

Universidad Católica del Trópico Seco

"Pbro. Francisco Luis Espinoza"



**Trabajo de Tesis para optar al título profesional de Ingeniero
Agropecuario**

**Evaluación del efecto de cascarilla de arroz carbonizada en
propiedades físicas y retención de nitrógeno en el suelo, Santa
Adelaida, Estelí, 2018**

Autores

Felipe Nery Quintero Peralta
Ramón Isac Umanzor Amador

Tutor

Ing. Darwing Isaac Ochoa Lazo

Estelí, agosto, 2018

Índice

Contenido	pág.
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPOTESIS	4
IV. MARCO TEORICO	5
4.1 Carbón vegetal	5
4.1.1 Origen	5
4.1.2 Efecto del biocarbón sobre la fertilidad y estructura del suelo	6
4.1.3 La cascarilla de arroz carbonizada como sustrato	8
4.1.4 Producción de cascarilla de arroz	8
4.1.5 Ventajas de la cascarilla de arroz carbonizada	9
4.1.6 Composicion físico y químico de la cascarilla de arroz carbonizada	9
4.1.7 El uso de la cascarilla de arroz en porcentaje	10
4.2 Nitrógeno	10
4.2.1 Perdidas de nitrógeno en forma de Nitrato	11
4.2.2 Lixiviado o lavado del nitrógeno	11
4.2.3 Factores que afectan la lixiviacion	12
4.2.4 La urea una vez aplicada al suelo	13
4.3 Cultivo de maiz	13
4.3.1 Descripción botánica	14
4.3.2 Condiciones de suelo y clima	14
4.3.3 Fertilización	15
V. MATERIALES Y METODOS	17
5.1 Ubicación del estudio	17
5.2 Población y Muestra	17
5.3 Definicion de variables con su operacionalizacion	18
5.3.1 Variables vegetativas	18
5.3.2 Variables edáficas	18
5.4 Metodología para la medición de las variables	20

5.5	Selección de las técnicas para la recolección de datos	22
5.6	Procesamiento de análisis de datos	22
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
6.1	Resistencia a la penetración (PSI).....	24
6.2	Densidad aparente del suelo (gr/cm ³).....	26
6.3	Porosidad del suelo (%)	27
6.4	pH.....	28
6.5	Infiltración del suelo (mm/h).	29
6.6	Respiración del suelo (mg/m ² /h).....	30
6.7	Nitrato retenido (mg/kg)	31
6.8	Rendimiento (kg/ha).....	32
VII.	CONCLUSIONES	34
VIII.	RECOMENDACIONES.....	35
IX.	BIBLIOGRAFIA	36
X.	ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de suelo y clima para Maíz.....	14
Tabla 2. .Requerimientos estimados de macro y micro-nutrientes del cultivo de maíz, expresados como absorción total en planta y extracción en grano por/ha tonelada de grano a humedad comercial (14.5%). Adaptado de IPNI (2016).	16
Tabla 3. Resultados de prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables evaluadas.	24
Tabla 4. Resultados obtenidos para la variable resistencia a la penetración.	25
Tabla 5. Resultados para densidad aparente del suelo.....	26
Tabla 6. Resultados para Porosidad del suelo	27
Tabla 7. Resultados obtenidos para el pH del suelo	28
Tabla 8 .Infiltración del agua en el suelo.....	29
Tabla 9 . Resultados para la variable Respiración de suelo.....	30
Tabla 10 .Resultados obtenidos para variable Nitrato retenido en el suelo.....	31
Tabla 11. Resultados obtenidos para variable rendimiento del cultivo (kg/ha)	32

DEDICATORIA

A Dios por permitirnos el razonamiento, la fortaleza y sus bendiciones infinitas en nuestra formación.

A nuestros padres por su apoyo incondicional para desarrollarnos como futuros profesionales.

A nuestra alma Mater (UCATSE), por permitirnos a través de sus autoridades y personal administrativo prepararnos como profesionales íntegros al servicio de la sociedad.

A nuestros profesores por ser quienes con voluntad nos transmiten sus conocimientos para incursionar en el maravilloso mundo del agro.

Felipe Nery Quintero Peralta
Ramón Isac Umanzor Amador

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios fuente de sabiduría, por sus múltiples bendiciones, el don de la vida y por guiarnos en nuestro caminar.

A nuestros padres, por motivarnos, educarnos y apoyarnos en nuestro proceso educativo.

A nuestra alma mater UCATSE, por hacer de nuestra estadía en las aulas de clase y el campo un espacio digno para prepararnos como futuros profesionales al servicio de la sociedad.

A todos nuestros profesores, en especial a nuestro Tutor, Ing. Darwing Isaac Ochoa Lazo, por apoyarnos en cada una de las etapas de nuestro trabajo de investigación y a cada persona en UCATSE que de una u otra manera nos ayudó en nuestra preparación.

A encargados de producción y trabajadores del área agrícola por su apoyo en las distintas actividades del área experimental.

A nuestro amigo y compañero Víctor Pérez, por su apoyo en nuestra investigación.

Felipe Nery Quintero Peralta

Ramón Isac Umanzor Amador

RESUMEN

El estudio se realizó en la Universidad Católica del Trópico Seco, Santa Adelaida, Estelí; con el objetivo de evaluar el efecto de la cascarilla de arroz carbonizada en las propiedades físicas y retención de nitrógeno en el suelo, bajo cuatro niveles de aplicación con respecto al volumen del suelo (0%, 4%, 7%, 9%). Las variables evaluadas fueron resistencia a la penetración, densidad aparente, porosidad del suelo, pH, infiltración del agua en el suelo, respiración del suelo, nitrato retenido y rendimiento. Se utilizó Shapiro Wilk modificado para pruebas de normalidad, luego análisis de varianza y separación de medias con DUNCAN al 95% de confianza. El diseño experimental era un bloque completo al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Respecto a resistencia a la penetración se encontró diferencia estadísticamente significativa con un (p-valor 0,0489), siendo en tratamiento 4 correspondiente al 9% de carbón el que presentó menos resistencia con 108.67 PSI mientras que el tratamiento 1 correspondiente al 0% de carbón presentó 135.91 PSI, Según el análisis de varianza que se realizó para los resultados de nitrato retenido en el suelo, no muestran diferencia significativa con un (p-valor 0.0540), al no encontrar diferencia en los niveles de nitrógeno, se puede atribuir a la posibilidad que los niveles de carbón evaluados fueron menores al 9 % del volumen del suelo. En base a los resultados obtenidos en la investigación; no se observó suficiente evidencia para demostrar que el carbón ayuda a mejorar las características físicas y a retener nitrógeno en el suelo.

Palabras clave: Carbón vegetal, Suelo, Porosidad, Lixiviación, Retención de nitrógeno.

I. INTRODUCCION

La agricultura como base de toda acción civilizatoria en tanto es el pilar fundamental del que se nutre la humanidad, actividad que está estrechamente ligada a la fertilidad de los suelos (Pengue, 2005). Bajo la sola consideración que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de ellos (López, 2002).

De ahí que la degradación del suelo está considerada como el mayor problema ambiental que amenaza la producción mundial de alimentos (PNUMA, 2000 citado por Cotler et al. 2007).

Debido a que el maíz es uno de los cultivos más importantes por su impacto económico y agronómico en el mundo (Cazaban y Rubio, 2014). Y en Nicaragua es consumido por el 80% de la población (MAGFOR, 2004; citado por Castillo, R., y R., Bird. 2013). Debemos aumentar la producción, sin sobreexplotar los recursos suelo-agua con que contamos.

Pero un cultivo maíz de 12, 000 kg/ha de rendimiento necesita absorber aproximadamente 264, 48 y 48 kg/ha de nitrógeno (N), (P) y (S), respectivamente (García, 2005). Y la parte aérea puede alcanzar valores de 240 a 300 kg/ha de nitrógeno considera, (Andrade et al. 1996) citado por Domínguez, Studdert, Echeverría y Andrade (2001).

Y las pérdidas de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH₃) puede ser la principalmente la causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales (Ferraris et al., 2009). Así mismo el proceso de lixiviación de nitratos incrementa el riesgo potencial de contaminación (Oyarzun, 2010).

El Biochar (en español Biocarbón o carbón vegetal) cambia las propiedades físicas, químicas y medio ambiente del suelo, a su vez afecta las características y el comportamiento de la biota del suelo, (Thies & Rillig, 2009). Pueden ser vistos como altamente adecuados para la enmienda de suelos contaminados (Beesley, et al, 2011).

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirolisis), a temperaturas

relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y es destinado a uso agrícola (Escalante, et al, 2016).

También favorece componentes clave en el desarrollo de una eficiencia agrícola mejorada para cumplir con los cambios en clima y la obtención de alimentos para un aumento global y poblacional (Atkinson, Fitzgerald, & Hipps, 2010).

Por ello el propósito de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de cascarilla de arroz carbonizada para la mejora de las propiedades físicas y la retención de nitrógeno en el suelo y disposición a *Zea mays*.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la cascarilla de arroz carbonizada en las propiedades físicas y retención de nitrógeno en el suelo

Objetivos Específicos

Analizar modificaciones de las propiedades físicas de suelo bajo la aplicación de tres niveles de carbón vegetal.

Estimar el rendimiento del maíz sometido a diferentes niveles de carbón en el suelo.

Determinar la cantidad de nitrógeno disponible retenido por el carbón aplicado al suelo a tres niveles de (4%, 7% y 9%) y disponibilidad al cultivo de maíz.

III. HIPOTESIS

La incorporación de carbón vegetal (cascarilla de arroz carbonizada) al suelo mejorará las propiedades físicas reduciendo las pérdidas de nitrógeno edáfico y preservándolo en la forma disponible para las plantas por lo tanto aumentando el rendimiento del cultivo (*Zea mays*).

IV. MARCO TEORICO

4.1 Carbón vegetal

El Biochar (en español Biocarbón o carbón vegetal) cambia el físico, químico y medio ambiente del suelo, a su vez afecta las características y el comportamiento de la biota del suelo, la abundancia, actividad y diversidad de los organismos (Thies & Rillig, 2009). Pueden ser vistos como altamente adecuados para la enmienda suelos contaminados (Beesley, Moreno, Gómez, Harris, Robinson & Sizmur (2011). La aplicación de Biochar mejora componentes clave en el desarrollo de una eficiencia agrícola mejorada que dependerá al mínimo de mantenimiento, si no aumentar la eficiencia del uso del suelo para cumplir con los cambios en clima y la obtención de alimentos para un aumento global y poblacional (Atkinson, Fitzgerald, & Hipps, 2010).

4.1.1 Origen

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirolisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado (Escalante et al. 2016).

La utilización de carbón en la agricultura dataría del principio de la siembra de arroz en Asia, ofreciendo una alternativa para la transformación. La Terra Preta (tierra negra) de Indio, o Amazonian Dark Earth, debido a su color oscuro, es un suelo de alta calidad encontrado en varias regiones de la Cuenca Amazónica. La Terra Preta fue descrita por la primera vez en los países del Occidente en 1874 por Charles F. Hartt, las investigaciones sobre sus propiedades únicas iniciaron solamente durante la mitad del siglo veinte (Henreaux, 2012).

Se ha demostrado que la aplicación de biocarbón a suelos mejora la productividad y calidad de las plantas, efectos atribuidos a los aumentos de capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, cantidad de materia orgánica, retención de nutrientes, disminución

de la lixiviación y el desarrollo y de las comunidades microbianas del suelo (Abenza, 2012).

4.1.2 Efecto del biocarbón sobre la fertilidad y estructura del suelo

El carbón mejora las características en cuanto a aireación, absorción de humedad y calor, su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica de abono y de la tierra, funciona como esponja con la capacidad de retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes útiles de la planta, disminuyendo la pérdida y lavado de los mismos (Sela y Fernando, 2012).

El biochar (carbón vegetal) tiene la capacidad de jugar un rol importante en la expansión de opciones de gestión sostenible del suelo aumentando la productividad del suelo, también disminuyendo el impacto ambiental en los recursos del suelo e hídricos. El biochar no debe verse como una alternativa a la gestión actual del suelo, sino un añadido valioso que facilita el desarrollo de un uso sostenible del suelo: creando una verdadera “Revolución Verde de Biochar” (Oses, 2013).

La adición de biocarbón aumenta la capacidad de retención hídrica, el pH y la conductividad eléctrica del mismo, y disminuye la densidad aparente (Méndez, 2013). El biocarbón mejora significativamente la fertilidad del suelo en ácido y altamente degradado y se puede aplicar a cualquier sistema de cultivo. (Lehmann, & Rondon, 2006).

El biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Zheng et al. 2013) citado por (Escalante et al. 2016).

Es interesante especificar que el aumento de carbono en el suelo permite un mayor secuestro del nitrógeno, disminuyendo de esta manera la lixiviación y la desnitrificación, fuente de NO₂ (gas de efecto invernadero importante), y asegurando la liberación paulatina de este para la planta (Henreaux, 2012).

La aplicación de biochar disminuye el requerimiento de fertilizante de N en el suelo (Widowati, Guritno & Soehono (2012). Además que el biocarbón provoca mejora en la retención de agua (Tenorio y Triminio, 2017). Logra disminuir la acidez de un ultisol en 40% (Silva, 2013).

Además que puede llegar a retener hasta un 18% de agua aplicando biocarbón con gallinaza el cual a su vez disminuye la densidad aparente del mismo hasta 0.82 g/cm³, además incrementa el pH en 7.36 y el contenido de macronutrientes del suelo Ca: 324, K: 111, Mg: 35, N: 35, P: 66 (mg/100g); adicional a esto acondiciona suelos Franco Arcillo Arenosos para permitir un mejor desarrollo radicular de las plantas (Aker, 2014).

La incorporación de biocarbón al suelo puede alterar sus propiedades físicas tales como la textura, la 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) citado por (Escalante et al. 2016).

Al mismo tiempo es una oportunidad única para mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia de uso de nutrientes empleando recursos disponibles localmente, obtenidos de materiales renovables y sostenibles” (Oses, 2013). La adición de biocarbón aumenta la capacidad de retención hídrica, el pH y la conductividad eléctrica del mismo, y disminuye la densidad aparente (Méndez, 2013).

Otro beneficio ambiental del biocarbón, es la reducción de la emisión, por los suelos, de gases de efecto invernadero como son el metano y el óxido nitroso (Rondon et al. 2006) citado por (Major, 2006).

Los suelos presentan una mayor fijación y disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes como el (P), (K), calcio (Ca), (Zn), (Cu), (B) y (Mo) asociada con una mayor retención (y entonces menor lixiviación) del nitrógeno (N) y la ausencia de lixiviación de magnesio (Mg) y calcio (Ca). Estos cambios están generalmente acompañados de un aumento del pH y una inmovilización de aluminio (Al) de la solución

del suelo, proporcionando a las plantas una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que optimiza su desarrollo (Henreaux, 2012).

4.1.3 La cascarilla de arroz carbonizada como sustrato

Para tratar de mejorar las propiedades físico-químicas de la cascarilla de arroz se ha recurrido desde hace unos años a la quema parcial o total de la misma. Usualmente la intensidad del quemado que se pretende varía entre un 50 % y un 100 % según el grado de carbonización. No se debe dejar llegar nunca hasta cenizas. Esta práctica aumenta la retención de agua fácilmente disponible, según el grado de quemado, pudiendo llegar a valores muy elevados (Saboya, 2010).

El carbón de cascarilla de arroz en combinación con lombrihumus es un excelente sustrato para la producción de plántulas de tomate, debido a que presenta resultados similares con sustrato comercial (Kekila) e incluso lo supera en variables como altura 22.93 cm, grosor de 3.48 mm, con 9 hojas (Casco y Gutiérrez, 2017).

La combinación en las proporciones de 80% cáscara de arroz carbonizada y 20% humus, 60% cáscara de arroz carbonizada y 40% humus, 50% cáscara de arroz carbonizada y 50% humus y 40% cáscara de arroz carbonizada y 60% humus presentan potencial para ser utilizados para la producción de plántulas (Steffen, Antonioli, & Bellé, 2010).

La cascarilla de arroz en su forma carbonizada como sustrato, aporta principalmente fósforo y potasio, al mismo tiempo que ayuda a corregir la acidez de los suelos y es un material completamente esterilizado por haber sido sometido a altas temperaturas en el proceso de carbonizado (Saboya, 2010).

4.1.4 Producción de cascarilla de arroz

Con respecto al rendimiento de producir carbón de cascarilla de arroz, se obtiene valores medios de 45%, lo cual es significativamente mayor que en el caso del bagazo (Saboya, 2010).

Según Velásquez (2016) la utilización de cascara de arroz carbonizada presenta mayor rentabilidad para la producción de sustratos y genera mayores beneficios económicos para el productor.

4.1.5 Ventajas de la cascarilla de arroz carbonizada

La cascarilla de arroz a medio quemar se usa desde 1992, como una forma de mejorar la capacidad de retención de humedad de los sustratos (Salazar, 2000) citado por (Saboya, 2010). Algunos trabajos reportan la inducción a la resistencia de plantas a patógenos por parte del biocarbón (Silva, 2013).

Mejora la estructura física del abono orgánico, facilitando la aireación, absorción de la humedad de la filtración de nutrientes en el suelo. Favorece el incremento de la actividad macro y microbiológica del abono, de la tierra, estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas, es una fuente rica en silicio, lo que confiere a los vegetales mayor resistencia contra el ataque de plagas insectiles y enfermedades. A largo plazo se convierte en una constante fuente de humus. En la forma de cascarilla carbonizada, aporta principalmente fósforo, potasio, y ayuda a corregir la acidez de los suelos (García, Rostrán y Antonio, 2009).

La cascarilla se considera un sustrato orgánico y reactivo por su pH entre 7.5 – 9.0, debido a los óxidos derivados del proceso de quemado, material libre de bacterias y hongos, tiene buena capacidad de retención de agua, mantiene su forma por mucho tiempo, y puede suministrar nutrientes a las plantas (Saboya, 2010).

4.1.6 Composición físico y químico de la cascarilla de arroz carbonizada

El carbón de cascarilla de arroz como sustrato presenta las siguientes características físicas y químicas: densidad seca de 150g/l; capacidad de retención de agua de 53.9 %; capacidad de intercambio catiónico 3.7 meq/100g o cm/Kg pH en el agua de 7.4; contenido de sales solubles de 0.7 g/l; nitrógeno 0.7%; fósforo 0.2% y potasio 0.32% (Saboya, 2010).

Según Rodríguez (1994), el carbón de cascarilla de arroz es una interesante y económica alternativa para ser usado como sustrato en producción de flores de corte, y de plantas,

pues resulta limpio, con un pH ligeramente alcalino, rico en calcio y potasio; además, si se le mezcla con tierra, evita la compactación del suelo. El carbón de cascarilla de arroz, es el componente básico de los sustratos más empleados, comparándolas con otros compuestos en las diferentes etapas de producción de plantas (Saboya, 2010).

4.1.7 El uso de la cascarilla de arroz en porcentaje

En cama enraizadora se emplea 100% de carbón de cascarilla de arroz; en los semilleros, 60% de carbón y 40% de tierra. Para las bolsas y macetas, se recurre a diversos compuestos, aunque el carbón sigue siendo básico. Es así que se utiliza 25% de carbón, 20% de tierra, 25% de estiércol y 30% de humus. Para la elaboración de otros sustratos, generalmente se recurre a 10% de carbón, 30% de humus, 10% de perlita, 10% de vermiculita y 40% de musgo (Saboya, 2010).

4.2 Nitrógeno

Es un nutriente esencial para los seres vivos, influye en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria. En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de N para las plantas. La mayor es la atmósfera, en la cual el 78% del aire es N. (Perdomo, 2004). El nitrógeno (N) es el macronutriente esencial que requiere la mayor atención en términos de la reducción de sus pérdidas del sistema suelo planta (Duggan, s.f).

Las plantas son incapaces de asimilar N₂ directamente. En forma natural, el N del aire puede llegar a la planta a través de dos mecanismos principales: transferido por las bacterias que previamente lo han fijado simbióticamente, o disuelto en el agua de lluvia. La cantidad de N transferido a las plantas proveniente de la fijación simbiótica es variable, del orden de 50 a 70 kg. ha⁻¹. año⁻¹, mientras que la cantidad de N aportada por la fijación no simbiótica y las lluvias oscila entre 10 y 20 kg. ha⁻¹. año⁻¹ (Perdomo, 2004).

El N presente en el suelo bajo formas orgánicas tampoco está disponible como tal para las plantas, sino que para ser absorbido tiene que pasar a formas inorgánicas (Perdomo, 2004).

El N inorgánico representa un 2% del N total del suelo, encontrándose en formas de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-). Estas formas inorgánicas son transitorias en el suelo, por lo cual las cantidades de N inorgánico del suelo son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg. ha⁻¹ de N. Debido a que ésta es la forma en que el N es absorbido por las plantas, el N inorgánico es muy importante para la nutrición vegetal (Perdomo, 2004).

4.2.1 Pérdidas de nitrógeno en forma de Nitrato

Desde el punto de vista agrícola y del medio ambiente, lo deseable sería que el NO_3^- de cualquier origen (suelo, material orgánico agregado o fertilizante), fuera finalmente absorbido por las plantas. Sin embargo, esta forma de N mineral puede también perderse del sistema suelo-planta. Los dos procesos de pérdida más importantes, el lavado y la desnitrificación, ocurren en condiciones de exceso de agua en los suelos. En nuestro país estas condiciones son más probables en el período otoño-invierno, especialmente cuando el suelo está en barbecho, ya que no existe un cultivo que pueda remover el NO_3^- del suelo. (Perdomo, 2004).

4.2.2 Lixiviado o lavado del nitrógeno

Debido a su carga negativa, el NO_3^- no es retenido por la fracción coloidal del suelo. Por lo tanto, el agua que se mueve a través del mismo puede llevar consigo el NO_3^- hacia los horizontes inferiores, proceso que se conoce como lixiviación o lavado (Perdomo, 2004).

Donde se combinan suelos de texturas gruesas con uso de riego o se presentan eventos de precipitación intensa (mayores a 30 mm/h). Además del: tipo de cultivo (profundidad efectiva radical), dosis de fertilización y propiedades físicas del suelo, adquiere mayor relevancia (Duggan, s.f).

Este movimiento hacia abajo del soluto no se produce en forma homogénea, sino que siempre existe cierta dispersión de soluto en el agua del suelo. Aunque al comienzo todo el NO_3^- estuviera concentrado a la misma profundidad, por ejemplo, en la superficie del suelo, al ser arrastrado por el agua tiende a dispersarse en la misma. Por esto, generalmente la distribución de la concentración de NO_3^- con la profundidad tiene forma

de campana. Esta dispersión se produce debido al movimiento al azar de los iones de soluto en el agua, el mismo fenómeno que explica la ósmosis. De todas maneras, siempre existe una zona de máxima concentración de soluto, la cual ocurre cercana al frente de movimiento del agua (Perdomo, 2004).

4.2.3 Factores que afectan la lixiviación

a) Tipo de suelo

Las pérdidas por lixiviación, son mayores en suelos livianos. La presencia de un horizonte Bt saturado reduce la velocidad de pasaje de agua a través del perfil a casi cero, lo que obviamente reduce la posibilidad de lavado de NO_3 (Intagri, s.f.).

b) Humedad del suelo

En algunas condiciones las pérdidas por lavado son mayores en suelos relativamente secos, donde además es más probable que existan cantidades importantes de NO_3^- acumulado (Perdomo, 2004). Con lluvias erráticas y baja capacidad de almacenaje de agua, la seguridad de respuesta al agregado de fertilizantes (principalmente N) es baja, lo que limita su uso (Sa Pereira, 2014).

c) Presencia de rastrojo en superficie

La presencia de rastrojo en superficie es otro factor importante, pues aumenta la cantidad de agua que infiltra en relación con la que escurre, por lo que aumenta la probabilidad del lavado (Perdomo, 2004).

d) Cultivo en crecimiento activo

La presencia de un cultivo creciendo activamente es un factor que reduce las pérdidas por desnitrificación debido, por un lado, a que el cultivo absorbe NO_3^- , disminuyendo así la concentración del soluto, y debido también a que absorbe agua, lo que provoca que menos agua pase a través del suelo (Intagri, s.f.).

e) Tipo de laboreo

En estudios realizados en otros países se ha observado que en los suelos bajo siembra directa continua incrementan el porcentaje de macroporos. Esto ocasiona un mayor lavado preferencial, y la lixiviación de NO_3^- tiende a aumentar con respecto a condiciones bajo laboreo convencional (Perdomo, 2004). Por otra parte la cero labranza produce un mejoramiento en la infiltración lo que aumenta la lixiviación especialmente de nitrógeno (Sadzawka, 1994).

4.2.4 La urea una vez aplicada al suelo

La urea es un compuesto orgánico sintético soluble. Esta una vez en el suelo y solubilizada por el agua es descompuesta a través de una reacción química, la cual es controlada por una enzima llamada ureasa dando como resultado una sal inestable llamada carbonato de amonio que se descompone rápidamente en agua, anhídrido carbónico y amoníaco (Pozo, 2004).

Este último puede seguir dos vías, que se combine con el agua y forme una solución de hidróxido de amonio, permaneciendo en el suelo, esta composición dura de tres a cuatro días (Pozo, 2004). Y la otra es perderse como gas en la atmósfera (volatilización) lo que en promedio demuestra que por cada kg de N volatilizado se deja de producir 15 kg de maíz (IPNI, s.f).

La urea hidrolizada genera iones de amonio NH_4^+ que pueden ser absorbidos por la planta o retenidos por la arcilla o materia orgánica y los microorganismos (nitrosoma) toman el amonio y lo oxidan a nitrito, el que puede ser absorbido por la planta pero es tóxico para ellas. Pero hay otro grupo de bacterias llamado los nitrobacter que oxidan los nitritos a nitrato los cuales a su vez son liberados a la solución (Pozo, 2004).

4.3 Cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays*) es el cereal nutritivo básico en la alimentación humana, debido al aporte en calorías y proteínas. Es un cultivo que se puede sembrar todo el año, en cinco

épocas de siembra: primera (mayo-junio), postrerón (julio), postrera (agosto-septiembre), apante (noviembre-febrero) y de riego (INTA, 2010).

4.3.1 Descripción botánica

Las inflorescencias unisexuales crecen siempre en lugares separados de la planta. Al principio ambas inflorescencias presenta primordios de flores bisexuales pero, en ambos casos, los primordios de gineceos y estambres abortan y quedan solo las inflorescencias femeninas (mazorca, elote o choclo) y masculinas (espiguillas), respectivamente (PALIWAL, 2001b; FAO, 1993; KATO, 2009) citado por (Ortega, 2014).

El fruto es indehisciente, cada grano se denomina cariósipide, no presentando latencia la semilla. (PALIWAL, 2001b; FAO, 1993).

Granos en hileras incrustados en la tusa; mazorcas cubiertas por hojas; granos de tipo cariopsis (no tiene membrana); metabolismo fotosintético (radiación solar) tipo C4 (INTA, 2010).

La raíz del cultivo puede penetrar hasta 1.3 m dependiendo de las condiciones del suelo, pero la máxima densidad de las raíces se encuentran en lo primero 20 cm, crece en longitud hasta los 80 días del cultivo; luego permanece estable 2 semanas y durante el período reproductivo, decrece gradualmente (O. Martín, S.f.).

4.3.2 Condiciones de suelo y clima

Tabla 1. Requerimientos de suelo y clima para Maíz

Temperatura	15 a 28
Precipitación	500 a 1,000 mm/ciclo
Altura	100 a 1,000 msnm
Textura	Franco arenoso
Profundidad	40 a 60 cm
Ph	6
Pendiente	15 a 30%

Adaptado de INTA, 2010.

4.3.3 Fertilización

En el maíz de regadío, la absorción se produce por las plantas en el periodo de cultivo entre ocho hojas y floración femenina (IDAE, 2007).

El suelo es la principal fuente de nutrientes para las plantas y su oferta se estima usualmente a través del análisis de suelos de las formas “disponibles” o “extractables” de los nutrientes. La cantidad de nutriente que se extrae químicamente en un análisis, es solo una proporción de la cantidad total de nutriente en el suelo, y la cantidad extraída tampoco es igual a la cantidad de nutriente absorbida por el cultivo, pero mantiene una relación con ella y con el rendimiento del cultivo. Por lo tanto, el análisis del suelo representa un “índice de disponibilidad” de nutrientes para el cultivo (Correndo y García, 2014).

La principal fuente de N para las plantas es la materia orgánica del suelo, a partir de la cual se genera amonio y nitrato. El nitrato, una vez absorbido es reducido con gasto de energía proveniente de la fotosíntesis. El amonio no necesita ser reducido y es incorporado rápidamente a aminas y amidas dado que no puede ser almacenado porque es tóxico para la planta. Bajo condiciones de baja irradiación, la absorción y reducción de N y la fijación y reducción del carbono pueden entrar en competencia por la energía disponible (Echeverría, S.f).

Un programa de fertilización balanceada, que incluya la aplicación de N, P y S, es esencial para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes (provenientes del suelo y del fertilizante) por parte del cultivo, minimizando el impacto sobre el ambiente. (Ciampitti, Boxler, y García, 2007).

A modo orientativo, los requerimientos nutricionales pueden estimarse a partir de información como la que se muestra en la siguiente tabla. Sin embargo, es recomendable contar con información propia ya que los valores pueden variar en función de las condiciones de cultivo. IPNI (2016).

Tabla 2. Requerimientos estimados de macro y micro-nutrientes del cultivo de maíz, expresados como absorción total en planta y extracción en grano por/ha tonelada de grano a humedad comercial (14.5%). Adaptado de IPNI (2016).

Maíz	Macronutrientes (kg/ha)						Micronutrientes (g/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Cu	Fe	Mn	Cl
Absorción total	226	41	195	31	31	41	540	210	130	1280	1940	4560
Extracción en grano	153	31	41	2.2	16	14	227	50	40	460	330	270

En la región norte de Nicaragua se recomienda que al momento de la siembra se debe fertilizar con Completo 12-30-10 (2 qq/mz). El fertilizante tiene que ser depositado al fondo del surco. De los 35 a 40 días después de la siembra se debe efectuar una fertilización nitrogenada con urea 46% de forma fraccionada de 2 qq/mz. En siembras al espeque, la fertilización se realiza con 2 quintales de fertilizante completo al momento de la siembra y un quintal de urea 46% treinta días después de la siembra (INTA, 2010).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Ubicación del estudio

La presente investigación se realizó en la Universidad Católica del Trópico Seco (UCATSE) ubicada en el kilómetro 166 ½ de la carretera Panamericana norte, a los 13° 14' 52" de latitud norte y 86° 22' 37" de longitud oeste, con una precipitación promedio de 923 mm anuales, presentando una humedad relativa del 57% al 78% y una temperatura media anual de 21.4 °C, catalogada bajo condiciones de trópico seco (Tenorio y Triminio, 2017).

5.2 Población y Muestra

El experimento contó con una población 960 plantas (N), distribuidas en 16 parcelas, cada una con 60 plantas, a una distancia de 0.80 m entre surcos y 0.20 m entre plantas. La muestra estará conformada por 10 plantas por parcela para un total de 160 en el experimento. La muestra será tomada del centro de cada parcela para evitar efecto de borde.

5.3 Definición de variables con su operacionalización

5.3.1 Variables vegetativas

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	MEDIDA DE EXPRESIÓN	FUENTE	INSTRUMENTO
Rendimiento	Total, de cosecha por hectárea	Tamaño de la planta	Kg/ha	Unidad experimental	Hoja de campo

5.3.2 Variables edáficas

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	MEDIDA DE EXPRESIÓN	FUENTE	INSTRUMENTO
Densidad aparente del suelo	Relación entre el peso del suelo y el volumen que ocupa	volumen de suelo que incluye el espacio poroso de los agregados	Gr/cm ³	Laboratorio	Hoja de campo
pH del suelo	Logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrogeno en una solución	Concentración de iones de hidrógenos presentes en el suelo	-	Laboratorio	Hoja de campo
Resistencia a la penetración	Resistencia que presenta el suelo ante la presión ejercida ante la sonda de	Capacidad de penetración de la raíz del cultivo	PSI	Unidad experimental	Hoja de campo

VARIABLES	Definición conceptual	Indicador	Medida de expresión	Fuente	Instrumento
	medición o las raíces				
Nitrato retenido	Concentración de nitrógeno Disponible en el suelo	Cantidad nitrato presente en la solución del suelo	Ppm	Laboratorio	Hoja de campo
Infiltración	Proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo	Relación de la precipitación y la velocidad del escurrimiento	mm/h	Unidad experimental	Hoja de campo
% de porosidad	Volumen total de espacios o huecos que existen en el suelo	Total de espacios porosos existentes en el suelo	%	Laboratorio	Hoja de campo
Respiración del suelo	Concentración de dióxido de carbono expulsado por el suelo en un área y tiempo determinado	Expulsión de CO ₂ debido a la actividad de microorganismos en el suelo	mgCO ₂ /m ² /h	Laboratorio	Hoja de campo

5.4 Metodología para la medición de las variables

Rendimiento por hectárea. Es el total de granos cosechados expresada en gr/plantas. Posterior extrapolando el dato a manzana.

Densidad Aparente: Para medir esta variable se utilizó el método del cilindro el cual consiste en introducir un cilindro biselado de volumen conocido en el suelo, enrasando el suelo con los bordes, luego se secó la muestra en estufa a 105°C hasta peso constante y por último se dividió el peso del suelo entre el volumen del cilindro. Esto se realizó en etapa de floración, siguiendo la metodología planteada por (Rojas, 2012).

pH: Para medir esta variable se tomó una muestra a los 70 días después de siembra por cada UE y se llevó a laboratorio para su respectivo análisis.

Resistencia a la penetración: Esta se midió una vez el cultivo este establecido y después del riego utilizando equipo denominado “Penetrometro” por la variabilidad de esta característica se realizaron 15 mediciones por parcela, dichas mediciones se realizaron a 30 cm de profundidad de la superficie siguiendo metodología propuesta por (CIMMYT, 2013).

Infiltración: Esta se calculó con el cilindro siguiendo la metodología de uso que implica la utilización de este aparato de medidas precisas.

Porosidad: El % de porosidad se midió una vez establecido el cultivo y se obtuvo el cálculo a partir de la densidad real y la densidad aparente mediante la siguiente formula.

$$\%P = \frac{Dr - Da}{Dr} * 100$$

Donde

%P= Porcentaje de porosidad del suelo

Dr= Densidad del suelo

Da= Densidad aparente del suelo

Respiración del suelo: Esta variable se midió a los 75 días después de la siembra, se recolectó cinco muestras, por parcela posterior se llevó al laboratorio y se analizó siguiendo la metodología descrita por Miller & Keeney (1982).

Manejo del experimento

El experimento se realizó en el área agrícola de UCATSE donde se establecieron 4 bloques por 4 tratamientos obteniendo 16 parcelas de 12 metros cuadrados cada una, las cuales contarán con 60 plantas por repetición de las cuales 10 del centro de la parcela serán muestreadas. Antes de la preparación del suelo se tomó una muestra para realizar análisis de suelo (Anexo 2) y se diseñó el plan de fertilización, luego se prepara del suelo mediante tracción motriz y luego manual para la elaboración de los surcos e incorporación de la cascarilla de arroz carbonizada en distintos niveles según el tratamiento, a una profundidad de 25 cm en toda el área en estudio.

A los 4 días se estableció el cultivo de maíz de la variedad NB6, aplicando un curador de semilla para evitar daños por insectos a la semilla y a la planta en su etapa de germinación, el marco poblacional utilizado fue de 80cm entre surco y surco, 25 cm entre planta y planta, la siembra fue de manera manual depositando la semilla a una profundidad de 2.5-3.5 cm para una adecuada germinación, se fertilizó según el plan diseñado, seguido el riego. El riego se realizó pre siembra es decir unos 4 o 5 días antes de la siembra con una cantidad adecuada de agua para humedecer lo suficiente el perfil del suelo tratando de no crear escorrentía al momento del riego, este se repitió según la necesidad de agua que presente el cultivo

El control de plagas y enfermedades se realizó de manera preventiva después de cada riego o según la incidencia de plagas en el cultivo de maíz en la zona, enfocándose principalmente en el control de los insectos del género *spodoptera* para evitar daños en las plantas

La cosecha se realizó de manera manual separando las cosechas por cada tratamiento luego se procedió a la desgrana para detallar el rendimiento de cada parcela por tratamiento. Los datos que se tomaron se almacenaron en una base de datos en Excel y realizar sus respectivos análisis.

5.5 Selección de las técnicas para la recolección de datos

Se utilizó hojas de campo como instrumento para la recopilación de los datos tanto de las variables cuantitativas y cualitativas de las plantas de maíz, así como instrumentos como regla, recipientes graduados (Anexo 3).

Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al azar (BCA) con cuatro bloques por cuatro tratamientos y dieciséis repeticiones con 60 plantas cada una, distribuidos en el área experimental (Anexo 4).

Modelo aditivo

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + a_j + T_K + aT_{jk} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : es la ijk – esima observación en el i - esimo bloque que contiene el j - esimo nivel del factor A y el K - esimo nivel del factor B, μ : es la media general, B_i : es el efecto de i – esimo bloque. a_j : es el efecto del j - esimo nivel del factor A. T_K : es el efecto del K -esimo nivel del factor B, aT_{jk} : es la interacción del j - esimo nivel del factor A con el K - esimo nivel del factor B, y e_{ijk} : es el error aleatorio NID (0,02) (Tarigo, 2015) citado por Tenorio y Triminio (2017).

Tratamientos

T1: 0% de carbón (Testigo local).

T2: 4% de carbón

T3: 7% de carbón

T4: 9% de carbón

5.6 Procesamiento de análisis de datos

Los datos se recolectaron en la hoja de toma de datos, inmediatamente después serán introducidos a una base de datos en el programa Excel. Una vez que todas las variables se hayan medido y completado la base de datos, esta se corrió en el paquete estadístico InfoStat Versión estudiantil.

Antes de realizar el análisis paramétrico se comprobó el cumplimiento de los supuestos del ANOVA con las pruebas de normalidad y homocedasticidad continuando así con los análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confianza y la prueba de separación de medias con la prueba Duncan ($p < 0.05$).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al terminar el ensayo de campo todos los datos se organizaron en una hoja de Excel y posteriormente se analizaron con el programa estadístico InfoStat versión estudiantil. Los resultados se sometieron a una prueba de normalidad de Shapiro Wilks modificado, cumpliendo uno de los supuestos para realizar el análisis de varianza, en la tabla 3 se muestran los resultados de la prueba de normalidad.

Tabla 3. Resultados de prueba de normalidad de Shapiro Wilks para las variables evaluadas.

	Variable	n	Media	D. E.	W*	p (unilateral D)
RDUO	Densidad aparente	16	0,00	0,06	0,94	0,5832
RDUO	pH	16	0,00	0,14	0,91	0,2433
RDUO	Infiltración	16	0,00	45,54	0,94	0,5670
RDUO	Rendimiento	16	0,00	793,51	0,96	0,8219
RDUO	Respiración	16	0,00	197,05	0,92	0,2940
RDUO	Nitrato retenido	16	0,00	0,66	0,93	0,3892
RDUO	Porosidad del suelo	16	0,00	2,11	0,91	0,2164
RDUO	Resistencia a la penetra...	16	0,00	9,64	0,92	0,3649

Los datos que presentaron una distribución normal se les realizó el análisis de varianza obteniendo los siguientes resultados.

6.1 Resistencia a la penetración (PSI)

Se realizó análisis de varianza a los resultados de resistencia a la penetración y la diferencia observada es estadísticamente significativa entre los tratamientos con un (p-valor 0,0489) estos resultados se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 4. Resultados obtenidos para la variable resistencia a la penetración.

Niveles de carbón	Medias	N	E. E	
9% de carbón	108,67	4	6.22	A
7% de carbón	112,66	4	6.22	A
4% de carbón	124,16	4	6.22	A B
0% de carbón	135,91	4	6.22	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

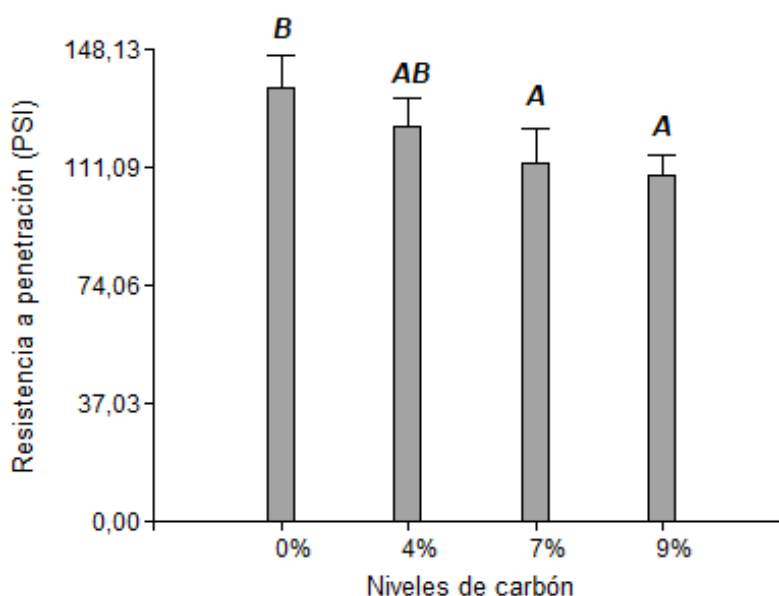


Figura 1. Presentación gráfica de los resultados de la variable de resistencia a la penetración

Similares resultados reporta, Busscher et al. (2010) al estudiar la influencia de biocarbón de Pecan sobre propiedades físicas de una arena Loamy de Norfolk, indicando que el biochar disminuyó la resistencia a la penetración del suelo.

De igual forma (Olmo, 2015) en un estudio del efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo, afirma que la adición de biocarbón provocó una disminución de la compactación del suelo, las diferencias más significativas entre ambos tratamientos.

Mientras que, en Indonesia, Masulili, Utomo & Syechfani (2010). Estudiaron el Biochar de cáscara de arroz para el sistema de cultivo basado en arroz en suelos ácidos encontrando que la resistencia a la penetración del suelo tratado con carbón vegetal con cáscara de arroz fue de 393.34 Nm-2. Esto no es significativamente diferente de la del suelo tratado con ceniza de cáscara de arroz.

En el caso particular de este estudio, la diferencia observada entre los tratamientos pudo deberse a la alta cantidad de observaciones realizadas lo que incremento la probabilidad de encontrar una diferencia estadística, esto se debe a que el carbón es un material poroso disminuye la resistencia a la penetración que opone el suelo.

6.2 Densidad aparente del suelo (gr/cm³)

Al realizar la prueba de significancia (ANOVA) para la variable densidad aparente del suelo se encontró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, con un (p-valor 0.0550), aparentemente la aplicación de diferentes niveles de carbón no disminuyo la densidad del suelo, en la tabla siguiente se muestran los resultados de la comparación entre las medias de los tratamientos según DUNCAN.

Tabla 5. Resultados para densidad aparente del suelo

Niveles de carbón	Medias	N	E. E	
7% de carbón	0,78	4	0,04	A
4% de carbón	0,79	4	0,04	A
9% de carbón	0,79	4	0,04	A
0% de carbón	0,94	4	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Estos resultados concuerdan con los entrados por (Albuquerque, et al. s.f.) donde evaluaron efectos de la enmienda de un suelo agrícola con biocarbón sobre el crecimiento de girasol donde indican que la adición de carbón vegetal provocó un descenso más acusado de la densidad aparente del suelo (da).

Tampoco coinciden recientes hallazgos descritos por (Acosta et al,2014) donde evaluaron el Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e

incidencia de *Moniliophthora rorare* y *Phytophthora palmivora* en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica indican que la aplicación de Biocarbón en los tratamientos ayudo a disminuir significativamente la densidad aparente del suelo cuando se comparó con el testigo.

Otro estudio realizado por Lei, y Zhang (2013). Evaluaron los Efectos de los biochares derivados de diferentes materias primas y temperaturas de pirólisis sobre las propiedades físicas e hidráulicas del suelo concluyendo que la aplicación de biochar redujo significativamente la densidad aparente del suelo de 1.22 ± 0.02 a 1.00 ± 0.02 g cm⁻³ ($p < 0.05$).

El hecho de no haber encontrado diferencia entre los tratamientos en este estudio, se pudo deber a que los niveles de carbón evaluados fueron bajos o que la distribución del carbón al momento de incorporarlo en el suelo no fue de manera homogénea, esto de alguna manera disminuye la probabilidad de observar una diferencia al momento de tomar las muestra para determinar densidad aparente.

6.3 Porosidad del suelo (%)

Según el análisis de varianza que se realizó para los resultados de porosidad del suelo no presentaron diferencia significativa entre los tratamientos, con valor (p-valor 0.5864) es decir que la aplicación de diferentes niveles de carbón no modificó la porosidad del suelo, dichos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Resultados para Porosidad del suelo

Niveles de carbón	Medias	
0% del volumen del suelo	58.25	A
7% del volumen del suelo	58.50	A
9% del volumen del suelo	59.25	A
4% del volumen del suelo	60.75	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Pruebas similares fueron realizadas en Nueva Zelanda (Herath, Camps-Arbestain, & Hedley, 2013). al evaluar el efecto del biochar en las propiedades físicas del suelo en dos suelos contrastantes: Un Alfisol y un Andosol. Resultandos en los que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Era de esperarse que los resultados de porosidad no presentaran una diferencia entre los tratamientos porque esta variable depende de la densidad aparente.

6.4 pH

Se realizó un análisis de varianza a los resultados de pH del suelo, observando que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un (p-valor 0. 3557), esto quiere decir que los niveles de carbón evaluados no modificaron el pH del suelo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Resultados obtenidos para el pH del suelo

Niveles de carbón	Medias	
9 % del volumen del suelo	6.74	A
7% del volumen del suelo	6.75	A
4% del volumen del suelo	6.88	A
0% (Testigo)	6.95	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estos resultados no coinciden por los encontrados por (González, Fernández y Gimeno, 1992) quienes evaluaron el efecto de los incendios forestales sobre algunas características del suelo, observando que el pH incremento en la superficie de los suelos afectados con respecto al testigo (ligeramente ácido), ellos explican que este efecto se debe a la incorporación de algunas bases contenidas en las cenizas.

Por otro lado, estudios realizados por (Villamagua, Valarezo, Valarezo, & Ramón, 2013) revelan que el pH incrementó ligeramente desde 6,8 (al inicio) a 7,2 (al final) para todos los tratamientos con adición de carbón vegetal.

Mientras que (Naula Arteaga, 2006) evaluó la respuesta del tomate riñón (*lycopersicum esculentum*) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del

suelo mediante la aplicación de abonos orgánicos y carbón vegetal, determinan que el pH del suelo se mantuvo constante antes y después de la aplicación de carbón vegetal, por lo tanto, no modificó este parámetro.

En este estudio la aplicación de carbón vegetal no afectó el parámetro pH, probablemente se haya debido a que este no presenta altos contenidos de ceniza por que al momento de la elaboración (pirolisis) se controló el tiempo de combustión de la cascarilla de arroz.

6.5 Infiltración del suelo (mm/h).

Se realizó un análisis de varianza a los resultados de infiltración de agua en el suelo, observando que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un (p-valor 0.2744), aparentemente la aplicación de carbón no influyó en este parámetro, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 8 .Infiltración del agua en el suelo

Niveles de carbón	Medias	N	E. E	
0% de carbón	4,75	4	29.40	A
4% de carbón	49,00	4	29.40	A
2% de carbón	62,25	4	29.40	A
3% de carbón	92,00	4	29.40	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Resultados similares obtuvieron al analizar la influencia del biochar en las propiedades físicas de suelo y el agua del suelo (disponibilidad). Hardie, Clothier, Bound, Oliver, & Close, (2014). indicando que en general, la enmienda de biochar no tuvo un efecto significativo en la infiltración.

Estos resultados concuerdan con los datos observados en la porosidad del suelo, ya que al existir menos espacios porosos disminuye la velocidad y modifica dinámica de infiltración de agua en el perfil del suelo.

6.6 Respiración del suelo (mg/m²/h)

De acuerdo a los resultados de análisis de varianza que se realizó para los datos de respiración del suelo se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos con un (p-valor 0.3959), esto quiere decir que los niveles de carbón no modificaron este parámetro, en la tabla siguiente se reportan los resultados de la prueba de separación de medias según DUNCAN.

Tabla 9 . Resultados para la variable Respiración de suelo

Niveles de carbón	Medias	N	E. E	
0% de carbón	966,25	4	127.19	A
7% de carbón	1024,00	4	127.19	A
9% de carbón	1227,75	4	127.19	A
4% de carbón	1299,25	4	127.19	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los resultados coinciden por los presentados por Acosta, et al. (2014) donde señalan que la respiración microbiana no se afectó con ningún tratamiento de BC o gallinaza, por tanto, se requieren de dosis mayores que las usadas en este experimento para obtener cambios significativos.

De igual manera, Hojaho da Silva (2013) en un estudio del impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica, no encontró diferencias significativas entre los tratamientos (Gallinaza) y (Biocarbón) para las variables respiración microbiana.

Al no encontrar diferencia en la variable porosidad era evidente que no se observaría cambios en el suelo con respecto a la respiración microbiana, debido a que esta variable está directamente relacionada con los espacios porosos existentes en el suelo.

6.7 Nitrato retenido (mg/kg)

Según el análisis de varianza que se realizó para los resultados de nitrato retenido no muestran diferencia significativa con un (p-valor 0.0540), estos resultados se observan en la siguiente tabla.

Tabla 10 .Resultados obtenidos para variable Nitrato retenido en el suelo

Niveles de carbón	Medias	N	E. E	
0% de carbón	7,86	4	0,43	A
4% de carbón	9,42	4	0,43	B
9% de carbón	9,48	4	0,43	B
7% de carbón	9,62	4	0,43	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estos resultados concuerdan con los recientes estudios de Tenorio y Triminio (2017) quienes evaluaron el efecto de cascarilla de arroz carbonizada sobre la eficiencia del fertilizante mineral en el suelo concluyendo que la incorporación de carbón, no influyó positivamente sobre el contenido de Nitrato en el agua lixiviada.

Aunque (Aker, 2014) realizó una investigación en la que evaluó el efecto del biocarbón y otras enmiendas sobre las características fisicoquímicas del suelo en distintas texturas, observando que el biocarbón incrementa el aprovechamiento del nitrógeno por las plantas e incrementa los rendimientos en el cultivo de maíz.

Así mismo, Albuquerque et al. (2013) estudio el biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO₂ y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo, obteniendo entre otros resultados que la adición de biocarbón no tuvo efectos claramente significativos sobre la concentración de nitrato, amonio y fosfato en el suelo (extraído por las resinas), mostrando ligeros aumentos de nitrato a dosis intermedias de aplicación estadísticamente significativos respecto al suelo control.

Por otro lado, Chan et al. (2008) analizó el uso de biochar de hojarasca como enmiendas del suelo encontrando que los aumentos de rendimiento de rábano se pueden atribuir en gran medida a la capacidad de estos biochar para aumentar la disponibilidad de nitrógeno.

Al no encontrar diferencia en los niveles de nitrógeno, se puede atribuir a la posibilidad que los niveles de carbón evaluados fueron menores al 9 % del volumen del suelo.

6.8 Rendimiento (kg/ha)

Al igual que las demás variables se sometió a un análisis de varianza los resultados de rendimiento observando que no existen diferencias significativas en los tratamientos con un (p-valor 0.8549) aparentemente los niveles de carbón no influyeron en el parámetro rendimiento, como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 11. Resultados obtenidos para variable rendimiento del cultivo (kg/ha)

Niveles de carbón	Medias	
0% carbón	7927,00	A
4% de carbón	8134,00	A
7% de carbón	8455,25	A
9% de carbón	8455,25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Estos resultados no coinciden con los encontrados por Villamagua, M., Valarezo, L., Valarezo, C., & Ramón, C. T. M. (2013). que evaluaron el efecto de granulometrías de biocarbón sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*, bajo invernadero, concluyendo que el mayor rendimiento de frutos de tomate fue de 8,5 kg/planta para el T4 (15 - 25 kPa + biocarbón de 2,1 a 4,5 mm), con un incremento de 45% frente al testigo.

Resultados similares reporta (Aker,2014) al evaluar el efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características de suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en nuestro país, indicando se encontró diferencias significativas en el efecto de los

diferentes tratamientos en la producción de chilotes ($p=0.0025$), mazorcas ($p<0.0001$), rendimientos por hectárea ($p<0.0001$) y en el peso seco de las plantas de maíz ($p=0.0001$). El mejor de los tratamientos con una media con tendencia más alta es el Biocarbón con Gallinaza (BxG).

Estudios realizados en Indonesia por (Yamato et al. 2006). revelan que hubo efectos significativos de la aplicación de corteza carbonizada de *Acacia mangium* en el rendimiento de maíz, caupí y maní, y propiedades químicas suelo.

En este estudio los niveles de carbón no modificaron la mayoría de las variables del suelo evaluadas por lo tanto era de esperarse que el rendimiento no presentara variaciones entre los tratamientos evaluados.

VII. CONCLUSIONES

Según el análisis de varianza que se realizó a las variables en la mayoría no se encontró una diferencia significativa.

En base a los resultados obtenidos en la investigación; no se observó suficiente evidencia para demostrar que el carbón ayuda a mejorar las características físicas y a retener nitrógeno en el suelo.

Posiblemente al aumentar niveles de carbón se obtenga resultados positivos con respecto a las características físicas del suelo y repercutan sobre el rendimiento del cultivo.

Este estudio representa una línea base para las futuras investigaciones en campo, ya que en múltiples investigaciones han sido a nivel de laboratorio.

Algunos de los resultados son similares a los obtenidos recientemente por Tenorio y Triminio (2017).

VIII. RECOMENDACIONES

Seguir investigando el tema del carbón vegetal aplicado al suelo y medir variables vegetativas como biomasa radicular, índice de área foliar, para evaluar efectos en la fisiología y anatomía en la planta.

Al momento de realizar la incorporación de carbón en el suelo mezclar y homogenizar bien para incrementar la posibilidad de observar diferencias estadísticas entre los niveles.

Así mismo aumentar los niveles de carbón incorporado al suelo y montar ensayos en diferentes tipos de suelo para observar el comportamiento en diferentes texturas.

Evaluar intervalos iguales entre los niveles de carbón aplicados al suelo, para poder realizar pruebas de regresión.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Acosta Buitrago, J. O., Chaves Soto, G., Casanoves, F., Dita, M. A., Pocasangre, L., & Estrada, F. (2014). Artículo I. Impacto de la adición de biocarbón en el mejoramiento de suelos, rendimiento e incidencia de *Moniliophthora roreri* y *Phytophthora palmivora* en cacao orgánico en Talamanca, Costa Rica.
- Aker Narváez, C. E. (2014). Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características del suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua (No. Thesis A314). CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Albuquerque Méndez, J. A., Calero Rodríguez, J. M., Barrón López de la Torre, V., Torrent Castellet, J., del Campillo García, M. C., Gallardo Correa, A., & Villar Montero, R. (2013, June). El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO₂ y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. In *Congresos-CARGA FINAL*.
- Albuquerque, J. A., Calero, J. M., Villar, R., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., & Gallardo, A. EFECTOS DE LA ENMIENDA DE UN SUELO AGRÍCOLA CON BIOCARBÓN SOBRE EL CRECIMIENTO DE GIRASOL.
- Anchundia Olivo, C. A. (2015). Efecto de diferentes dosis de fertilizantes yara en el comportamiento agronómico del híbrido maíz *Zea mays* L. pionner 30F35 en el cantón Balzar, provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, 337(1-2), 1-18.
- Basantes Morales, E. R. (2012). Efecto de la aplicación de dos niveles de nitrógeno y dos niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz Var. Chillos, en un suelo Franco-arcillo limoso, sector de Sangolquí (Bachelor's thesis, SANGOLQUÍ/ESPE/2012).

- Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gómez-Eyles, JL, Harris, E., Robinson, B., y Sizmur, T. (2011). Una revisión del papel potencial de los biocars en la remediación, revegetación y restauración de suelos contaminados. *Contaminación ambiental*, 159 (12), 3269-3282.
- Busscher, WJ; Novak, JM; Evans, DE; Watts, DW; Niandou, MAS; Ahmedna, M. 2010. Influence of Pecan Biochar on Physical Properties of a Norfolk Loamy Sand. *Soil Science* 175(1):10-14.
- Casco, J. J., y Gutiérrez, J. R., (2017) Evaluación de carbón procedente de diferentes tipos de materia vegetativa como sustrato para la producción de plántulas de *Solanum lycopersicum*. UCATSE Estelí.
- Cassman, K. G., Dobermann, A., & Walters, D. T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(2), 132-140.
- Castillo, R., y R., Bird. 2013. Caracterización del Cultivo de Maíz en Nicaragua: Un análisis de varianza de los determinantes del rendimiento. ISSN 2409-noviembre 2013. Banco Central de Nicaragua.
- Cazaban Lozada, M., & Rubio Cat, D. N. (2014). Efecto de la fertilización nitrogenada tardía (V10-11) sobre el rendimiento de maíz.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* N° 33, *Archivo Agronómico* N° 11. IPNI Cono Sur, Buenos Aires, Argentina.
- CIMMYT. (2013). Guía para comparar las prácticas de manejo de cultivos, resistencia a la penetración.

- Correndo, A.A., y F.O. Garcia.2014. Bases de la nutrición del cultivo de maíz. Cap. 6. En: Maíz: Técnicas probadas para una producción rentable.1ra Ed. Marzo 2014. AACREA. Buenos Aires: 37-44.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta ecológica*, (83).
- Domínguez, G. F., Studdert, G. A., Echeverría, H. E., & Andrade, F. H. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del suelo*, 19(1), 47-56.
- Duggan, M. T. (s.f.). Fertilizar eficientemente para reducir el riesgo. ambientalex.info. Recuperado el 02 de 01 de 2018, de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Fertilizantesparadisminuirriesgo.pdf>
- Escalante Rebolledo, A., & Pérez López, G., & Hidalgo Moreno, C., & López Collado, J., & Campo Alves, J., & Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34 (3), 367-382.
- Ferraris, G. N., Couretot, L. A., & Toribio, M. (2009). Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. *Agronómicas# 43*, 19.
- García Obando, J. T., Rostrán, A., & Antonio, N. (2009). Comparación del sustrato artesanal esterilizado [de] cascarilla de arroz carbonizada más lombriabono con tres sustratos utilizados por productores de plántulas hortícolas en León y Chinandega durante el período de julio a diciembre 2008(Doctoral dissertation).
- García, F. O. (2005). Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Presentado en la Jornada “Maíz.
- González, J., Fernández, M. C., & Gimeno, G. P. (1992). Efectos de los incendios forestales sobre el suelo. *Suelo y Planta*, 2(1), 71-79.

- Guillermo O. MARTIN (h) Cátedra de Forrajes y Cereales - FAZ – UNT. Recuperado de el 15 del 01 2018 de <http://ecaths1.s3.amazonaws.com>
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., & Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant and Soil*, 376(1-2), 347-361.
- Henreux, J. (2012). Efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre el desarrollo, productividad y resistencia de las plantas, Turrialba, Costa Rica.
- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M., & Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197.
- INPI. (s.f.). www.ipni.net. Recuperado el 11 de 01 de 2018, de www.ipni.net
- INTA. Guía tecnológica del cultivo de maíz. 2 da. Edición N° 03- Abril 2010.
- Intagri. (s.f) Recupera el 11 de 01 de 2018, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lixiviación-de-nitratos-en-agricultura>
- Lehmann, J., & Rondon, M. (2006). Manejo del suelo con biochar en suelos altamente degradados en los trópicos húmedos. Enfoques biológicos para sistemas de suelos sostenibles. CRC Press, Boca Raton, FL , 517-530.
- López, M. A., Crespo, Y. A., Abreu, L. C., López, G. G., Quintana, Y. G., & Martínez, I. D. L. C. C. (2013). Efectos del biocarbón en las propiedades físicas de diferentes sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 1(1), 1.
- López, R., (2002) Degradación del suelo causas, procesos evaluación e investigación, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial Universidad de los Andes Mérida, Venezuela .serie: suelos y clima sc- 75.
- Major, J. (2006). El Biocarbón: Una herramienta para el manejo sostenible de suelos y la producción de energía. *Nota técnica. Técnicaña*, 18(10), 20-24.

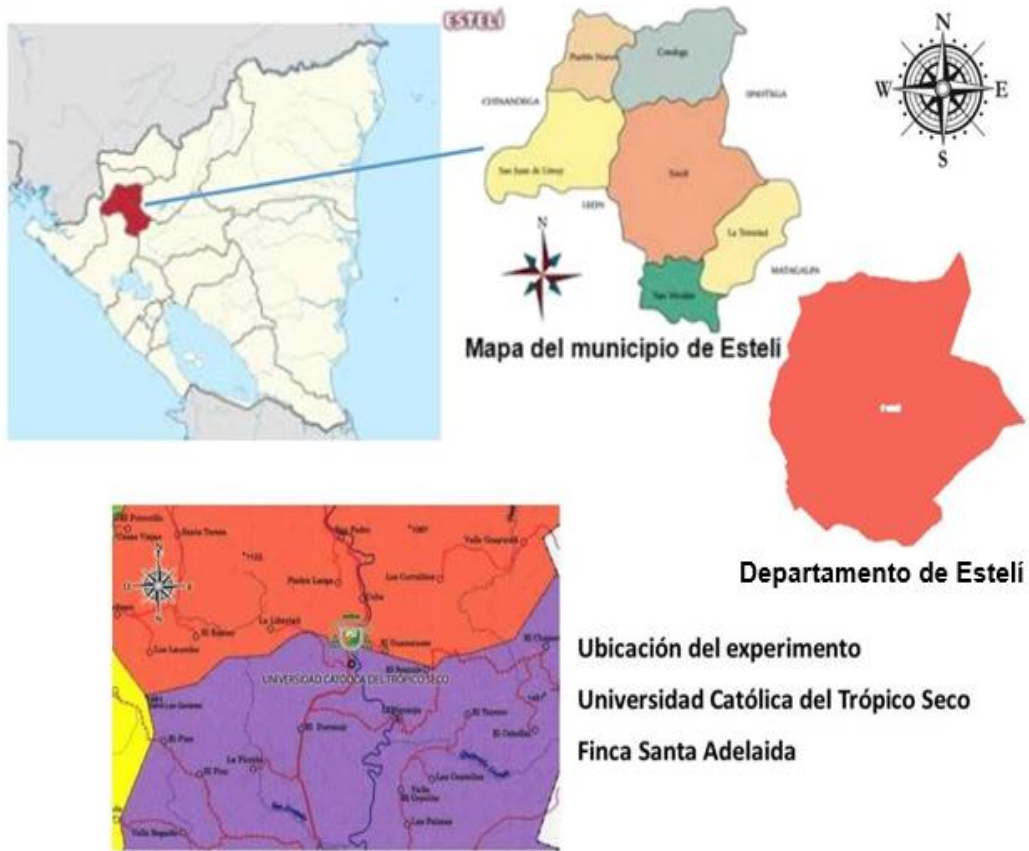
- Masulili, A., Utomo, W. H., & Syechfani, M. S. (2010). Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science*, 2(1), 39.
- Miller R.H. & Keeney D.R. *METHODS OF SOIL ANALYSIS. Part 2. Chemical and Microbiological properties Second Edition.*American Society of Agronomo. Inc. Soil Science Society of America, Inc. Publisher, Madison, Wisconsin USA 1982. Pag 842-844.
- Naula Arteaga, P. E. (2006). Respuesta del tomate riñón (*lycopersicum esculentum*) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de abonos orgánicos y carbón vegetal, barrio Masacacantón Loja (Bachelor's thesis).
- Olmo Prieto, M. (2015). Efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo.
- Ortega, I. S (2014) Maíz I (*Zea mays*). *REDUCA (Biología)*, 7(2).
- Oses Orbeagozo, A., Alcañiz, J. M., Gartzia Bengoetxea, N., & González Arias, A. (2013). Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas.
- Oyarzun Arrechea, M. (2010). Respuesta productiva de un cultivo de maíz (" *Zea mays*" L. Var. *Dracma*) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre la lixiviación de nitratos.
- Pengue, W. (2005). La importancia de la agricultura familiar en el desarrollo rural sostenible. *La Tierra. Federación Agraria Argentina*, 93(7426).
- Perdomo, C. (2004). Nitrogeno. Monte video-uruguay: Facultad de agronomia universidad de la republica
- Pozo, M. F. (2004). La urea, fertilizante nitrogenado. IPA-LAPLATINA.

- Rojas, J. (2004). Comparación de métodos de determinación de densidad aparente en ensayo de rotaciones en siembra directa. Estación experimenta agropecuaria.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and fertility of soils*, 43(6), 699-708.
- Sa Pereira, E. D. (2014). Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. *uns*, 10. Recuperado el 11 de 01 de 2018, de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar>
- Saboya, G. j. (2010). Análisis técnico y económico en la producción de la cascarilla de arroz carbonizada (CAC) como sustrato para la propagación vegetativa de estacas juveniles de caoba (*Swietenia macrophylla* king) en cámara de sub-irrigación, Pucallpa, Perú”.
- Sadzawka, A. (1994). Cero Labranza y características químicas del suelo. Serie Carillanca, 43, 7-13.
- Sela, C., & Fernando, M. (2012). Evaluación de Diferentes Tipos de Cultivos Bacterianos (Microorganismos Benéficos) en la Elaboración del Abono Orgánico Fermentado (Bokashi)(Bachelor's thesis).
- Silva, J. H. D. (2013). Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y Producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica.
- Steffen, G. P. K., Antonioli, Z. I., Steffen, R. B., & Bellé, R. (2010). Vermicompost de estiércol bovino y de cáscara de arroz carbonizada como sustratos para la producción de plántulas de perrito de corte. *Acta zoológica mexicana*, 26(SPE. 2), 345-357.
- Tenorio, A.N., y Triminio, A.I, (2017). Evaluación del efecto de cascarilla de arroz carbonizada sobre la eficiencia del fertilizante mineral en el suelo. UCATSE, Estelí.

- Thies, J. E., & Rillig, M. C. (2009). Characteristics of biochar: biological properties. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 85-105.
- Uhart, S. A. E., Uhart, H. E. S. A., & Echeverría, H. E. El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz: diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada.
- Velásquez, D. A. (08 de 2016). *cunori.edu.gt*. Recuperado el 13 de 01 de 2018, de <http://cunori.edu.gt>
- Villamagua, M., Valarezo, L., Valarezo, C., & Ramón, C. T. M. (2013). Efecto de granulometrías de biocarbon sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate *Solanumlycopersicum*, bajo invernadero Effect of particle sizes of biocarbon over the physical conditions of soil and moisture tensions in the cultivation of tomato *Solanum*. *Comité Editorial*, 3(1), 93.
- Widowati, W. U., Guritno, B., & Soehono, L. A. (2012). The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of maize (*Zea mays L.*) in green house experiment. *Journal of Agricultural Science*, 4(5), 255.
- www.idae.es (Julio de 2007). (Fertilización nitrogenada/IDEA) Recuperado el 11 de 2018, de <Http://www.idae.es>
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., Ogawa, M., 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition* 52, 489e495.

X. ANEXOS

Anexo 1. Mapa ubicación del estudio.



Anexo 2. Resultados análisis de suelo de la parcela antes y después del ensayo



LABORATORIOS QUIMICOS, S. A.
LAQUISA



LAQUISA-RT-FM-068-ES

INFORME DE ANÁLISIS

Cliente: Felipe Quintero Peralta
Dirección: De la Drew Estates 3 c al Oeste, 2 c al Sur, 1 c al Oeste- Esteli.
Nombre de muestra: Profundidad de Muestreo: 30 cm, Cultivo Anterior: Frijol, Cultivo a Establecer: Maiz, Comunidad: Santa Adelaida
Descripción muestra: Suelo
Fecha ingreso: 2017/12/14
Ref. laboratorio: SU-5780-17
Número de muestreo:

Lugar de muestreo: Finca: Santa Adelaida
Municipio/Depto.: Esteli/Esteli
Fecha muestreo: 2017/12/13
Fecha de realización de ensayo: 2017/12/15-2017/12/22
Fecha de emisión: 2017/12/22
Muestreado por: Cliente

Análisis	Unidad	Resultado
pH	-	7,2
Materia Orgánica	%	3,43
Nitrógeno	%	0,17
Fósforo	mg/kg	29,9
*Potasio	cmol+/kg	0,749
*Calcio	cmol+/kg	21,435
*Magnesio	cmol+/kg	7,371
Hierro	mg/kg	28,6
Cobre	mg/kg	7,2
Zinc	mg/kg	13,1
Manganeso	mg/kg	2,8
Densidad Aparente	g/ml	1,30
Arcilla	%	55,60

* Estos ensayos son los que están dentro del alcance de acreditación: LE-010-11-1.

LAQUISA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida.
Para la reproducción de este informe deberá haber un escrito autorizado por LAQUISA

Lic. Benito Zapata Amaya
Gerente



Lic. Julio César Barrera Berrios
Responsable de Suelo

Página 1 de 2

Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-I son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases



LAQUISA

Teléfono Oficina
2150-2583/8854-2550

LABORATORIOS QUIMICOS, S. A. LAQUISA



LAQUISA-RT-PM-001-01

INFORME DE ANÁLISIS

Ciudad:	Polgo Quintro Pochil	Lugar de muestreo:	Finca Santa Adelaida
Dirección:	De la Erva Santa 1 a el Ocho, 3 a el Bar, 1 a al Ocho- Santa.	Municipio/Depa:	Escal/Quint
Nombre de muestra:	Profundidad de Muestra: 30 cm, Cultivo American Frijol, Cultivo a Eschizium Maiz, Comandati Santa Adelaida.	Fecha muestra:	2017/02/13
Descripción muestra:	Suelo	Fecha de realización de ensayo:	2017/02/16-2017/02/23
Fecha ingreso:	2017/02/14	Fecha de emisión:	2017/02/23
Ref. laboratorio:	SU-0100-17	Muestreado por:	Ciudad
Número de muestras:			

Análisis	Unidad	Resultado
Lima	%	10,00
Arena	%	18,00
Torcera	"	Ardidosa
Ca-Mg/K	"	10,00
Ca/Mg	"	2,01
Ca/K	"	10,00
Mg/K	"	0,34

* Otros ensayos son los que están dentro del alcance de acreditación LE-010-11-I.

La QMVA, es responsable de la exactitud de los resultados de la muestra recibida.
Para la reproducción de este informe deberá hacer un escrito autorizado por La QMVA



Lic. Walter Espino Amaya
Gerente

Lic. Julio César Barrera Barrera
Responsable de Suelo

Página 2 de 3

Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.

Los ensayos dentro del alcance de la acreditación LE-010-11-I son: Agua: pH, Conductividad eléctrica, Cobre, Cianuro, Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales y Coliformes Fecales, Suelo: Bases Intercambiables(Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio), Alimentos: Proteína en Maíz, Humedad en Granos y Aflatoxinas en Maní.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL TRÓPICO SECO

“Pbro. Francisco Luis Espinoza Pineda”

UCATSE


Módulo Educativo - Laboratorio de Suelo

RESULTADO DE ANÁLISIS DE SUELO

Nº 0348

Ciente Felipe Quintero Muestreado por Cliente
Tipo de muestra Suelo Fecha de muestreo No reportada
Fecha de ingreso 19/06/2018 Fecha de informe 29/06/2018
Lugar de muestreo UCATSE

Muestra	Análisis	Resultado (mg/kg)
BI T1	Nitrógeno disponible	8.23
BI T2	Nitrógeno disponible	11.32
BI T3	Nitrógeno disponible	11.47
BI T4	Nitrógeno disponible	10.42
BII T1	Nitrógeno disponible	7.73
BII T2	Nitrógeno disponible	10.42
BII T3	Nitrógeno disponible	10.14
BII T4	Nitrógeno disponible	9.80
BIII T1	Nitrógeno disponible	7.90
BIII T2	Nitrógeno disponible	8.25
BIII T3	Nitrógeno disponible	8.39
BIII T4	Nitrógeno disponible	7.84
BIV T1	Nitrógeno disponible	7.59
BIV T2	Nitrógeno disponible	7.67
BIV T3	Nitrógeno disponible	8.46
BIV T4	Nitrógeno disponible	9.86


Ing. Darwing Isaac Ochoa Lazo
Laboratorio de suelos - UCATSE



Nota: En caso que el Solicitante tome la muestras, UCATSE solo es responsable de las exactitud de los resultados.

coordinacionme@ucatse.edu.ni
Tel: 2719 7600 - Cel: 8948 3824

www.ucatse.edu.ni
Km. 166 ½ Carretera Panamericana Norte • Esteli, Nicaragua, C.A.

Anexo 3. Hoja de campo

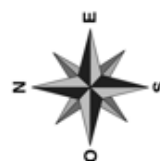
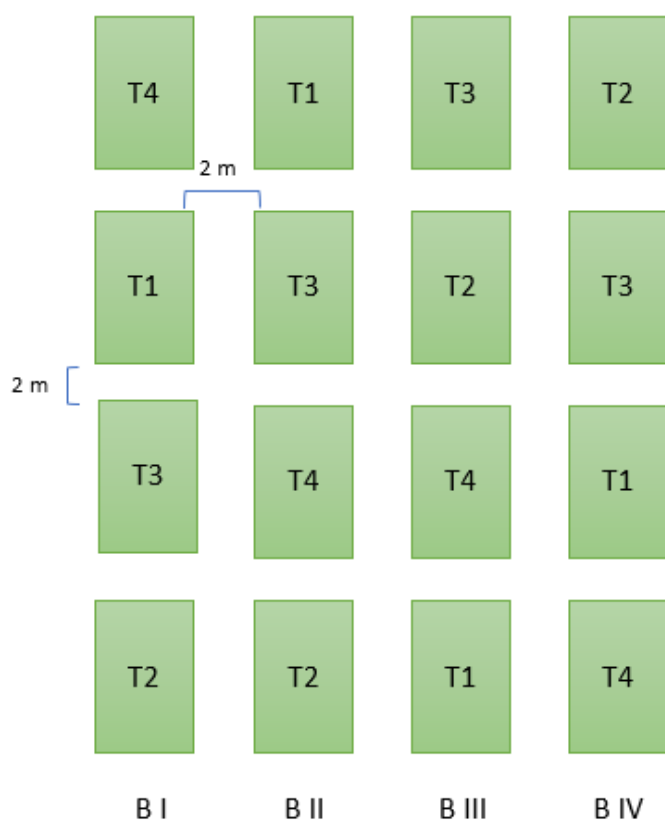
Bloque I												
Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Variables												
Densidad aparente												
Porosidad												
pH												
Respiración												
Infiltración												
Nitrato												
Rendimiento												
Bloque II												
Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Variable												
Densidad aparente												
Porosidad												
pH												
Respiración												
Infiltración												
Nitrato												
Rendimiento												

Bloque III												
Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Variables												
Densidad aparente												
Porosidad												
pH												
Respiración												
Infiltración												
Nitrato												
Rendimiento												
Bloque IV												
Tratamiento	T1			T2			T3			T4		
Repeticiones	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Variable												
Densidad aparente												
Porosidad												
pH												
Respiración												
Infiltración												
Nitrato												
Rendimiento												

T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
1	1		1	2		1	3		1	4	
T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	
2	1		2	2		2	3		2	4	

T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
3	1		3	2		3	3		3	4	
T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS	T	B	RPS
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	
4	1		4	2		4	3		4	4	

Anexo 4. Diseño de bloques completamente al azar



Niveles de Carbón aplicados según el volumen del suelo y tratamiento

T1= 0% de carbón

T2= 4% de carbón

T3= 7% de carbón

T4= 9% de carbón

Anexo 5. Análisis de varianza

Nueva tabla: 23/06/2018 - 12:06:08 - [Versión: 02/03/2018]

Análisis de la varianza

Densidad aparente del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad aparente del sue..	16	0.58	0.31	9.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.07	6	0.01	2.10	0.1529
Tratamiento	0.07	3	0.02	3.71	0.0550
Bloque	0.01	3	2.9E-03	0.49	0.7007
Error	0.05	9	0.01		
Total	0.13	15			

pH

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	16	0.39	0.00	2.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.18	6	0.03	0.95	0.5048
Tratamiento	0.13	3	0.04	1.45	0.2932
Bloque	0.04	3	0.01	0.46	0.7168
Error	0.28	9	0.03		
Total	0.45	15			

Infiltración

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Infiltración	16	0.40	0.00	113.07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	20573.00	6	3428.83	0.99	0.4840
Tratamiento	15786.50	3	5262.17	1.52	0.2744
Bloque	4786.50	3	1595.50	0.46	0.7160
Error	31111.00	9	3456.78		
Total	51684.00	15			

Rendimiento

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	16	0.48	0.13	12.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8614410.50	6	1435735.08	1.37	0.3226
Tratamiento	807348.25	3	269116.08	0.26	0.8549
Bloque	7807062.25	3	2602354.08	2.48	0.1274
Error	9444959.25	9	1049439.92		
Total	18059369.75	15			

Respiración

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Respiración	16	0.73	0.56	22.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1604101.38	6	267350.23	4.13	0.0285
Tratamiento	214895.19	3	71631.73	1.11	0.3959
Bloque	1389206.19	3	463068.73	7.16	0.0093
Error	582402.06	9	64711.34		
Total	2186503.44	15			

Nitrato

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nitrato	16	0.76	0.61	9.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21.25	6	3.54	4.87	0.0174
Tratamiento	8.16	3	2.72	3.74	0.0540
Bloque	13.09	3	4.36	6.00	0.0157
Error	6.55	9	0.73		
Total	27.80	15			

Porosidad del suelo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porosidad del suelo	16	0.67	0.44	4.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	133.38	6	22.23	2.98	0.0687
Tratamiento	15.19	3	5.06	0.68	0.5864
Bloque	118.19	3	39.40	5.29	0.0224
Error	67.06	9	7.45		
Total	200.44	15			

Resistencia a penetración

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Resistencia a penetración	16	0.76	0.59	10.34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4325.01	6	720.83	4.66	0.0200
Tratamiento	1809.61	3	603.20	3.90	0.0489
Bloque	2515.40	3	838.47	5.42	0.0209
Error	1392.73	9	154.75		
Total	5717.74	15			

Anexo 6. Fotos fase experimental



Foto 1. Toma de muestra para análisis químico del suelo



Foto 2. Preparación de muestra



Foto 3. Carbonización de la cascarilla de arroz



Foto 4. Calculo del % de carbón a aplicar a los tratamientos



Foto 5. Distribución del carbón vegetal según el nivel a aplicar



Foto 6. Riego del cultivo de maíz



Foto 7. Maíz a 5 días de germinado



Foto 8. Área experimental de Tesis



Foto 9. Diferenciación entre bloques



Foto 10. Preparación de 5 ml de NaOH 1N para incubación de CO₂.



Foto 11. Método de incubación de CO₂ en medio cerrado descrito por (Miller & Keeney 1982).



Foto 12. Etapa reproductiva del cultivo de maíz.



Foto 13. Determinación de la variable Rendimiento según los tratamientos.