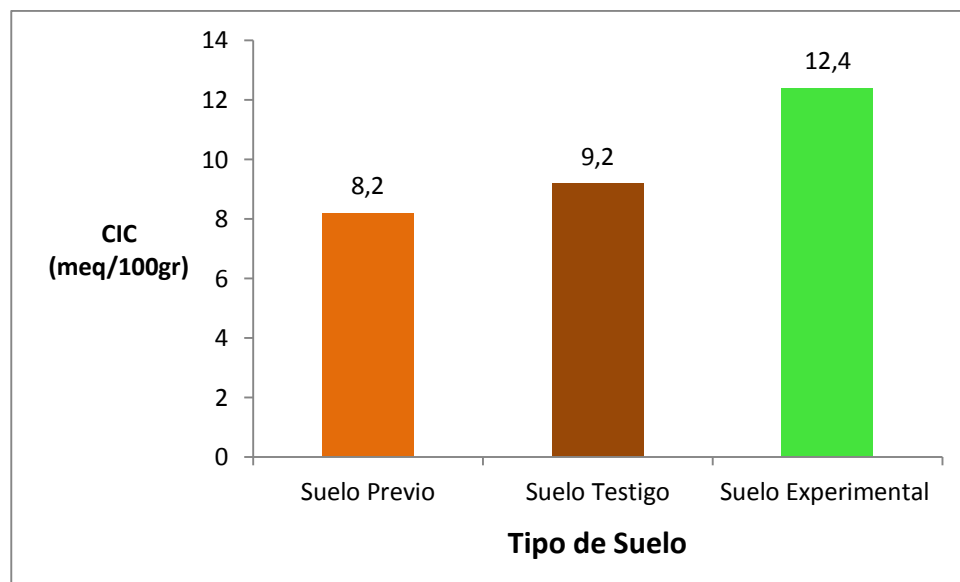


Figura 6. Capacidad de Intercambio Catiónico.

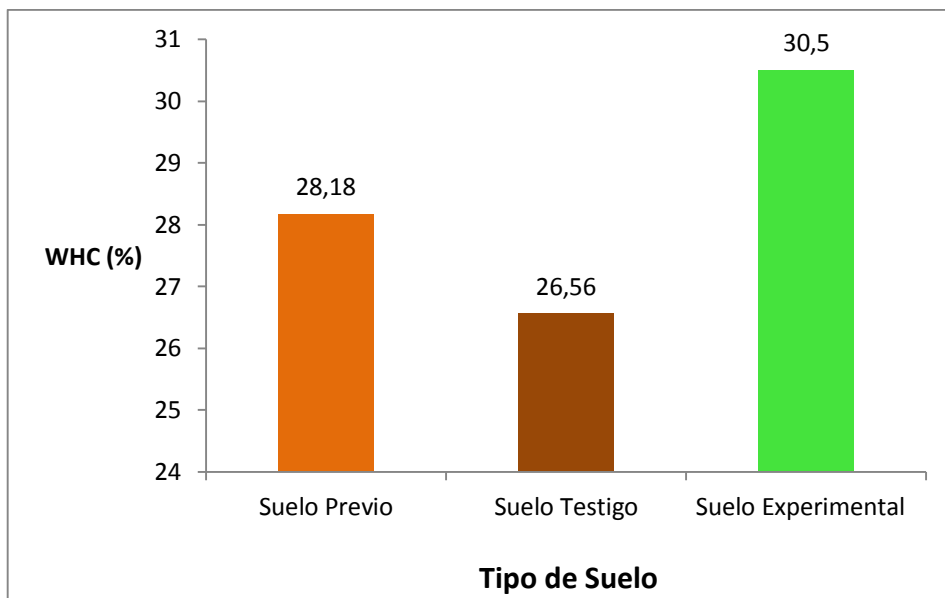


Figura 7. Retención de Humedad

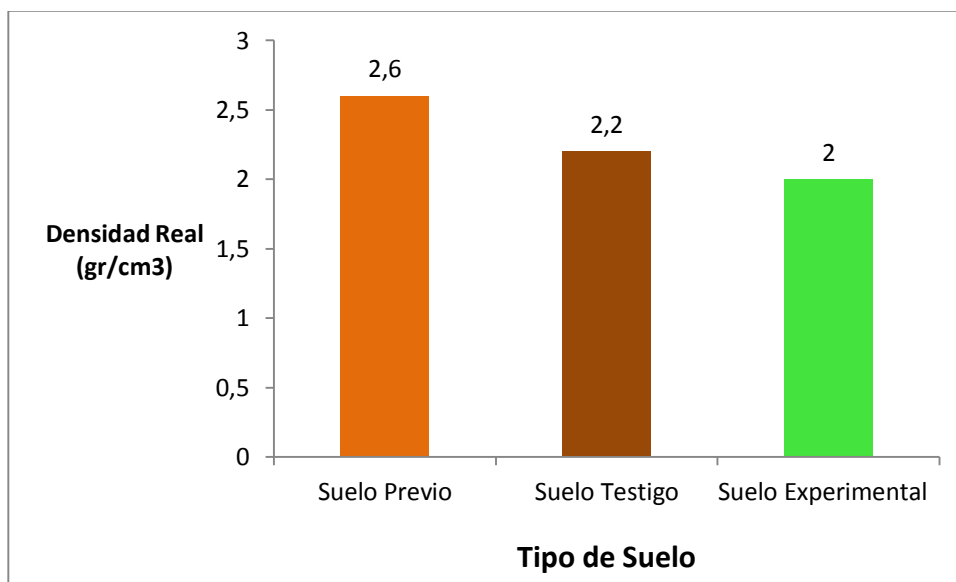


Figura 8. Densidad Real.

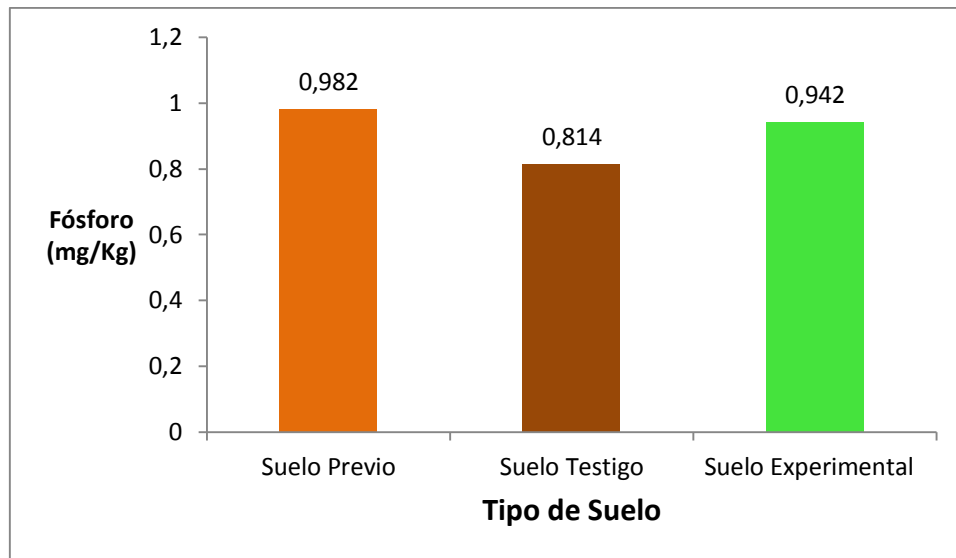


Figura 9. Fósforo.

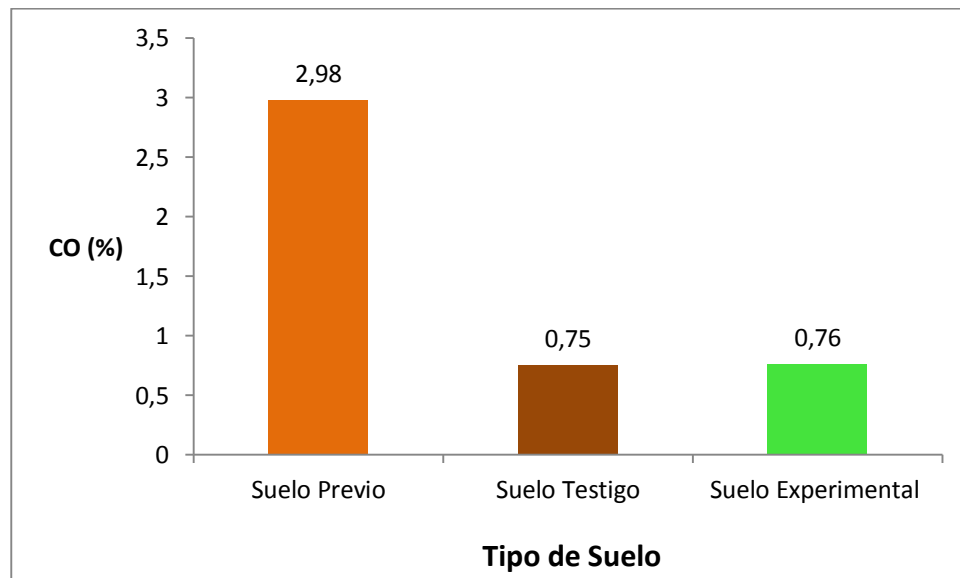


Figura 10. Carbono Orgánico.

7.1.3.3 Crecimiento y biomasa.

En las tablas 5 y 6 se muestran los valores de crecimiento y biomasa de los suelos testigo y experimental, y sus respectivas gráficas.

Tabla 5. Crecimiento y biomasa del suelo testigo.

	N.P. (Nº)	L.P. (cm)	L.T. (cm)	L.R. (cm)	N.B. (Nº)	Peso (g)
*C1	27	32,5	28,7	3,9	4,0	4,7
C2	23	35,5	30,4	5,1	5,1	7,8
C3	24	34,2	31,0	3,4	4,8	5,3
C4	18	31,5	28,6	2,9	4,5	4,7
C5	28	30,8	27,7	3,1	4,7	5,4
<i>Promedio</i>	24	32,9	29,28	3,68	4,62	5,58

C1: Cama 1. N.P.: Número de Plantas. L.P.:Longitud de Planta. L.T.: Longitud de Tallo. L.R.: Longitud de Raíz. N.B.: Número de Bifurcaciones.

Tabla 6. Crecimiento y biomasa del suelo experimental.

	N.P. (Nº)	L.P. (cm)	L.T. (cm)	L.R. (cm)	N.B. (Nº)	Peso (g)
CB1	31	34,6	29,9	4,7	6,5	8,4
CB2	35	34,7	29,6	5,1	6,3	8,1
CB3	40	35,2	30,5	4,7	6,0	7,8
CB4	36	34,5	30,3	4,2	6,4	6,8
CB5	34	35,4	30,5	4,9	6,8	5,7
<i>Promedio</i>	35,2	34,88	30,16	4,72	6,4	7,36

CB1: Cama de biochar 1. N.P.: Número de Plantas. L.P.:Longitud de planta. L.T.: Longitud de Tallo. L.R.: Longitud de Raíz. N.B.: Número de Bifurcaciones.

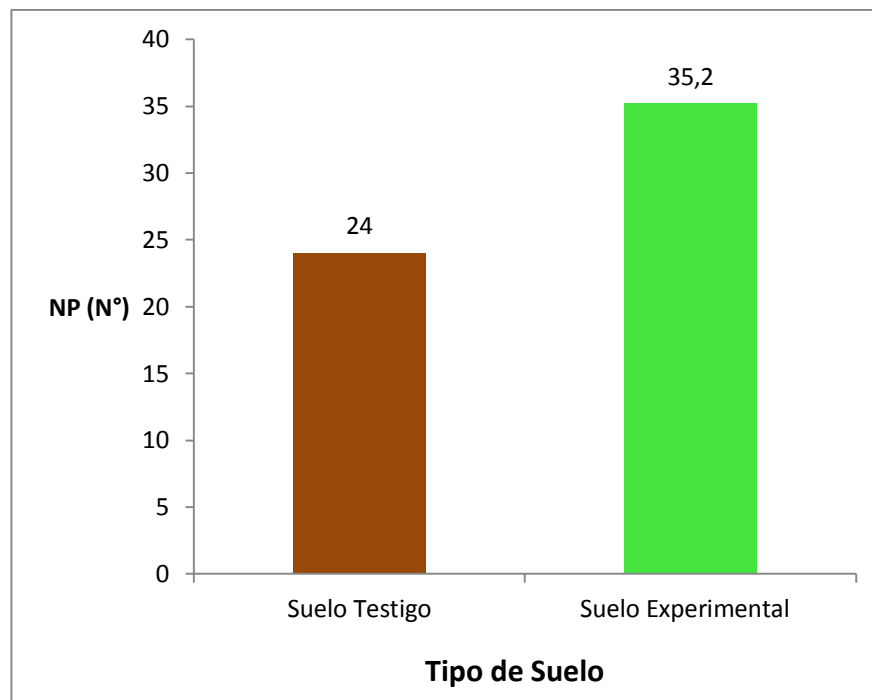


Figura 11. Número de Plantas.

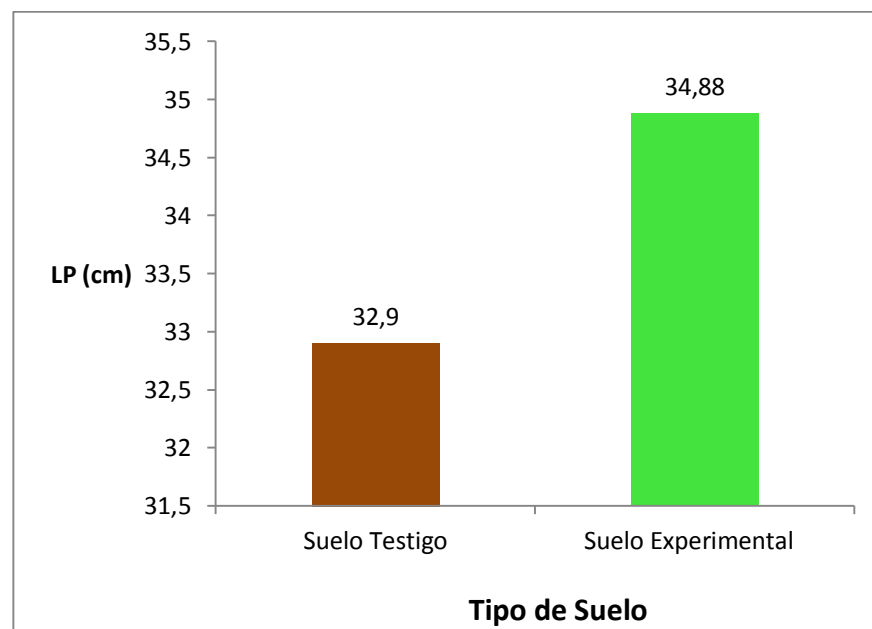


Figura 12. Longitud de Plantas.

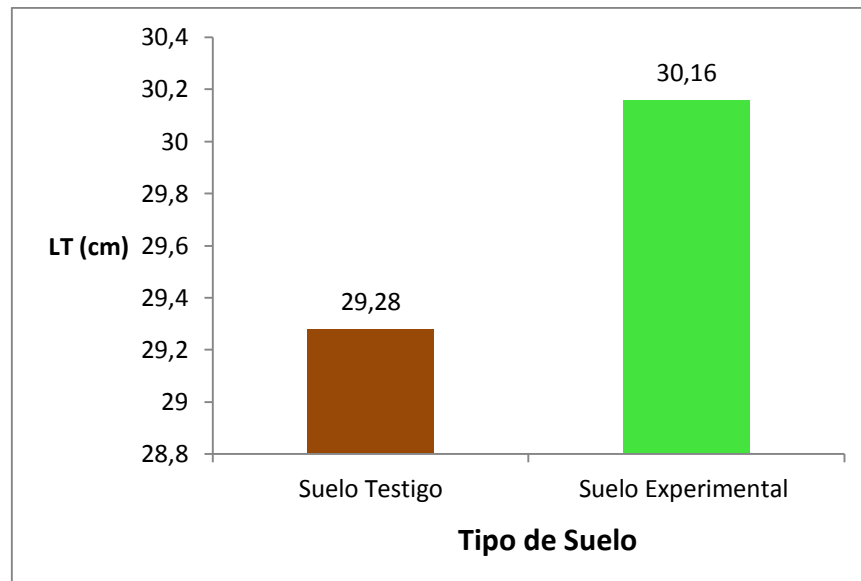


Figura 13. Longitud de Tallo.

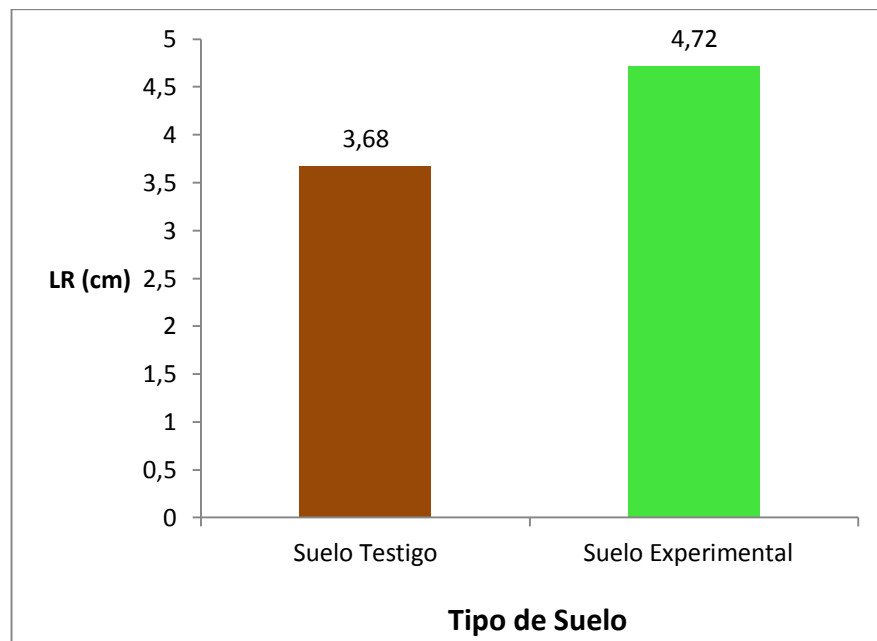


Figura 14. Longitud de Raíz.

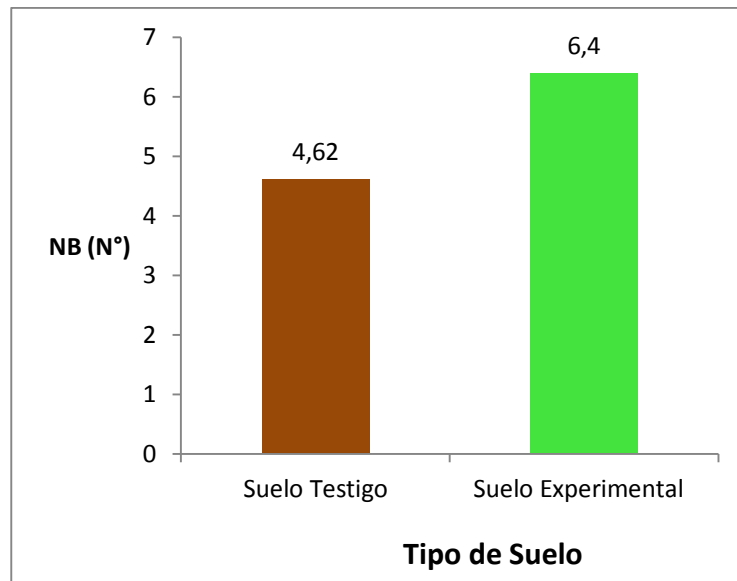


Figura 15. Número de Bifurcaciones.

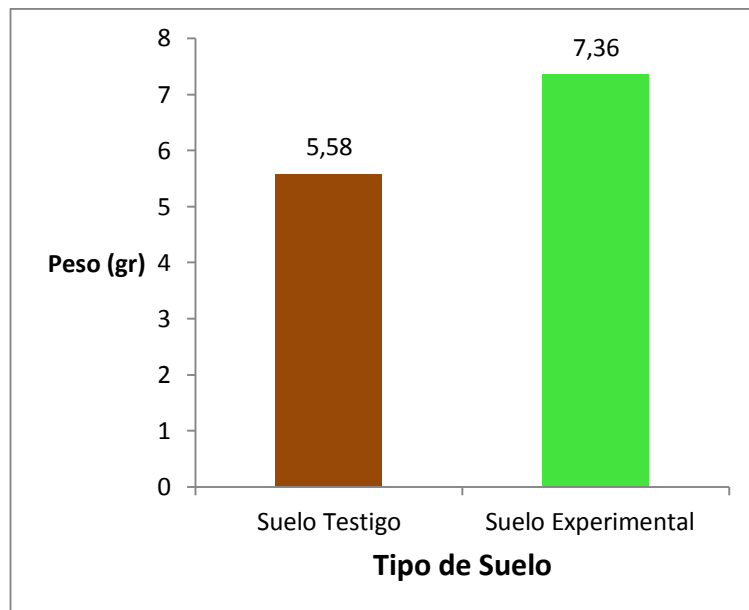


Figura 16. Peso.

7.2 ANÁLISIS

7.2.1 Obtención del biochar

De acuerdo con el análisis elemental y teniendo en cuenta los requisitos para una certificación del EBC, éste producto sería clasificado como biochar ya que posee un contenido en carbono superior al 50% y según los criterios del IBI se clasificaría como biochar de primera clase ya que su contenido en carbono supera el 60%.

7.2.2 Caracterización del biochar

De acuerdo con la NTC 5167 (2004), el pH del biochar de cuesco es idóneo para una enmienda de suelos.

Para la CE la NTC 5167 (2004) no reporta valor. Pero está en un valor intermedio en los resultados presentados por Muñoz et al. (2015) y Rotondo et al. (2009), siendo similar al lombricomposto de estiércol de conejo y caballo. Además, según el IGAC éste valor en suelos se considera de clase normal.

La CIC del biochar de cuesco está cercana al valor que sugiere la NTC 5167 (2004), pero de apreciación alta para suelos según el IGAC.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura de Chile la relación C/N del biochar de cuesco puede favorecer una alta disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

La retención de humedad del biochar está en mejor capacidad que lo que exige la NTC 5167 (2004).

La densidad real está dentro de los rangos permitidos por la NTC 5167 (2004).

El P y el N están adecuados para ser considerados enmiendas ya que está por encima de los valores de la NTC 5167 (2004). Mientras que el CO es inferior a la norma.

7.2.3 Pruebas agronómicas

El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher, en el Startgraphics.

7.2.3.1 Caracterización del suelo

pH

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pH entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Sin embargo, el pH incrementó tanto en el suelo testigo como en el experimental. De acuerdo con el IGAC ambos suelos son neutros, con valores no tolerables para fríjol según el ICA. Sin embargo, según Guerrero (1991), en el suelo tratado con biochar los cultivos y la mayoría de elementos esenciales tienen un buen comportamiento a éste pH. Además puede ayudar a incrementar el pH en suelos ácidos.

El pH del suelo con biochar de cuesco tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por Fiallos-Ortega et al., (2015), Dume et al., (2015), Paco (2012) y Novak et al., (2009); es decir, hubo un incremento.

Conductividad Eléctrica (CE)

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de CE entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Sin embargo, la CE incrementó tanto en el suelo testigo como en el experimental. Pero más en el experimental, probablemente debido a que el biochar atrae minerales constituyentes de sales dado el uso que reportó Díaz et al (2017) neutralizando suelos salinos. De acuerdo con el IGAC ambos suelos se consideran de clase normal y con tolerancia para fríjol.

La CE del suelo con biochar tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por Dume et al., (2015) y Paco, (2012), es decir, incrementó su valor.

CIC

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de CIC entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

La CIC del suelo previo es de apreciación baja según el IGAC.

Hubo un incremento de la CIC en ambos suelos. Más en el experimental que en el testigo, lo cual podría deberse a la alta CIC del biochar.

De acuerdo con el IGAC se considera un valor bajo para el suelo testigo y medio para el experimental.

La CIC del suelo tratado con biochar tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por: Dume et al., (2015) y Zañudo, (2015); es decir, hubo un incremento.

Densidad real

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Densidad Real entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Según Jaramillo (2002) el valor de la densidad real del suelo previo se considera como suelo joven poco evolucionado.

La densidad real disminuyó tanto en el suelo testigo como en el experimental. Siendo la densidad del suelo experimental un poco menor a la del testigo; posiblemente, debido a la baja densidad del biochar y su alta porosidad.

La densidad real del suelo con experimental tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por Molina, (2013); es decir que también disminuyó.

Retención de humedad (WHC)

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Retención de Humedad entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Sin embargo, la WHC disminuyó en el suelo testigo, mientras que en el experimental incrementó. Posiblemente por la facilidad del biochar para retener agua, disminuyendo así el estrés de los cultivos. La capacidad de retención de humedad del suelo tratado con biochar, tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por Paco (2012) y Novak et al., (2009); es decir, hubo un incremento en la retención de humedad.

Fósforo (P)

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Fósforo entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Sin embargo, el P disminuyó en ambos suelos respecto al previo. Con mayor reducción en el experimental. Debido posiblemente, a la capacidad del biochar de retener fósforo.

El P en el suelo tratado con biochar, tuvo un comportamiento similar a los resultados presentados por Fiallos-Ortega et al., (2015) y Molina, (2013); es decir, disminuyó su valor.

Carbono Orgánico (CO)

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de CO entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Sin embargo, el CO disminuyó tanto en el suelo testigo como en el experimental quedando en igual magnitud. Según el IGAC se consideran valores bajos. En los resultados presentados por Fiallos-Ortega et al., (2015), Dume et al., (2015) y Paco, (2012) el CO incrementó. Sin embargo, existe preocupación acerca de la adición de biochar a los suelos, pues podría acelerar la descomposición de la materia orgánica del suelo (Sparkes y Stoutdjesdijk, 2011), como demostró Wardle et al (2008), al perder humus rápidamente en la presencia de carbón vegetal. Todavía se encuentra bajo especulación si el biochar estabiliza la materia orgánica o lo degrada de manera acelerada, por lo que se necesita más investigación (Sparkes y Stoutdjesdijk, 2011; McElligott, 2011).

Hay que tener presente que el suelo en estudio contiene madera vegetal quemada.

7.2.3.2 Crecimiento y biomasa

Número de Plantas (NP)

Según la ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de NP entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, las medias son significativamente diferentes una de otra. Siendo mejor, el suelo experimental donde más número de plantas hubo. O hubo una mejora en éste parámetro.

Longitud de Plantas (LP)

En la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de LP entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles. Sin embargo en el suelo experimental las plantas presentaron mejor altura.

Longitud de Tallo (LT)

En la ANOVA, puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de LT entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles. Sin embargo en el suelo experimental las plantas presentan una mejor altura.

Longitud de Raíz (LR)

En la ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de LR entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, las medias son significativamente diferentes una de otra. Siendo mejor, el suelo experimental donde las raíces presentaron mayor prolongación.

Número de Bifurcaciones (NB)

En la ANOVA, puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de NB entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, las medias son significativamente diferentes una de otra. Siendo mejor, el suelo experimental con mayor número de bifurcaciones o ramificaciones.

Peso (P)

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de PESO entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

De acuerdo con la Prueba de Múltiples Rangos de Fisher, las medias son significativamente diferentes una de otra. Siendo mejor, el suelo experimental con mayor biomasa.

8 CONCLUSIÓN

- ✓ El carbonizado de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, *jacq*) obtenido a 450 °C es considerado como biochar.
- ✓ Al cumplir con la mayoría de los parámetros establecidos por la NTC 5167, se puede considerar al biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, *jacq*) como una enmienda para suelos.
- ✓ La aplicación de biochar de cuesco de palma de aceite (*elaeis guineensis*, *jacq*) puede mejorar la retención de humedad del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la retención de fósforo y, el crecimiento y la biomasa de las plantas de fríjol. Por tanto puede ser considerado como una enmienda de suelos disturbados.

9 RECOMENDACIONES

- ✓ Hacerle seguimiento al parámetro por lo menos cada 20 días a los diferentes variables para ver su evolución en el tiempo.
- ✓ Realizar pruebas microbiológicas como tinción de raíz para ver si hubo efectos del biochar sobre la micorrización, otra como actividad enzimática y esporas. Además revisar los nódulos si es planta de frijol.
- ✓ Aplicar el biochar días antes de la siembra, para ver posibles efectos más rápido.
- ✓ Utilizar semilla de frijol certificada.
- ✓ Evaluar la interacción del biochar en relación a cationes específicos como el Ca y el K en suelos donde estén ausentes, para ver la posibilidad de atracción del biochar de cuesco, debido a su mejora en la CIC cuando de aplica.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aspromor (2012). *Manual de cultivo de fríjol*. Asociación de Productores Agropecuarios del Distrito de Morropón Caupí. Piura, Perú. Recuperado de https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf
- Basaure, P. (2011, 16 de Agosto). *Enmiendas del suelo/uso de cales y yeso*. Santiago de Chile, Chile: Manual de lombricultura. Recuperado de <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/22564.html>
- Bruun E.W. (2011). *Application of Fast Pyrolysis Biochar to a Loamy soil - Effects on carbon and nitrogen dynamics and potential for carbon sequestration*. (Tesis Dosctoral). Technical University of Denmark. Dinamarca.
- Casanova, M, Vera, W., Luzio, W. y Salazar, O. (2004). *Edafología: Guía de clases prácticas*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.
- Ciat (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: Una guía teórica y práctica de metodologías*. Centro de investigación de agricultura Documento de trabajo No. 129. Recuperado de: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_de_metodolog%C3%ADa_de_metodologia.pdf
- Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D., Engelhard M.H. (2006). *Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes*. *Organic Geochemistry* 37, 1477–1488.
- Cheng, C., Lehmann, J., Thies, J. E. & Burton, S. D. (2008) Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Geophys. Res.*, 113, 1-10.
- Cisneros, R. (2005). *Riego y Drenaje*. México D.F., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de: <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>
- Constitución Política de Colombia (1991). Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>
- Decreto 2811 de 1974. *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>.
- Diaz, L., y Peñuela, G. (2013). *Characterization of biochar from palm oil waste and remediation of mine waste and land affected by opencast coal mining*. Trabajo presentado en Annual world conference on carbono, Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado de http://www.carbon2013.org/site/wp-content/uploads/Carbon2013_accepted_abstracts.html.
- Dume, B., Berecha, G. y Tulu, S. (2015). Characterization of Biochar Produced at Different Temperatures and its Effect on Acidic Nitosol of Jimma, Southwest Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, 10 (2), 63-73.
- Ebc (2012). European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. *European Biochar Foundation (EBC)*, Arbaz, Switzerland. <http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 6.3E of 14th.

- Fao (s.f.). *Estructura del suelo*. Organización de las naciones unidas para la alimentación. Recuperado de: http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
- Fiallos, L. R., Flores, L. G., Duchi, N., Flores, C. I., Baño, D. y Estrada, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de Medicago sativa. *Ciencia y Agricultura*, 12, 13-20.
- Fowles, M. (2007). Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy. *Biomass and Bioenergy* 31, 426-432.
- Glaser B., Balashov E., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. (2000). "Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region". *Organic Geochemistry* 31, 669-678.
- Gómez, A., Llose, W. y Rincón S. (2008). *Pirólisis de Biomasa: Cuesco de palma de aceite*. Kassel, Alemania: Kassel University Press Recuperado de: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-457-8.volltext.frei.pdf>
- Guerrero, R. (1991). La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. SCCS. Bogotá.
- Howeler, R.H. (1983). *Análisis del Tejido Vegetal en el Diagnóstico de Problemas Nutricionales*. Algunos Cultivos Tropicales. CIAT, Cali, Colombia.
- Inia Intihuasi (2004). Preparación y Utilización de Compost en Hortalizas. Santiago de Chile, Chile: Ing. Leonardo Rojas Parra. Informativo-19. Centro regional de investigación, INTIHUASI Recuperado de <http://www2.inia.cl/medios/intihuasi/documentos/informativos/Informativo-19.pdf>
- Ibi (2012). Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. Iniciativa Internacional del Biochar. Recuperado de http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf
- Ica (1992). *Fertilización en diversos cultivos*. 5ª. Aproximación. Manual de asistencia técnica No. 25. Instituto colombiano agropecuario ICA. Bogotá. 64 p.
- Ideam-Corpoesar (2007). *Plan de Acción Regional (PAR) para la lucha contra la desertificación y la sequía en el Departamento del Cesar, con énfasis en la región del río Cesar*. Convenio 172 / 2004. Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales- corporación autónoma regional del cesar Bogotá, D. C., Colombia.
- Ideam (2015). Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. IDEAM -. Bogotá D.C., Colombia. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023646/Sintesis.pdf>

- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Khanna, P.K., Raison, R.J. y Falkiner, R.A. (1994). *Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils*. *For. Ecol. Manage.*, 66, 107-125.
- Landon, J.R. (ED.). 1984. *Booker Tropical Soil Manual*. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Longman.
- Lehmann, J, Da silva, J.R., sSteiner, C, Nehls, T, Zech, W y Glaser, B.(2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*. 249, 343-357.
- Lehmann, J, Gaunt, J. y Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems — a review. Mitigation and Adaptation. *Strategies for Global Change* 11, 403–427.
- Lehmann, J. (2009). Terra Preta de Indio. *Encyclopedia of Soil Science* 1:1, 1-4.
- Lehmann, J. y Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Sterling, London, Earthscan.
- Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi, J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J.O, j. Thies, J. Lui A.J., Etersen, J., y Neves E.G. (2006). Black Carbon ncreases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70, 1719-1730.
- Major, J. (2010). *Biochar for soil quality improvement, climate change mitigations and more*. a literature review.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D, Riha, SJ, Lehmann J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a colombian savanna oxisol. *Plant Soil* 333, 117-28.
- Mapama (1994). *Interpretación de análisis de suelos: Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis*. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España. Madrid, España. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Mataix J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral (ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 330 pp.
- McElligott K. (2011). *Biochar amendments to forest soils: effects on soil properties and tree growth*. Tesis de maestría Universidad de Idaho.
- MinInterior (2011). *Propuestas para el programa de garantías de los derechos fundamentales de los pueblos indígenas de Colombia*. Valledupar, Colombia: Confederación Indígena Tayrona "C.I.T.". Recuperado de https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/programa_indigenas_tayrona_0.pdf

- Molina, D., (2013). *Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de physalis peruviana l. (uchuva)*. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D. C., Colombia.
- Muñoz J, Muñoz J, Montes C (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Biotechnol. Sect. Agropec. Agroind.* 13, 73-82.
- Ntc 5167 (2004). *Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. Bogotá D. C., Colombia: Norma Técnica Colombiana ICONTEC.
- Ntc 5264 (2008). *Calidad de Suelo: Determinación del pH*. Bogotá D. C., Colombia: Norma Técnica Colombiana, ICONTEC.
- Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin J. W., Steiner, C., Das, K. C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W., Busscher, W.J. y Schomberg, H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 3, 195-206.
- Núñez, J. *Fundamentos de edafología*. EUNED, Costa Rica.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. Y Dean, L.A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. Washington, D.C.USDA.
- Paco, A. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Trabajo de grado, Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.
- Pandey, V., Patel, A., Patra, D.D. (2016). Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*ocimum basilicum L.*). *Ecol Eng* 90, 361-6.
- Radio Guatapurí (2014, 07 de Noviembre). *Coarcillas del Cesar eligió nueva junta directiva en ladrillera de Valencia de Jesús*, [en línea]. Valledupar, Colombia. Recuperado de http://www.radioguatapuri.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=25045:coarcillas-del-cesar-eligi%C3%B3-nueva-junta-directiva-en-ladrillera-de-valencia-de-jes%C3%BAs&Itemid=218
- Radio Guatapurí (2016, 28 de Octubre). *Habitantes de la vereda El Cielo amenazan con paro por mal estado de la vía*, [en línea]. Valledupar, Colombia. Recuperado de http://www.radioguatapuri.com/index.php?option=com_k2&view=itemlist&task=tag&tag=El+Cielo,+Valledupar
- Resolución 0170 (2009). *Por la cual se declara en Colombia el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos y se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional*. Bogotá D. C., Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=35369>.
- Roncallo, .B., Murillo, J, Rodríguez, G., Bonilla, R.R., Garrido, M.F. (2012). *Producción de forraje y respuesta animal en suelos del valle del Cesar en proceso de recuperación*. Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria

- 2012, 13: [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2018] Recuperado en: <<http://oai.redalyc.org/articulo.oa?id=449945032012>
- Rotondo, R.; Firpo, I.T.; Ferreras, L.; Toresani, S.; Fernández, S. Y Gómez, E. (2009). Efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas y fertilizante nitrogenado sobre propiedades edáficas y productividad en cultivos hortícolas. *Horticultura Argentina* 28, 18-25.
- Sanzano, A. (s.f.) *El Potasio del Suelo*. Recuperado de <https://www.edafologia.org/app/download/7956241476/El+Potasio+del+suelo.pdf?t=1494945225>
- Schwartz, H. F. Y Gálvez, G. E. (1980). *Problemas de producción de frijol*. CIAT. Cali, Colombia. .
- Sukartono, W.H., Kusuma Z Y Nugroho W.H. (2011). Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49, 47-52.
- Shenbagavalli, S., Mahimairaja, S. (2012). Production and characterization of biochar from different biological wastes. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 2, 197–201.
- Sohi, S. Loez-capel, E., Krull, E., Bol, R. (2009). “*Biochar’s roles in soil and climate change: A review of research needs*”. CSIRO Land and Water Science Report 05/09.
- Sparkes, S. y Stoutjesdijk, P. (2011) Technical report: biochar: implications for agricultural productivity. Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Commonwealth of Australia.
- Universidad austral de Chile. (s.f.) *Principios para el Muestreo de Suelos*. [en línea] Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: <http://www.uach.cl/labsuelosforestales/msuelos.htm>
- Universidad de alicante (s.f.) *Análisis Elemental*. Alicante, España.. Recuperado de <https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/analisis-elemental.html>
- Universidad de Caldas - Unión europea, (2011). *Edafología 1*. Caldas, Colombia. Recuperado de: <http://www2.inia.cl/medios/intihuasi/documentos/informativos/Informativo-19.pdf>
- Usda (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Washington, D.C.,EE.UU.: Departamento de agricultura de los estados unidos. Recuperado de: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Walkley, A. y Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 29-38.
- Wardle, D.A., Nilsson M-C., Zackrisson O. (2008). Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus. *Science* 320, 1-629.

- Woolf, D., Amonette, J.E., Strret-perrott, F.A. J. Lehmann, J y Joseph, S (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nat Communn*, 1, 56.
- Zañudo, J., (2015). *Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis sativus L. Var. SMR-58*. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.

11 ANEXOS

CRONOGRAMA

MESES	ENERO				FEBRERO				MARZO			
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ACTIVIDADES												
<i>Pirólisis de materia prima</i>												
<i>Caracterización</i>												
<i>Prueba experimental</i>												
<i>Análisis de resultados</i>												
<i>Informe final</i>												

PRESUPUESTO

PARÁMETRO	VALOR UNIDAD (\$)	NÚMERO DE PRUEBAS	TOTAL (\$)
pH	13.000	5	65.000
CE	15.000	5	75.000
CIC	26.000	5	130.000
Densidad Real	15.000	5	75.000
Retención de Humedad	18.000	5	90.000
Fósforo Disponible	20.000	5	100.000
CO	18.000	5	90.000
COSTO TOTAL			625.000

Nota: La obtención y la caracterización del biochar, se hicieron con recursos disponibles en los laboratorios de la universidad.