



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

**MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EFFECTO DE BIOCHAR Y FERTILIZANTES SOBRE LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO,  
DESARROLLO RADICAL Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO  
EN ARROZ**

**AUTORA:**

**MARÍA JOSÉ MUÑOZ VÉLEZ**

**TUTOR:**

**ING. FROWEN CEDEÑO SACÓN, Mg. Sc**

**CALCETA, NOVIEMBRE DE 2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **MARÍA JOSÉ MUÑOZ VÉLEZ**, con cédula de ciudadanía **1313795096**, declaro bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE BIOCHAR Y FERTILIZANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, DESARROLLO RADICAL Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN ARROZ** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



---

**María José Muñoz Vélez**

**CC: 1313795096**

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

**MARÍA JOSÉ MUÑOZ VÉLEZ**, con cédula de ciudadanía **1313795096**, autorizo a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE BIOCHAR Y FERTILIZANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, DESARROLLO RADICAL Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN ARROZ**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.



---

**María José Muñoz Vélez**

**CC: 1313795096**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

**ÁNGEL FROWEN CEDEÑO SACÓN** certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE BIOCHAR Y FERTILIZANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, DESARROLLO RADICAL Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN ARROZ**, que ha sido desarrollado por **MARÍA JOSÉ MUÑOZ VÉLEZ**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. Ángel Frowen Cedeño Sacón, Mg. Sc  
CC: 1310353121

**TUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EFFECTO DE BIOCHAR Y FERTILIZANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO, DESARROLLO RADICAL Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN ARROZ**, que ha sido desarrollado por **MARÍA JOSÉ MUÑOZ VÉLEZ**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. Galo Cedeño García, Mg.Sc

CC: 1311956831

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Cristian Valdivieso López, Mg.Sc

CC: 1717929283

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Sergio Vélez Zambrano, Mg.Sc

CC: 1310476773

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, llenándome de amor y sabiduría. Gracias a mis padres, hermanas Belén y Leonor por ser la fuente de inspiración en mi vida, por su entrega y ayuda incondicional.

A todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo durante mi proceso estudiantil y durante el desarrollo de esta investigación, este trabajo me permitió conocer y aprovechar la experiencia de muchas personas a las que les quiero dar mi agradecimiento.

A mi tutor el Ing. Frowen Cedeño Sacón por su apoyo incondicional, y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola, gracias por sus consejos, explicación y conocimientos que me transmitieron. En especial quiero agradecer a los Ing. Galo Cedeño, Sofía Velázquez, Geoconda López y a la Lic. Katita Ormaza, por regalarme su valioso tiempo, por su guía, motivación, apoyo incondicional, por su paciencia y orientación en el desarrollo de esta investigación.

Al personal de la Carrera de Ingeniería Agrícola por toda la amabilidad y ayuda que me brindaron durante todo mi proceso académico, gracias a todos mis compañeros de la ESPAM, familiares, conocidos, amigos, en especial a la Sra. Dolores Montesdeoca Murillo y Gisela Zamora gracias por el cariño y gentileza que recibí de ustedes y de sus familias, a mis amigas por la ayuda que siempre me brindaron, por recibirme en sus casas, gracias por todo.

**María José Muñoz Vélez**

## DEDICATORIA

A Dios por llenar de amor y alegría mi vida.

A mis padres, en especial a mi madre por ser el pilar fundamental de mi vida, mis hermanas Belén y Leonor que siempre han estado junto a mí brindándome su apoyo, a mis abuelos que recuerdo con mucho amor.

A la Srta. Briceida Cruz y su esposo Don Bismarck Cevallos mi gratitud infinita con ustedes. A la Ing. Geoconda López porque sin ella no hubiera logrado esta meta, a mis docentes, familiares, conocidos, Don Colón Hidalgo, amigas y todas las personas que me ayudaron con un consejo y con su tiempo, gracias por su apoyo.

**María José Muñoz Vélez**

## CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPOTESIS.....	3
<b>CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. BIOCHAR.....	4
2.1.1. BIOCHAR EN EL SUELO.....	4
2.2. PIRÓLISIS .....	5
2.2.1. PROCESOS PARA OBTENER BIOCHAR .....	5
2.2.2. PIRÓLISIS LENTA.....	6



2.2.3. PIRÓLISIS RÁPIDA.....	6
2.2.4. PIRÓLISIS ULTRARRÁPIDA.....	6
2.2.5. GASIFICACIÓN.....	6
2.3. ESTUFA ANILA .....	7
2.3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ESTUFA ANILA.....	7
2.4. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE ARROZ .....	8
2.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	8
2.5.1. COLOR.....	9
2.5.2. TEXTURA.....	9
2.5.3. ESTRUCTURA.....	10
2.5.4. DENSIDAD APARENTE.....	10
2.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	11
2.6.1. PH.....	11
2.6.2. MATERIA ORGÁNICA.....	11
2.7. FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ.....	12
2.8. CULTIVO DE ARROZ EN ECUADOR.....	13
<b>CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>14</b>
3.1. UBICACIÓN .....	14
3.2. DURACIÓN.....	14
3.3. MATERIAL VEGETAL.....	14
3.4. FACTORES EN ESTUDIO.....	14
3.4.1. FACTOR A (CONCENTRACIONES DE BIOCHAR) .....	14
3.4.2. FACTOR B (FERTILIZACIÓN) .....	15
3.5. TRATAMIENTOS.....	15
3.6. DISEÑO Y UNIDAD EXPERIMENTAL.....	15

3.7. ANÁLISIS DE DATOS.....	16
3.8. VARIABLES RESPUESTA.....	16
3.8.1. VARIABLES DEL SUELO.....	16
3.8.2. VARIABLES AGRONÓMICAS.....	17
3.9. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO .....	18
3.9.1. ELABORACIÓN DEL BIOCHAR.....	18
3.9.2. SIEMBRA .....	19
3.9.3. CONTROL DE MALEZA.....	19
3.9.4. RIEGO.....	19
3.9.5. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES .....	19
3.9.6. FERTILIZACIÓN.....	19
3.9.7. COSECHA.....	20
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
4.1. VARIABLES DEL SUELO .....	21
4.1.1. ANÁLISIS FÍSICO .....	21
4.1.2. ANÁLISIS QUÍMICO.....	22
4.1.3. CONTENIDO DE CARBONO .....	25
4.1.4. LONGITUD Y PESO SECO DE RAICES (g) .....	26
4.1.5. NÚMERO DE PANÍCULA POR PLANTA.....	27
4.1.6. NÚMERO DE GRANOS POR PANÍCULA .....	28
4.1.7. PORCENTAJE DE GRANOS VANOS Y LLENOS POR PANÍCULA .....	29
4.1.8. PRODUCCIÓN DE GRANOS POR PLANTA (kg) .....	30
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>31</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	31
5.2. RECOMENDACIONES.....	31

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	32
<b>ANEXOS</b> .....	38

## ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

### CUADROS

<b>Tabla 4.1:</b> Clases textural del suelo del cultivo de arroz.....	21
<b>Tabla 4.2:</b> Influencia de varias concentraciones de biochar sobre la densidad aparente del suelo arrocero, calceta, Ecuador 2020.....	21
<b>Tabla 4.3:</b> Influencia de varias concentraciones de biochar sobre los niveles de los macronutrientes de suelos arroceros, calceta, Ecuador 2020.....	24
<b>Tabla 4.4:</b> Influencia de varias concentraciones de biochar sobre los niveles de los micronutrientes de suelos arroceros, calceta, Ecuador 2020.....	25
<b>Tabla 4.5.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar sobre longitud y peso seco de raíces de arroz, calceta, Ecuador 2020.....	27
<b>Tabla 4.6.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar sobre el porcentaje de granos llenos y vanos Calceta, Ecuador 2020.....	30

### GRÁFICOS

<b>Figura 2.1.</b> Diagrama de la estufa ANILA.....	7
<b>Figura 2.2.</b> Clases texturales de los suelos.....	10
<b>Figura 2.3.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arroceros. Calceta, Ecuador, 2020.....	23
<b>Figura 2.4.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arroceros. Calceta, Ecuador, 2020.....	26
<b>Figura 2.5.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arroceros. Calceta, Ecuador, 2020.....	28
<b>Figura 2.6.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arroceros. Calceta, Ecuador, 2020.....	29

<b>Figura 2.7.</b> Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arroceros. Calceta, Ecuador, 2020.....	31
---	----

## RESUMEN

El biochar es una alternativa tecnológica que se ha venido aplicando en suelos que son constantemente producidos, ya que mejora las características físicas-químicas del suelo, así como ayuda a la retención de humedad y mejora la aeración del mismo. Esta investigación se planteo evaluar el efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz. Los resultados obtenidos en los análisis físicos muestran diferentes rangos de pH y densidad aparente, con la muestra inicial y con los tratamientos que obtenían las diferentes dosis de biochar, así mismo se presentó en los análisis químicos obteniéndose niveles bajos, a diferencia de los demás elementos (P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu y Mn) que tienen niveles altos, el zinc se presentó en todos los tratamientos en niveles medio. Se obtuvo resultados significativos ( $p \leq 0.05$ ), con la combinación del biochar y fertilización completa, obteniéndose en el T4 (3,0% biochar+ fertilización completa) una longitud de raíz de 38,25 cm, en el T1 (0% Biochar sin fertilización) presentó 19,50 g de peso seco de raíz. En la variable de número de panícula por plantas el T2 (1% Biochar con Fertilización completa) obtuvo la media mayor con 27,25 panículas, en cambio el número de grano por panícula con 100,75 gr estuvo en el T2 (0% Biochar con fertilización), seguido del T4 (3,0% biochar con fertilización completa) con 99,00 g, también se encontró diferencias significativas en la producción de granos por plantas Kg que en los tratamientos con fertilización completa.

**Palabras claves:** Biochar, fertilizantes, residuos de cacao.

## ABSTRACT

Biochar is a technological alternative that has been applied in soils that are constantly produced, since it improves the physical-chemical characteristics of the soil, as well as helps to retain moisture and improves its aeration. This research aimed to evaluate the effect of biochar and fertilizers on the physical and chemical properties of the soil, root development and yield components in rice. The results obtained in the physical analyzes show different ranges of pH and apparent density, with the initial sample and with the treatments that obtained the different doses of biochar, likewise it was presented in the chemical analyzes obtaining low levels, unlike the other elements. (P, K, S, Ca, Mg, Fe, Cu and Mn) that have high levels, zinc was present in all treatments at medium levels. Significant results ( $p \leq 0.05$ ) were obtained, with the combination of biochar and complete fertilization, obtaining in T4 (3.0% biochar + complete fertilization) a root length of 38.25 cm, in T1 (0% Biochar without fertilization) presented 19.50 g of root dry weight. In the variable of panicle number per plants, T2 (1% Biochar with complete fertilization) obtained the highest average with 27.25 panicles, on the other hand, the number of grain per panicle with 100.75 gr was in T2 (0% Biochar with fertilization), followed by T4 (3.0% biochar with complete fertilization) with 99.00 g, significant differences were also found in the production of grains by Kg plants than in the treatments with complete fertilization.

**Key wor:** Biochar, fertilizers, cocoa residues.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El arroz es considerado el cultivo de mayor importancia a nivel mundial, por ser un producto básico para la seguridad alimentaria, además posee el mayor número de personas dedicadas a su explotación (Mohanty, 2013). Actualmente, los suelos arroceros a nivel mundial presentan problemas y limitaciones, dado que se ha demostrado que al menos un tercio de los suelos arroceros son de baja fertilidad, con problemas de salinidad, alcalinidad, acidez y bajos contenidos de MO, lo cual altera negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas, promoviendo su degradación, por lo tanto, la implementación de tecnologías de remediación se hace cada vez más urgentes (Tran *et al.*, 2014; Haefele *et al.*, 2014). En Ecuador, según reportes de Mite (2013) los suelos arroceros presentan bajos contenidos de macro y micronutrientes y MO, en cuanto a pH solo el 49% de los suelos dedicados al arroz presentan adecuado pH para el cultivo, mientras que el resto tienen problemas de acidez y alcalinidad. En los últimos años el uso de enmiendas orgánicas y minerales ha sido sugerido como una alternativa de recuperación de suelos degradados y en procesos de degradación (O'Day y Vlassopoulos, 2010; Larney y Angers, 2012). Entre las enmiendas que están siendo usadas para el mejoramiento de la fertilidad de suelos dedicados a la producción de arroz es el biochar, que ha demostrado ser efectivo para la recuperación del suelo e incremento productivo del cultivo de arroz (Liua *et al.*, 2016; Lakitan *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2018). En Ecuador existe escasa información relacionada al efecto de la aplicación de biochar en el mejoramiento de suelos arroceros y rendimiento del cultivo de arroz, razón por la cual se debe probar y validar el potencial de esta enmienda.

¿Puede el biochar mejorar significativamente las condiciones del suelo, el crecimiento y componentes de rendimiento de plántulas de arroz?



## 1.2. JUSTIFICACIÓN



Debido al constante e intensivo laboreo con prácticas agrícolas inadecuadas, contaminación por agroquímicos, metales pesados y escasa aplicación de prácticas conservacionistas, los suelos agrícolas del país vienen sufriendo degradación de su fertilidad física, química y biológica. Esto está disminuyendo el potencial productivo del suelo y por ende el rendimiento potencial de los cultivos, lo cual puede llegar a afectar negativamente la cadena productiva en sus aspectos sociales, económicos y de seguridad alimentaria. En este sentido, buscar alternativas para mejorar la capacidad productiva del suelo e incrementar el rendimiento del cultivo, es una tarea y responsabilidad de los actores del sector. El uso de enmiendas orgánicas y minerales para potenciar la fertilidad del suelo, es una práctica común en varios países desarrollados, sin embargo, bajo las condiciones locales no es una práctica comúnmente aplicada, por lo que la información relacionada a la tecnología es bastante limitada. Este es el caso específico del biochar, una enmienda rica en carbono que en otros países viene siendo usado con fines de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como también estimular el desarrollo radical de los cultivos. Sin embargo, en Ecuador se desconoce el efecto específico del biochar sobre el desarrollo y producción de los cultivos, razón por la cual la tecnología debe ser probada y validada. Por anterior, la investigación propuesta se justifica plenamente, dado que con los resultados que se pueda obtener, se podrá validar y proponer alternativas tecnológicas para el mejoramiento de suelos y cultivos.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-  Determinar el efecto combinado de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
  
-  Probar la efectividad de aplicaciones combinadas de biochar y fertilizantes sobre el desarrollo radical y componentes de rendimiento del cultivo de arroz.

## **1.4. HIPOTESIS**

La aplicación combinada de biochar y fertilizantes mejorará las condiciones del suelo y potenciará el desarrollo radical y rendimiento del arroz.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. BIOCHAR**

Es un material de grano fino y poroso, rico en carbono que se obtiene de la descomposición termo-química de materia prima: residuos de cosecha, plantas secas, desperdicios orgánicos, estiércol y madera, las características del biochar mejoran las propiedades del suelo, aumentan la productividad de los cultivos y retienen carbono, el cambio en las propiedades físico-químicas del suelo dependen de las características del material y condiciones de pirólisis empleada para la elaboración del biochar (Lehmann y Joseph, 2009; Brick y Wisconsin. 2010; Escalante 2013).

El biochar se obtiene mediante la pirólisis térmica de biomasa, cumple con cuatro objetivos puntuales: el manejo de residuos, reducción del cambio climático, producción de energía y mejoramiento del suelo, al ser aplicado en el suelo posee algunos beneficios como: aumento en fertilidad, disponibilidad de nutrientes, aumento de las poblaciones de microorganismos, reducción del cambio climático (Lehmann y Joseph 2009; Lenham *et al.* 2011).

#### **2.1.1. BIOCHAR EN EL SUELO**

La incorporación de biocarbón al suelo puede alterar sus propiedades físicas tales como la textura, estructura, la distribución del tamaño de poro, el área superficial total, y la densidad aparente, con repercusión en la aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas y facilidad de laboreo del suelo. En ocasiones las partículas de biocarbón que son muy pequeñas pueden bloquear parcial o totalmente la porosidad del suelo con la consecuente alteración de su estructura y la disminución de infiltración de agua (Downie *et al.*, 2009).

El biocarbón puede mejorar las funciones del suelo, así como intervenir en los procesos que en él se desarrollan (Verheijen *et al.*, 2009). Algunas evidencias

muestran que el biocarbón funciona como portador de microorganismos, su adición al suelo puede incrementar la población de hongos micorrízicos y los niveles de infección por *Rhizobium* siendo por ello incorporado a los trabajos de bioremediación de suelos (Amonnette, 2009).

Al aplicar biocarbón al suelo se puede aumentar su permeabilidad al agua y se reduce la escorrentía y los costos de riego (De Gryze *et al.*, 2010). Esto se constató en suelos de Australia (Chan *et al.*, 2007) y el Reino Unido (Gathorne *et al.*, 2009) donde la aplicación de biocarbón mejoró la aireación del suelo e hizo más fácil el laboreo. Las mejoras del suelo atribuidas a la adición de biocarbón incluye también el incremento en la retención de humedad, y la permeabilidad del aire (McLaughlin, 2009).

## **2.2. PIRÓLISIS**

La pirolisis involucra el calentamiento de materiales orgánicos a temperaturas superiores a 400 °C en ausencia de oxígeno. A estas temperaturas, los materiales se descomponen térmicamente, liberando una fase de vapor y generando una fase sólida residual (biocarbón) (McHenry, 2009). Las propiedades físicas y químicas del biochar son determinadas por las condiciones de pirolisis, características de la materia prima (composición, distribución de tamaño de partícula y de tamaño de poro, entre otras) (Verheijen *et al.*, 2009).

### **2.2.1. PROCESOS PARA OBTENER BIOCHAR**

Se consideran las tecnologías termoquímicas para transformar la biomasa en fuentes de energía renovable, pueden ser clasificados en cuatro categorías: pirolisis lenta, rápida, ultrarápida y gasificación (Laird *et al.*, 2009; Brick 2010; Ippolito *et al.*, 2011).

### **2.2.2. PIRÓLISIS LENTA**

Según Sadaka, (2007) menciona que la pirolisis lenta se caracteriza por lapsos de calentamiento de la biomasa pausados, temperaturas bajas y largos tiempos de residencia de los sólidos y el gas, los lapsos de calentamientos van de 0.1 a 2 °C por segundo y prevalecen las temperaturas alrededor de los 500 °C. El tiempo de residencia del gas puede ser mayor de 5 s, mientras que para la biomasa puede ser de minutos a días, este sería el proceso con el más alto rendimiento de biocarbón.

### **2.2.3. PIRÓLISIS RÁPIDA**

El calentamiento es mayor a 200 °C s<sup>-1</sup> y las temperaturas que prevalecen son usualmente mayores a los 550 °C. Debido al corto tiempo de residencia del vapor, los productos son de alta calidad, principalmente son líquidos. La producción de carbón y alquitrán es mucho menor en este proceso (Farag *et al.*, 2002; Czernik y Bridgwater, 2004; Sadaka, 2007).

### **2.2.4. PIRÓLISIS ULTRARRÁPIDA**

Las temperaturas son moderadas (400-600 °C) y las tasas de calentamiento son rápidas (>2 °C s<sup>-1</sup>). Los tiempos de residencia del vapor son menores a 2 s, se produce menos alquitrán y gas, los productos aceitosos obtienen su máximo rendimiento (75 y 80%) (Sadaka, 2007; Demirbas, 2009).

### **2.2.5. GASIFICACIÓN**

La gasificación se la realiza en una secuencia de dos reacciones, se utiliza especialmente madera para este proceso. La primera es la conversión de madera a carbón y se le llama carbonización con gasificación de la madera, la segunda reacción, con mayor temperatura, convierte el carbón a ceniza y es llamada gasificación de carbón (McLaughlin *et al.*, 2009).

## 2.3. ESTUFA ANILA

Diseño para carbonizar biomasa de tamaño muy pequeño sin electricidad, simplemente con tiro natural. Requiere mayor destreza artesanal porque algunas juntas tienen que estar bien selladas para garantizar un funcionamiento correcto y que no se escape humo de la zona alotérmica de pirólisis. Consiste de dos cilindros concéntricos de diferentes diámetros (ver diagrama) (Roth, 2011).

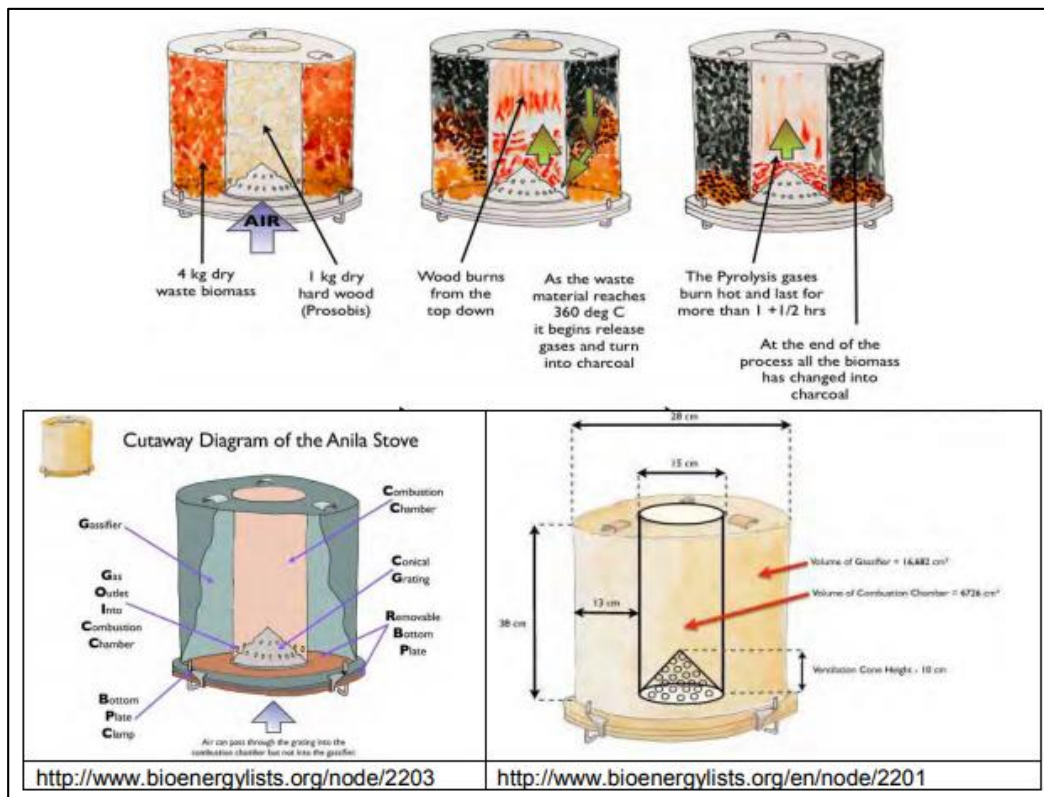


Figura 2.1. Diagrama de la estufa ANILA

### 2.3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA ESTUFA ANILA

El interior es un gasificador TLUD que opera con biomasa gruesa que permita un frente pirolítico a tiro natural. La cámara anillar entre los dos cilindros se llena con biomasa de cualquier tamaño como casulla de arroz, aserrín etc. que no funcionarían en modo TLUD a tiro natural. El TLUD interior se enciende desde arriba y provee el calor para lanzar la pirolisis de la biomasa en el espacio anillar sin que ésta esté expuesta a un frente pirolítico con llamas (principio alotérmico). Así se pueden obtener dos tipos de biochar: uno muy puro de la zona alotérmica, y otra

más consumida por la combustión parcial en el interior del TLUD. Los gases se guían hacia el interior del TLUD donde se juntan con el gas-madera del TLUD y se queman en su zona de combustión; fue desarrollado por U.N. Ravikumar, del Instituto Nacional de Ingeniería de la India (Roth, 2011).

## **2.4. FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE ARROZ**

En la agricultura de arroz en el Ecuador uno de los problemas más críticos es la deficiencia del nitrógeno y de materia orgánica de los suelos de cultivo. El uso generalizado de fertilizantes artificiales tipo urea, como fuente de nitrógeno, si bien está sosteniendo la labor agrícola arrocera, por otro lado, provoca problemas medioambientales, incluyendo apelmazamiento del terreno, cambios de la actividad microbiológica y química del suelo y contaminación del agua. Esta situación se torna todavía más crítica cuando las preferencias del mercado apuntan actualmente a los productos agrícolas orgánicos y naturales (Montaño y Solorzano, 2015).

El nitrógeno es el principal factor limitante en la producción del cultivo de arroz. Su disponibilidad se considera esencial por ser un componente básico en todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal (Barahona *et al.*, 2019).

## **2.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Estos autores sostienen que existe la necesidad de conocer dichas propiedades por parte de las personas involucradas con el uso de este recurso, de esta manera se puede entender la magnitud y de qué forma influyen en el crecimiento de plantas y el papel de la actividad humana en la modificación de estas propiedades (Montaño y Solórzano, 2015).

### **2.5.1. COLOR**

Esta propiedad permite deducir rasgos importantes en el suelo: un color oscuro o negro indica contenido alto en materia orgánica, color blancuzco presencia de carbonatos y/o yesos, colores grises/verdes/azulados hidromorfía permanente. El color se caracteriza por tres parámetros que son: Matiz o Hue, que expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Se consideran cinco colores principales (R, rojo; Y, amarillo; G, verde, B, azul y P, púrpura) y cinco intermedios. Brillo o Value que expresa la porción de luz reflejada y mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto. Intensidad o Cromo que expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. Un horizonte puede presentar un color uniforme o presentar manchas de distinto color (FAO 2007) (Bolaños y Vargas, 2019).

### **2.5.2. TEXTURA**

El suelo está constituido por partículas de diferente tamaño. Conocer la granulometría es esencial para cualquier estudio del suelo. Para agrupar a los constituyentes del suelo según su tamaño se han establecido muchas clasificaciones. Básicamente todas aceptan los términos de grava, arena, limo y arcilla, pero difieren en los valores de los límites establecidos para definir cada clase. Definimos textura del suelo como la relación existente entre los porcentajes de las diferentes fracciones (arena, limo y arcilla). Las combinaciones posibles de estos porcentajes pueden agruparse en unas pocas clases de tamaño de partículas o clases texturales. Se utilizan numerosos tipos de diagramas (circulares, de barras), pero el más ampliamente empleado es el triángulo de texturas o Diagrama textural (García *et al.*, 1975) citados por (Bolaños y Vargas, 2019).



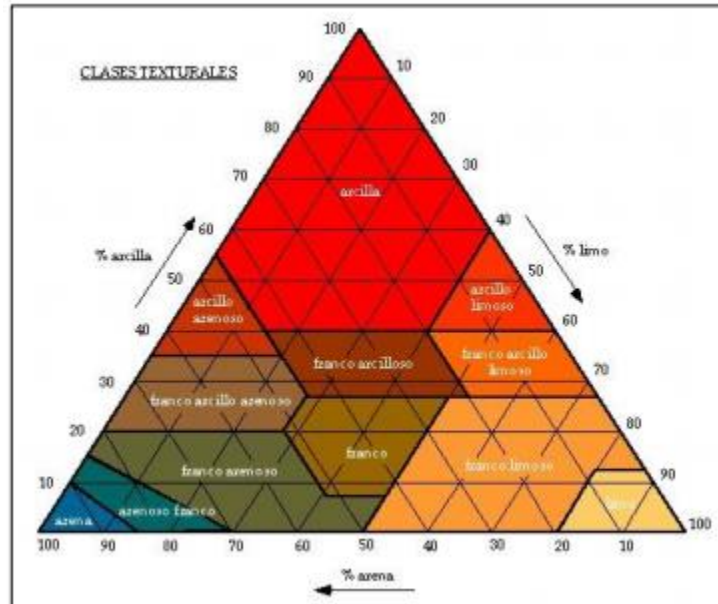


Figura 2.2. Clases texturales de los suelos

### 2.5.3. ESTRUCTURA

Las partículas no se suelen presentar en el suelo de un modo totalmente independiente, sino que se encuentran más o menos ligadas unas a otras, constituyendo los agregados. Así, la estructura de un suelo se puede definir como “el modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo (partículas minerales, materia orgánica, etc.)”. Entre los factores que influyen o determinan la morfología de la estructura están: a) la cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica); b) la textura; c) la actividad biológica del suelo (lombrices) y d) la influencia humana (en el horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo) (FAO 2007) citado por (Bolaños y Vargas, 2019).

### 2.5.4. DENSIDAD APARENTE

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y

facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo (FAO 2007) citado por (Bolaños y Vargas, 2019).

## **2.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO**

Estas se refieren a condiciones que influyen en las relaciones suelo-planta, calidad del agua, capacidad amortiguadora del suelo, disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos Bautista *et al.*, (2004) citados por (Montaño y Solórzano, 2015). Entre las más comunes que sirven como indicadores están el pH, la Materia orgánica, nutrientes del suelo, salinidad y capacidad de intercambio catiónico.

### **2.6.1. PH**

El pH del suelo se mide o se determina con el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrogeno que se encuentran en el suelo, por lo general haciendo una solución con el mismo.

$$pH = - \log[H^+]$$

Según Dorronsoro *et al.*, (2004) citados por (Montaño & Solórzano, 2015) cuando el pH se encuentra en un rango de 6-7,5 se dan las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas. Los factores que hacen que el suelo tenga un determinado valor de pH son diversos, fundamentalmente. Este parámetro sirve como un indicador de la acidez del suelo.

### **2.6.2. MATERIA ORGÁNICA**

Los suelos con valores por debajo del 2% de materia orgánica, dice Molina y Melendez (2002), tienen un bajo contenido, los que están en un rango de 2 a 5%

poseen un contenido medio, por lo que expresa que el valor de esta sea por encima del 5%. Según USDA (1999) citado por (Montaño y Solórzano, 2015), la conductividad eléctrica (C.E) indica la presencia de sales en el suelo, cabe recalcar que todos los suelos poseen sales y que estas son esenciales para el desarrollo de las plantas, las mediciones de conductividad eléctrica detectan los aniones o cationes (sales) realizando una solución del suelo estudiado. El exceso de sales se puede dar de forma natural y también como resultado del uso y mal manejo del suelo.

## 2.7. FENOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ

De acuerdo con Olmos (2007), el rendimiento potencial del arroz se define primeramente antes de la emergencia de la panoja. El rendimiento definitivo (integrado de los tres componentes), el que está basado en la cantidad de almidón que llena los granos de la panoja, se determina en mayor medida luego de la diferenciación de panoja. Por esto es que divide agronómicamente la historia del cultivo en términos de la fase vegetativa, reproductiva y madurez. Una variedad de 120 días pasa unos 55-60 días en la fase vegetativa, 30 días en la fase reproductiva, y 30 días en la fase de madurez.

- **La fase vegetativa** se caracteriza por un activo macollamiento, un gradual incremento de la altura de las plantas, y la emergencia de las hojas a intervalos regulares. Los macollos que no desarrollaron una panoja se llaman macollos infértiles.
- **La fase reproductiva** se caracteriza por un declinamiento del número de macollos, la emergencia de la hoja bandera, el engrosamiento del tallo por el crecimiento interno de la panoja, la emergencia de la panoja (ocurre unos a 20-25 días luego de la diferenciación del primordio floral), y la floración.

## **2.8. CULTIVO DE ARROZ EN ECUADOR**

El Ecuador ocupa el puesto número 26 a nivel mundial en la producción de este cultivar y considerado a su vez como un país de alto consumo de este grano dentro de la Comunidad Andina (Zambrano, 2012) citado por (Carbay, 2017). El consumo per-cápita en el Ecuador en el 2010 fue de 48 kg, ubicándose como la gramínea más importante de los cultivos transitorios, ocupando más del 25% (tercera parte) de la superficie en sus cultivos (Carbay, 2017).

En el Ecuador el 97% del área sembrado por este cultivo, se encuentra el 63.85% en la provincia del Guayas, el 28.19% pertenece a Los Ríos y un 4.63% en la provincia de Manabí (Aguirre, 2015) citado por (Carbay, 2017).

## **CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

Esta investigación se desarrolló en el vivero del Campus Politécnico de la ESPAM-MFL, de la Carrera de Ingeniería Agrícola ubicado en el sitio El Limón perteneciente al cantón Bolívar, Manabí. Posicionado geográficamente entre las coordenadas 0° 49' 23" Latitud Sur y 80° 11' 01" Longitud Oeste, a una Altitud de 15 msnm. Las características climáticas de la zona (ESPAM MFL, 2016) son: precipitación: 1058mm año, temperatura máxima: 30°C, temperatura mínima: 22°C, humedad relativa: 84%.

### **3.2. DURACIÓN**

La investigación se desarrolló desde octubre del 2019 hasta septiembre del 2020, con una duración de 12 meses.

### **3.3. MATERIAL VEGETAL**

Para el experimento se utilizó semillas de arroz de la variedad FL-11

### **3.4. FACTORES EN ESTUDIO**

#### **3.4.1. FACTOR A (CONCENTRACIONES DE BIOCHAR)**

- 0% p/p
- 1% p/p
- 1.5% p/p
- 3 % p/p
- 5 % p/p

### 3.4.2. FACTOR B (FERTILIZACIÓN)

- Fertilización completa
- Sin fertilización

### 3.5. TRATAMIENTOS

Tratamientos	Código	Descripción
T1	B1F1	0% p/p de biochar + fertilización completa
T2	B2F1	1% p/p de biochar + fertilización completa
T3	B3F1	1.5 % p/p de biochar + fertilización completa
T4	B4F1	3% p/p de biochar + fertilización completa
T5	B5F1	5% p/p de biochar + fertilización completa
T6	B1F2	0% p/p de biochar + sin fertilización
T7	B2F2	1% p/p de biochar + sin fertilización
T8	B3F2	1.5 % p/p de biochar + sin fertilización
T9	B4F2	3% p/p de biochar + sin fertilización
T10	B5F2	5% p/p de biochar + sin fertilización

### 3.6. DISEÑO Y UNIDAD EXPERIMENTAL

El experimento se desarrolló bajo condiciones de casa de cultivo en macetas, donde se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial A x B con 10 tratamientos, 4 réplicas y 40 unidades experimentales. La unidad experimental estuvo conformada por 1 maceta. A continuación, se detalla el esquema del ADEVA.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	9
Concentración de Biochar	4
Fertilización	1
B x F	4
Error experimental	30
Total	39

### **3.7. ANÁLISIS DE DATOS**

El análisis de datos se realizó a través de análisis de varianza (ANOVA), y la separación de medias con la prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

### **3.8. VARIABLES RESPUESTA**

#### **3.8.1. VARIABLES DEL SUELO**

##### **3.8.1.1. ANÁLISIS FÍSICOS**

Esta variable se registró al suelo inicial y al final del experimento como la textura, densidad aparente (análisis realizado en el laboratorio de suelo de la carrera agrícola de la ESPAM MFL).

##### **3.8.1.2. ANÁLISIS QUÍMICOS**

Esta variable fue registrada al inicio del ensayo y al final, donde se tomaron varias submuestras de suelo, luego se sacaron una muestra representativa y se enviaron al laboratorio de suelos de INIAP PICHILINGUE, con el fin de determinar materia orgánica, pH, macro y micro elementos existentes en ese suelo.

##### **3.8.1.3. CONTENIDO DE CARBONO**

Para obtener el contenido de carbono fue necesario obtener el porcentaje de materia orgánica, y se aplicó la siguiente formula:

$$\%CO = \frac{\%M.O}{0,58}$$

## **3.8.2. VARIABLES AGRONÓMICAS**

### **3.8.2.1. LONGITUD DE RAÍCES (cm)**

Se determinó al momento de la cosecha donde el dato se registró desde el nivel del cuello del tallo hasta la zona apical donde se encuentre el 90% de la masa radical.

### **3.8.2.2. PESO SECO DE RAICES**

Fue determinada al momento de la cosecha, para lo cual las raíces fueron separadas del resto de la planta y fueron colocadas en estufa a 70°C durante 48 horas hasta obtener peso constante.

### **3.8.2.3. NÚMERO DE PANICULA POR PLANTA**

Esta variable se registró al momento de la cosecha, donde se contabilizó cuantas panículas tenía cada tratamiento.

### **3.8.2.4. NÚMERO DE GRANOS POR PANOJA**

Se registró al momento de la cosecha, donde se tomaron tres panojas al azar y se contabilizó el total de granos por panoja.

### **3.8.2.5. PORCENTAJE DE GRANOS LLENOS POR PANOJA**

Se determinó al momento de la cosecha donde se tomaron tres panojas al azar por planta y se contabilizó el número de granos por panoja y posteriormente por relación se lo llevo a porcentaje.



### 3.8.2.6. PORCENTAJE DE GRANOS VANOS

Se determinó al momento de la cosecha donde se tomaron tres panojas al azar por planta y se contabilizó el número de granos vanos por panoja y posteriormente por relación se lo llevo a porcentaje.

### 3.8.2.7. PRODUCCIÓN DE GRANOS POR PLANTA (kg)

Se determinó al momento de la cosecha para lo cual se registró el peso de granos/planta a humedad de cosecha. Luego se uniformizo el rendimiento de grano al 14% de humedad, mediante la siguiente formula.

$$PU(14\%) = \frac{Pa(100-Ha)}{100-Hd}$$

Donde:

**PU:** Peso uniformizado

**Pa:** Peso actual

**Ha:** Humedad actual

**Hd:** Humedad deseada

## 3.9. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

### 3.9.1. ELABORACIÓN DEL BIOCHAR

Para la elaboración del Biochar se utilizaron materiales residuales procedentes del sector agrícola como materia prima. La producción del biochar se realizó con un equipo de pirólisis a escala de laboratorio basado en el diseño "Anila Stove". El proceso consistió en introducir en el equipo (anillo externo) el material a pirolizar y

sellarlo para que no entre aire. Después se procedió a quemar la cáscara en la parte central de la estufa hasta que la temperatura alcanzará unos 300-350°C.

### **3.9.2. SIEMBRA**

Para la siembra se realizó el llenado de las macetas con tierra procedente de las zonas arroceras del cantón Bolívar, se colocaron tres semillas por macetas para tener mejor seguridad de la germinación de las plantas, luego se procedió a cortar las plantas que estuvieron demás hasta dejar una en la maceta.

### **3.9.3. CONTROL DE MALEZA**

Se realizaron deshierbas manuales en cada una de las macetas.

### **3.9.4. RIEGO**

El riego se lo realizó de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo de arroz.

### **3.9.5. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES**

El control de plagas y enfermedades se efectuó en base a los umbrales críticos u económicos establecidos para el cultivo de arroz.

### **3.9.6. FERTILIZACIÓN**

La fertilización se realizó en base al análisis de suelo que se determinó al inicio del ensayo y a la demanda nutricional del cultivo, luego se procedió a la cuantificación de la dosis optima por planta.

### **3.9.7. COSECHA**

La cosecha se realizó en cada unidad experimental de forma manual usando una hoz, cuando los granos alcanzaron su madurez comercial.

# CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. VARIABLES DEL SUELO

### 4.1.1. ANÁLISIS FÍSICO

En el **cuadro 4.1** se muestra los resultados de la clase textural del suelo que es cultivado por arroz a una profundidad de 0-20 cm que presenta una textura franco arenoso con un porcentaje de (arena 56,00%, arcilla 19,20% y limo 24,80%), considerando que este suelo tiene una textura moderadamente gruesa.

**Tabla 4.1:** Clases textural del suelo del cultivo de arroz

Suelo	Composición mecánica			Clase textural
	Arena	Arcilla	Limo	
Cultivo de Arroz	56,00%	19,20%	24,80%	Franco Arenoso

En el **cuadro 4.2** se muestra los resultados de la densidad aparente del suelo inicial y de los diferentes tratamientos con su respectiva dosis de biochar, estos valores que se obtuvieron no afectan en las propiedades físicas del suelo ya que según Ramírez (2012), los suelos con textura franca presentan densidad aparente con rangos de 1.45-1.55 gr/cm<sup>3</sup> para esta clase textural. En cambio, Jordán (2005), declara que la densidad aparente oscila entre 1 g/cc (suelos bien estructurados) y 1,8 g/cc (suelos compactados). Por su parte Kauffman *et al.* (2014), manifiestan que la aplicación de biochar reduce la densidad aparente del suelo, y adicionalmente incrementa su porosidad y aireación. Según Ha *et al.* (2010), la densidad del biochar es baja, y es por esta razón que puede disminuir la densidad aparente de los suelos de arcilla y aumentar la capacidad de retención de agua en los suelos arenosos.

**Tabla 4.2:** Influencia de varias concentraciones de biochar sobre la densidad aparente del suelo arrocero, calceta, Ecuador 2020

Tratamientos	Densidad aparente
Suelo Inicial	1,34 gr/cm <sup>3</sup>
T1: 0% p/p Biochar + Fertilización completa	1,24 gr/cm <sup>3</sup>
T2: 1.0% p/p Biochar + Fertilización completa	1,25 gr/cm
T3: 1.5% p/p Biochar + Fertilización completa	1,23 gr/cm <sup>3</sup>
T4: 3.0% p/p Biochar + Fertilización completa	1,22 gr/cm <sup>3</sup>
T5: 5.0% p/p Biochar + Fertilización completa	1,19 gr/cm <sup>3</sup>
T6: 0% p/p Biochar + Sin Fertilización	1,29 gr/cm <sup>3</sup>
T7: 1.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	1,27 gr/cm <sup>3</sup>
T8: 1.5% p/p Biochar + Sin Fertilización	1,28 gr/cm <sup>3</sup>
T9: 3.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	1,26 gr/cm <sup>3</sup>
T10: 5.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	1,22 gr/cm <sup>3</sup>

#### 4.1.2. ANÁLISIS QUÍMICO

Al realizar el análisis del suelo antes y después de la aplicación de diferentes niveles de biochar, para producción del cultivo de arroz, se puede evidenciar en el **cuadro 4.3.** que los niveles de los macronutrientes primarios y secundarios del suelo inicial y de los diferentes tratamientos con sus respectivas dosis de biochar. En el suelo inicial el nitrógeno se encuentra bajo, así como en los diferentes tratamientos, y esto se debe que el nitrógeno tiende a volatilizarse por ser el nutriente más susceptible al calor, es por eso que durante el proceso de pirólisis se reduce por elevadas temperaturas (La Serna; Sanz, 2020), además el biochar puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Zheng *et al.*, 2013). En cambio, los otros macronutrientes como el fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio en los diferentes tratamientos se encuentran alto, al igual que el suelo inicial, que solo el azufre se presenta niveles medios. Según Fernández *et al* (2014) indica, que hay varios fenómenos fisicoquímicos que hace que el uso del biochar tenga un efecto positivo como la capacidad para retener nutrientes (como N, P y Mg, entre otros) y mantenerlos disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de incrementar la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

**Tabla 4.3:** Influencia de varias concentraciones de biochar sobre los niveles de los macronutrientes de suelos arroceros, calceta, Ecuador 2020

Tratamientos	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio						
Suelo Inicial	7	<b>B</b>	38	<b>A</b>	0,74	<b>A</b>	12	<b>M</b>	12	<b>A</b>	4,7	<b>A</b>
T1: 0% p/p Biochar + Fertilización completa	6	<b>B</b>	44	<b>A</b>	0,83	<b>A</b>	32	<b>A</b>	11	<b>A</b>	4,0	<b>A</b>
T2: 1.0% p/p Biochar + Fertilización completa	6	<b>B</b>	60	<b>A</b>	1,75	<b>A</b>	80	<b>A</b>	12	<b>A</b>	3,9	<b>A</b>
T3: 1.5% p/p Biochar + Fertilización completa	6	<b>B</b>	65	<b>A</b>	2,17	<b>A</b>	89	<b>A</b>	13	<b>A</b>	3,9	<b>A</b>
T4: 3.0% p/p Biochar + Fertilización completa	9	<b>B</b>	71	<b>A</b>	2,85	<b>A</b>	112	<b>A</b>	14	<b>A</b>	4,0	<b>A</b>
T5: 5.0% p/p Biochar + Fertilización completa	11	<b>B</b>	90	<b>A</b>	3,47	<b>A</b>	138	<b>A</b>	15	<b>A</b>	3,8	<b>A</b>
T6: 0% p/p Biochar + Sin Fertilización	7	<b>B</b>	41	<b>A</b>	0,72	<b>A</b>	173	<b>A</b>	16	<b>A</b>	4,0	<b>A</b>
T7: 1.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	6	<b>B</b>	46	<b>A</b>	1,60	<b>A</b>	98	<b>A</b>	17	<b>A</b>	4,0	<b>A</b>
T8: 1.5% p/p Biochar + Sin Fertilización	6	<b>B</b>	48	<b>A</b>	1,45	<b>A</b>	101	<b>A</b>	18	<b>A</b>	3,6	<b>A</b>
T9: 3.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	8	<b>B</b>	55	<b>A</b>	2,39	<b>A</b>	86	<b>A</b>	19	<b>A</b>	4,5	<b>A</b>
T10: 5.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	6	<b>B</b>	68	<b>A</b>	3,20	<b>A</b>	73	<b>A</b>	20	<b>A</b>	4,0	<b>A</b>

**A**= Alto ; **B**=Bajo; **M**= Medio

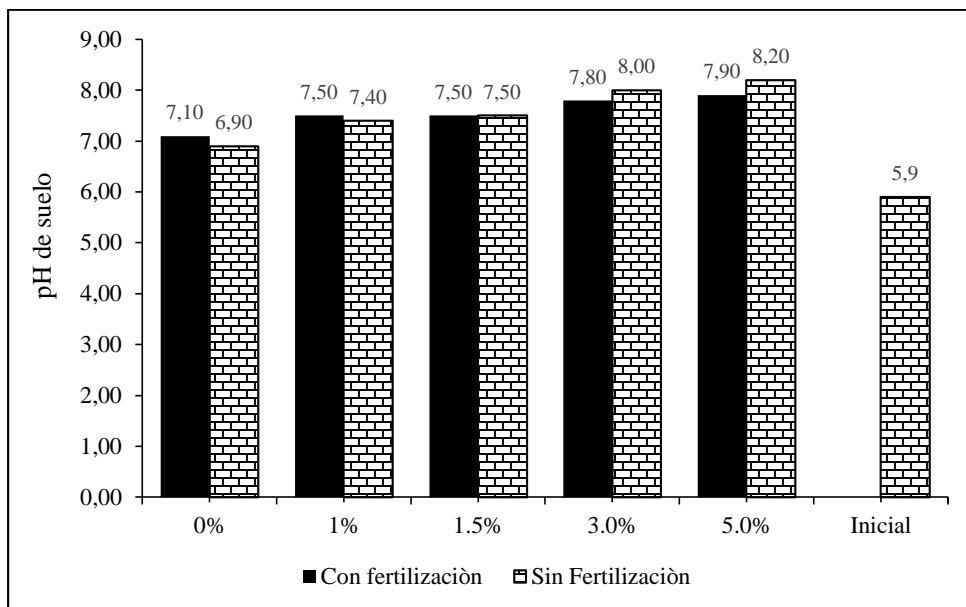
En el **cuadro 4.4**. Se observa los niveles de micronutrientes de los tratamientos con las diferentes dosis de biochar más fertilización completa y sin fertilización, donde se puede observar que el hierro y el cobre presentan niveles altos, a diferencia del zinc que se encuentra medio, al igual que el suelo inicial. En cambio, en el manganeso se ve una diferencia de niveles en el T3 (1,5% p/p biochar y fertilización completa) y en los T8, T9 (1,5% y 3,0% p/p biochar sin fertilización) que se encuentra medio a diferencia de los demás tratamientos y al suelo inicial que tiene un nivel alto de manganeso. Los niveles de boro en todos los tratamientos y en el suelo inicial se encuentran bajos. Según Olmo (2016) indica que la adición de biochar ejerció una gran influencia sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, aumentando la disponibilidad de P, K, Ca, Mg y Cu, y reduciendo la de N. además concluye a base de los resultados obtenidos en su investigación que la interacciones nutriente- biochar, son altamente dependientes del nutriente involucrado, al tipo de biochar aplicado y las características del suelo; así como el beneficio agronómico del biochar va a depender del impacto sobre la disponibilidad de nutriente y en la eficiencia del fertilizante tras la adición del biochar que puede promover una agricultura más sostenible a largo plazo.

**Tabla 4.4:** Influencia de varias concentraciones de biochar sobre los niveles de los micronutrientes de suelos arroceros, calceta, Ecuador 2020

Tratamientos	Hierro	Cobre	Zinc	Manganeso	Boro
Suelo Inicial	196 A	5,3 A	2,7 M	21,2 A	0,18 B
T1: 0% p/p Biochar + Fertilización completa	153 A	5,6 A	3,1 M	15,9 A	0,35 B
T2: 1.0% p/p Biochar + Fertilización completa	199 A	6,0 A	2,0 M	15,6 A	0,23 B
T3: 1.5% p/p Biochar + Fertilización completa	169 A	5,6 A	3,4 M	13,8 M	0,12 B
T4: 3.0% p/p Biochar + Fertilización completa	175 A	6,3 A	3,0 M	17,6 A	0,13 B
T5: 5.0% p/p Biochar + Fertilización completa	198 A	6,1 A	2,6 M	16,7 A	0,12 B
T6: 0% p/p Biochar + Sin Fertilización	185 A	6,2 A	2,4 M	16,3 A	0,37 B
T7: 1.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	150 A	6,2 A	2,1 M	18,3 A	0,12 B
T8: 1.5% p/p Biochar + Sin Fertilización	146 A	6,0 A	5,0 M	13,6 M	0,13 B
T9: 3.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	164 A	6,2 A	4,8 M	14,4 M	0,17 B
T10: 5.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	200 A	7,4 A	3,5 M	15,1 A	0,14 B

A= Alto ; B=Bajo; M= Medio

Se puede observar en la **figura 2.3** el pH del suelo, donde el suelo inicial obtuvo un pH de 5,9 y de acuerdo a la interpretación de los análisis este pH es medio ácido; en cambio los tratamientos con porcentajes de biochar (0%, 1,0% y 1,5%) más fertilización completa obtuvieron un pH de 7,50. Prácticamente neutro, valores que favorecen la disponibilidad de los nutrientes para las plantas y por ende el desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vásquez et al, 2002); y los tratamientos con 3,0% y 5,0% de biochar más fertilización completa tuvieron un pH (7,80 y 7,90) ligeramente alcalino. Los tratamientos con biochar de 0%, 1,0% y 1,5% sin fertilización obtuvieron un pH prácticamente neutro, a diferencia del tratamiento que tenía el 3,0% de biochar que presentó un pH ligeramente alcalino y el tratamiento que obtenía el 5,0% de biochar obtuvo un pH medio alcalino, lo que concuerda con lo manifestado por Gaskin *et al* (2008) que el biochar tiende a ser alcalino y puede ser utilizado para reducir la acidez del suelo, coincidiendo con Guerra (2015) quien indica que la incorporación del biochar al suelo favorece al aumento del pH; además de ser un mejorador de las propiedades físicas del suelo, también se puede utilizar como material de encalado ya que el biochar posee un pH alcalino (Escalante *et al.*, 2016).



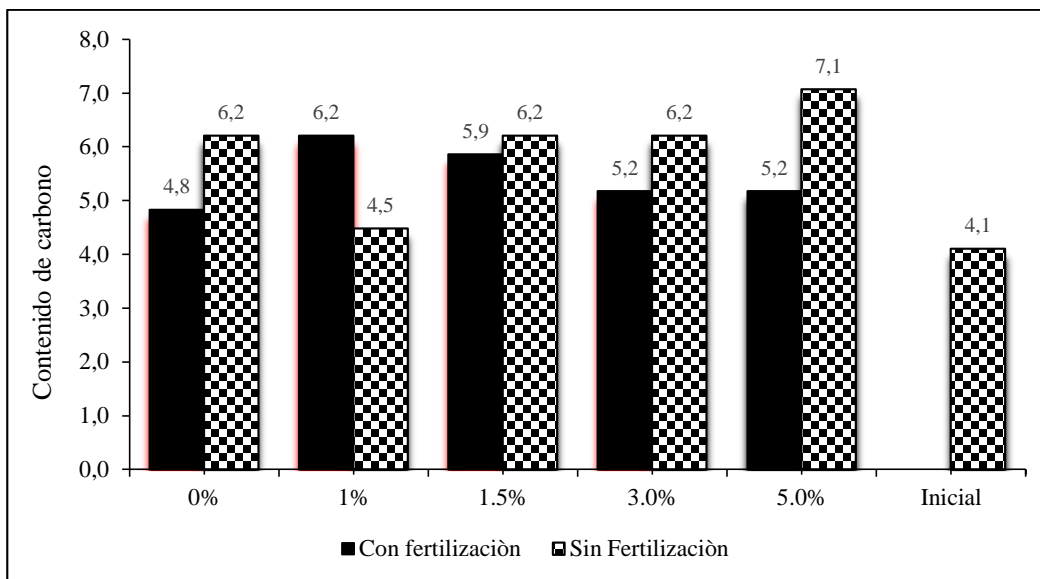
**Figura 2.3.** Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arrozeros.

Calceta, Ecuador, 2020

#### 4.1.3. CONTENIDO DE CARBONO

Para obtener los resultados del contenido de carbono se utilizó el porcentaje de materia orgánica (%MO) y el factor de Van Benmelem. Donde se observa en la **figura 2.4**, que la relación de contenido de carbono del suelo inicial es bajo, a diferencia de los tratamientos que recibieron biochar, independiente de la fertilización, incrementaron el contenido de carbono del suelo al final del ciclo del cultivo. El carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos (Martínez et al., 2008). Y de acuerdo con los resultados encontrados por Burgas (2019), el carbono orgánico disminuye conforme aumenta la profundidad del suelo, donde el bosque primario el porcentaje de carbono orgánico varía desde 5.79 % hasta 7.49 %, mientras que en el bosque secundario éste varía desde 3.34 % hasta 7.13 %. Estos resultados evidencian que a mayor profundidad se encuentra menor porcentaje de carbono orgánico.





**Figura 2.4.** Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arrocero. Calceta, Ecuador, 2020.

#### 4.1.4. LONGITUD Y PESO SECO DE RAICES (g)

El análisis de varianza realizado a la variable de longitud (cm) y peso seco de raíces (g) (**tabla 4.5.**), mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p \geq 0.05$ ), lo cual indica que las diferentes dosis de biochar son estadísticamente iguales. El mayor promedio de longitud de raíz se alcanzó en los tratamientos T4 y T3 (3,0%-1,5% biochar y fertilización completa) con 38,25 y 36,00 cm, siendo inferior el T9 (3,0% biochar sin fertilización) con 30,00 cm. En cambio, el mayor valor de peso seco de raíz se encontró en el T1 (0% p/p biochar y fertilización completa) con 19,50 g, mientras que el menor valor fue mostrado por el T10 (5,0% p/p biochar sin fertilización) con 4,44 g. En este contexto, varios estudios reportan un efecto positivo del biochar como enmienda del suelo y su efecto en el crecimiento de cultivos (Kolton et al. 2011), así como en el crecimiento de raíces y biomasa. Según Major et al., (2010) menciona que la aplicación de biochar en un cultivo de maíz mejora el rendimiento del mismo, además de que reduce la lixiviación de nutrientes lo que condujo a una mejora de la absorción de nutrientes en plantas de maíz.

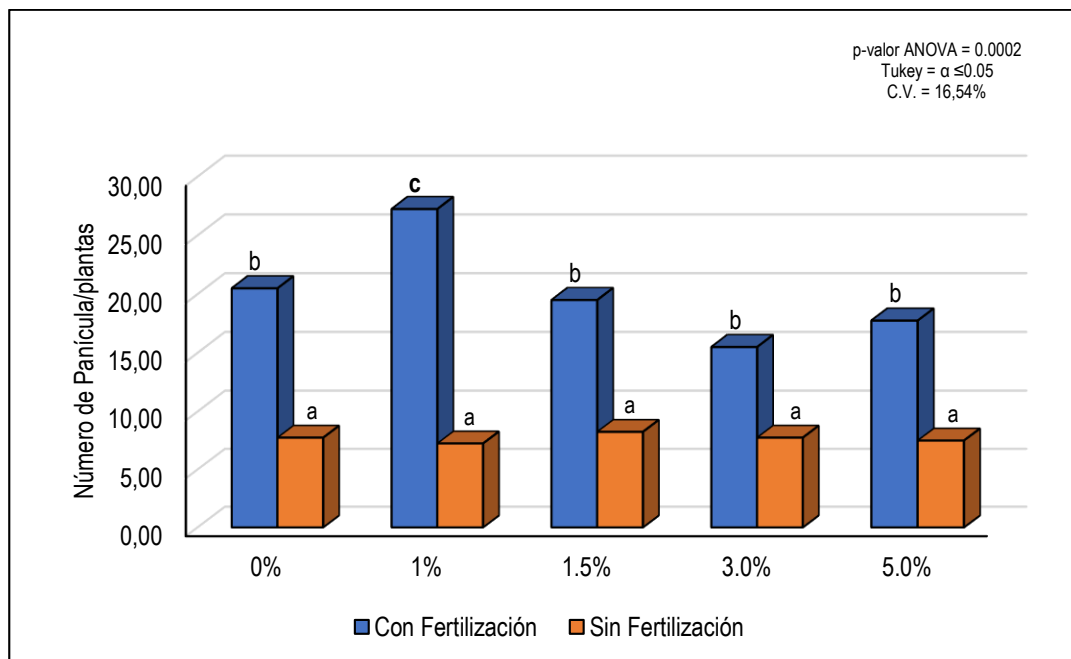
**Tabla 4.5.** Influencia de varias concentraciones de biochar sobre longitud y peso seco de raíces de arroz, calceta, Ecuador 2020

Tratamientos	Longitud de raíz (cm)	Peso seco de raíz (gr)
T1: 0% p/p Biochar + Fertilización completa	34,00 abc <sup>1/</sup>	19,50 a
T2: 1.0% p/p Biochar + Fertilización completa	32,50 abc	14,25 ab
T3: 1.5% p/p Biochar + Fertilización completa	36,00 bc	12,90 b
T4: 3.0% p/p Biochar + Fertilización completa	38,25 c	10,63 bcd
T5: 5.0% p/p Biochar + Fertilización completa	34,00 abc	9,19 bc
T6: 0% p/p Biochar + Sin Fertilización	34,25 abc	6,17 d
T7: 1.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	34,50 abc	5,87 cd
T8: 1.5% p/p Biochar + Sin Fertilización	33,50 abc	4,60 cd
T9: 3.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	30,00 a	4,58 d
T10: 5.0% p/p Biochar + Sin Fertilización	32,25 ab	4,44 d
P-valor ANOVA	0,0033	0,0010
C.V%	7,25	24,17

<sup>1/</sup> Medias dentro de columnas con letras distintas, indican diferencias estadísticas según el test de Tukey ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.1.5. NÚMERO DE PANÍCULA POR PLANTA

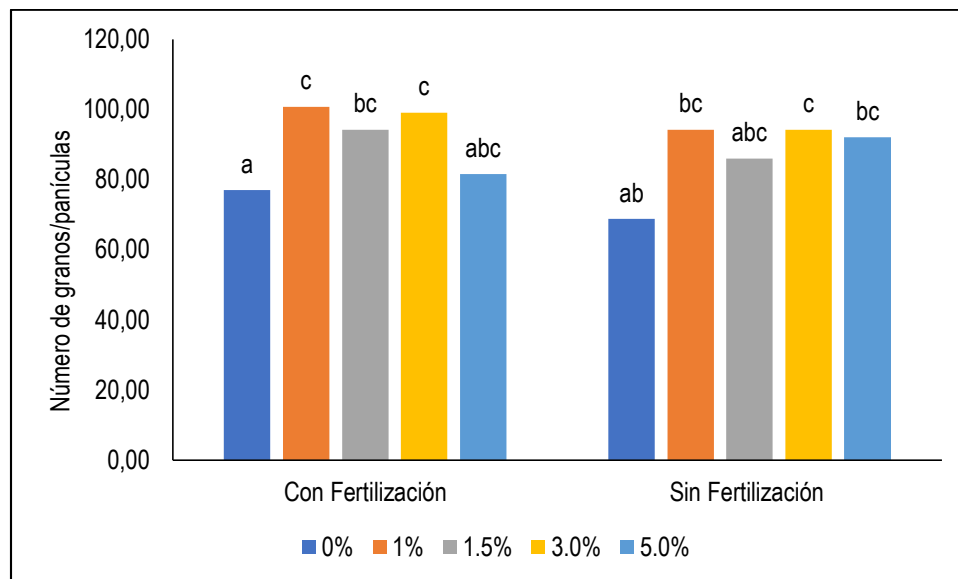
El número de panícula por planta mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados, donde los tratamientos con fertilización completa superaron ampliamente a los tratamientos sin fertilización. En la figura 2.5, se aprecia que el tratamiento T2 con fertilización y el 1% de biochar alcanzó el mayor número de panícula por planta con 27,25 con relación al tratamiento control T1 que produjo 20,50 panículas. De acuerdo con Arana (2016), existe una asociación negativa entre el tamaño de panícula y número de panículas por unidad de área. Los caracteres de la panícula no determinan, estrictamente el rendimiento de la planta. De acuerdo a los resultados obtenidos por Fiallos et al., (2015), el biochar fue un excelente restaurador de suelos en plantas de alfalfa, con menor tiempo de floración, mayor altura y cobertura tanto basal como aérea, mayor número de hojas y tallos, y por ende mayor producción de forraje.



**Figura 2.5.** Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arrocero. Calceta, Ecuador, 2020.

#### 4.1.6. NÚMERO DE GRANOS POR PANÍCULA

El análisis de varianza aplicado al número de granos por panícula mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. **En la figura 2.6**, muestra que los tratamientos T2 y T4 con fertilización alcanzaron el mayor número de granos por panícula<sup>-1</sup> con 100,75 y 99,00, sin embargo, desde el punto de vista estadístico los tratamientos T3 con fertilización, y el T7 con el T9 sin fertilización fueron similares. Según Soto (1991), menciona que el número de granos por panícula está en función de su longitud y densidad de ramificación, además esta se ve influenciada (Valero, 2015) por la variedad y las condiciones ambientales y la mayoría de las variedades comerciales oscilan entre 100 y 150 granos panícula<sup>-1</sup>. De acuerdo Nates (2014) los resultados obtenidos en su investigación concluyen que después de un año de aplicación de biochar en una dosis de 3.5 t ha<sup>-1</sup> al cultivo de uchuva y sin fertilización se observó un efecto positivo en el peso de los frutos.



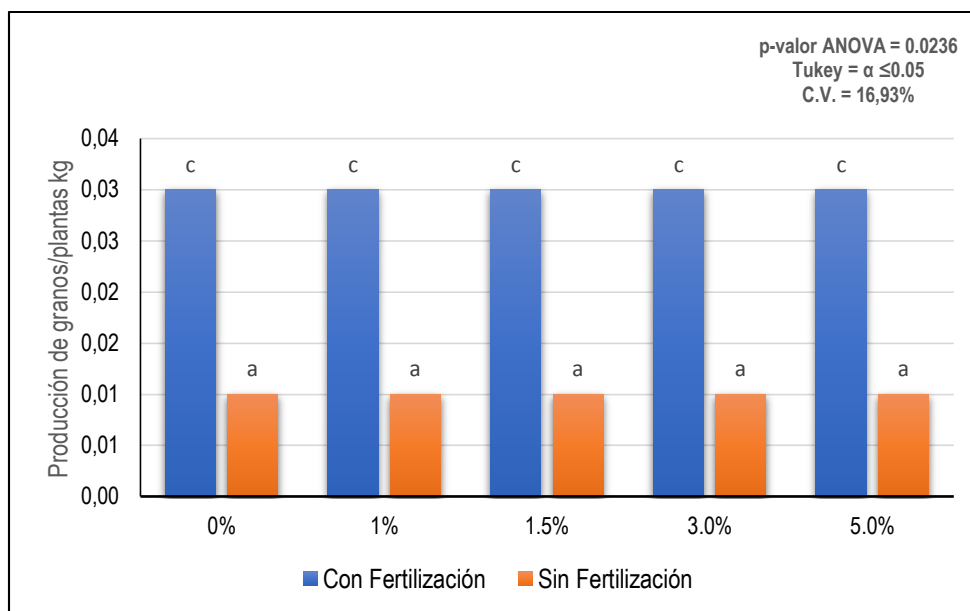
**Figura 2.6.** Influencia de varias concentraciones de biochar aplicadas a un suelo arrocero. Calceta, Ecuador, 2020

#### 4.1.7. PORCENTAJE DE GRANOS VANOS Y LLENOS POR PANICULA

En análisis de varianza aplicado a la variable de porcentaje de granos vanos y llenos no mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados. Los tratamientos que alcanzaron el mayor promedio numérico en granos vanos fueron T1 y T5 de fertilización completa con un 17%. De la misma manera, los tratamientos T5, T4 con fertilización y T6 sin fertilización mostraron el mayor promedio de granos llenos con 94, 93 y 92%. Resultado que coincide con la investigación de Quintana (2019), donde el porcentaje de granos llenos y vanos no reportó diferencias significativas en las evaluaciones de nutriente faltante como nitrógeno, potasio y boro en el cultivo de arroz. Según Concilco et al., (2018) menciona que los efectos del biochar sobre la calidad de los cultivos no han sido muy estudiados, aunque su empleo se ha incrementado es necesario obtener más estudios sobre sus efectos, sus propiedades no serán siempre las mismas, estarán en función de las características de la materia prima y condiciones de la pirolisis, la incidencia del biochar sobre los cultivos dependerán de las cantidades aplicadas, el tipo de suelo y la variedad vegetal cultivada así como pueden encontrarse efectos positivos, también podrían encontrarse efectos nulos o desfavorables.

#### 4.1.8. PRODUCCIÓN DE GRANOS POR PLANTA (kg)

La producción de granos por planta fue afectada significativamente por los tratamientos evaluado ( $p < 0,0232$ ). La **figura 2.7**, muestra que los tratamientos con fertilización completa presentaron mayor promedio estadístico en la producción de granos por planta, en contraste a los tratamientos que no recibieron fertilización. De acuerdo con los resultados obtenidos por Sukartomo et al. (2011) concluyen que el uso de biochar incrementó el aprovechamiento del nitrógeno por las plantas e incrementó el rendimiento del maíz a lo largo del tiempo, mientras que aplicar abonos orgánicos de origen animal, ayudó a incrementar los rendimientos en un ciclo de cultivo, pero no mejoró los rendimientos de maíz en los ciclos posteriores.



**Figura 2.7.** Influencia de niveles crecientes de biochar sobre la producción de granos en arroz.

Calceta, Ecuador, 2020

# **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

- ❖ El análisis físico - químico realizado al suelo de arroz, con las diferentes dosis de biochar mostraron altos niveles de los macronutrientes, a excepción del nitrógeno que se presenta bajo, en cambio los micronutrientes presentan diferentes niveles (Alto, Medio y Bajo), el contenido de Carbono varía de 4,1 a 7,1%, el pH va de prácticamente neutro a ligeramente alcalino.
- ❖ La aplicación de biochar produjo un efecto positivo en la longitud de las raíces, donde se evidenció que la dosis más eficiente corresponde al 3.0% de biochar más la fertilización completa.
- ❖ La combinación del biochar con la fertilización completa fue efectiva para incrementar el rendimiento de arroz, independiente de las diferentes dosis de biochar.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- ❖ El uso de biochar mejora las condiciones del suelo tanto en las propiedades físicas como químicas.
- ❖ Replicar este ensayo con diferentes especies cultivables y diferentes tipos de fertilización para evaluar el comportamiento del biochar en el suelo y en la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ali, M., Farouque, M., Haque, M. y Kabir, A. (2012). Influence of Soil Amendments on Mitigating Methane Emissions and Sustaining Rice Productivity in Paddy *Soil Ecosystems of Bangladesh. J. Environ. Sci. & Natural Resources*. 5(1): 179 -185.
- Almarales, W., Boicet, T., y Baldaquín, M. (2019). Estudio gastronómico del trasplante en el arroz (*Oryza sativa* L.). REDEL: *Revista Granmense de Desarrollo Local*.
- Amonette, J. 2009. An introduction to biochar: Concept, processes, properties, and applications. Harvesting Clean Energy 9. Special Workshop. Recuperado de [www.harvestcleanenergy.org/conference/HCE9/Postconference/PPT/JeanAmonette.pdf](http://www.harvestcleanenergy.org/conference/HCE9/Postconference/PPT/JeanAmonette.pdf)
- Arana, L. 2012. Cultivo in vitro de anteras en arroz (*Oryza sativa* L) para inducir plantas doble haploides homocigóticas. Tesis. Ing. Agrónomo. UTB. Babahoyo, Los Ríos. EC. p. 72
- Barahona, L., Villarreal, J., González, W. y Quiro, E. (2019). Absorción de nutrientes en arroz en un suelo inceptisol bajo riego en Coclé, Panamá. *Agronomía Mesoamericana*. 30(2):407-424
- Bolaños, H., y Vargas, G. (2019). Calidad de suelos dedicados a la producción de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo inundación en la parroquia Canuto, Chone, Manabí. Calceta: ESPAM MFL.
- Bouma, T., Nielsen, K. y Koutstaal, B. (2000). Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant and Soil* 218:185-196.
- Brevik, E. (2013). The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture* 3: 398-417.
- Brick, S. y Wisconsin, M. (2010). Biochar: Assessing the promise and risks to guide U.S. policy. Natural Resources Defense Council. USA. Recuperado de [http://www.nrdc.org/energy/files/biochar\\_paper.pdf](http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf).
- Burgas, E. 2019. Determinación del carbono en el suelo del bosque del caserío la Palma, Chadín, Chota. Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de ciencias agrarias. Escuela académica profesional de ingeniería forestal
- Carbay, E. (2017). Efecto en el manejo de malezas y su impacto en la producción en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Machala: Universidad Técnica de Machala.

- Concilco, A. E., Moreno Reséndez, A., García Carrillo, M., Quiroga Garza, H. M., & García, O. Á. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 221–228. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.37>
- Chan, Y., Van Zwieten, I., Meszaros, A., Downie, y Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 45:629-634.
- Czernik, S. y Bridgwater, A. (2004). Overview of applications of biomass fast pyrolysis Oil. *Eng. Fuels* 18: 590-598.
- Demirbas, M. F. 2009. Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. *Appl. Eng.* 86: 151-161.
- De Gryze, S., Cullen, D. y Durschinger, L. (2010). Evaluation of the opportunities for generating carbon offsets from soil sequestration of biochar. Climate action reserve. Terra Global Capital. LLC. Recuperado de [http://www.climateactionreserve.org/wpcontent/uploads/2009/03/Soil\\_Sequestration\\_Biochar\\_Issue\\_Paper1.pdf](http://www.climateactionreserve.org/wpcontent/uploads/2009/03/Soil_Sequestration_Biochar_Issue_Paper1.pdf).
- Downie, A., Crosky, A. y P. Munroe. (2009). Physical properties of biochar. pp. 13-30. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds.). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan. London, UK.
- Escalante, M. (2013). Biocarbones Caracterización y efecto en la biomasa y nutrición de N, P, K en una gramínea. Tesis de Doctora en Ciencias.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campos Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367–382. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573/57346617009>
- FAO. (1992). *World Fertilizer Use Manual*. Programa de Fertilizantes de la FAO, 5-9.
- Farag, I., LaClair, C., y Barrett, C. (2002). Technical, environmental and economic feasibility of bio-oil in New Hampshire's north country. New Hampshire Industrial Research Center. Recuperado de [www.unh.edu/p2/biooil/bounhif.pdf](http://www.unh.edu/p2/biooil/bounhif.pdf).
- Franquet, J. (2004). *Variedades y Mejoras del Arroz (Oryza sativa, L)*. 1ed. Cataluña. Universidad Internacional de Cataluña. p 454.
- Fernández, J; Nieto, A; López, E; Gasco, G; Méndez, A y Palza, C.2014. "Carbon dioxide emissions from semi-arid soils amended with biochar alone or combined with mineral and organic fertilizers," *Sci. Total Environ.*, vol. 482-483, pp. 1-7



- Fiallos, L; Flores, L; Duchi, N; Flores; C. I., Baño, D: & Estrada, 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. <https://doi.org/10.19053/01228420.4349>
- Gaskin, J., Steiner, C., Das, K., Harris, K., & Bibens, B. (2008). Effect of Low-Temperature Pyrolysis Conditions on Biochar for Agricultural Use. ResearchGate,
- Gathorne-Hardy, A., J. Knight, y J. Woods. (2009). Biochar as a soil amendment positively interacts with nitrogen fertilizer to improve barley yields in the UK. *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions IOP Publishing IOP Conf. Series*:
- Gheorghe, C. Marculescu, A. Badea, C. Dinca, y T. Apostol. 2009. Effect of pyrolysis conditions on bio-char production from biomass.. In: *Proceedings of the 3rd WSEAS Int. Conf. on Renewable Energy Sources*, Tenerife Canary Island, Spain. pp. 239-241
- González, A., y Macías, C. (2017). Influencia de actividades agrícolas del cultivo *Brachiariaa arrecta* y *Brachiaria decumbens* en la calidad físico-química de suelos, comunidad Matapalo. *Calceta: ESPAM MFL*.
- Guerra, P. 2015. Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana”. Tesis para optar el Título Profesional de:Ingeniero Ambiental Lima - Perú
- Ha, M.; Bumguardner, M. L.; Munster, C. L.; Vietor, D. M.; Capareda, S.; Palma, M. A.; Provin, T. 2010. Optimizing the logistics of a mobile fast pyrolysis system for sustainable biocrude oil production. In 2010 Pittsburgh, Pennsylvania, June 20-June 23, 2010 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Haefele, S.; Nelson, A. y Hijmans, R. (2014). Soil quality and constraints in global rice production. *Geoderma* 235-236: 250–259
- Ippolito, J., Lentz, R., Novak, M., Spokas, K., Collins, H., y Streubel, J. (2011). Biochar usage: Pros and cons. *Western Nutrient Management Conference*. 9: 93-98.
- Jordán, A. 2005. Determinación de textura. (En línea). Sevilla. Formato PDF. Disponible en: <http://libnet.unse.edu>.
- Kauffman, N.; Dumortier, J.; Hayes, D. J.; Brown, R. C. y Laird, D. A. 2014. Producing energy while sequestering carbon? The relationship between biochar and agricultural productivity. *Biomass and Bioenergy*, 63, 167-176
- Kumar, R. y Jyoti, A. (2014). Climate change and its impact on land degradation: Imperative need to focus. *Climatology and Weather Forecasting* 2(1): 1–3.

- Kolton, A; Harel, E; Pasternak, Z; Graber, E; Elad, Y; Cytrin; E. 2011. Impact of Biochar Application to soil on the Root-Associated Bacterial Community Structure of Fully Developed Greenhouse Pepper Plants. *Applied Environmental Microbiology* (77) 4-7
- La Serna, S; Sanz, S.2020. Biochar a partir de biomasa residual de tres variedades de *Theobroma cacao* L. proveniente de sistemas agroforestales en el distrito de Jaén, año 2019. Tesis para optar el título profesional de ingeniero forestal y ambiental
- Laird, D., Brown, R., Amonette, J. y Lehmann, J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofpr* 3: 547-562.
- Lakitan, B., Andri; A., Lindiana L., Kartika, k., Herlinda, S. y Kurnianingsih, A. (2018). The Benefits of Biochar on Rice Growth and Yield in Tropical Riparian Wetland, South Sumatra, Indonesia. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. 17(2): 111-126
- Larney, F. y Angers, D. (2012). The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Can. J. Soil Sci* 92: 19 – 38.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar For Environmental Management: An introduction. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management* London, UK: Earthscan. pp. 1–12.
- Lenham, J., Riling, M. Thies, J., Msiello, C., Hockaday, W., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Soil Biology and Biochemistry* (43): 1863 pp.
- Liua, Y., Lua, H., Yanga, H. y Wang, Y. (2016). Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a coldwaterlogged paddy for two crop seasons. *Elsevier B.V.* 191: 161–167
- Singh, M., Singh, G., Singh, B., Sekhon, B., Choudhary, O., Sagi, S. y Berry, R. (2018). Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 18 (1), 41-59
- Martínez; E; Fuentes, J; Acevedo, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. 1Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Casilla 1004. Santiago de Chile. R.C.Suelo Nutr. Veg. 8 (1) (68-96)
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*. 333(1-2), 117–128. doi:10.1007/s11104-010-0327-0
- McHenry, M. P. (2009). Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129: 1-7.

- McLaughlin, H., Anderson, P., Shields, F., y Reed, T. (2009). All biochars are not created equal, and how to tell them apart. North American Biochar Conference. Boulder, CO. Recuperado de <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/All-Biochars--Version2--Oct2009.pdf>.
- Mite, F. (2013). Manejo de la nutrición en el cultivo de arroz, experiencias de investigación en Ecuador. Presentación realizada por el Ing. Francisco Mite en la Jornada de Capacitación "Avances en el Manejo de la Nutrición del Cultivo de Arroz" en la Estación Experimental Litoral Sur del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Recuperado de <http://nla.ipni.net/article/NLA-3085>
- Mohanty, S. (2013). Trends in global rice consumption. *Rice Today* 12(1): 44 – 45.
- Montaño, D., y Solórzano, J. (2015). Variabilidad entre los suelos de uso forestal y ganadero del sitio Zapote, cantón Bolívar, provincia de Manabí. ESPAM MFL, 22-28.
- Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Nates, E. 2014. Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Carrera de Biología. Bogota D.C.
- O'Day, P. y Vlassopoulos, D. (2010). Mineral-Based Amendments for Remediation. *Elements* 6(6): 375 – 381.
- Olmos, S. (2007). Morfología, Fenología, Ecofisiología, y Mejoramiento Genético del Arroz. Boletín divulgativo N° 61. p 13.
- Olmo, M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis doctoral. Departamento De Botánica, Ecología Y Fisiología Vegetal Universidad De Córdoba
- Pang, W., Crow, W., Luc, J., McSorley, R., Ginlin-Davis, R., Kenworthy, K., y Kruse, K. (2011). Comparison of water displacement and WinRhizo Software for plant root parameter assessment. *Plant Disease* 95:1308-1310.
- Quintana, H. (2019). evaluación de método por nutriente faltante con elementos nitrogenado, potasio y Boro en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias Carrera de Ingeniería Agronómica
- Régent Instruments Inc. (2001). Mac/WinRHIZOTM 2002a. Basic, Reg & Pro for washed root measurement.
- Rodríguez, G. (2014). Etapas Fenológicas de Tres Variedades de Arroz (*Oryza sativa*), en Relación a la Temperatura y la Radiación Solar en Guanacaste,

- Costa Rica. Tesis. Lic. En ciencias Agrícolas. UEARTH. Guácimo-Limón, CR. p 44.
- Roth, C. (2011). Micro-Gasification: Cooking with gas from biomass. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 96-99.
- Sadaka, S. (2007). Pyrolysis. Center for sustainable environmental technologies. Department of Agricultural and Biosystems Engineering. Iowa State University. Nevada. Recuperado de <http://bioweb.sungrant.org/NR/rdonlyres/57BCB4D0-1F59-4BC3-A4DD-4B72E9A3DA30/0/Pyrolysis.pdf>.
- Soto, B. 1991. Estudió de observación de 20 variedades usa y siete líneas promisorias nacionales en comparación con dos testigos comerciales de arroz. Managua, Nicaragua
- Sukartono; Utomo, WH; Kusuma, Z; Nugroho, WH. 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 (1-2): 47-52
- Tran, L., Le van, K., Van Elsacker, S. y Cornelis, W. (2014). Effect of Cropping System on Physical Properties of Clay Soil Under Intensive Rice Cultivation. *Land Degradation and Development* 27(4): 973 – 982
- Vásquez, A. Santiago, G. Estrada, A. 2002. Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. *Serie Botánica* 73 (1): 1-15
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., van der Velde, M., y Diafas, L. (2009). Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties. Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Viteri, G; y Zambrano, C. (2016). Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón productor-consumidor. Quevedo-Los Ríos, EC. *Revista Ciencias Agrarias*. Vol. 9. p 11-17.
- Zheng, H., Z. Wang, X. Deng, S. Herbert and B. Xiang. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma* 206: 32-39.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1.**



Control de maleza

**ANEXO 2.**



Panícula

**ANEXO 3.**



Raíces

**ANEXO 4.**



Biochar y Sin Fertilización



Biochar + Fertilización completa