CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Evaluación del uso de estufas ecológicas, análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo en los rendimientos de maíz (*Zea mays*) en tres municipios de León, Nicaragua

Por

Carlos Ernesto Aker Narváez

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de
Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2014

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

***MAGISTER SCIENTIAE* EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

FIRMANTES:

Alejandro Imbach, M.Sc.
Codirector de tesis

Gabriela Soto, M.Sc.
Codirectora de tesis

Francisco Estrada, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Xiomara Castillo, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

I. Miley González, Ph.D. / Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano / Vicedecano de la Escuela de Posgrado

Carlos Ernesto Aker Narváez
Candidato

Agradecimiento

A nuestro amado Dios Todopoderoso por su infinita misericordia, por su gracia, su favor, por guiarme y permitirme tener la oportunidad de ser bendecido con una maestría y este importante trabajo, siempre al servicio de nuestro prójimo, a Él sea la honra, el honor y la gloria para siempre y por la Eternidad.

A mi hermosa familia, por brindarme su apoyo incondicional, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por creer en mi crecimiento y formación, por heredarme su bondad, cariño, amor y respeto, por haberme sustentado de por vida en el amplio sentido de la palabra, por su humildad y sencillez de corazón.

A mis maestros, formadores, mentores y tutores: Gabriela Soto, Alejandro Imbach, Xiomara Castillo y Fran Estrada Garro, por heredar su pensar y sentir durante mi formación en la maestría y especialidad, además por ser amigos y excelentes consejeros, por guiarme y edificar mi conciencia y conocimiento mental, por su confianza y respeto.

A las personas que colaboraron conmigo durante la fase de campo, a mi amigo Fernando Benedith por su apoyo incondicional en el trabajo de campo, a Santiago Castro por su ayuda en el laboratorio y en campo, a mi princesa Lilibeth Morales Mairena por su amor, apoyo y consuelo.

A los productores y sus familiares: Reynaldo Urcuyo, Reynaldo Rivera, Ernesto Juárez, Victorino Soto, Arturo Morán, Julio Morán, Erasmo Gutiérrez, Juan García y Esther Urbina por su compromiso y apoyo en las parcelas experimentales y actividades de campo. A Don Juan Gutiérrez de MIFOGÓN, por su apoyo, compromiso y excelente trabajo en la fabricación de las estufas de biocarbón.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por su apoyo académico y a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-LEÓN) por brindarme su apoyo y facilidad en el uso de sus instalaciones y equipo.

Dedicatoria

Dedico esta investigación al servicio y honor de Dios.

A la comunidad de productores agropecuarios de mi país (Nicaragua) con deseos de superación e innovación tecnológica sostenible, a los futuros y presentes investigadores y hacedores de ciencia, tecnología e información.

A los productores agroecológicos y orgánicos, si es posible la producción sostenible, ánimos y a seguir adelante.

A mis padres, esto es fruto de su trabajo, unidad y amor.

A la naturaleza, maravillosa creación de Dios.

Contenido

Agradecimiento III
Dedicatoria IV
Contenido V
Lista de cuadros VI
Lista de figuras VI
Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades VII
Organización y estructura IX
Resumen X
Abstract XI
I. Introducción 1
II. Objetivos 3
Objetivo General 3
Objetivos Específicos 3
Preguntas de investigación por objetivo específico 3
III. MARCO TEÓRICO 5
1. Biocarbón 5
1.1. Definición y terminología 5
1.2. Historia del biocarbón 5
1.3. Tipos de procesos de pirolisis 6
1.4. Métodos de producción de biocarbón 7
2. Estufas mejoradas 8
2.1. Historia de las estufas mejoradas 8
4. Biocarbón como enmienda para el suelo 9
4.1 Mejoras en propiedades químicas del suelo 9
4.2 Mejoras en propiedades físicas del suelo 9
5. Biocarbón y fertilizantes 10
6. Biocarbón en la producción de Maíz (*Zea mays*) 10
IV. RESULTADOS RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN 11
V. CONCLUSIONES RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN 11
VI. LITERATURA CITADA 12
VII. Artículo 1. 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 León, Nicaragua. 15
VIII. Artículo 2. Evaluación de la eficiencia, uso y adopción de una estufa mejorada especializada en producir biocarbón en comparación con estufas de leña tradicionales en tres municipios del departamento de León, Nicaragua. 34
IX. Apartado 1. Análisis de las implicaciones de los resultados de la Tesis para el desarrollo desde una perspectiva integral y multidisciplinaria. 51
X. Apartado 2. Potencial de la investigación para la formación de políticas a nivel local, departamental, nacional y global. 54
XI. ANEXOS 56

Lista de cuadros

Cuadro 1. Típicos rendimientos del producto (con base en madera seca) de los sistemas de pirólisis..... 7
Cuadro 2. Valores de los parámetros físico-químicos del biocarbón proveniente de tres fuentes de madera, su combinación y la gallinaza 19
Cuadro 3. Diferencias de los efectos de los diferentes tratamientos aplicados al suelo sobre sus propiedades fisicoquímicas.. 27
Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en la producción de maíz (*Zea mays*).. 30
Cuadro 5. Cuadro resumen de variables evaluadas y analizadas del desempeño y adopción de la estufa mejorada para producir biocarbón (EMB). 37
Cuadro 6. Tiempos individuales de cocción para tortillas, frijoles y arroz, comparando las estufas tradicionales con la estufa mejorada de biocarbón. 42

Lista de figuras

Figura 1. Densidad aparente (Dap) (g/cm^3) del suelo en cada tratamiento en tres texturas diferentes a los 50 días después de la siembra en temporada seca.. 22
Figura 2. Porcentajes de retención de humedad volumétrica (%HV) de cada tratamiento a los 15 días después de la siembra..... 24
Figura 3. Efecto de las texturas y de los tratamientos en la profundidad de raíces y peso seco (biomasa) de las mismas a los 85 días después de la siembra.. 25
Figura 4. Efecto de las texturas y de los tratamientos en la disponibilidad de Magnesio (MgO) y Nitrógeno (NO^3) a los 50 días después de siembra.. 28
Figura 5. Estufa mejorada para producción de biocarbón. 39
Figura 6. Medias de las temperaturas alcanzadas por las estufas tradicionales comparadas con la estufa mejorada de biocarbón a los 0, 20, 40 y 60 minutos. 41
Figura 7. Percepción del usuario en diferentes aspectos relacionados con la estufa mejorada para biocarbón..... 43
Figura 8. Opinión del usuario(a) con respecto al biocarbón producido en la estufa mejorada para biocarbón..... 44
Figura 9. Percepción del usuario de la estufa mejorada para biocarbón. 47

Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
°C: Grados celcius/centígrados.
IBI: International Biochar Initiative
FAO: Food and Agriculture Organization
COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles
CO^2: Dióxido de Carbono
CO: Monóxido de Carbono
C°: Grados centígrados (celcius)
H_2: Hidrógenos
CH^4: Metano
TDR: Time Domain Reflectometry
TLUD: Top-Lit updraft
UNDP: United Nations Development Programme
WRI: World Rice Institute
Na: Sodio
K: Potasio
Ca: Calcio
P: Fósforo
pH
Al: Aluminio
t: Toneladas
g: gramos
kg: Kilogramos
Ha: Hectárea
Mg: Magnesio
INIFOM: Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal
mz: Manzanas
PROLENA: Programa de leña
cm: Centímetros
cm^2: Centímetros cuadrados
mm: Milímetros
CCT: Controlled Cooking Test
PCC: Pruebas de Cocina Controlada
min: Minutos
DCA: Diseño completamente al Azar
DBCA: Diseño Completo al Azar
PEA: Prueba de Ebullición de Agua
LAQUISA: Laboratorios Químicos S.A.
CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico.
UNAN-LEÓN: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
VPN: Virus de la Polihedrosis nuclear
m^2: Metros cuadrados
%HV: Porcentaje de humedad volumétrica
VIA: Velocidad de Infiltración de Agua
Dap: Densidad aparente
CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico
MO: Materia Orgánica
NO_3: Nitratos
$P_20_{5:}$ Fosfatos
ET: Estufas Tradicionales
EMB: Estufas Modificadas para Biocarbón
LSD: Less Significant Difference
DGC: Di rienzo, Guzman, Cassanoves

Organización y estructura

La presente investigación está organizada y estructurada en tres partes esenciales:

La primera es una introducción con los aspectos más relevantes de la investigación en biocarbón, es decir la base referencial de los aspectos estudiados e implementados en la investigación, también el objetivo general, objetivos específicos y preguntas de investigación de la tesis.

La segunda parte está comprendida por un primer artículo relacionado con los resultados del biocarbón en el cultivo de maíz y los suelos y un segundo artículo sobre el uso y desempeño de la estufa de biocarbón y su adopción por parte de los usuarios.

La tercera parte consta de un artículo relacionado al aporte que la investigación está realizando al desarrollo social sostenible de la región y su influencia política a varios niveles.

Resumen

Se ha demostrado que el biocarbón mejora las propiedades físico-químicas del suelo y los rendimientos de diversos cultivos y que combinado con gallinaza podría reemplazar el uso de los fertilizantes sintéticos para la producción, sin embargo los efectos de esa combinación no han sido estudiados a fondo. Las tecnologías para la producción de biocarbón han sido adaptadas para que se pueda elaborar el abono orgánico durante las labores domésticas de cocina, desarrollando estufas mejoradas para biocarbón, la cual a su vez contribuirá a mejorar los tiempos de cocción, temperatura, consumo de madera y otras características que permiten que los usuarios puedan adoptarlas. En este experimento se estudia el efecto del biocarbón, la gallinaza, los fertilizantes sintéticos y la combinación de los anteriores en tres clases de texturas diferentes (Franco Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso) en el cultivo de maíz. Se evaluó la capacidad de retención de humedad medido en % HV, VIA, Dap, pH, CIC, MO, contenido de nutrientes: Ca, Mg, K, N de NO3, P, peso de chilotes y mazorcas, biomasa de plantas y rendimientos de maíz en mazorca; además, se construyó y distribuyó una estufa mejorada para producción de biocarbón (EMB) y se realizó una comparación entre las estufas tradicionales (ET) y las EMB, realizando un análisis cuantitativo con PCC para medir el desempeño térmico, consumo de leña, tiempo de preparación de los alimentos básicos de la población rural (Arroz, Frijoles y tortillas) y un análisis cualitativo de la adopción de la EMB por parte de los usuarios de tres municipios del departamento de León, Nicaragua (León, Telica y La Paz Centro). Los resultados nos indican que el suelo 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/cm^3, 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 la aplicación de biocarbón con gallinaza produce resultados positivos al acondicionar los suelos Franco Arcillo Arenosos para permitir un mejor desarrollo radicular de las plantas de maíz e igualar significativamente las propiedades físico-químicas del suelo al igual que los rendimientos del cultivo de maíz en general. El desempeño térmico de la EMB es similar a una ET, llegando hasta 340 ˚C en 60 minutos, el tiempo total de cocina fue menor en la EMB con 83 min, el consumo de leña fue igual en ambos casos, excepto cuando se utiliza madera para producir biocarbón en la EMB, la percepción del usuario en cuanto a las propiedades anteriores fue positiva, el 78% de los productores/usuarios se sienten muy satisfechos con los resultados del biocarbón en sus cultivos. La percepción del usuario de la EMB en cuanto al precio, el humo generado en la estufa sigue siendo una pequeña limitante, mientras que el tiempo de preparación de los alimentos, la estética, la facilidad de preparación de la leña para usar, la durabilidad y la practicidad del uso de la estufa tienen una percepción positiva por los usuarios.

Abstract

It has been demonstrated that biochar improves soil physical-chemical properties and crop yields, and that mixed with poultry manure could replace the use of synthetic fertilizers for production, perhaps the effects of this combination haven't been studied deeply. The biochar production technologies have been adapted so that it can also make this organic fertilizer during domestic labors in kitchen, developing improved biochar cookstoves, that at the same time will contribute to enhance the cooking time, temperature, wood consumption and other characteristics that lead the users adopt them. In this experiment it is studied the effect of the biochar, poultry manure, synthetic fertilizers and the combination of these in three different textural classes (Sandy Loam, Loamy Sand and Clayey Sandy Loam) in corn crop. Water holding capacity measured as a percentage of water bulk, water infiltration rate, bulk density, pH, Cationic Exchange Capacity, organic matter, nutrients contents: Ca, Mg, K, N from $N0_3$, P, baby corn and corn cob weigh, plant biomass and corn cob yield have been evaluated. An improved Biochar cookstove (EMB) was built and distributed and a comparison was done between traditional stoves and the improved biochar cookstove, making an quantitative analysis with Controlled Cooking Tests to measure the termical behavior, wood consumption, time for cooking the basically food of the rural population (Rice, beans and corn tortillas) and a qualitative analysis to study the adoption of the Improved Biochar Cookstove from the users of three municipals of the department of León, Nicaragua (León, Telica and La Paz Centro). The results indicate that the soil can hold 18% of water in the biochar with poultry manure incorporated to the soil, in wich the bulk density went lower at $0.82g/cm^3$, it also increased the pH into 7.36 and the macronutrient content of the soil, Ca: 324, K: 111, Mg: 35, N: 35, P: 66 (mg/100g); additionally to these results, the application of biochar with poultry manure to the soil generates positive results to condition the Clayey Sandy Loam so it can permit a better radicular growing of the corn plants and obtain very much the same results with the soil physical-chemical properties and the corn yields in general. The thermic behavior of the Improved biochar cookstove is similar to a traditional stove, reaching 340 degrees in 60 minutes, the total cooking time of the improved biochar cookstove was lower with 83 min, the wood consumption was the same in both cases, except when the wood is used to produce biochar in the improved biochar cookstove, the perception of the users for these properties was positive, 78% of the producers/users feel very satisfied with the results of using biochar in their crops. The perception of the users of the improved biochar cookstove in terms of the price, smoke emitted from the stove are still being a little barrier; in the other hand, the time for cooking, the aesthetic, the easy of preparing the wood to use, the durability and facility to use the stove had a positive perception by the users.

I. Introducción

Los efectos del cambio climático han provocado que las zonas de la franja pacífica de León, Nicaragua se vayan tornando cada vez más secas, sumado a la creciente deforestación de la zona debido al uso de leña para la cocina (CATIE-PROLEÑA, 2001). Estas condiciones secas se han marcado debido a un déficit en las precipitaciones ya de por sí bajas (en promedio entre 300-500 mm al año, con una pronunciada estación seca entre los meses de noviembre a abril y una estación lluviosa entre los meses de mayo a octubre); además, la temperatura es un factor limitante en la zona, la cual oscila entre 27 y 29°C, pudiendo llegar hasta 33°C en promedio para los días más calientes (INETER 2011). La sequía en la región ha despertado la preocupación por parte de todos los habitantes, en especial de aquellos que dependen del suelo y la lluvia para emprender sus principales medios de vida como lo es la agricultura (MARENA, 1999).

El maíz (*Zea mays*) es uno de los principales cultivos para consumo que se produce en la zona (Zúniga, 2010). La tradición del cultivo de maíz, tanto agronómico como maíz dulce es hacerlo en las primeras (Mayo-Junio) y postreras (Agosto-Septiembre), aprovechando las lluvias, también se realizan en "apante" (Noviembre-Diciembre), pero no se acostumbra sembrar en verano debido a la carencia de agua y altas temperaturas, salvo aquellos productores que poseen sistemas de riego; sin embargo, los sistemas de riego en verano son muy riesgosos debido a los bajos niveles de acuíferos subterráneos, que si no se tiene el cuidado apropiado podrían llegar a secar algunos pozos (Rapidel y Rodriguez 1990).

Lehmann y Joseph (2009) definen el biocarbón como un producto rico en carbono, que se obtiene de la descomposición térmica (pirolisis) de materiales orgánicos, tales como la madera, estiércol y hojas bajo un limitado suministro de oxígeno a temperaturas relativamente bajas ($<700^{o}$ C). Las mismas propiedades de biocarbón fueron descubiertas en los suelos negros antropológicos en la Amazonía, lugar conocido como "Terra Preta de Indio" (Lehmann *et al*. 2003).

El biocarbón tiene efectos positivos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando la fertilidad del mismo (Warnock *et al* 2007; Novak *et al* 2009; Major *et al* 2010), actuando como una esponja que absorbe el agua y los nutrientes del suelo y los libera lentamente (Morley 1927), y reteniendo mejor el agua del suelo (Laird 2010). Si es así, entonces podríamos pensar en que el biocarbón es una alternativa de corto plazo que nos puede ayudar a mantener la humedad del suelo en las regiones secas para sostener la producción agrícola.

Una manera práctica de poner esta tecnología en las manos de los pequeños productores es adaptando las cocinas de sus hogares para que además de cocinar sus alimentos, puedan producir

biocarbón, reducir el uso de leña, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, proteger la salud de los usuarios, mejorar la eficiencia energética y posterior a eso usarlo como enmiendas del suelo para sus huertas (Joseph *et al.* 1990; Barnes *et al.* 1994; Edwards *et al*. 2004; Kar *et al.* 2012).

El estudio del biocarbón en Nicaragua no ha sido muy profundo y en la actualidad existe mucho potencial para poder investigar sobre este tema en la región. Más de la mitad de la población nicaragüense usa la leña como insumo para cocinar, es decir un 55% de las fuentes de energía del país es a base de leña (CNE, 2000), pero no se han registrado casos en los que usen el carbón vegetal con el propósito de aplicarlo como enmienda para el suelo.

En Nicaragua actualmente existen microempresas dedicadas a la fabricación de estufas mejoradas cuyo objetivo principal es reducir el consumo de leña, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que adicionalmente son nocivos para la salud de los usuarios, en general mujeres y niños(as), aprovechar la energía eficientemente y brindarle estética a las cocinas de los hogares (Wick 2004). Sin embargo, actualmente estas cocinas no están diseñadas para producir biocarbón

Se ha comprobado que el biocarbón tiene una alta capacidad de retención de agua y nutrientes lo cual podría ser una alternativa para mejorar los suelos agrícolas de la franja seca donde se encuentra el municipio de León. El biocarbón mejora las características químicas del suelo como: la capacidad de intercambio catiónico, acidez del suelo, pH, relación carbono-nitrógeno, cantidad de materia orgánica, aporte de elementos nutritivos en el suelo para las plantas y mejora de la microbiología y microfauna del suelo (Lehmann *et al.* 2003). Sin embargo, se ha observado que el biocarbón combinado con otros tipos de abonos ha tenido mejores efectos en cuanto al aumento de los rendimientos de los cultivos (Sohi *et al* 2009).

El biocarbón es una alternativa viable para emprender procesos de mitigación del cambio climático, ya que al incorporarlo en el suelo, se está produciendo un efecto conocido como carbón negativo, en el que se está secuestrando carbono atmosférico dentro del suelo con un efecto a largo plazo que sería de importancia potencial para validarlo como pagos por servicios ambientales para la región en el futuro (Sohi *et al* 2009).

Con la realización de esta investigación se conocerá cual es la aceptación de los comunitarios con respecto a la introducción de una estufa mejorada que produce biocarbón en sus hogares en relación a las estufas o fogones tradicionales y cuál es la eficiencia energética de estas nuevas estufas según la fuente de biomasa que utilicen para cocinar. Así como conocer los efectos del biocarbón sobre los rendimientos del cultivo de maíz, que se generan bajo diferentes condiciones de textura de suelo.

Esta investigación es importante para cualquier proceso de toma de decisiones que se realice en la región, ya sea a nivel de productores o como una estrategia nacional como parte de la mitigación del cambio climático, mejora de rendimientos, medidas de adaptación al cambio climático como la producción bajo condiciones de sequía, reducción del uso de fertilizantes sintéticos, reducción en el consumo de leña y protección de la salud de la población en general por emisiones de gases en la cocina.

II. Objetivos

Objetivo General

- Analizar el impacto de la tecnología de estufas mejoradas y la producción de biocarbón como enmienda del suelo, en la producción de maíz (*Zea mayz*) por los comunitarios de los municipios de Telica, La Paz Centro y León, del departamento de León, Nicaragua.

Objetivos Específicos

- Conocer la eficiencia energética de la estufa mejorada de biocarbón en comparación con las estufas tradicionales.
- Analizar el impacto del uso del biocarbón en las propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes combinaciones con abonos en 3 texturas de suelo.
- Analizar el impacto del uso del biocarbón en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en temporada lluviosa.
- Conocer el grado de adopción de la tecnología de las estufas mejoradas para la producción de biocarbón por los(as) usuarios(as).

Preguntas de investigación por objetivo específico

1. Conocer la eficiencia energética de las estufas mejoradas de biocarbón en comparación con las estufas tradicionales empleando distintos tipos de madera por los usuarios.
    a. ¿Cuál estufa es más eficiente con el consumo de madera?
    b. ¿En cuál estufa se cocina más rápido?
    c. ¿Cuál estufa genera más calor?

2. Analizar el impacto del uso del biocarbón en las características y propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes combinaciones con abonos (testigo, solo biocarbón, biocarbón y gallinaza, fertilizante, biocarbón y fertilizante) en 3 texturas diferentes de suelo (arcilloso, arenoso y franco)

    Propiedades químicas

    a) ¿Cuál de los tratamientos aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo y en qué tipo de textura es más significativo?

b) ¿Cuál de los tratamientos aporta mayor cantidad de nutrientes al suelo y en qué tipo de textura hay un efecto más prominente?
c) ¿Cuál es el comportamiento del pH del suelo en cada tratamiento y como varía según la textura del suelo?
d) ¿Cuál es el efecto de los tratamientos sobre la cantidad de materia orgánica encontrada en el suelo, según el tipo de textura?

Propiedades físicas

a) ¿Cuál es el efecto de los diferentes tratamientos en cuanto a la densidad aparente según la textura de los suelos?
b) ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en cuanto a la velocidad de infiltración del agua en el suelo, según la textura?
c) ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en cuanto a la capacidad de retención de agua en el suelo, según la textura del mismo?

3. Analizar el impacto del uso del biocarbón en el rendimiento del cultivo de maíz NB-6 (*Zea mays*) en temporada lluviosa.
    a. ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en la biomasa del cultivo de maíz NB-6, según la clase de textura del suelo y en la época lluviosa?
    b. ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en el peso de los chilotes, según la clase de textura del suelo en la época lluviosa?
    c. ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en el peso de las mazorcas de maíz, según la clase de textura del suelo en la época lluviosa?
    d. ¿Cuál es el efecto de los tratamientos en el rendimiento de la cosecha de Maíz NB-6 según la clase de textura del suelo en la época lluviosa?

4. Conocer el grado de adopción de la tecnología de las estufas mejoradas para la producción de biocarbón por los(as) usuarios(as).
    a. ¿Qué tan satisfechos están los usuarios con las estufas mejoradas de biocarbón?
    b. ¿Qué limitaciones y ventajas tienen las estufas mejoradas de biocarbón según los usuarios?
    c. ¿Qué tan apropiados están con esta nueva tecnología de cocinar ecológicamente y producir biocarbón?
    d. ¿Qué tan satisfechos están los usuarios de las cocinas con los resultados del uso del biocarbón en los rendimientos de maíz en sus fincas?

III. MARCO TEÓRICO

1. Biocarbón

1.1. Definición y terminología

La definición del término biocarbón, conocido en inglés como "biochar" ha sido discutido por muchos autores e investigadores y analizado desde diferentes perspectivas. La principal discusión que se ha generado es sobre el reconocimiento de la diferencia determinante entre el carbón vegetal y el biocarbón.

Según Lehmann *et al.* (2006) el término de biocarbón es reciente y está asociado a temas que hacen referencia al manejo de suelos y secuestro de carbono. Como lo indica Karaosmanoglu *et al* (2000) y Derimbas (2004) la palabra biocarbón ha sido empleada para indicar que el carbón vegetal será utilizado para el suelo, por lo tanto el término carbón vegetal durante mucho tiempo y en muchas de las literaturas ha sido usado para describir cualquier material orgánico que sea carbonizado con el propósito de utilizarlo como fuente de energía.

Según McLaughglin (2010), biocarbón es "biomasa modificada térmicamente" que está destinada a ser adicionada al suelo. El comité asesor de "International Biochar Initiative (IBI)" llegó al acuerdo de la siguiente definición de biocarbón: "Biocarbón es carbón vegetal de partículas finas, alto en carbono orgánico y largamente resistente a la descomposición. Es producido a partir de la pirolisis de plantas y residuos de materias primas. Como una enmienda al suelo, el biocarbón crea una reserva recalcitrante de carbono en el suelo que es carbón-negativo, sirviendo como un retiro neto de dióxido de carbono atmosférico almacenado en stocks de carbono de suelos altamente recalcitrantes. La capacidad mejorada de retención de nutrientes de los suelos enmendados de biocarbón no solo reducen la cantidad total de requerimiento de fertilizantes, también el impacto de las tierras de cultivo en el clima y el ambiente" (Joseph *et al* 2009).

1.2. Historia del biocarbón

Antes de que la agricultura fuese dominada por la aplicación de insumos sintéticos, mucho antes de la llamada "revolución verde" la mayor parte del manejo de la fertilidad del suelo dependía de la reserva de carbono que se creó debido a las actividades humanas con el enriquecimiento de los suelos con altas concentraciones de carbón vegetal recalcitrante, muy estable y con nutrientes mayormente disponibles para las plantas comparado con los suelos que lo rodean, estos suelos son mejor conocidos como los suelos antropológicos de "Terra preta de Índio" en la amazonía de Brasil (Lima *et al* 2002).

Los Antrosoles son definidos por la FAO como suelos que han sido profundamente modificados a través de las actividades humanas, tales como la adición de materiales orgánicos o desechos domésticos, de riego y de cultivo. (IUSS 2007). Además de "Terra preta de Índio" incluido

dentro de este orden de suelos según la clasificación de la FAO, se mencionan los hallazgos en "plaggen" creados en la edad media en el norte de Europa (Dinamarca, Holanda, noroeste de Alemania y Bélgica) como resultado de cultivos intencionales, de la misma manera fueron creados por la intervención del ser humano al usar la turba y el estiércol de ganado aplicado en los campos agrícolas, creando suelos húmicos y fértiles en el horizonte superior de suelos arenosos hasta llegar a acumular una capa de 1 metro de profundidad (Liang *et al.* 2006).

Por otro lado se han encontrado suelos con horizontes superficiales negros en las "Grandes llanuras" de Estados Unidos, rico en materia orgánica, donde los incendios de las praderas ocurridos naturalmente han contribuido a un alto contenido de carbón pirogénico (carbón vegetal), estos suelos están dentro de la clasificación de los molisoles según la FAO y se conocen en inglés como "Chernozem (Black Earth)" (Liang *et al*. 2006).

1.3. Tipos de procesos de pirolisis

Taylor y Mason (2010) menciona que existen muchos procesos de pirólisis que están siendo usadas en la industria de la fabricación del biocarbón. A continuación se describen brevemente los principales:

Pirólisis lenta: Se lleva a cabo en la ausencia de oxígeno en autoclaves y hornos. En este proceso los picos de temperaturas son usualmente bajos (Taylor y Mason 2010).

Pirólisis rápida: Resulta en materia finamente molida en pocos segundos. En este proceso habrá una mayor cantidad de compuestos volátiles condensados lo cual afectará el desempeño y los resultados deseables del biocarbón como enmienda del suelo (Taylor y Mason 2010).

Gasificación: En este tipo de procesos genera la combustión de gases inflamables en su mayoría de H2 y CO y sirven para auto alimentar el sistema de producción de biocarbón con calor generado por la combustión de dichos gases. En este tipo de proceso de pirólisis se emplean tecnologías de gasificación TLUD descritas en el siguiente capítulo (Taylor y Mason 2010).

Carbonización: Este sistema se enfatiza en el enriquecimiento de carbono en el carbón vegetal durante la pirólisis. La carbonización también entra en la clasificación de pirólisis lenta y se puede operar entre 400-500°C (Bridgewater 2012). (cuadro 1).

Cuadro 1. Típicos rendimientos del producto (con base en madera seca) de los sistemas de pirólisis. (Bridgewater 2003).

Sistema	Temp °C	Tiempo de residencia	Tasa de calefacción	Carbón %	Líquidos %	Gases %
Carbonización	<400-600	Muy prolongado Hrs a días	Lenta	5-35		
Pirólisis lenta	450-650	Muy prolongado Min. a días	1-100°C/min	35	30	35
Pirólisis rápida	400-500	Corto segundos	Muy rápido	12	75	13
Gasificación	>800	Prolongados	Rápido	10	5	85
Gasificador TLUD	500-750	Minutos	Moderado	20	0	80

1.4. Métodos de producción de biocarbón

Los métodos para calentar la madera y producir biocarbón se verán diferenciados por la presencia o ausencia del oxígeno en los procesos, Taylor y Mason (2010) nos mencionan 3 métodos:

Método 1: Combustión directa (pirólisis óxica)

Parte del material de biomasa en el reactor es quemado con un suministro de aire limitado para crear gases calientes que van pasando y van calentando el resto de la biomasa (Taylor y Mason 2010).

Método 2: Calentamiento indirecto (pirólisis anóxica)

El reactor (contenedor o autoclave) es calentado externamente y no hay entrada de aire dentro del reactor. El calor se transfiere desde las paredes del reactor hacia la biomasa (Taylor y Mason 2010).

Método 3: Calentamiento con gases de re-circulación

Parte de los gases de la pirólisis son quemados en una cámara de combustión externa y los gases calientes son dirigidos hacia el reactor, donde hacen contacto directo con la biomasa (Taylor y Mason 2010).

2. Estufas mejoradas

2.1. Historia de las estufas mejoradas

Entre un tercio y la mitad de la población mundial depende de los biocombustibles sólidos, como: madera, residuos de cosecha, carbón y estiércol para suplir la mayoría de sus necesidades energéticas. Los usuarios de combustible sólido se basan en tecnologías sencillas como colocar tres piedras alrededor del fuego, otras de barro, arcilla, o estufas metálicas que dan lugar a combustión incompleta e ineficiente (UNDP 1997; WRI 1999).

Desde siempre se ha pensado que las estufas que usan leña para cocinar han contribuido la deforestación y la contaminación del aire, estos problemas se han tratado de solucionar mediante planes de reforestación en muchos gobiernos los países del mundo, sin embargo fue recientemente que se pensó que no solo había que trabajar en aumentar la fuente de madera, sino en disminuir la demanda utilizando estufas mejoradas o eficientes que reduzcan la cantidad de leña que utilizan para cocinar (Edwards 2004). Las estufas mejoradas han sido promovidas por muchos gobiernos pensando en la reducción de la deforestación iniciando en China en los años 1980s (Smith et al. 1993). Westhoff y Germann (1995), han registrado experiencias de estufas mejoradas en los continentes de África, Asia y Latinoamérica.

Actualmente se han identificado numerosas propiedades en las estufas mejoradas con respecto a las estufas tradicionales en los hogares, Ahuja *et al.* (1986) desarrollo métodos para determinar el desempeño térmico y las características de las emisiones de las estufas como los primeros pasos en la evaluación de la eficiencia de las mismas, encontrando que estas emitían considerables cantidades de monóxido de carbono dentro de los hogares.

Se ha demostrado científicamente que las estufas mejoradas han disminuido las emisiones de humo y gases de efecto invernadero (Smith 1991; Floor y van der Plas 1992; Bailis *et al.* 2003) y tóxicos para la cocina (Ahuja *et al.* 1987; Ramakrishna 1995; Ezzati *et al.* 2004) que podrían ocasionar enfermedades respiratorias en mujeres y niños que permanecen en el área de la cocina o hacen uso de ella (Smith 1991). Se ha visto una reducción significativa en el uso de madera para cocinar (Edwards 2004; Aristizábal 2010). Además se ha comprobado que en las estufas mejoradas existe un mejor desempeño térmico, permitiendo a los usuarios cocinar en menor tiempo (Bailis *et al.* 2007).

Aunque todas las propiedades anteriores han sido demostradas, las estufas mejoradas no han tenido el éxito que se esperaba en el mercado, los programas de diseminación gubernamentales y no gubernamentales debido a una serie de factores que se han tratado de mejorar, entre ellos: la practicidad de su uso, el aspecto o estilo, vida útil, preparación de la madera, costo, falta de incentivos para el uso del biocarbón como enmienda del suelo (Barnes *et al.* 1994; Bailis *et al.* 2003).

4. Biocarbón como enmienda para el suelo

El biocarbón ha sido considerado como una enmienda en los suelos tropicales por miles de años al mejorar su capacidad de retención de nutrientes, reducir las pérdidas por lixiviación, aportar carbono orgánico, mejorar la retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico entre otras propiedades físicas y químicas del suelo, sin embargo las investigaciones científicas sobre los efectos en el suelo son escasas (Novak *et al.* 2009).

4.1 Mejoras en propiedades químicas del suelo

Los altos contenidos de nutrientes y la alta capacidad de retención de nutrientes del biocarbón tienden a mejorar el suministro de nutrientes para las plantas y por ende reducir las pérdidas de los mismos por lixiviación (Glaser *et al.* 2002; Hua *et al.* 2009). La porosidad y la superficie específica del biocarbón tiene importantes efectos en la capacidad de retención de nutrientes al adherir los aniones y cationes a su superficie (Liang *et al.* 2006).

Se ha demostrado que el biocarbón al ser aplicado al suelo incrementa el pH, el carbón orgánico y el Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca) y fósforo (P) intercambiable, pero también se ha demostrado que acompañado a lo anterior, tiende a disminuir el Aluminio (Al) intercambiable lo cual tiende a reducir la acidez intercambiable (Major *et al.* 2010). Estos efectos son más notorios cuando se aumentan las dosis de biocarbón de >10 ton ha^{-1} (Chan *et al.* 2007; Laird *et al.* 2010).

4.2 Mejoras en propiedades físicas del suelo

Asai *et al.* (2009) Encontraron que al aplicar altas cantidades de biocarbón al suelo se puede mejorar la conductividad hidráulica saturada de los suelos con cultivos de arroz en Luang Prabang provincia en el norte de Laos. De la misma manera Kimetu *et al.* (2008) analizó diferentes dosis de biocarbón (0, 5, 10 y 20 g kg^{-1} de suelo) demostrando que los suelos mejorados con biocarbón retienen mayor cantidad de agua a 1 y 5 bares de presión después de capacidad de campo.

Busscher *et al.* (2010) demostraron que con altas dosis de biocarbón aplicado al suelo (44 Ton ha^{-1}) se obtuvo menor resistencia a la penetración que parcelas que no habían sido aplicadas con biocarbón, los mismos resultados fueron descritos por Chan *et al.* (2007) quien sugiere que se debe de tener cuidado con los porcentajes de humedad de los suelos al realizar las pruebas de resistencia a la penetración en el suelo.

El agua en el suelo puede variar según el contenido de materia orgánica que se encuentre (Chan *et al.* 2007). Algunas pruebas realizadas utilizando biocarbón de bagazo de caña, indican que se reduce la densidad aparente del suelo e incrementa el agua disponible para los cultivos; este fue el caso estudiado por Chen *et al.* (2010).

5. Biocarbón y fertilizantes

Las aplicaciones de biocarbón acompañadas con nitrógeno pueden incrementar los rendimientos de cosecha, como es el caso estudiado por Chan *et al.* (2007), en el que se comprobó que con altas aplicaciones de biocarbón de desechos verdes en presencia de Nitrógeno (N) mejoraron las cosechas de rábano. Los autores Saito *et al*. (2006) afirman que el biocarbón al ser incorporado al suelo sin fertilización nitrogenada tienden a reducir la extracción de nitrógeno del suelo por la planta. De la misma manera lo afirmaron Lehmann *et al.* (2002) explicando que se debía a la inmovilización del nitrógeno por la alta relación C/N del biocarbón.

La gallinaza podría ser considerada como un fertilizante subutilizado debido a que tiene cantidades apreciables de N, P, K y micronutrientes; sin embargo se han registrado muchas pérdidas de nitrógeno debido a la fácil lixiviación y volatilización de amoniaco, emitiendo a su vez fuertes contaminantes atmosféricos considerados como gases de efecto invernadero y contaminantes para las aguas subterráneas cercanas. Steiner *et al.* (2010) realizaron pruebas que indican que al mezclar el biocarbón con la gallinaza se reduce significativamente las pérdidas de nutrientes y se mejora su liberación para las plantas, debido a esto se considera el biocarbón como un producto ideal para incluir en el compostaje de abonos altos en Nitrógeno.

6. Biocarbón en la producción de Maíz (*Zea mays*)

En un estudio realizado en el Oeste de Kenya cultivando maíz más de 100 años se investigó la causa de la reversibilidad de la productividad del suelo, lo cual se le atribuyó directamente a la disminución del carbón orgánico en el suelo. La productividad del maíz decreció hasta el 66% durante los primeros 35 años de cultivo continuo. Al incorporar compostajes de residuos de cosecha en el suelo, la productividad del maíz incrementó en un 57-167%. La productividad en las sitios más degradados duplicó las cosechas de maíz, a su vez disminuyeron las necesidades de aplicación de fertilizantes nitrogenados al cultivo, esto asociado a las mejoras en el suelo proporcionadas por el carbono orgánico del suelo provenientes del biocarbón (Kimetu *et al.* 2008).

Pruebas similares fueron realizadas midiendo la productividad de maíz en Colombia por Major *et al.* (2010), quienes analizaron durante 4 años la aplicación de biocarbón en 0, 8 y 20 ton ha^{-1} en oxisoles, resultando en un incremento significativo durante el primer año aplicando 20 ton ha-1 e incrementando durante el tiempo. Esto se explica por la disponibilidad de nutrientes que los autores encontraron, tales como: calcio y magnesio. Además los análisis de tejidos mostraron que el Ca y Mg son determinantes en el crecimiento del cultivo de maíz.

IV. RESULTADOS RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ Se obtuvo que los suelos con tratamientos que contenían biocarbón retuvieron mayor porcentaje de humedad, hasta un 17.57%, independientemente de la textura.
- ✓ Los suelos con tratamientos que contenían biocarbón elevaron el pH hasta un 7.36.
- ✓ Los suelos con tratamientos de biocarbón con gallinaza elevaron el contenido de los nutrientes de suelo: Ca: 324.4mg/cm^3, K: 110.45mg/cm^3, Mg: 34.53mg/cm^3, N: 35.33mg/cm^3, P: 65.76mg/cm^3.
- ✓ Los tratamientos con biocarbón y gallinaza permitieron un mejor desarrollo radicular de las plantas de maíz
- ✓ Los tratamientos de biocarbón con gallinaza permitieron igualar significativamente las propiedades físico-químicas del suelo con los rendimientos del cultivo de maíz en general.
- ✓ El tiempo total de preparación de los alimentos fue menor en la Estufa mejorada para biocarbón (EMB), comparada con las estufas tradicionales.
- ✓ Los rendimientos de biocarbón fueron de 26% en las estufas mejoradas para biocarbón.
- ✓ Las temperaturas alcanzadas y el consumo de leña en ambas estufas fue igual, excepto cuando se usa la madera para la producción de biocarbón.
- ✓ El 77.8% de los usuarios de las estufas nuevas están muy satisfechos con los resultados del biocarbón en sus cultivos.
- ✓ El 100% de los usuarios de la EMB se sienten muy satisfechos por el hecho de que la nueva estufa pueda cocinar 3 alimentos a la vez.

V. CONCLUSIONES RELEVANTES DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ Las aplicaciones de biocarbón ayudan al suelo a retener mayor contenido de humedad y elevar tanto el pH de los suelos como el contenido nutricional del mismo.
- ✓ Las aplicaciones de biocarbón con gallinaza ayudan a mejorar los rendimientos del cultivo de maíz.
- ✓ La cocina mejorada para biocarbón cocina más rápido debido a que puede cocinar tres alimentos a la misma vez, las temperaturas y consumo de leña son iguales.
- ✓ Los usuarios están muy satisfechos con la estufa mejorada para biocarbón, el humo y el precio sigue siendo una pequeña limitante en su adopción, se sienten apropiados con la estufa y satisfechos con los resultados del biocarbón en el cultivo de maíz de sus fincas.

VI. LITERATURA CITADA

Ahuja, DR; Joshi, V; Smith, KR; Venkataraman, C. 1987. Thermal Performance and Emission Characteristics of Unvented Biomass-burning Cookstoves: A Proposed Standard Method for Evaluation. Biomass 12 (1987) pp. 247-270.

Aristizábal, JD. 2012. Estufas mejoradas y bancos de leña: una alternativa de autoabastecimiento energético a nivel de finca para comunidades dependientes de los bosques de roble de la cordillera oriental. Revista Colombia Forestal Vol. 13 (2): 245-265

Asai, H; Samson, BK; Stephan, HM; Songyikhangsuthor, K; Homma, K; Kiyono, Y; Inoue, Y; Shiraiwa, T; Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. Field Crops Research 111(1-2):81-84.

Bailis, R; Berrueta, V; Dutta, K; Edwards,R; Masera, O; Still, D; Smith, KR. 2007. Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the Household Energy and Health Project. Energy for Sustainable Development. Volume XI No. 2, Disponible en: http://ehs.sph.berkeley.edu/krsmith/publications/2007%20pubs/ESD%20Stove%20Performance.pdf

Bailis, R; Ezzati, M ; Kammen, DM. 2003. Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya. . Environ.Sci. Technol. 37:2051–59

Barnes, DF; Openshaw, LR; Smith, KR; van der Plas, R. 1994. What Makes People Cook with Improved Biomass Stoves: A Comparative International Review of Stove Programs. World Bank Technical Paper Number 242. 60p.

Bridgwater, A.V. 2003. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. Chemical Engineering and Applied Chemistry Department, Bio-Energy Research Group, Aston University, Birmingham B4 7ET, UK. Chemical Engineering Journal 91 (2003) 87–102.

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.

CATIE-PROLENA, 2001. Diagnóstico de la Comercialización de la Leña en Nicaragua.

Chan, KY; Van Zwieten, L; Meszaros, I; Downie, A; Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45(8):629.

Chen, Y; Shinogi, Y; Taira, M. 2010. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters and groundwater quality. Australian Journal of Soil Research, 2010, 48:526-530.

Comisión Nacional de Energía. Balance Energético Nacional, 2000. Managua, Nicaragua

Derimbas, A. 2004. Determination of calorific values of bio-chars and pyro-oils from pyrolysis of beech trunkbarks, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. Vol 72, pp215-219.

Edwards, RD; Smitha, KR; Zhangb, J; Mac, Y. 2004. Implications of changes in household stoves and fuel use in China. Energy Policy 32 (2004) 395–411

Ezzati, M; Bailis, R; Kammen, DM; Holloway, T; Price, L; Cifuentes, LA; Barnes, B; Chaurey, A; Dhanapala, KN. 2004. Energy Management and Global Health. Annual Review of Environment and Resources 29(1):383-419.

Floor, W; Van der Plas, R. 1992. "CO2 Emissions by the Residential Sector: Environmental Implications of Interfuel Substitution." Energy Series Working Paper 51. World Bank, Industry and Energy Department, Washington, D.C., March.

Glaser, B; Lehmann, J; Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. Biology and Fertility of Soils 35(4):219-230.

Hua, L; Wu, W; Liu, Y; McBride, MB; Chen, Y. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. Environ Sci Pollut Res Int 16(1):1-9. Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18751746

INETER. 2011. Boletín Elaborado en el Marco de la Vigilancia Climática. Disponible en : www.ineter.gob.ni/meteorología.htm

IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.

Joseph, S; Peacocke, C; Lehmann, J; Munroe, P. 2009. Developing a Biochar Classification and Test Methods (capítulo 7) en: Lehmann,J; Joseph, S. (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London, UK, p. 107.

Joseph, S; Prasad, KK; van der Zaan, HB. 1990. Bringing Stoves to the People, Foundation for Wood Stove Dissemination, Nairobi, Kenya.

Kar, A; Rehman, IH; Burney, J; Puppala, SP; Suresh, R; Singh,L; Singh, VK; Ahmed, T; Ramanathan, N; Ramanathan, V. 2012. Real-Time Assessment of Black Carbon Pollution in Indian Households Due to Traditional and Improved Biomass Cookstoves. Environmental science and technology.

Karaosmanoglu, F; Isigigur-Ergundenler, A; Sever, A. 2000. Biochar from the straw-stalk of rapeseed plant, Energy and Fuels. Vol 14, pp336-339.

Kimetu, JM; Lehmann, J; Ngoze, SO; Mugendi, DN; Kinyangi, JM; Riha, S; Verchot, L; Recha, JW; Pell, AN. 2008. Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality Along a Degradation Gradient. Ecosystems 11(5):726-739.

Laird, DA; Fleming, P; Davis, DD; Horton, R; Wang, B; Karlen, DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma 158(3-4):443-449.

Lehmann; da Silva, Jr., JP; Steiner, C; Nehls, T; Zech, W; Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, Plant and Soil. 249: 343–357.

_____, J; da Silva Jr; J.P; Rondon, M; Steiner, C; Nehls, T; Zech, W; Glaser, B. 2002. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthorosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments.Plant and Soil 249, 343–357.

_____, J; Gaunt, J; Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems- a review: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Vol 11, pp403-427.

_____, J; Joseph, S. (eds.) 2009. Biocarbón for environmental management: science and technology. London, UK. Earthscan. 416 p.

Liang, B; Lehmann, J; Solomon, D; Kinyangi, J; Grossman, J; O'Neill, B; Skjemstad, JO; Thies, J; Luizão, FJ; Petersen, J; Neves, EG. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. Soil Science Society of America Journal 70(5):1719.

Lima, HN; Schaefer, CER; Mello, JWV; Gilkes, RJ; Ker, JC. 2002. Pedogenesis and Pre-Columbian Lan Use of "Terra preta Anthrosols" (Indian Black Earth) of Western Amazonia. Geoderma. 110:1.

Major, J; Rondon, M; Molina, D; Riha, SJ; Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333(1-2):117-128.

MARENA, 1999. Estudio País sobre Desertificación en Nicaragua.

McLauglin, H. 2010. What is Biochar? (capítulo 6) En: Taylor, P. (ed.). The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment. Global Publishing Group. Australia. 65p.

Morley, J. 1927. Following through with grass seeds. The National Greenkeeper, 1(1):15p.

Novak, JM; Busscher, WJ; Laird, DL; Ahmedna, M; Watts, DW; Niandou, MAS. 2009. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. Soil Science 174(2):105-112.

Ramakrishna, J. 1995. Try and Try Again – Don't Give Up Your Dreams! Participation, women, sustainable development. Participation and Women: Health and Indoor Air Pollution in India. En: Westhoff, B; Germann, D. Stoves Images: A Documentation of Improved and Traditional Stoves in Africa, Asia and Latin America. Commission of the European Communities; SfE, GIZ, Brandes & Apsel Verlag GmbH, Frankfurt am Main, Germany. 32p.

Rapidel, B; Rodríguez, J. 1990. Zonificación Agrometereológica de las Lluvias en Nicaragua. Ministerio de Agricultura y Ganaderia de Nicaragua. Dirección General de Técnicas Agropecuarias. Programa Nacional de Agrometeorología. CATIE, CIRAD ORSTOM. Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales Turrialba, Costa Rica.

Saito, K; Linquist, B; Atlin, G.N; Phanthaboon, K; Shiraiwa, T; Horie, T. 2006. Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos. Field Crops Research 96, 216–223.

Smith, K. 1991. The Health Effects of Biomass Smoke: A Brief Survey of Current Knowledge." Energy Sector Management Assistance Programme Draft Report. World Bank, Industry and Energy Department, Washington, D.C.

_____, K.R., Gu S.H., Huang K., and Qiu D.X., 1993. "One hundred million improved cookstoves in China: how was it done?" World Development, 21(6), pp. 941-61.

Sohi, S; Lopez, E; Krull, E; Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report. Disponible en: http://www.csiro.au/files/files/poei.pdf

Steiner, C; Das, KC; Melear, N; Lakly, D. 2010. Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. Journal of Environment Quality 39(4):1236.

Taylor, P; Mason, J. 2010. Biochar Production Fundamentals (capítulo 9) en: Taylor, P (ed.). The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment. Global Publishing Group. Australia. 113p.

UNDP, Energy After Rio: Prospects and Challenges, United Nations Publications: NewYork, 1997.

Warnock, DD; Lehmann, J Kuyper, TW; & Rillig, MC. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms Plant Soil (2007) 300:9–20

Westhoff, B; Germann, D. 1995. Stoves Images: A Documentation of Improved and Traditional Stoves in Africa, Asia and Latin America. Commission of the European Communities; SfE, GIZ, Brandes & Apsel Verlag GmbH, Frankfurt am Main, Germany. 65p.

Wick, J. 2004. Estufas Mejoradas: Mejorar la Vida, la Salud y el Medio Ambiente. Publicado en Revista Futuros No 5. 2004 Vol. II Disponible en: http://www.revistafuturos.info

WRI, A Guide to the Global Environment, ed. World Resources Institute with UNEP/UNDP and World Bank, Oxford University Press: New York, NY, 1999.

Zuniga, C. 2010. Impacto de los Sistemas de Producción Agropecuarios en el Desarrollo Local Sostenible de Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Vicerrectoria de Investigacion, Postgrados y Proyeccion Social. Facultad de Ciencias Economicas y Empresariales. 40 p.

VII. Artículo 1. 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 León, Nicaragua.

Carlos Aker[1], Gabriela Soto[2], Alejandro Imbach[3], Xiomara Castillo[4], Francisco Garro[5]

[1]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Agricultura Ecológica; UNAN-LEÓN Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencia y tecnología, Agroecología: caker@catie.ac.cr; carlos_aker@hotmail.com
[2]UNA Universidad Nacional De Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Maestría en Agricultura Ecológica. agroecologiauna@gmail.com
[3]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Escuela de Posgrado, Programa de Prácticas del Desarrollo y Prácticas de la Conservación: imbach@catie.ac.cr
[4]UNAN-LEÓN Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencia y tecnología, Agroecología: castilloxio@yahoo.de
[5]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Cambio Climático: festrada@catie.ac.cr

---

Resumen.

Se ha demostrado que el biocarbón mejora las propiedades físico-químicas del suelo y los rendimientos de diversos cultivos y que combinado con gallinaza podría reemplazar el uso de los fertilizantes sintéticos para la producción, sin embargo los efectos de esa combinación no han sido estudiados a fondo. En este experimento se estudia el efecto del biocarbón, la gallinaza, los fertilizantes sintéticos y la combinación de los anteriores en tres clases de texturas diferentes (Franco Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso) en el cultivo de maíz de tres municipios del departamento de León, Nicaragua. Se evaluó la capacidad de retención de humedad medido en % humedad volumétrica utilizando un TDR, velocidad de infiltración de agua, densidad aparente, pH, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, contenido de nutrientes: calcio, magnesio, potasio, nitrógeno de nitratos, fósforo, peso de chilotes, mazorcas, biomasa de plantas y rendimientos de maíz en mazorca. Los resultados nos indican que el suelo puede llegar a retener hasta un 18% aplicando biocarbón con gallinaza el cual a su vez disminuye la densidad aparente del mismo hasta 0.82, 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 la aplicación de Biocarbón con gallinaza produce resultados positivos al acondicionar los suelos Franco Arcillo Arenosos para permitir un mejor desarrollo radicular de las plantas de maíz e igualar significativamente las propiedades físico-químicas del suelo al igual que los rendimientos del cultivo de maíz en general.

Palabras clave: Biocarbón, gallinaza, humedad, nutrientes, suelo, maíz, raíz.

Abstract
It has been demonstrated that biochar improves soil physical-chemical properties and crop yields, and that mixed with poultry manure could replace the use of synthetic fertilizers for production, perhaps the effects of this combination haven't been studied deeply. In this experiment it is studied the effect of the biochar, poultry manure, synthetic fertilizers and the combination of these in three different textural classes (Sandy Loam, Loamy Sand and Clayey Sandy Loam) in corn crop in three municipals of the department of León, Nicaragua. Water holding capacity measured as a percentage of water bulk using a TDR, water infiltration rate, bulk density, pH, cationic exchange capacity, organic matter, nutrients contents: calcium, magnesium, potassium, nitrogen from nitrates, phosphorus, baby corn and corn cob weigh, plant biomass and corn cob yield have been evaluated. The results indicate that the soil can hold 18% of water in the biochar with poultry manure incorporated to the soil, in wich the bulk density went lower at 0.82g/cm^3, it also increased the pH into 7.36 and the macronutrient content of the soil, Ca: 324, K: 111, Mg: 35, N: 35, P: 66 (mg/100g); additionally to these results, the application of biochar with poultry manure to the soil generates positive results to condition the Clayey Sandy Loam soil, so it can permit a better radicular growing of the corn plants and obtain very much the same significant results with the soil physical-chemical properties and the corn yields in general.

Keywords: Biochar, poultry manure, moisture, nutrients, soil, corn, roots.

Introducción

Los efectos del cambio climático han ocasionado que las lluvias en la región seca del pacífico de León, Nicaragua sean escasas y poco continuas, permitiendo largos períodos de hasta semanas sin recibir precipitaciones, esto ocasiona que muchos de los cultivos de la zona sean abortados y perdidos por marchitez, sumado a esto está la creciente deforestación, este es un efecto que hace pocos años no era muy común en el trópico seco del occidente del país (CATIE-PROLEÑA 2001). Además muy pocos productores cuentan con sistemas de riego que les permitan adaptarse a esta eventualidad (Rapidel y Rodriguez 1990). Las recientes investigaciones realizadas en los países en desarrollo han demostrado que los suelos con un contenido más alto de materia orgánica (Lal 2006; Kimetu *et al.* 2008), y suelos que han recibido aplicaciones de biocarbón incrementan su capacidad de retener nutrientes y agua hasta un 11% (Laird *et al.* 2010; Karhu *et al.* 2011) que suelos que se manejan de forma convencional, sin aplicaciones de algún tipo de abono orgánico debido a la alta porosidad de las partículas de biocarbón (Major *et al.* 2010; Vaccari *et al.* 2011); esto permite precisamente que la planta cuente con más agua disponible en el suelo para poder absorber nutrientes, desarrollar sus raíces y crecer rápidamente con el objetivo de evitar riesgos por una eventual sequía en medio de una temporada lluviosa, en este tema podemos incluir el efecto de sequía de la canícula para los cultivos de la época de mayor precipitación (Karhu *et al.* 2011).

La fertilidad de los suelos ha sido impactada por las prácticas agrícolas convencionales, las cuales incluyen la aplicación de fertilizantes nitrogenados acelerando la acidificación de los suelos haciendo el suelo menos fértil y aprovechable para la agricultura (Guo *et al.* 2010). Con las adiciones de enmiendas de biocarbón hay mejoras para los suelos en cuanto a características químicas (Lehmann *et*

al. 2003), incrementando los niveles de pH (Xu *et al.* 2012; Novak *et al.* 2009) disminuyendo la necesidad de adicionar fertilizantes nitrogenados al suelo (Widowati *et al.* 2012) mejorando la CIC, incrementando la cantidad de materia orgánica a largo plazo (Liang *et al.* 2006). A su vez el biocarbón siendo un producto orgánico muy estable en el suelo con tendencia a ser mineralizado (Bol *et al.* 2000) demuestra aumentar los contenidos de calcio, magnesio, potasio (Novak *et al.* 2009) la disponibilidad de fósforo y la retención del nitrógeno amoniacal y disminuir su pérdida por lixiviación (Ding *et al.* 2010; Liang *et al.* 2006). Además se encuentra que mejora la porosidad de los suelos lo cual es esencial para el desarrollo radicular de las plantas disminuyendo con el biocarbón la densidad aparente de los suelos (Steiner *et al.* 2007).

Una vez que el biocarbón ha mejorado las condiciones de fertilidad de los suelos, los cultivos empiezan a aprovechar las ventajas de dichas enmiendas. El maíz sigue siendo uno de los principales cultivos agrícolas de autoconsumo y comercio en Nicaragua que a su vez forma parte de la dieta básica de la población (Córdoba *et al.* 2002). La aplicación del biocarbón al suelo ha demostrado mejorar los rendimientos en el cultivo de maíz al paso del tiempo, sin embargo las dosis altas de biocarbón de 20 t ha^{-1} en una sola aplicación ha señalado tendencias a incrementar los rendimientos de maíz en suelos oxidados (Major *et al.* 2010). La aplicación de biocarbón en suelos maiceros secos, infértiles y pobres en materia orgánica incrementó los rendimientos según Zhang *et al.* (2011). Las enmiendas de biocarbón al suelo permiten que las plantas de maíz puedan incrementar la absorción de nitrógeno hasta en un 15% comparadas con las fertilizadas completamente con agroquímicos (Rajkovich *et al*. 2011), lo cual indica un mejor aprovechamiento de los nutrientes y menos pérdida en el suelo.

Los investigadores sugieren que el biocarbón debe de ser aplicado en húmedo y junto con otros fertilizantes orgánicos y desechos mismos de la producción agropecuaria para poder observar resultados a corto plazo en los rendimientos de diferentes cultivos (Hua *et al.* 2009). La gallinaza (G) por si sola se le considera como un fertilizante orgánico muy completo en macro y micro nutrientes para el suelo, sin embargo la aplicación de G al suelo sin un material complementario induce a la pérdida de los nutrientes volátiles como el nitrógeno amoniacal, promoviendo a su vez la contaminación ambiental, para esto Steiner *et al.* (2010) comprobó que al aplicar biocarbón durante el proceso de compostaje de la G disminuye las emisiones de gases amoniacales y por supuesto la pérdida de Nitrógeno de la gallinaza haciéndolo una mejor fuente de fertilizante. La combinación del biocarbón con gallinaza o la aplicación de ambos en el mismo suelo han demostrado ser un excelente asocio para incrementar tanto los rendimientos de los cultivos como las propiedades físico-químicas del suelo e impedir la pérdida de nutrientes del mismo (Steiner *et al.* 2007). La eficiencia de la combinación del biocarbón y la gallinaza tanto en rendimientos como en los parámetros de suelo ha sido estudiada recientemente en la región tropical centroamericana en diferentes cultivos mostrando efectos positivos en muchos aspectos, tanto en rendimientos como en la mejora de las propiedades del suelo: Cacao

(*Theobroma cacao* L.) (Hojah *et al.* 2012) en arroz (*Oryza sativa* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (Steiner *et al.* 2007). Los objetivos de esta investigación fueron analizar el impacto del uso del biocarbón en diferentes combinaciones con abonos (testigo, solo biocarbón, biocarbón y gallinaza, fertilizante, biocarbón y fertilizante) de tres texturas diferentes de suelo (Franco Arcillo Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcilloso) en las propiedades físico-químicas del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz NB-6 (*Zea mays*) en temporada lluviosa.

Metodología

Descripción del suelo en el área de estudio. La presente investigación se realizó en nueve fincas, en los municipios de Telica, La Paz Centro y León, todas dentro del departamento de León, Nicaragua en el año 2013. La precipitación promedio durante el período de cultivo en el municipio de La Paz centro fue de 198 mm, en Telica fue de 338 mm, en León fue de 418 mm. Los suelos estudiados pertenecen al órden taxonómico de los inceptisoles y al suborden anthropic por la acción humana: Anthrepts (USDA 2010). En el municipio de Telica se seleccionaron tres fincas con texturas de suelo Arenoso Franco (%Arcilla 11, %Limo 13, %Arena 76), con estructuras granulares muy fino, los cultivos antecesores al experimento eran: yuca (*Manihot esculenta*), ajonjolí (*Sesamun indicum*) y maíz (*Zea mays*); en el municipio de La Paz Centro se seleccionaron tres fincas con texturas de suelo Franco Arcillo Arenoso (%Arcilla 23, %Limo 23, %Arena 54), con estructuras de bloques subangulares gruesos y granular muy grueso, anteriormente se cultivaba maíz y en el municipio de León se seleccionaron tres fincas con texturas de suelo Franco Arenoso (%Arcilla 8, %Limo 38, %Arena 53), con estructura de suelo granular medio, antes de las parcelas experimentales se cultivaban hortalizas, en general cucurbitáceas y maíz La caracterización de suelo se hizo en el horizonte A comprendido desde 0 a 25cm, luego de un pase de arado y rastra liviana a 25 cm de profundidad (capa arable) para la preparación del terreno. Los análisis texturales fueron realizados en el laboratorio de suelos de la UNAN-LEÓN, utilizando el método de densidad y la técnica de Bouyoucos con el triángulo textural USDA.

Procedimiento experimental. Se establecieron parcelas experimentales de $400m^2$ en cada finca, dividida en 8 parcelas de $16m^2$ cada una para la aplicación de los diferentes tratamientos: Testigo/control (T), Biocarbón (B), Gallinaza (G), Biocarbón + Gallinaza (BG), Biocarbón + Fertilizantes sintéticos (BF), Gallinaza + Fertilizantes sintéticos (GF), Biocarbón + Gallinaza + Fertilizantes sintéticos (BGF). El establecimiento de las parcelas se hizo en la temporada seca, en el mes de febrero.

Biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. El biocarbón se obtuvo usando un horno de tipo "55-gallon drum TLUD", Tambor TLUD de 55 galones, aproximadamente 200L, con el principio de pirolisis lenta y gasificación de "Top-lit UpDraft" desarrollado por el Dr. Thomas B. Reed's en el año 2003 (Anderson *et al.* 2007) el cual tuvo un rendimiento del 15% aproximadamente en esos tipos de madera utilizados, alcanzando temperaturas de hasta 450 ˚ C durante 2 horas en la carbonización de la biomasa en la parte inferior de dentro del reactor y hasta 550˚C en la parte superior de gasificación. Se produjo

un total de 864 kg de biocarbón, partiendo de la mezcla de 5760 kg de madera de tres fuentes: Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) y Tigüilote (*Cordia dentata* Poir). Se usaron 2000 kg de madera seca de tigüilote, 1820 kg de eucalipto y 1940 kg de neem, se eligieron estas especies por su utilidad y abundancia en la zona, siendo las fuentes de madera más usados por la población rural para sus estufas. El contenido de materia orgánica del biocarbón de neem según su peso fue mayor que el resto (89%) y el pH de las tres fuentes de biocarbón fue de 10. Nutricionalmente el biocarbón de tigüilote aporta en contenido más micronutrientes, P: 11.5 mg/100g, Cu: 13.8 mg/100g, Fe: 11.5 mg/100g y Zn: 16.7mg/100g que las otras maderas. El biocarbón fue aplicado e incorporado en el suelo en una sola aplicación antes de la siembra con una dosis de 15 t ha^{-1}, equivalente a 24kg en aquellas parcelas que llevan este tratamiento, luego de analizar la capacidad de abastecimiento de madera para la producción de biocarbón en la zona y las recomendaciones de los autores de recientes investigaciones de biocarbón en gramíneas. El 73% del biocarbon aplicado al suelo tenía tamaños de partícula entre 9 y 2 mm de diámetro y el 27% con tamaños menores de 2mm. La gallinaza fue comprada a un granjero local de gallinas ponedoras en el municipio de León, la producción de huevos funciona en un sistema de ponedoras de piso. La gallinaza fue recolectada del piso, conteniendo material de cama (aserrín), alimentos balanceados altos en calcio y estiércol de gallina. Según el análisis nutricional de la gallinaza, esta contiene: P: 3 mg/100g, Ca: 10 mg/100g, K: 4 mg/100g, Cu: 33 mg/100g, Fe: 11 mg/100g, Mn: 5 mg/100g, Zn: 24 mg/100g. (Cuadro 2) Se aplicó a una dosis de 15 t ha^{-1}, equivalente a 24kg en las parcelas que llevan ese tratamiento, esta fue incorporada al suelo en tres momentos: 8 kg antes de la siembra, 8 kg a los 15 después de la siembra y 8 kg a los 45 días de cultivo.

Cuadro 2. Valores de los parámetros físico-químicos del biocarbón proveniente de tres fuentes de madera, su combinación y la gallinaza

		Materiales				
Técnica	**Parámetros físico - químicos**	**Biocarbón Combinado**	**Biocarbón Eucalipto**	**Biocarbón Neem**	**Biocarbón Tiguilote**	**Gallinaza**
Potenciometría	**pH**	10.3	10.3	10.3	10.2	8.7
Conductimetría	**CE (mS/cm)**	2.3	1.7	1.8	2.8	6.5
Calcinación	**MO %**	86.7	85.8	89.3	78	64.4
Espectrofotometría AA	**P2O5 mg/100g**	3.2	2.1	1.7	4.3	2.8
Espectrofotometría AA	**K2O mg/100g**	2.3	2.1	2.2	3	4
Espectrofotometría AA	**CaO mg/100g**	6.7	8.5	6.8	7.8	10.1
Espectrofotometría AA	**MgO mg/100g**	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
Volumetría	**CIC meq/100g**	7.6	1.1	1.5	1.1	15.3
Espectrofotometría AA	**Cu mg/100g**	9.4	7	9.1	13.8	33.3
Espectrofotometría AA	**Fe mg/100g**	10.5	8.4	10.8	11.5	11
Espectrofotometría AA	**Mn mg/100g**	5	3.6	5.7	5.7	5.2
Espectrofotometría AA	**Zn mg/100g**	17	12.7	15.4	16.7	23.9

Según McLaughglin (2010), la sostenibilidad del biocarbón en el suelo está dada por su larga duración y resistencia a la descomposición en los suelos, ya que las bacterias, hongos y microorganismos pueden habitar entre las estructuras del biocarbón, pero no alimentarse de ellas. Se utilizó como fertilizantes sintéticos, un completo 12-30-10 (NPK) aplicado a chorro corrido en los surcos justo antes de la siembra, a una dosis de 284 kg ha^{-1}, es decir 0.45 kg por 16 m^2, luego a los 15 días se aplicó urea (46-0-0) a una dosis de 284 kg ha^{-1}, es decir 0.45 kg por 16 m^2, a los 45 días se aplicó sulfato de amonio (21% nitrógeno y 24% azufre) por punto a una dosis de 284 kg ha^{-1}, es decir 0.45 kg por 16 m^2.

Cultivo. El maíz era de la variedad NB-6, fue sembrada al espeque con 3 semillas por punto distanciados a 0.25 entre sí. Se realizó un raleo a los 10 días después de la siembra para un total de 108 plantas por 16 m^2, con una densidad de 67,500 plantas por hectárea; cada parcela con los tratamientos estaba constituida por 6 surcos distanciados entre sí a 0.7 m. El mismo cultivo se realizó en dos temporadas del año, en temporada seca y temporada lluviosa.

Capacidad de retención de agua. Para conocer cuál es el efecto de los tratamientos en la capacidad de retención de agua en el suelo, según la textura, se realizaron mediciones del porcentaje de humedad volumétrica (%HV) a los 15 días después de la siembra durante la temporada seca con el propósito de uniformizar la cantidad de agua aplicada a todas las parcelas, tomando mediciones en 10 puntos de cada parcela de 16 m^2 usando un TDR de humedad instantánea de suelo "MP406" (Tapias *et al.* 2001). El procedimiento consiste en introducir el medidor al suelo a una profundidad de 10 cm para medir el porcentaje de humedad volumétrica. Esta operación se realizó antes de la siembra para asegurarnos de que no había humedad en el suelo (0%) antes de ser regada y a los 15 días después de la siembra con un régimen de riego estable, que equivale a 48 L por cada tratamiento de 16 m^2 tanto por la mañana (6:00 am), como en la tarde (4:30 pm) para hacer un total de 96 L de agua al día. La medición del %HV se realizó a las 7:00 am, antes del riego de la mañana, para evitar que las parcelas fuesen expuestas a la radiación solar y prevenir la evaporación del agua del suelo. Se partió del principio que consiste en dejar infiltrar el agua gravitacional que estaba contenida en los macroporos (10-50 micras) de las partículas de suelo desde el último riego del día anterior, realizado a las 4:30 pm y medir únicamente el agua que quedo retenida de manera higroscópica (<10 micras) y no higroscópica (capilar) en los meso y micro poros del suelo (Prieto 2004).

Infiltración de agua. Para conocer el efecto de los tratamientos y las texturas en cuanto a la velocidad de infiltración de agua, Se recolectarán 4 muestras por cada tratamiento, para un total de 288 muestras usando los cilindros metálicos a los 50 días después de la siembra usando el método de "Flujo de agua" (Reyes 2010), que consiste en colocar las muestras con los cilindros previamente secados al horno a 105˚C por 24 horas y luego saturarlos completamente en agua, para luego medir el coeficiente de infiltración (*K*), tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$K = \frac{QL}{At\Delta H}$,donde: *K* es la constante de infiltración (cm/s), *Q* es la cantidad de flujo de agua (20 ml), *L* es el espesor del cilindro (5.1 cm), *A* es el área de la superficie de la muestra (19.6 cm^2) y ΔH es la diferencia de las cabezas de agua (6.8 cm).

Densidad aparente. Para la medición de la densidad aparente, se recolectaron 4 muestras en cada tratamiento, para un total de 288, utilizando los cilindros de densidad aparente (Forsythe 1985), estos fueron llevados a secado en un horno a una temperatura de 105 ° C por 24 horas para obtener el valor de la masa seca (Ms), dividido entre el volumen total de la muestra en el cilindro (Vtotal):

$$\textbf{Dap} = \frac{Ms}{Vtotal}$$

Análisis de suelos. Se recolectó una muestra compuesta por 5 submuestras de cada tratamiento, para un total de 72 muestras del experimento a una profundidad entre 20-25 cm a los 45 días de cultivo en temporada seca y se realizaron análisis de parámetros químicos de pH utilizando la técnica de potenciometría, capacidad de intercambio catiónico usando la técnica de volumetría, materia orgánica con la metodología de Walkley Black, nitratos (NO^3) usando la técnica de cataldo modificado, fósforo utilizando Bray II, potasio, calcio, magnesio y sodio usando la metodología de acetato amónico 1N pH 7. Esta metodología fue implementada por el laboratorio de suelos de la UNAN-LEÓN.

Producción de maíz. En la temporada lluviosa, se volvió a realizar la siembra de maíz aplicando los mismos tratamientos que en la temporada seca a excepción del biocarbón que ya estaba incorporado en el suelo. Las precipitaciones durante el período de cultivo no fueron constantes en todas las áreas, sin embargo las diferencias en cantidades de agua entre los municipios fue uniformizada complementando con agua utilizando riego por goteo y regaderas de mano hasta llegar a un total de 503 mm en cada municipio equivalente a 8045 L en cada tratamiento de 16 m^2 durante un período de 85 días. A los 60 días después de la siembra en temporada lluviosa se cosecharon los chilotes (elotes en formación pequeños), seleccionando aquellos que estaban en la parte inferior/baja de la planta, para dejar crecer el chilote superior que formaría más tarde la mazorca de cosecha. A los 85 días se cosecharon todos los elotes de cada tratamiento y se obtuvo el peso (kg) en una balanza, para obtener los pesos de producción promedio de cada tratamiento. Se escogieron 10 plantas al azar de cada tratamiento, para hacer un total de 720 plantas del experimento y fueron pesadas y llevadas al laboratorio para secarlas al horno a 60-70 ° C durante 48 horas, luego se volvieron a pesar para obtener el peso seco de la planta completa con sus raíces; también se obtuvo el peso seco de las raíces (kg) y se midió la profundidad (cm) de las raíces de las plantas de maíz. Se procedió a realizar un cálculo del rendimiento de la producción de maíz en elotes en toneladas por hectárea (t ha^{-1}) (Major *et al.* 2010).

Análisis estadístico. El efecto de los tratamientos fue determinado con los análisis de varianzas (ANOVA) de los Modelos Lineales y Mixtos de Infostat© utilizando parcelas divididas en un Diseño Completamente al Azar. La separación de medias se realizó usando “least significant

difference test (LSD)" (Little and Hills, 1978) y DGC (Di Rienzo *et al.* 2002).

Resultados y discusión

Propiedades físicas de suelo y desarrollo radicular

Densidad aparente. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el estudio de la densidad aparente del suelo en la interacción entre las clases de textura y los diferentes tratamientos (p=0.0028). Los mejores tratamientos fueron los que tuvieron como resultado densidades aparentes bajas (letra b) y fueron aquellos que contenían biocarbón y mezclas con otros abonos: B, BxG y BxGxF $\bar{x} =$ 0.84 g/cm^3, 0.82 g/cm^3 y 0.83 g/cm^3 respectivamente, (DGC, α=0.05). El caso contrario ocurrió con las densidades aparentes de los suelos de textura Arenoso Franco y Franco Arenoso, que no fueron diferentes significativamente y tuvieron densidades aparentes de suelo altas (Fig. 1). Resultados similares reportan Chen *et al*. (2010), quienes encontraron que en suelos aplicados con biocarbón de la bagasa de caña la densidad aparente llegaba a medir 0.70 g/cm^3 comparado con 1.07 g/cm^3 del control donde no se aplicó algún tipo de biocarbón. Efectos similares fueron observados por Laird *et al.* (2010) en el suelo al aplicar diferentes proporciones de biocarbón.

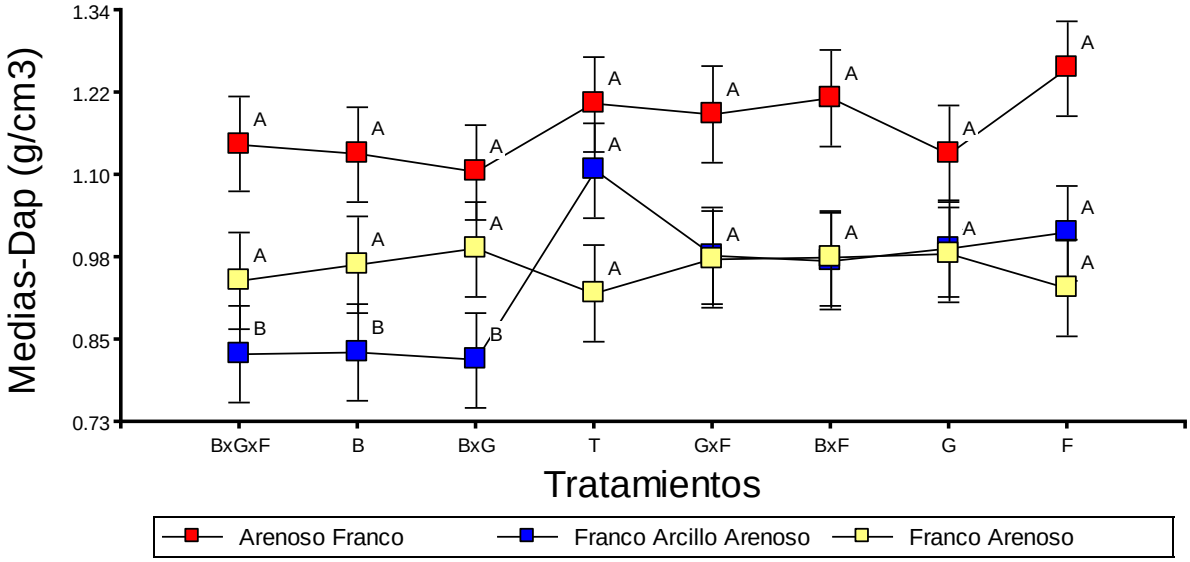


Figura 1. Densidad aparente (Dap) (g/cm^3) del suelo en cada tratamiento en tres texturas diferentes a los 50 días después de la siembra en temporada seca. Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

Infiltración de agua. La velocidad de infiltración de agua no tuvo efecto significativo entre los distintos tratamientos, pero si hubo diferencias significativas entre

las diferentes texturas de suelo (p=0.0050), siendo la textura Franco Arcillo Arenoso la que tuvo mayor media con $\bar{x}$ =0.0144 cm/s. Este suelo a su vez se caracterizaba por tener una estructura de bloques sub-angulares gruesos, lo que influencia directamente la velocidad de infiltración de agua. Los resultados de la velocidad de infiltración son consistentes con los resultados encontrados por Busscher *et al.* (2010), quienes no encontraron diferencias significativas en la infiltración al agregar biocarbón al suelo en comparación con suelos sin enmiendas, en la discusión explican que la infiltración está directamente relacionada con la dureza del suelo (Wheaton *et al.* 2008; Osuna *et al.* 2006). El agua que se pierde en el suelo por infiltración es aquella que estaba contenida en los macro-poros y espacios inter-estructurales debido a la gravedad y la poca tensión que pueden generar los agregados (Liu *et al.* 2003); en este caso la presencia de bloques sub-angulares y la baja densidad aparente del suelo con textura Franco Arcillo Arenosa produjeron un efecto similar. Esto es una gran ventaja para el promover desarrollo radicular de las plantas y para evitar encharcamientos en el suelo durante la época lluviosa (Osuna *et al.* 2006; Liu *et al.* 2003).

Humedad volumétrica. Por otro lado, el porcentaje de humedad volumétrica (%HV) no tuvo efecto significativo entre los distintos tipos de textura, pero si hubo diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos (p<0.0001). Se realizó un LSD de Fisher (α=0.05), encontrando diferencias significativas en entre las medias de los tratamientos, siendo mejores aquellos que contienen biocarbón comparado con los que no tienen biocarbón, sin embargo se observa una tendencia a mejorar la capacidad de retención de humedad en los tratamientos que contenían biocarbon y gallinaza (BxG) con la mayor de las medias $\bar{x}$ = 18% aunque no es estadísticamente diferente de los tratamientos con biocarbón (Fig. 2)**.** Este resultado de la aplicación de biocarbón con gallinaza a una dosis de 15 t ha^{-1} tanto biocarbón como de gallinaza fue relativamente igual que el encontrado por Karhu *et al.* (2011) que era de 11% de capacidad de retención de agua pero con una dosis de 9 t ha^{-1} de biocarbón. De forma similar son los datos obtenidos por Laird *et al.* (2010) comparando la retención de agua con tres dosis diferentes de biocarbon y de gallinaza, obteniendo mayores resultados en dosis de 20 t ha^{-1} de biocarbón, tampoco tuvieron diferencias estadísticamente significativas al usar o no gallinaza para la variable de retención de humedad. En general a mayor dosis de biocarbón se logrará tener una mayor capacidad de absorción de agua (Glaser *et al.* 2002). Estos resultados se explican debido a que el biocarbón ayuda a bajar la densidad aparente de los suelos, lo cual permite que haya más espacios de aire y espacios porosos que permitan una mayor retención de agua (Chen *et al.* 2010; Osuna *et al.* 2006).

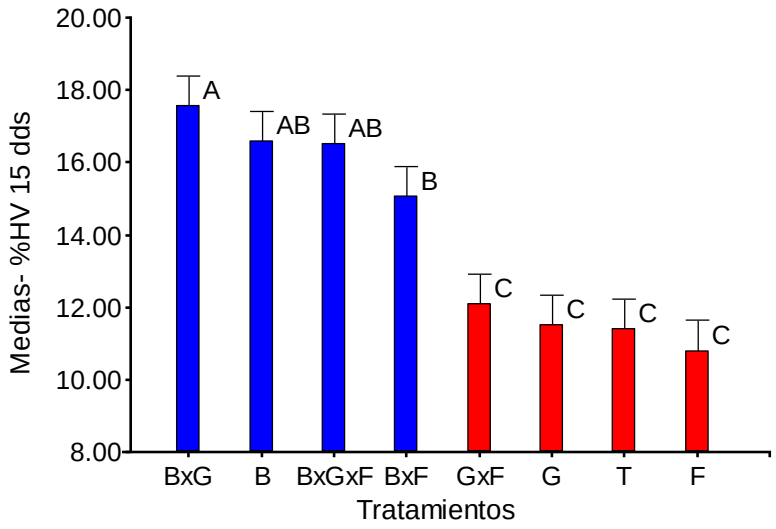


Figura 2. Porcentajes de retención de humedad volumétrica (%HV) de cada tratamiento a los 15 días después de la siembra. Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

Desarrollo radicular. En el desarrollo radicular de las plantas de maíz se ha encontrado que tanto en la profundidad como en la biomasa total de las raíces han tenido interacción significativa entre los efectos de los diferentes tipos de textura de suelo y los tratamientos (p=0.0117 y p=0.0306), respectivamente. En el caso de la profundidad de raíces el efecto de las interacciones está dado por los tratamientos de Biocarbón con Gallinaza (BxG) y Gallinaza (G), en texturas Franco Arcillo Arenoso, los cuales muestran las mejores medias: $\bar{x}$ =27 cm y 28 cm, respectivamente. En la variable de biomasa total de raíces las medias más altas están dadas por las texturas de suelo: Arenoso Franco y Franco Arenoso, sin embargo la aplicación de gallinaza en un suelo Franco Arcillo Arenoso registró una media de: $\bar{x}$ =0.023 kg, la cual a su vez no es significativamente diferente de las mayores medias de las mejores texturas registradas para el desarrollo radicular, lo que indica que enmiendas de biocarbón con gallinaza pueden hacer mejoras en la textura menos favorable para el desarrollo radicular, (Fig. 3)**.** En el suelo se pudo observar que las raíces eran más fibrosas y tenían mayor longitud para estos tratamientos, lo más sorprendente es encontrar que las raíces están directamente allegadas a las pequeñas estructuras de biocarbón que fueron puestos en el suelo. Efectos similares encuentran Lehman *et al.* (2003), quienes compararon suelos antrosoles en la Amazonía y suelos ferralsoles con enmiendas de biocarbón encontrando que en los suelos con aplicaciones de biocarbón las raíces estaban incrustadas alrededor de las piezas de biocarbón e incluso se encontraban atravesando las estructuras, lo cual indica que los nutrientes en el biocarbón estaban muy

disponibles y que las raíces podían tener acceso a ellas, también agregan que los nutrientes pudieron haberse movido de las piezas de biocarbón hacia la rizósfera. Las enmiendas orgánicas y la presencia de biocarbón en el suelo incrementa el banco de nutrientes en la zona radicular (Steiner *et al.* 2007). Sin embargo, la estructura del suelo es el factor que más influye en el crecimiento de las raíces, ya que afecta el abastecimiento de oxígeno, agua y nutrientes a la solución del suelo (Vaz *et al*., 2001).

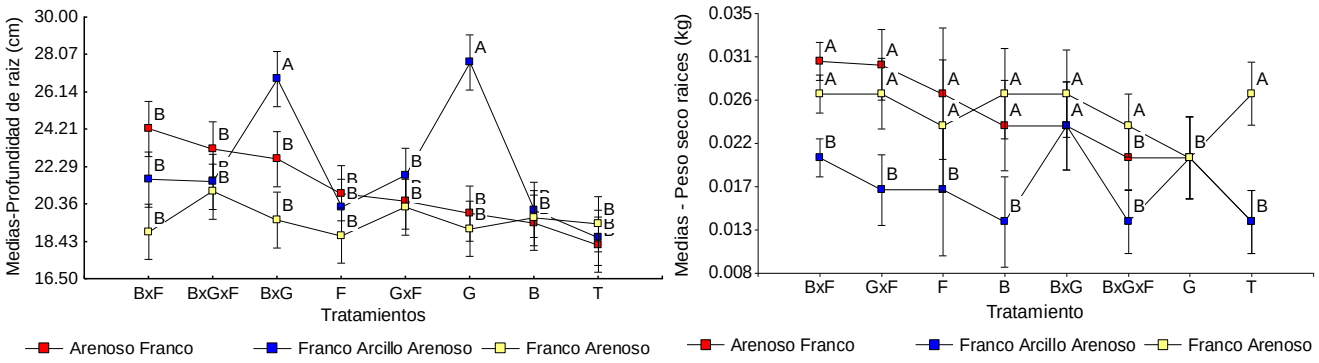


Figura 3. Efecto de las texturas y de los tratamientos en la profundidad de raíces y peso seco (biomasa) de las mismas a los 85 días después de la siembra. Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticosDGC, medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

Propiedades químicas de suelo. No se encontró diferencias significativas del efecto de los tratamientos en los valores de la Materia Orgánica (MO) y de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) con 15 t ha^{-1} que solo tenían diferencias significativas debido al efecto de las texturas (p=0.0001 y p=0.0001), respectivamente; los mayores porcentajes de MO y CIC se obtuvieron de las texturas Franco Arcillo Arenoso, debido al alto contenido de arcillas, según también lo explican Xu *et al.* (2012). Pero si se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para el estudio del pH del suelo (p=0.0004). Se encontraron diferencias significativas entre las medias de letras diferentes, siendo mejores los tratamientos que contienen un nivel alto de pH, en este caso, fueron todos aquellos tratamientos que contenían biocarbón o la mezcla con el mismo: B, BxG, BxF y BxGxF: $\bar{x}$ = 7.4, 7.4, 7.4 y 7.5 respectivamente, para cualquier tipo de textura (LSD Fisher, α=0.05). Por otro lado los tratamientos con aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y la parcela Testigo no fueron diferentes significativamente reportando los valores más bajos de pH encontrados en los análisis de suelo: 6.6, 6.9 respectivamente.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo acelera la actividad microbiana, la cual

se alimenta directamente de los compuestos de carbono en el suelo, disminuyendo la CIC y directamente la capacidad buffer del suelo para mantener un equilibrio de los hidrogeniones [H^+] en la solución del suelo (Guo *et al.* 2010). El biocarbón no solo frena la disminución del pH en un suelo, sino que a su vez incrementa los valores del mismo, debido a la alta CIC que posee el mismo antes de ser aplicado al suelo, lo cual ayuda a absorber y adherir altas concentraciones de hidrogeniones [H^+] que pudiesen acidificar el suelo (Atkinson *et al.* 2010; Xu *et al.* 2012). Lehman *et al*. (2003) también reportan que los valores de pH son mayores en los antrosoles donde se aplicó biocarbón por muchos años comparado con ferralsoles, además agrega en su investigación que el encalado al suelo incremento el pH de la misma manera que lo hizo las enmiendas de biocarbón, no hubo diferencias entre las medias en ambos tratamientos.

Con respecto al contenido nutricional del suelo aplicado con los diferentes tratamientos se encontraron diferencias significativas en cuanto al contenido de P_2O_5 ($p=0.0128$) siendo los mejores aquellos que contenían biocarbón y gallinaza: BxG, BxGxF, GxF y G: $\bar{x} =$ 66 mg/100g, 62 mg/100g, 82 mg/100g y 49 mg/100g respectivamente, todos siendo significativamente iguales. El biocarbón a su vez, incrementa la disponibilidad de fósforo en el suelo debido a la alta capacidad de retención que este tiene debido a la alta porosidad y la biodisponibilidad del mismo en el suelo por la acción de los microorganismos (Atkinson *et al.* 2010; Edelstein y Tonjes 2012; Wang *et al.* 2012); también hubo diferencias significativas de los tratamientos en cuanto al contenido de K2O ($p<0.0001$) y CaO ($p<0.0001$). Para el caso del K20, los tratamientos que tuvieron mayor media fueron: BxG, GxF y BxGxF, $\bar{x} =$ 111 mg/100g, 115 mg/100g, 139 mg/100g respectivamente; y para CaO, las mayores medias fueron dadas por todos los tratamientos que recibieron biocarbón o alguna combinación con el mismo: B, BxG, BxF, BxGxF, $\bar{x} =$ 368 mg/100g, 324 mg/100g, 321.5 mg/100g y 333 mg/100g respectivamente. Las aplicaciones de biocarbón incrementan el contenido de nutrientes en el suelo, incluyendo las bases intercambiables de potasio (K_2O) y calcio (CaO) con lo cual podríamos decir que el biocarbón tiene el potencial para enriquecer los suelos, independientemente de su textura y edad (Laird *et al.* 2010; Belyaeva y Haynes 2011; Rajkovich *et al.* 2011), (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diferencias de los efectos de los diferentes tratamientos aplicados al suelo sobre sus propiedades fisicoquímicas. Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

	Tratamientos								
Parámetros	**T**	**B**	**G**	**F**	**BxG**	**BxF**	**GxF**	**BxGxF**	**Valor-p**
pH	6.85^{bc}	7.37^{a}	6.86^{bc}	6.63^{c}	7.36^{a}	7.36^{a}	7.1^{ab}	7.46^{a}	0.0004
MO %	3.62	3.18	3.23	3.08	3.37	3.32	3.66	3.66	0.4503
CICmeq/100g	6.31	7.49	6.84	7.99	6.76	7.00	6.86	7.63	0.9599
P2O5mg/100g	23.9^{b}	24.36^{b}	49.06^{a}	27.23^{b}	65.76^{a}	32.16^{b}	81.71^{a}	61.57^{a}	0.0128
K2O mg/100g	44.92^{c}	71.19^{b}	76.08^{b}	41.51^{c}	110.45^{a}	66.94^{b}	114.96^{a}	139.25^{a}	<0.0001
CaO mg/100g	246.17^{c}	367.61^{a}	279.51^{b}	246.17^{c}	324.40^{a}	321.52^{a}	285.78^{b}	333.14^{a}	<0.0001

En el caso del contenido de magnesio y nitratos se encontró que existe una interacción significativa entre los diferentes tratamientos y las clases de texturas (p=0.0070) y (p=0.0401), respectivamente. En ambos casos existe un mayor contenido de nutrientes en los suelos de tipo Franco Arenoso y un menor contenido de nutrientes en los suelos Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso. Al analizar las interacciones se observa que hay una tendencia a incrementar el contenido de Magnesio en los suelos Franco Arcillo Arenoso, cuando se realizan aplicaciones de biocarbón únicamente (B), llegando hasta $\bar{x}$ =35 mg/100g. De igual manera que el resto de las bases intercambiables las aplicaciones de biocarbón tienden a aumentar la disponibilidad de los nutrientes catiónicos, en este caso el magnesio (Laird *et al.* 2010; Belyaeva y Haynes 2011; Rajkovich *et al.* 2011), evidentemente el biocarbón por si solo aporta de este elemento en un suelo Franco Arcillo Arenoso de igual manera como lo haría un suelo Franco Arenoso, el mejor de los casos. Por otro lado cuando se aplicó gallinaza combinado con fertilizante (GxF) incrementó significativamente el contenido de nitrógeno (N) de nitratos ($N0^3$) en el suelo Franco Arcillo Arenoso $\bar{x}$ =35 mg/100g; sin embargo el resultado de la interacción para el caso del Nitrógeno de nitratos no fue estadísticamente diferente de los resultados con los diferentes tratamientos: BxGxF, F, BxF, G y BxG en la textura de suelos Franco Arenoso a excepción del biocarbón solo (B) y el Testigo (T) que obtuvieron los valores más bajos significativamente.

El biocarbón tiene la capacidad de retener el nitrógeno amoniacal y hacerlo disponible para la planta una vez incorporado en el suelo a como lo explica Taghizadeh-Toosi *et al.* (2011), sin embargo la duración del nitrógeno amoniacal en el suelo es muy corta (Spokas *et al.* 2011). El nitrógeno proveniente de los minerales del suelo, en este caso el nitrato (NO^3) es el que se encuentra juntamente con el amoniaco disponible para las plantas en la solución del suelo (Ortega *et al.* 2005), siempre y cuando esté al alcance de las raíces.

El biocarbón también ayudará a retener las partículas de nitratos que existan en el suelo y ubicarlas en un lugar estratégico para el aprovechamiento por las raíces, pero se necesita siempre combinar el biocarbón con abonos que sean abundantes en nitrógeno para poder enriquecer los suelos y que el nutriente esté disponible para las plantas (Rajkovich *et al.* 2011; Zavalloni *et al.* 2011), es por esto que las tendencias observadas en la gráfica apuntan a que los tratamientos que contienen mayor cantidad de nitrógeno son aquellos que aportarán más de este nutriente al suelo. El nitrato al no ser aprovechado o retenido en el suelo en un corto y mediano plazo tiende a lixiviarse, pero al usar el biocarbón se podría evitar este tipo de riesgo (Lehman *et al.* 2003). (Fig. 4).

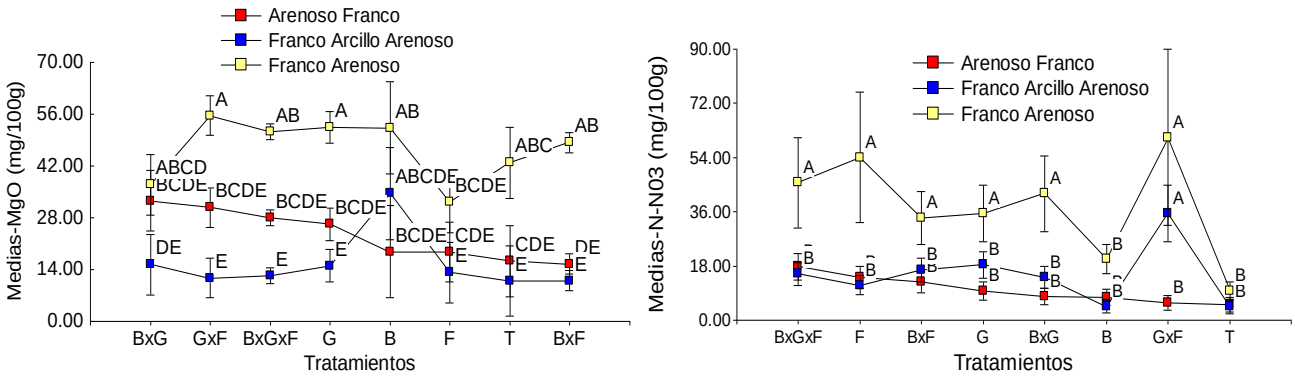


Figura 4. Efecto de las texturas y de los tratamientos en la disponibilidad de Magnesio (MgO) y Nitrógeno (NO^3) a los 50 días después de siembra. LSD (gráfica 1) y DGC (grafica 2). Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

Producción y rendimientos de maíz. 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) con 0.05 kg/Chilote, no siendo significativamente diferente a los demás tratamientos, con excepción del testigo (T) y el biocarbón (B) los cuales tienen letras diferentes. En el caso de la producción de maíz en mazorcas, el tratamiento con media más alta es el de gallinaza con fertilizante (GxF) con una media de peso de mazorca de 0.17 kg, a pesar de ser la media más alta, no difiere estadísticamente de los tratamientos BxG, F, G, los cuales a su vez tienen letras iguales. Los mejores tratamientos con medias más altas al medir el rendimiento en Elotes en t ha^{-1} fueron: el Biocarbón con Gallinaza

(BxG) y la Gallinaza (G) con medias de 7.5 kg/mazorca en ambos tratamientos; sin embargo no fueron estadísticamente diferentes de los tratamientos: F y GxF. En cuanto al peso seco de las plantas completas de maíz se obtuvo los mejores resultados tanto del tratamiento Biocarbón con Gallinaza (BxG) como de la Gallinaza con Fertilizantes (GxF), con medias de 0.12 kg y 0.12 kg respectivamente, aun así no son estadísticamente diferentes de los tratamientos: F y G. (Cuadro 4). Major *et al.* (2010) Evaluaron el efecto de 3 dosis de biocarbón a lo largo de 4 años en un cultivo de maíz, observando efectos significativamente aditivos cada siguiente año en términos de: rendimientos y biomasa de las plantas; sin embargo con la aplicación de dosis de 20 t ha^{-1} durante el primer año de cultivo se obtuvieron mayores rendimientos en comparación con el testigo. Otros autores han obtenido resultados positivos en los rendimientos de maíz durante el primer ciclo al colocar dosis altas de biocarbón (44 t ha^{-1}) incorporadas al suelo (Zhang *et al.* 2011). Por otro lado Rajkovich *et al.* (2011) reportan que al aplicar dosis bajas de biocarbón 2.6 t ha^{-1} encontraron que había un incremento en el aprovechamiento del nitrógeno por la planta incluso mejor que el maíz aplicado completamente con fertilizantes, pero que al aplicar dosis de biocarbón superiores a 26 t ha-1 disminuyó los rendimientos y el contenido de nitrógeno absorbido por la planta. Tal parece ser que la producción de maíz es altamente sensible a la disponibilidad de Nitrógeno en el suelo, aportado principalmente por los diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados, ya sean orgánicos o inorgánicos; (Unger y Killorn 2011), sin embargo los resultados de este experimento nos demuestra que al aplicar biocarbón con gallinaza se obtienen efectos iguales estadísticamente, pero con tendencias a mejorar la productividad del maíz, comparado con la aplicación de fertilizantes sintéticos o gallinaza solamente. El biocarbón incrementa el aprovechamiento del nitrógeno por las plantas e incrementa los rendimientos en el cultivo de maíz a lo largo del tiempo, mientras tanto aplicar desechos orgánicos de animales si ayuda a incrementar los rendimientos en un ciclo de cultivo, pero no mejora los rendimientos de maíz en los siguientes ciclos (Sukartomo *et al.* 2011). Con el paso del tiempo los suelos se van degradando y los rendimientos van decayendo, desde ese momento la productividad depende de las cantidades de fertilizantes químicos que se apliquen al suelo, y aun así las aplicaciones de nitrógeno no tendrán un efecto aditivo en la productividad debido a la falta de abonos orgánicos en el suelo (Kimetu *et al.* 2008).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en la producción de maíz (*Zea mays*). Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

Variables	Unidad de medida	Tratamientos								
		T	B	G	F	BxG	BxF	GxF	BxGxF	Valor-p
Chilotes	**kg/chilote**	0.02^{c}	0.036^{b}	0.047^{ab}	0.048^{ab}	0.05^{a}	0.041^{ab}	0.045^{ab}	0.046^{ab}	0.0025
Mazorcas	**kg/mazorca**	0.11^{d}	0.131^{c}	0.165^{ab}	0.153^{ab}	0.168^{ab}	0.149^{bc}	0.17^{a}	0.149^{bc}	<0.0001
Rendimiento Elotes	**t ha-1**	5.03^{d}	5.93^{cd}	7.50^{a}	6.98^{ab}	7.50^{a}	6.53^{bc}	7.35^{ab}	$6.68a^{bc}$	<0.0001
Peso seco plantas	**kg/planta**	0.089^{d}	0.100^{bcd}	0.109^{abc}	0.112^{ab}	0.122^{a}	0.093^{cd}	0.123^{a}	0.093^{cd}	0.0001

Conclusiones

Luego de realizar esta investigación se concluye que el biocarbón con una dosis de 15 t ha^{-1} en un solo ciclo de cultivo de maíz NB-6 mejora los rendimientos y las propiedades físico-químicas de los suelos con texturas Franco Arenoso, Arenoso Franco y Franco Arcillo Arenoso. Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y disminuye a su vez la densidad aparente del mismo. Incrementa el nivel del pH del suelo, aumenta el contenido de bases intercambiables: calcio, magnesio y potasio. La aplicación de biocarbón con gallinaza mejora la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en el suelo; también mejora el desarrollo radicular de las plantas de maíz, aumenta la producción de la biomasa de las plantas, la producción de chilotes y de mazorcas en peso; y mejora los rendimientos en t ha^{-1} del cultivo de maíz. El biocarbón mejora las propiedades físico-químicas de los suelos de clase Franco Arcillo Arenosos, especialmente por disminuir la densidad aparente de los mismos. Al aplicar biocarbón con gallinaza mejora sus condiciones haciéndolos tan buenos como los suelos Franco Arenoso y Arenoso Franco en aumentar el contenido de magnesio y mejorar el desarrollo radicular, así mismo como los rendimientos en general del cultivo de maíz. La velocidad de infiltración del agua, contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico, se vieron influenciadas directamente por las texturas de los suelos y no por el efecto de los tratamientos en un en un solo ciclo de cultivo. En general la aplicación de enmiendas de biocarbón con abonos orgánicos es una valiosa estrategia que permite mejorar la resiliencia de los sistemas productivos agropecuarios ante el cambio climático en términos de adaptación y mitigación.

Referencias bibliográficas

Anderson, PS; Reed, TB; Wever, PW. 2007. Micro-Gasification: What it is and why it works. Boiling Point No 53.

Atkinson, CJ; Fitzgerald, JD; Hipps, NA. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and Soil 337(1-2):1-18.

Belyaeva, ON; Haynes, RJ. 2011. Comparison of the effects of conventional organic amendments and biochar on the chemical, physical and microbial properties of coal fly ash as a plant growth medium. Environmental Earth Sciences 66(7):1987-1997.

Bol R, Amelung W, Friedrich C, Ostle N (2000) Tracing dung-derived carbon in temperate grassland using 13C natural abundance measurements. Soil Biol Biochem 32:1337–1343

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.

CATIE-PROLENA, 2001. Diagnóstico de la Comercialización de la Leña en Nicaragua.

Chen, Y; Shinogi, Y; Taira, M. 2010. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality. Australian Journal of Soil Research. 48:526-530.

Córdova, H; Castellanos, S; Barreto, H; Bolaños, J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en centroamérica: logros y estrategias hacia el año 2000. AGRONOMÍA MESOAMERICANA 13(1): 73-84.

Di Rienzo, JA; Guzman, AW; Cassanoves, F. 2002. American Statistical Association and the International Biometric Society Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, Volume 7, Number 2, Pages 129–142

Ding, Y; Liu, Y; Wu, W; Shi, D; Yang, M; Zhong, Z. 2010. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. Water Air Soil Pollut 213:47–55.

Edelstein, DM; Tonjes, DJ. 2012. Modeling an Improvement in Phosphorus Utilization in Tropical Agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 36(1):18-35.

Forsythe, W. 1985. Manual de laboratorio. Fisica de suelos. IICA. San Jose, Costa Rica.

Glaser, B; Lehmann, J; Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. Biology and Fertility of Soils 35(4):219-230.

Guo, JH; Liu, XJ; Zhang, Y; Shen, JL; Han, WX; Zhang, WF; Christie, P; Goulding, KW; Vitousek, PM; Zhang, FS. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Science 327(5968):1008-10. Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20150447

Hills, FJ; Little, TM. 1978. Agricultural experimentation: Design and analysis. Wiley.

Hojah, J. Benjamin, T. Soto, G. Donnelly, A. Cerda, R. 2012. The impact of biochar on soil quality and cacao (Theobroma cacao L.) production in organic agroforestry systems in the Bribri Indigenous Reserve, Talamanca, Costa Rica. CATIE p.

Hua, L; Wu, W; Liu, Y; McBride, MB; Chen, Y. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. Environ Sci Pollut Res Int 16(1):1-9. Disponible en

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18751746

Karhu, K; Mattila, T; Bergström, I; Regina, K. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. Agriculture, Ecosystems & Environment 140(1-2):309-313.

Kimetu, JM; Lehmann, J; Ngoze, SO; Mugendi, DN; Kinyangi, JM; Riha, S; Verchot, L; Recha, JW; Pell, AN. 2008. Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality Along a Degradation Gradient. Ecosystems 11(5):726-739.

Laird, DA; Fleming, P; Davis, DD; Horton, R; Wang, B; Karlen, DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma 158(3-4):443-449.

Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degradation & Development 17(2):197-209.

Lehman, J; da Silva, Jr., JP; Steiner, C; Nehls, T; Zech, W; Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, Plant and Soil. 249: 343–357.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J., Neves, E.G., 2006. Black carbon increases cation exchance capacity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 1719–1730.

Liu, C-W; Cheng, S-W; Yu, W-S; Chen, S-K. 2003. Water infiltration rate in cracked paddy soil. Geoderma 117(1-2):169-181.

Major, J; Rondon, M; Molina, D; Riha, SJ; Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333(1-2):117-128.

Novak, JM; Busscher, WJ; Laird, DL; Ahmedna, M; Watts, DW; Niandou, MAS. 2009. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. Soil Science 174(2):105-112.

Ortega B, R., & Mardonez O, R. (2005). Variabilidad espacial de la mineralización de nitrógeno en un suelo volcánico de la provincia de Ñuble, VIII Región, Chile. Agricultura Técnica, 65(2), 221-231.

Osuna, E; Figueroa, B; Oleschko, K; Flores, M; Martínez, M; González, F. 2006. Efecto De La Estructura Del Suelo Sobre El Desarrollo Radical Del Maíz Con Dos Sistemas De Labranza. Agrociencia 40: 27-38.

Prieto, C. 2004. El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, danos, control y conservación. (2 ed.) Ecoe Ediciones, Bogotá, Colombia. 380 p.

Rajkovich, S; Enders, A; Hanley, K; Hyland, C; Zimmerman, AR; Lehmann, J. 2011. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils 48(3):271-284.

Rapidel, B; Rodríguez, J. 1990. Zonificación Agrometereológica de las Lluvias en Nicaragua. Ministerio de Agricultura y Ganaderia de Nicaragua. Dirección General de Técnicas Agropecuarias. Programa Nacional de Agrometeorología. CATIE, CIRAD ORSTOM. Programa Manejo Integrado de Recursos Naturales Turrialba, Costa Rica.

Reyes M, OA. 2010. Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010. UNAN-LEÓN. León. 73 p.

Spokas, KA; Novak, JM; Venterea, RT. 2011. Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. Plant and Soil 350(1-2):35-42.

Steiner, C; Das, KC; Melear, N; Lakly, D. 2010. Reducing Nitrogen Loss during Poultry Litter Composting Using Biochar. Journal of Environment Quality 39(4):1236.

Steiner, C; Teixeira, WG; Lehmann, J; Nehls, T; Macêdo, JLV; Blum, WEH; Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil 291(1-2):275-290.

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

Taghizadeh-Toosi, A; Clough, TJ; Sherlock, RR; Condron, LM. 2011. A wood based low-temperature biochar captures NH3-N generated from ruminant urine-N, retaining its bioavailability. Plant and Soil 353(1-2):73-84.

Tapias, JC; Salgot, M; Casas, A. 2001. Utilidad de la técnica TDR para la medida de la variación espacial y temporal de la humedad del suelo en campos de golf. Edafología, Vol 8 (3), pp. 1-10.

Unger, R; Killorn, R. 2011. Effect of the Application of Biochar on Selected Soil Chemical Properties, Corn Grain, and Biomass Yields in Iowa. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42(20):2441-2451.

USDA. 2010. Key to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service (11 ed.) USA.

Vaccari PF, Baronti S, Lugatoa E, Genesio L, Castaldi S, Fornasier F et al (2011) Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Eur J Agron. doi:10.1016/j.eja.2011.01.006

Vaz, C. M. P., L. H. Bassoi, and J. W. Hopmans. 2001. Contribution of water content and bulk density to field soil penetration resistance as measured by a combined cone penetrometer-TDR probe. Soil & Till. Res. 60: 35-42.

Wang, T; Camps-Arbestain, M; Hedley, M; Bishop, P. 2012. Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. Plant and Soil 357(1-2):173-187.

Wheaton, A. D., B. M. McKenzie, and J. M. Tisdall. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. Soil Till. Res. 98:68Y80.

Widowati; Utomo, WH; Guritno, B; Soehono, LA. 2012. The Effect of Biochar on the Growth and N Fertilizer Requirement of Maize (Zea mays L.) in Green House Experiment. Vol. 4, No. 5.

Xu, R-k; Zhao, A-z; Yuan, J-h; Jiang, J. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars. Journal of Soils and Sediments 12(4):494-502.

Zavalloni, C; Alberti, G; Biasiol, S; Vedove, GD; Fornasier, F; Liu, J; Peressotti, A. 2011. Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study. Applied Soil Ecology 50:45-51.

Zhang, A; Liu, Y; Pan, G; Hussain, Q; Li, L; Zheng, J; Zhang, X. 2011. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soil 351(1-2):263-275.

VIII. Artículo 2. Evaluación de la eficiencia, uso y adopción de una estufa mejorada especializada en producir biocarbón en comparación con estufas de leña tradicionales en tres municipios del departamento de León, Nicaragua.

Carlos Aker[1], Gabriela Soto[2], Alejandro Imbach[3], Xiomara Castillo[4], Francisco Garro[5]

[1]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Agricultura Ecológica; UNAN-LEÓN Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencia y tecnología, Agroecología: caker@catie.ac.cr; carlos_aker@hotmail.com
[2]UNA Universidad Nacional De Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Maestría en Agricultura Ecológica. agroecologiauna@gmail.com
[3]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Escuela de Posgrado, Programa de Prácticas del Desarrollo y Prácticas de la Conservación.
[4] UNAN-LEÓN Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de ciencia y tecnología, Agroecología: castilloxio@yahoo.com
[5]CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica, Cambio Climático: festrada@catie.ac.cr

---

Resumen

Los recientes estudios e investigaciones sobre el desempeño y la adopción de las estufas mejoradas y estufas mejoradas especializadas en la producción de biocarbón (EMB) han demostrado que estas contribuyen en una mejora general de las condiciones de la cocina en cuanto al humo, consumo de leña y tiempo de cocción. Y si, adicional a esto, se produce un abono orgánico recalcitrante que les permitirá mejorar las características del suelo, la producción agrícola en las fincas de los usuarios/productores y apoyar en la mitigación al cambio climático. Muchas propiedades de las estufas que influyen en su adoptabilidad han sido estudiadas. En esta investigación se fabricaron y distribuyeron Estufas Mejoradas para Biocarbón (EMB) y se realizó una comparación entre las estufas tradicionales (ET) y la EMB, realizando un análisis cuantitativo con Pruebas de Cocina Controladas (CCT) para medir el desempeño térmico, consumo de leña, tiempo de preparación de los alimentos básicos de la población rural (arroz, frijoles y tortillas) y un análisis cualitativo de la adopción de la EMB por parte de los usuarios de tres municipios del departamento de León, Nicaragua. Los resultados nos indican que el desempeño térmico de la EMB es similar a una ET, llegando hasta 340˚C en 60 minutos, el tiempo total de cocina fue menor en la EMB con 83 min, el consumo de leña fue igual en ambos casos, excepto cuando se utiliza madera para producir biocarbón en la EMB. El 78% de los productores/usuarios se sienten muy satisfechos con los resultados del biocarbón en sus cultivos. La percepción del usuario de la EMB en cuanto al precio, el humo generado en la estufa sigue siendo una pequeña limitante, mientras que el tiempo de preparación de los alimentos, la estética, la facilidad de preparación de la leña para usar, la durabilidad y la practicidad del uso de la estufa tienen una percepción positiva por los usuarios.

Palabras clave: Estufas mejoradas, estufas mejoradas para biocarbón, estufas tradicionales, tiempos de cocción, temperaturas, adopción.

Abstract
The recent studies and investigations about the behavior and the adoption of the improved cookstoves and cookstoves specialized in the production of biochar have shown that this technology contribute to a general improvement of the cooking conditions as smoke in the kitchen, wood consumption and cooking time; additionally to this a high value recalcitrant organic fertilizer that will lead the users and producers enhance the soil properties and crop production in the farms. A lot of characteristics that lead the users adopt the new stove have been studied. In this investigation, an Improved Biochar Cookstove (EMB) was built and distributed, and a comparison was done between traditional stoves (ET) and the EMB, making an quantitative analysis with Controlled Cooking Tests (CCT) to measure the thermic behavior, wood consumption, time for cooking the basically food of the rural population (Rice, beans and corn tortillas) and a qualitative analysis to study the adoption of the EMB from the users of three municipals of the department of León, Nicaragua. The results indicate that the thermic behavior of the EMB is similar to a ET, reaching 340 degrees in 60 minutes, the total cooking time of the EMB was lower with 83 min, the wood consumption was the same in both cases, except when the wood is used to produce biochar in the EMB, the perception of the users for these properties was positive, 78% of the producers/users felt very satisfied with the results of using biochar in their crops. The perception of the users of the EMB in terms of the price, smoke emitted from the stove are still being a little barrier; in the other hand, the time for cooking, the aesthetic, the easy of preparing the wood to use, the durability and facility to use the stove had a positive perception by the users.

Keywords: Improved cookstove, Biochar, time for cooking, temperature, wood, adoption.

Introducción

Las prácticas agrícolas e industriales actuales han ejercido presión sobre los recursos naturales, haciéndolos cada vez más limitantes, modificando su proceso de regeneración natural y el clima (Barton 2009; Benítez-Malvido et al. 2012). Esto ha llevado a la sociedad civil a buscar salidas inmediatas a los problemas ocasionados por las altas variaciones en el clima, especialmente en la región de la franja seca del pacífico centroamericano (CATIE-PROLEÑA, 2001). Entre los principales problemas identificados en la zona se encuentra la alta tasa de pérdida de los suelos por la erosión eólica la cual es generada por el despale descontrolado de las cortinas rompe vientos, linderos arborizados y árboles dispersos en el campo, lo cual propicia las altas velocidades del viento y la exposición de los suelos secos a ser transportados del campo a la ciudad en polvo (Mittelman 2000; Alvarado *et al.* 2001; MARENA 2001). Esto es ocasionado principalmente al alto índice de consumo de leña y mal uso de la misma en los fogones al no poseer estufas que sean eficientes en el consumo y que a su vez conserven el calor dentro de la cocina (Westhoff y Germann 1995). Esto no significa que sea malo usar fogones de leña, siempre es recomendable usar mejor los recursos renovables que una vez aprovecharon la energía del sol para hacer fotosíntesis y formar sus estructuras leñosas (Stavi y Lal 2013), además se recomienda utilizar estufas mejoradas que puedan ahorrar el consumo de leña y a su vez quemar mejor los gases que son perjudiciales para la salud y los gases que ocasionan el efecto invernadero en el ambiente (Bailis *et al.* 2004). Además de la

creciente erosión eólica se suma la degradación del suelo en cuanto al contenido y disponibilidad de nutrientes para los cultivos agrícolas, debido a la constante aplicación de fertilizantes que carecen de materia orgánica y tienden a acidificar el suelo, incrementando a su vez la densidad aparente que hace difícil el desarrollo radicular de las plantas, además reducen la capacidad del suelo para absorber agua y retener los nutrientes de la volatilización y la lixiviación (Guo *et al.* 2010).

El 33.3 y 50% de la población mundial depende de los biocombustibles sólidos, como: madera, residuos de cosecha, carbón y estiércol para suplir la mayoría de sus necesidades energéticas (UNDP 1997; WRI 1999). Los usuarios de combustible sólido se basan en tecnologías sencillas como colocar tres piedras alrededor del fuego, otras de barro, arcilla, o estufas metálicas ineficientes que propician la combustión incompleta de los compuestos de la madera (UNDP 1997; WRI 1999). En la actualidad existen más de 200 modelos diferentes de estufas mejoradas en Latinoamérica, África y Asia (Westhoff y Germann 1995). Además de las estufas mejoradas, existen estufas mejoradas especializadas en la producción de biocarbón el cual resulta de la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno (Lehmann y Joseph 2009). El biocarbón mejora las características físico-químicas del suelo (Liang *et al.* 2006; Steiner *et al.* 2007; Novak *et al.* 2009; Karhu *et al.* 2011; Widowati *et al.* 2012; Xu *et al.* 2012) y en los rendimientos de los cultivos (Laird *et al.* 2010). Existen más de 33 modelos de estufas en el continente americano capaces de producir biocarbón con tecnología TLUD (Anderson et al. 2007; Taylor 2010) y existe muy poca información sobre estufas con tecnología de pirolisis lenta o anóxica.

Hasta el momento se ha tratado de promover con cierto grado de éxito la adopción de las estufas mejoradas (Smith 1993; Barnes 1994; Maraseni *et al.* 2010), sin embargo aún no se ha logrado tener un mayor éxito en promover la diseminación y adopción de estufas mejoradas que a su vez puedan producir biocarbón (Seachar 2011). Anteriormente los hornos para la producción de biocarbón que utilizaban como principio la pirolisis lenta o anóxica solo estaban diseñados para producir biocarbón, sin embargo no se había adaptado la tecnología para aprovechar la energía resultante de la descomposición térmica para cocinar y las estufas poseían nada más una hornilla para preparar un alimento a la vez (Barnes *et al.* 1994). Actualmente las tecnologías de pirolisis lenta o anóxica se están poniendo en práctica como una medida de mitigación del cambio climático en la agricultura de China (Pan et al. 2011). Las razones principales por las cuales los proyectos de fabricación y diseminación de estufas no han tenido éxito es porque las estufas no logran reducir el consumo de leña, tampoco disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, que además son nocivos para la salud de los usuarios, los materiales con los que están fabricados tienen muy poca durabilidad, las estufas son difíciles e inseguras de usar, algunas requieren tiempo para cortar la madera en trozos muy pequeños, costos muy elevados de adquisición, por lo general solo poseen una hornilla para calentar y algunos otros aspectos menores y determinantes como estufas con poca estética para el hogar (Wick 2004). Los objetivos de

esta investigación fueron conocer la eficiencia energética de las estufas mejoradas de biocarbón en comparación con las estufas tradicionales en términos de consumo de leña, tiempo de cocción y desempeño térmico; también, conocer el grado de adopción de la tecnología de las estufas mejoradas para la producción de biocarbón por los(as) usuarios(as).

Metodología

Cuadro resumen

Cuadro 5. Cuadro resumen de variables evaluadas y analizadas del desempeño y adopción de la estufa mejorada para producir biocarbón (EMB). Entrevista SE: semiestructurada, CCT: Controlled Cooking Test.

	Variables	Análisis	Método
1	Desempeño térmico (EMB)	Cuantitativo	CCT
2	Tiempo individual de cocción (EMB)	Cuantitavido	CCT
3	Tiempo total de cocina (EMB)	Cuantitativo	CCT
4	Consumo de leña (EMB)	Cuantitativo	CCT
5	Producción de biocarbon (EMB)	Cuantitativo	CCT
6	Percepción del usuario sobre el desempeño térmico de la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
7	Percepción de la posibilidad de cocinar varios alimentos a la misma vez en la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
8	Percepción sobre el tiempo individual de preparación de los alimentos en la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
9	Percepción del gasto de leña	Cualitativo	Entrevista SE
10	Percepción sobre la posibilidad de producir biocarbon con la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
11	Satisfacción de los usuarios por los resultados del biocarbon en sus cultivos	Cualitativo	Entrevista SE
12	Percepción de la experiencia de los usuarios utilizando la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
13	Percepción de la emisión de humo de la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
14	Percepción del precio de la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
15	Percepción sobre la estética de la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
16	Percepción sobre la preparación de la leña en la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
17	Percepción sobre la facilidad/practicidad de uso de la estufa (EMB)	Cualitativo	Entrevista SE
18	Durabilidad	Fuente secundaria	Información de fábrica

Ubicación y selección de los usuarios. La presente investigación se realizó en tres fincas del municipio de Telica (Arenoso Franco), tres en el municipio de La Paz Centro (Franco

Arcillo Arenoso) y tres en el municipio de León (Franco Arenoso), en el departamento de León, Nicaragua. Se seleccionaron nueve familias rurales de productores agrícolas que en sus hogares utilizaran fogones de leña, que tuvieran tierras para el cultivo de maíz, que tuviesen la disposición de participar tanto en las pruebas de cocina con las estufas, como en el ensayo de investigación de campo probando el efecto del biocarbón con diferentes tratamientos de abonos para evaluar las mejoras en el suelo y los resultados en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

Fabricación de la estufa mejorada para biocarbón. Para fabricar la estufa mejorada para biocarbón (EMB), se partió del principio de pirolisis lenta, la cual se lleva a cabo en la ausencia de oxígeno en reactores y hornos con el método de calentamiento indirecto o pirólisis anóxica. El reactor (contenedor o autoclave) es calentado externamente y no hay entrada de aire dentro del reactor. El calor se transfiere desde las paredes del reactor hacia la biomasa (Taylor y Mason 2010). En este proceso los picos de temperaturas son usualmente bajos (Taylor y Mason 2010), alcanzando temperaturas que oscilan entre 350-550˚C (Bridgwater 2003).

Se construyó una estufa de 1m de alto, 70cm de ancho, 10cm de grosor, hecho a partir de una mezcla de cemento, piedra poma, ladrillos de barro, revestido de cerámica decorada. Posee una estructura de protección metálica en las esquinas internas y otra en las esquinas exteriores de la estufa, el peso total de la estufa es de 227 kg; cuenta con una boca o entrada de aire en la parte inferior de la estufa y una chimenea en uno de los costados en la parte superior de la estufa, la cual sale hasta afuera del tejado de la cocina del hogar. En la parte interior posee un soporte metálico móvil de cuatro patas que pesa 2 kg y un reactor de hierro acomodado transversalmente de 56 cm de alto y 25 cm de ancho, con una tapadera de hierro, ajustada con tuercas de mariposa por ambos lados del reactor. La parte superior del reactor posee cinco orificios (uno a cada lado) y uno en la tapadera de la estufa para facilitar el escape de los gases de pirolisis. Los huecos están dispuestos de tal manera que cuando los gases de combustión salgan, puedan prenderse en llamas y servir para quemar las hornillas donde se calentarán los alimentos. El reactor vacío tiene un peso de 26.5 kg. En la parte superior de la estufa se encuentra una plancha de metal con tres agujeros de diferentes diámetros: 15 cm, 20 cm y 25 cm. La plancha de metal tiene un peso de 24 kg, también cuenta con agarraderos por ambos lados y con tres aros de soporte para cada agujero para colocar encima las ollas, sartenes, comales y utensilios de cocina resistentes al calor directo del fuego. Además cuenta con las tapaderas de diferentes diámetros de las hornillas para tapar los agujeros una vez que no se está utilizando y aprovechar el calor en otra parte de la plancha.

La estufa fue fabricada en MI FOGÓN que es una empresa local dedicada a la producción de estufas mejoradas, utilizando los materiales y herramientas del taller (Fig. 5)**.** La EMB tiene la capacidad de pirolizar cualquier tipo de madera, y rajas de madera de 56 cm de largo y máximo 5 cm de ancho en el lugar de pirolisis o de combustión. El lugar de pirolisis es dentro del reactor metálico, el cual tiene una capacidad de pirolizar hasta 25 piezas de leña con las dimensiones anteriormente descritas, inclusive troncos de madera de hasta 22 cm de

diámetro y biomasa bien fina como: hojarasca, cáscaras, rastrojos de cosecha, desechos orgánicos, cascarillas de arroz, maní y otras fuentes de biomasa seca (<20% de humedad); la función del reactor es convertir la biomasa en biocarbón. El lugar de combustión está en las cuatro esquinas entre la estufa y el reactor; cada esquina tiene la capacidad de alojar hasta 4 rajas de leña con las mismas dimensiones anteriores; las funciones principales del área de combustión es calentar el reactor por fuera y dar llama a los orificios de las hornillas.

Figura 5. Estufa tradicional (izquierda) y Estufa mejorada para producción de biocarbón (derecha): (a) exterior de la estufa, (b) madera en el interior del reactor, (c) madera en las áreas de combustión de las esquinas, (d) llamas saliendo del reactor, (e) biocarbón terminado.

Pruebas Controladas de Cocina (PCC). Para la evaluación de la eficiencia energética se procede a utilizar la metodología empleada por el "Proyecto Estufa Finca" de SeaChar en el proyecto piloto de Los Santos, Costa Rica con adaptaciones, que consiste en hacer pruebas controladas de cocina conocido en inglés como: *Controlled Cooking Test* (CCT) (SeaChar 2011).

La prueba consiste en escoger tres tipos de alimentos: 0.45 kg de arroz, 0.45 kg de frijoles y 0.88 kg de tortillas; usando pesos uniformes en cada prueba, para comparar el tiempo y cantidad de madera que se usó en cada estufa, tanto la tradicional (ET) como la de biocarbón (EMB). Las estufas tradicionales están hechas básicamente de tres piedras grandes o bloques en concreto con varillas de metal o una parrilla en la parte superior. Se realizaron 18 pruebas en total en las 9 familias, 2 en cada familia (una en la tradicional y otra en la de biocarbón). Antes de comenzar las pruebas de cocina controlada, se hicieron entrenamientos con los usuarios para mostrarles como manipular la estufa y sentirse familiarizados(as) con las mediciones que se iban a realizar. La madera, el material de ignición, los alimentos, las ollas y las sartenes fueron pesadas previamente, utilizando los mismos recipientes en todas las pruebas. Las cenizas y restos de materiales fueron removidos de las estufas antes de iniciar las pruebas y las temperaturas fueron llevadas hasta 30 C° antes de iniciar las pruebas. Se anotó el tiempo individual de la elaboración

de los diferentes alimentos y las temperaturas fueron tomadas utilizando termómetros de contacto a los 20, 40, 60 minutos comparando el desempeño térmico en ambas estufas. Al terminar las pruebas se dejó enfriando las estufas 12 horas para luego obtener el peso del biocarbón producido al terminar de cocinar todos los alimentos utilizando una balanza digital.

Entrevistas. Se realizaron 9 entrevistas semi-estructuradas con respuestas cerradas y abiertas, una por cada familia. En la encuesta participaron padres de familia, jóvenes, productores(as) y amas de casa de toda la familia; para responder a cada una de las preguntas, la opinión de todos los miembros fue tomada en cuenta en las respuestas abiertas. Las 9 familias elegidas en su mayoría son dueñas de sus propias fincas y trabajan sus tierras; fueron abastecidas con una EMB en la que fue usada generalmente por las mujeres de los hogares para cocinar. Las mujeres se dedican a las labores del hogar y algunos trabajos fuera; los hombres se dedican a la agricultura, otros pequeños negocios y trabajos en sus comunidades. Las entrevistas fueron realizadas directamente a los usuarios de las estufas que fueron a su vez los participantes de la parcela experimental de sus fincas.

Análisis estadísticos. El efecto de los tipos de estufas fue determinado con los análisis de varianzas (ANOVA) de los Modelos Lineales y Mixtos de Infostat© utilizando un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). La separación de medias se realizó usando "least significant difference test (LSD)" (Little and Hills, 1978) y DGC (Di Rienzo *et al.* 2002). Las familias con ambas estufas representaron los bloques, se utilizó como factor el tipo de estufa (ET y EMB) y se realizaron en total 9 repeticiones. Los datos descriptivos y cualitativos fueron graficados utilizando Microsoft Excel©

Resultados y discusión

Desempeño térmico. Se encontraron diferencias significativas en las temperaturas registradas entre los diferentes tiempos, a los 20, 40 y 60 minutos ($p<0.0001$), pero no hubo diferencias significativas en el desempeño térmico entre los dos tipos de estufas ($p=0.4269$). Las temperaturas máximas se alcanzan a los 60 minutos de haberse comenzado a utilizar las estufas en ambos casos (Fig. 6), llegando en promedio hasta un rango de 347 ˚C y 397 ˚C. El desempeño de ambas estufas permite que alimentos que necesiten temperaturas inferiores a los 200 ˚C puedan realizarse incluso antes de los 20 minutos de haber encendido las estufas, las temperaturas logran ser constantes luego de los 40 minutos, alcanzando temperaturas que permiten preparar los alimentos y a la vez producir suficiente calor para la pirolisis de la madera y obtener un biocarbón de alta calidad, la cual según Bridgwater (2007) se obtiene con temperaturas que oscilan en un rango entre 300 y 400 ˚C durante 30 minutos hasta horas, lo cual se le conoce como pirolisis lenta, que según Bridgwater produce los mejores rendimientos de biocarbón comparado con la pirolisis rápida, moderada y de gasificación. Yang *et al.* (2007) explica que la hemicelulosa es el primer componente de la madera en descomponerse comenzando a una temperatura de 220 ˚C y terminando a 315 ˚C, a partir de este momento comienza a descomponerse la celulosa hasta llegar a un máximo de 400 ˚C.

El 78% de las personas entrevistadas afirmaron que les pareció muy bueno el comportamiento térmico de la estufa para poder cocinar sus alimentos, el 22% de las familias entrevistadas dijeron que les pareció bueno el desempeño térmico de la estufa, ninguna de las familias opinaron que era regular, malo o muy malo. Los usuarios opinaron que la temperatura emitida por la estufa genera suficiente calor para poder elaborar cualquier tipo de alimentos en su hogar, sin importar el tamaño del recipiente que utilizaran. (Fig. 7a).

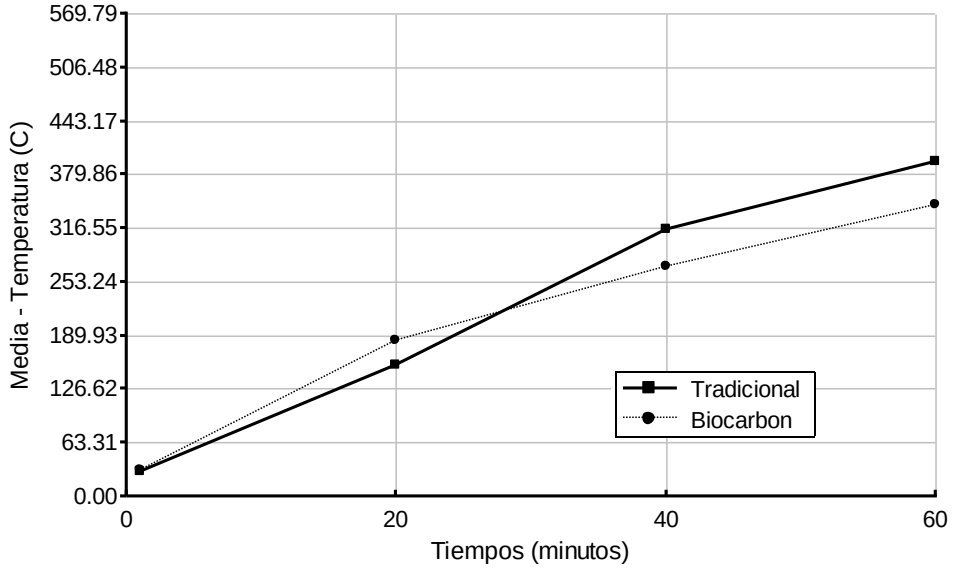


Figura 6. Medias de las temperaturas alcanzadas por las estufas tradicionales comparadas con la estufa mejorada de biocarbón a los 0, 20, 40 y 60 minutos, medida en centígrados.

Tiempo de preparación de los alimentos. Al analizar la sumatoria del tiempo total requerido para cocinar arroz, frijoles y tortillas en ambas estufas se encuentra que hay diferencias significativas entre los dos tipos de estufas (p=0.0223). Se requirieron 82.5 minutos para preparar todos los alimentos en las estufas mejoradas para biocarbón comparado con 161 minutos tomados para preparar los tres alimentos en las estufas tradicionales. Este resultado se debe a que con la estufa mejorada de biocarbón se pueden preparar 3 alimentos a la vez y con la estufa tradicional solo una a la vez. El 100% de las familias coincidieron en afirmar que la estufa les gustó más por el hecho de que les brindase la capacidad de elaborar tres alimentos a la vez y con esto ahorrar el tiempo total de cocina significativamente. (Fig. 7b). Además 78% de las familias dijeron que el tiempo de preparación individual de los alimentos era muy bueno y 22% que era bueno, ninguna de las familias dijeron que los tiempos individuales de cocina eran regulares, malos o muy malos. Sin embargo se encontraron que no hay diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de cocina individual entre los dos tipos de estufas (Cuadro 6). Entre las respuestas que se obtuvieron por parte de las familias, se

encontró que los usuarios están satisfechos debido a que pueden cocinar más rápido sus alimentos y que pasan menos tiempo expuestos al calor de la estufa. (Fig. 7c). Evidentemente el hecho de que las estufas le permitan al usuario cocinar varios alimentos a la misma vez se convierte en una de las razones principales por la cual las familias adopten este tipo de estufas, por lo general la elaboración de los alimentos en una estufa normal puede tardar horas debido a la falta de este detalle (Seachar 2011). Sin embargo en las pruebas controladas de cocina (CCT) realizadas por Seachar (2011) si se observó una reducción de tiempos individuales para cada alimento, en ese caso: arroz, frijoles y pollo, comparada con las estufas tradicionales en los hogares de los Santos, Costa Rica.

Cuadro 6. Tiempos individuales de cocción para tortillas, frijoles y arroz, comparando las estufas tradicionales con la estufa mejorada de biocarbón. Valores expresados en minutos

	Tiempo de cocción (Minutos)	
	Estufa Tradicional	Estufa Mejorada para Biocarbón
Tortillas	26	23
Frijoles	89	82
Arroz	24	22
Tortillas, frijoles y arroz	161	82.5

Consumo de leña. El consumo de leña al cocinar los alimentos con la estufa tradicional y la estufa mejorada para biocarbón sin producir biocarbón ($\bar{x}$= 10 kg) no presentaron diferencias significativas; sin embargo, si se incluye la leña dentro del reactor para producir el biocarbón si se encuentran diferencias significativas ($p<0.0001$) entre las cantidades de leña usadas por ambas estufas siendo mayor para el caso de la estufa mejorada de biocarbón ($\bar{x}$= 27.5 kg) comparada con una media de 10 kg de las estufas tradicionales. Este resultado se debe a que se la estufa mejorada de biocarbón tiene una capacidad de alojar una mayor cantidad de madera para realizar el proceso de pirolisis y obtener el biocarbón. Sin embargo la estufa puede utilizarse para cocinar perfectamente sin llenar el reactor de pirolisis y usar la misma cantidad de leña que una estufa tradicional. El 22.2% de los entrevistados dijeron que las cantidades de leña usadas para cocinar en la estufa mejorada para biocarbón fue muy bueno y el 77.8% de los entrevistados dijeron que era bueno; ninguna de las familias entrevistadas dijeron que era regular, malo o muy malo usar las cantidades de leña mencionadas para cocinar. (Fig. 7d). Entre las respuestas de las familias con respecto al uso de la leña, dijeron que es una buena opción para cocinar y para utilizar el reactor cuando se necesite producir biocarbón. La estufa mejorada de biocarbón consumirá la misma cantidad de leña para cocinar que la estufa tradicional siempre que se produzca el biocarbón, ya que es necesario suministrarle calor al reactor desde afuera para obtener la pirolisis (Taylor y Mason 2010); sin embargo, el usuario tiene la opción de usar la estufa para cocinar los tres tipos de alimentos sin necesidad de producir biocarbón, en dado caso el usuario necesitará incluso menos cantidad de leña que una estufa tradicional, funcionando como una estufa mejorada para ahorrar leña, resultados similares fueron

encontrados por Bailis *et al.* (2007), quien evaluó el consumo de leña para cocinar comparando dos estufas tradicionales con dos estufas mejoradas, encontrando que las estufas tradicionales consumen mucho más leña que las estufas mejoradas, en promedio 1.7 y 0.9 kg de biomasa por kg de alimento, respectivamente.

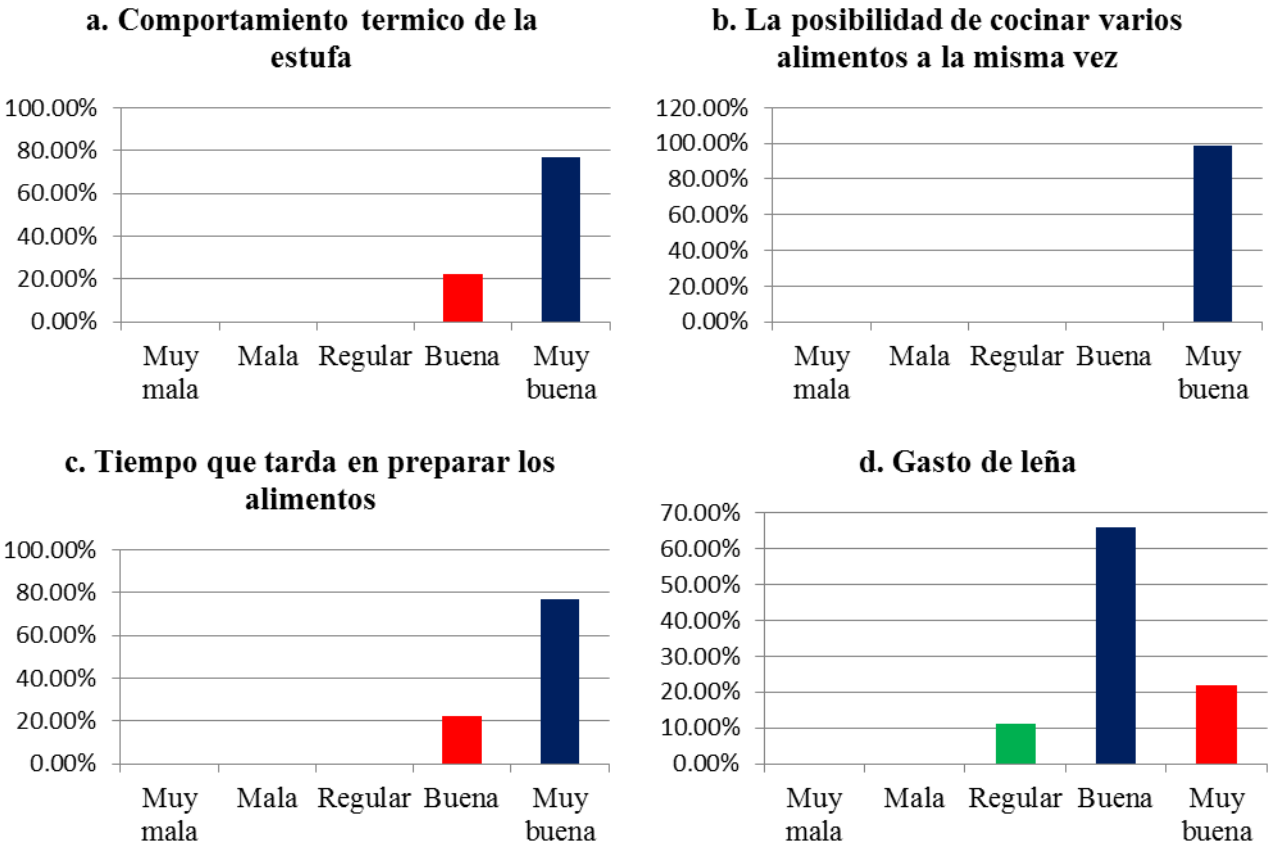


Figura 7. Percepción del usuario en diferentes aspectos relacionados con la estufa mejorada para biocarbón: (a) Comportamiento térmico de la estufa, (b) La posibilidad de cocinar varios alimentos a la misma vez, (c) Tiempo que tarda en preparar los alimentos, (d) Gasto de leña.

Producción y uso de biocarbón. La estufa mejorada para biocarbón tiene la capacidad de rendir el 26% del total de biomasa puesto dentro del reactor de pirólisis. El limitado volumen del reactor permite que los usuarios tengan que utilizar la madera de sus fincas sosteniblemente sin ejercer presión sobre sus recursos naturales y promover la deforestación. En general las temperaturas de pirolisis bajas, entre 280 ˚C y 400 ˚C y altas concentraciones de lignina en la biomasa permiten tener rendimientos altos de biocarbón, en un rango de 24 a 30% del total de biomasa utilizado en la reacción térmica (Demirbas 2001; Antal y Grønli 2003). En general las estufas con tecnología TLUD tiene una eficiencia en rendimiento del 20% de la biomasa inicial usada, siendo la pirolisis lenta más eficiente en rendimientos y control de emisión de gases (Taylor and Mason 2010). El

88.9% de las familias entrevistadas afirman que la estufa es muy buena debido a que tiene la capacidad de producir biocarbón, solo un 11.11% de las familias dijeron que les parece bueno el hecho de que la estufa pueda producir biocarbón, ninguna de las familias dijo que este hecho era regular, malo o muy malo. (Fig. 8a,b). Luego de la experiencia de los productores/usuarios de utilizar el biocarbón en su suelo para el experimento con cultivo de maíz y otros cultivos a los que ellos les han aplicado biocarbón, el 78% respondió que se sentía muy satisfecho y el 22% satisfecho por los resultados del biocarbón en sus fincas. Comentaron que el biocarbón es bueno para sus cultivos, porque obtienen buenos rendimientos y hay mejoras en las características y nutrientes del suelo luego de haber observado los análisis de laboratorio; también agregaron que retiene la humedad del suelo, hay menos gastos en fertilizantes y que de alguna manera ayuda a descontaminar sus suelos y bajar las temperaturas del suelo, debido a que el biocarbón absorbe calor por su alta porosidad y coloración oscura cuando es colocado en la superficie del suelo, pero les impactó más los resultados de las combinaciones del biocarbón con gallinaza por ser una forma orgánica de cultivar y que además podrían utilizar el biocarbón para almácigos/plántulas o vender el biocarbón como un abono orgánico a sus vecinos y utilizar este negocio como un pequeño medio de vida alternativo.

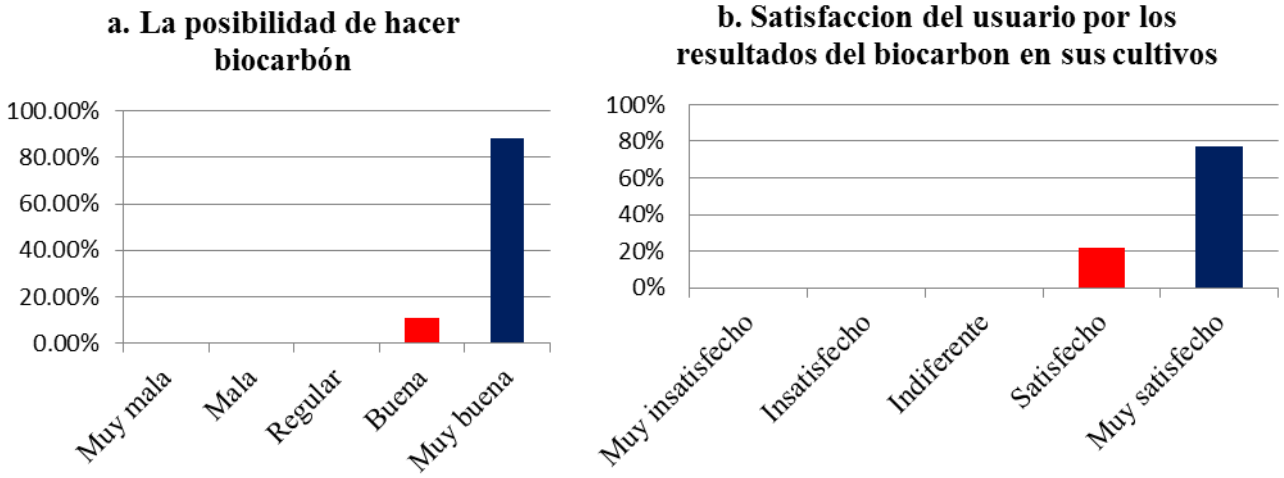


Figura 8. Opinión del usuario(a) con respecto al biocarbón producido en la estufa mejorada para biocarbón: (a) La posibilidad de hacer biocarbón, (b) Satisfacción del usuario por los resultados del biocarbón en sus cultivos.

Análisis cualitativo de las propiedades y del uso de la estufa mejorada para biocarbón. Al realizar un análisis cualitativo de la percepción del usuario de la estufa en general se obtiene que el 67% de las familias clasifica su experiencia utilizando la estufa mejorada de biocarbón como muy buena y el 33% como buena. (Fig. 9a). No se realizaron análisis cuantitativos en cuanto a la emisión de gases de la EMB durante el experimento, sin embargo, el 55.5% de las familias entrevistadas opinaron que el humo emitido por la EMB es bueno en relación a la estufa tradicional y el 33% opinaron que les parece

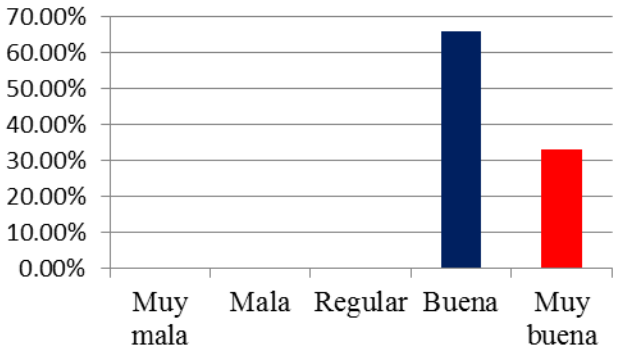
regular su percepción sobre las emisiones de humo de la estufa mejorada de biocarbón comparada con la estufa tradicional. (Fig. 9b). Esto se debe a que los gases del secado de la madera del reactor comienzan a salir una vez que alcanza los 200˚C y no se dirigen hacia el escape de la chimenea debido al área reducida de la misma. La estufa mejorada reduce la cantidad de gases contaminantes dentro del hogar por dos razones: un buen flujo de aire que permite elevar rápidamente los gases fuera de la estufa y del hogar, y el incremento en la eficiencia energética que hace que los gases tengan más oportunidad de ser quemados dentro de la estufa (Kar *et al.* 2012) Las emisiones de humo dentro de la cocina duran de 5 a 15 minutos dependiendo de la humedad de la madera, la velocidad del encendido y el tipo de biomasa; por otra parte las familias opinaron que el humo solo es un momento y que luego no hay nada de emisiones, otras familias opinaron que el humo emitido es poco en relación a la cantidad de madera que se le está ejerciendo pirolisis dentro del reactor.

El 89% de los usuarios durante la entrevista opinaron que el precio establecido de comercialización de la estufa de 300 USD era accesible y que podían comprarla con un poco de esfuerzo o con un salario estable, además replicaron que hay beneficios indirectos debido a que pueden ahorrar dinero en aplicación de fertilizantes, también opinaron que vale la pena adquirir una estufa a ese precio debido a la larga vida útil de los materiales con que fue fabricada, apenas el 11% de las familias entrevistadas opino que el precio establecido les parece caro. (Fig. 9c). El costo de los materiales y la durabilidad de la estufa son los factores más decisivos en el precio (Seachar 2011). Según la información brindada por el fabricante de las estufas, los materiales tienen la capacidad de durar entre 5 y 10 años, dependiendo de las cantidades de veces que se use y del cuidado al usar la estufa. Los productores mencionan que se necesita tener visión para usar la estufa y pensar en adquirirla, además que se necesita información, conocimiento y entrenamiento para usar la estufa. Las experiencias estudiadas en los proyectos de diseminación de estufas recomiendan que las estufas tengan un valor alcanzable para los usuarios, de tal manera que se vean interesados en utilizarlas y obtener los beneficios de la misma; los programas de diseminación de estufas en India, México, Costa Rica, China y Kenia, quienes han subsidiado de cierta manera las estufas mejoradas y estufas mejoradas de biocarbón, a través de ONGs y programas de gobierno, no han tenido el éxito esperado debido a que la poca dificultad de adquisición de las estufas propicia la subestimación del valor o apreciación del uso de las estufas por los usuarios en las regiones rurales, aunque por otro lado se logra la diseminación más rápida de las estufas (Bailis *et al.* 2003, 2007; Edwards *et al.* 2004; Seachar 2011)

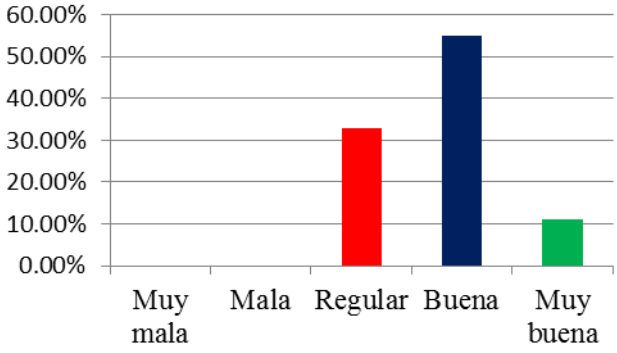
Al preguntarles si estarían dispuestos a sustituir el uso de su estufa por la estufa mejorada de biocarbón, el 89% de las familias dijeron que si debido a que ahorran tiempo cocinando, también que producen un abono orgánico de alta durabilidad para sus fincas, reciben menor calor por la estufa y en general produce poco humo cuando se ha adquirido experiencia en el encendido y manejo de la leña. El 11% dijo que no sustituiría su estufa debido a que solo usarán la estufa cuando necesiten producir biocarbón porque aún les

cuesta aprender a encenderla, sin embargo el obstáculo puede superarse brindándoles a los usuarios una guía práctica de manejo de la estufa. Al preguntarle a las familias entrevistadas si recomendaría el uso de la estufa mejorada de biocarbón a sus vecinos, el 100% dijo que si, debido a que les pueden brindar los mismos beneficios mencionados a sus vecinos, mejorar sus suelos y generar ingresos por la venta del biocarbón. El 78% de los usuarios dijo que el diseño de la estufa en términos de estética y forma era muy bueno y el 22% que era bueno. Las estufas mejoradas deben de proveer un cambio en la apariencia, estética y forma del mismo para ser atractivas y aceptadas dentro de una cocina (Barnes et al. 1994). (Fig. 9d). En cuanto al uso de la estufa el 78% de las familias afirma que para ellos resulta muy fácil preparar la leña para usarla en la estufa mejorada de biocarbón, ya que el reactor y las esquinas tienen la medida de una pieza (raja) solo la colocan dentro de la estufa y no tienen que cortarla en pequeños trozos, el 22% opinaron que es fácil preparar la madera a usar dentro de la estufa. (Fig. 9e). Según Seachar (2011) 5 familias de 28 dejaron de usar la estufa de biocarbón de gasificación debido a que se les dificultaba conseguir pequeños trozos de madera y a la vez incluía un trabajo adicional. El 55% afirmo que era fácil usar la estufa mejorada de biocarbón y el 44.4% dijo que era muy fácil y práctico usar la estufa mejorada de biocarbón, pero que si se necesita un poco de entrenamiento; ninguna de las familias entrevistadas afirmo que la practicidad del uso de la estufa era regula, difícil o muy difícil. (Fig. 9f). Al usar las estufas mejoradas de biocarbón es necesario recibir un poco de entrenamiento al inicio por ser una nueva tecnología (Seachar 2011).

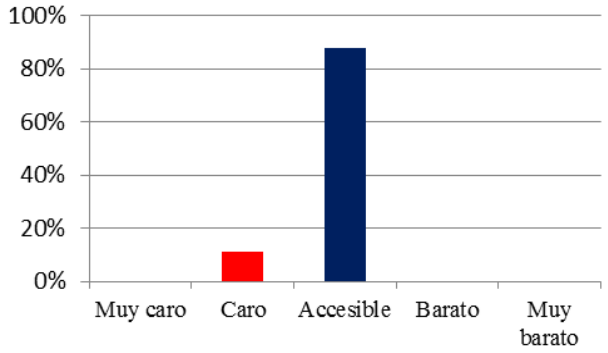
a. Experiencia con la estufa



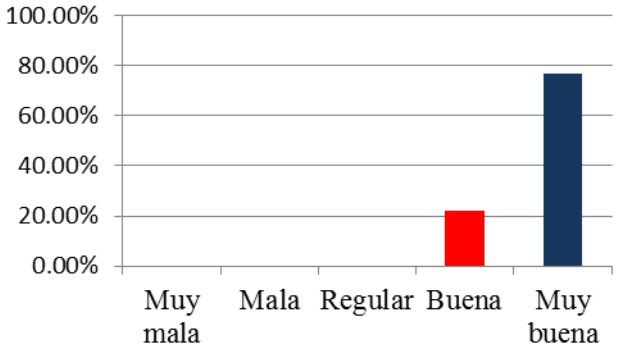
b. Humo en la cocina



c. Precio de la estufa (300 USD)



d. Diseño de la estufa



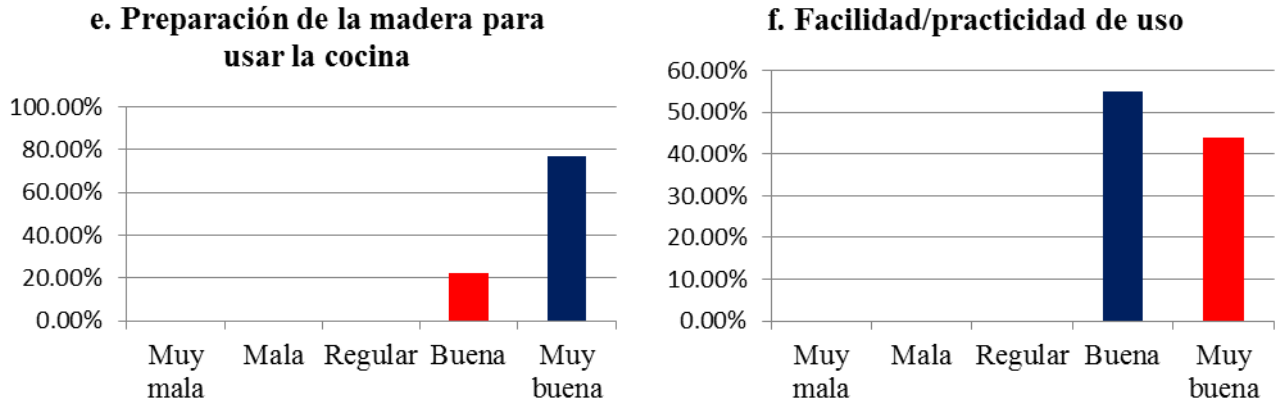


Figura 9. Percepción del usuario de la estufa mejorada para biocarbón en (a) Experiencia con la estufa, (b) Humo en la cocina, (c) Precio de la estufa (300 USD), (d) diseño de la estufa, (e) Preparación de la madera para usar la estufa, (f) Facilidad/practicidad de uso.

Recomendaciones de los usuarios para mejorar la estufa. Entre las recomendaciones más destacadas e importantes que los(as) usuarios(as) mencionaron cabe mencionar las siguientes: Ampliar el escape de la chimenea haciéndola más ancha con un ángulo de 45 grados y cilíndrica para facilitar la salida del humo fuera del área de la cocina, colocar la estufa en un lugar abierto y separado del resto de la casa, diseñar la entrada de aire más ancha y colocarle una compuerta para controlar la cantidad de aire que se necesite para regular la llama, fabricar más accesorios para cocinar diferentes alimentos, como: parrillas para asar carne, hornos de acople para hacer pan. Además los productores dijeron que se podría mejorar la calidad del metal usado en la plancha y vender la estufa con repuestos u ofrecer garantías, sin embargo estas opciones incrementarían el precio de venta y podrían adquirirse por separado.

Conclusiones

Luego de realizar esta investigación se concluye que la estufa mejorada para biocarbón consume igual cantidad de madera que la estufa tradicional para cocinar sin producir biocarbón y consume más madera si se produce el biocarbón. En la estufa mejorada para biocarbón se cocina más rápido debido a que se pueden hacer varios alimentos a la misma vez. Ambas estufas, tanto la tradicional como la estufa mejorada para producción de biocarbón tienen un comportamiento térmico parecido lo que significa que las temperaturas son constantes y funcionan muy bien para cocinar los alimentos. Los(as) usuarios(as) están muy satisfechos con los resultados de la estufa mejorada de biocarbón, entre las ventajas que los usuarios identificados están la de producir biocarbón, ahorrar tiempo para cocinar, la estética de la estufa, la durabilidad, facilidad de preparación de la madera y uso de la estufa, además de la capacidad calorífica que posee la nueva estufa; por otro lado las emisiones de humo son consideradas limitantes, aunque las emisiones de humo

duran poco tiempo (10 minutos), además se necesita de entrenamiento y práctica para usar la estufa. Los(as) usuarios(as) están apropiados y dispuestos a sustituir el uso de su cocina actual por la cocina mejorada de biocarbón y recomendar a sus vecinos la adquisición de la misma. Los productores miembros de las familias con las estufas mejoradas para biocarbón están muy satisfechos con los resultados observados y cuantificados en sus fincas en el experimento de producción de maíz a base de biocarbón.

Referencias bibliográficas

Alvarado, V; Antón, E; Harvey, CA; Martinez, R. 2001. Aves y plantas leñosas en cortinas rompevientos en León, Nicaragua.

Anderson, P; Reed, T; Wever, P. 2007. Micro-Gasification: What it is and why it works. Boiling Point No 53 2007.

Antal, M and Grønli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42:1619-1640.

Bailis, R; Berrueta, V; Dutta, K; Edwards,R; Masera, O; Still, D; Smith, KR. 2007. Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the Household Energy and Health Project. Energy for Sustainable Development. Volume XI No. 2, Disponible en: http://ehs.sph.berkeley.edu/krsmith/publications/2007%20pubs/ESD%20Stove%20Performance.pdf

Bailis, R; Ezzati, M ; Kammen, DM. 2003. Greenhouse Gas Implications of Household Energy Technology in Kenya. . Environ.Sci. Technol. 37:2051–59.

Bailis, R; Pennise, D; Ezzati, M; Kammen, D. M; & Kituyi, E. 2004. Impacts of greenhouse gas and particulate emissions from woodfuel production and end-use in sub-Saharan Africa. *Berkeley, CA: Renewable and Appropriate Energy Laboratory*.

Barnes, DF; Openshaw, LR; Smith, KR; van der Plas, R. 1994. What Makes People Cook with Improved Biomass Stoves: A Comparative International Review of Stove Programs. World Bank Technical Paper Number 242. 60p.

Barton, J. R. 2009. Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*. 43:5-30.

Benítez-Malvido, J; Dupuy, J. M; Martínez-Ramos, M. 2012. Perspectivas y retos en el estudio del manejo de ecosistemas en paisajes rurales: una síntesis. Investigación ambiental 4. 1: 83-86.

Bridgwater, A. 2007. IEA Bioenergy Update 27: Biomas Pyrolisis, Biomass and Bioenergy. 31:I-V.

CATIE-PROLENA, 2001. Diagnóstico de la Comercialización de la Leña en Nicaragua.

Derimbas, A. 2001. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and gaseous products. *Energy Conversion and Management* 42:1229-1238.

Di Rienzo, JA; Guzman, AW; Cassanoves, F. 2002. American Statistical Association and the International Biometric Society Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, Volume 7, Number 2, Pages 129–142.

Edwards, R; Smitha, KR; Zhangb, J; Ma, Y. 2004. Implications of changes in household stoves and fuel use in China. Energy Policy 32:395–411.

Guo, JH; Liu, XJ; Zhang, Y; Shen, JL; Han, WX; Zhang, WF; Christie, P; Goulding, KW;

Vitousek, PM; Zhang, FS. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Science 327(5968):1008-10. Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20150447

Hills, FJ; Little, TM. 1978. Agricultural experimentation: Design and analysis. Wiley.

Kar, A; Rehman, IH; Burney, J; Puppala, SP; Suresh, R; Singh,L; Singh, VK; Ahmed, T; Ramanathan, N; Ramanathan, V. 2012. Real-Time Assessment of Black Carbon Pollution in Indian Households Due to Traditional and Improved Biomass Cookstoves. Environmental science and technology.

Karhu, K; Mattila, T; Bergström, I; Regina, K. 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. Agriculture, Ecosystems & Environment 140(1-2):309-313.

Laird, DA; Fleming, P; Davis, DD; Horton, R; Wang, B; Karlen, DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma 158(3-4):443-449.

Lehmann, J; Joseph, S. (eds.) 2009. Biocarbón for environmental management: science and technology. London, UK. Earthscan. 416 p.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J., Neves, E.G., 2006. Black carbon increases cation exchance capacity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 1719–1730.

Maraseni, TN; Chen, G; Guangren, Q. 2010. Towards a faster and broader application of biochar: appropriate marketing mechanisms. *International Journal of Environmental Studies*, *67*(6), 851-860.

MARENA. 2001. Informe del Estado Ambiental en Nicaragua Informe del Estado Ambiental en Nicaragua. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. 1a. ed. Managua. 118 p.

Mittelman, A. 2000. Plantación de teca por pequeños productores en Nakhon Sawan, Tailandia. *Unasylva (It)*, *201*(1).

Novak, JM; Busscher, WJ; Laird, DL; Ahmedna, M; Watts, DW; Niandou, MAS. 2009. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. Soil Science 174(2):105-112.

Pan, G; Lin, Z; Li, L; Zhang, A; Zheng, J; Zhang, X. 2011. Perspective on biomass carbon industrialization of organic waste from agriculture and rural areas in China. J Agric Sci Tech 13:75–82, in Chinese

SeaChar. 2011. Estufa Finca-Santos Pilot Project. Disponible en: http://seachar.org/wp-content/uploads/2011/10/Estufa-Finca-Santos-Pilot-Project-Report-Apr-8a-2011-Compressed.pdf

Smith, KR; Shuhua, G; Kun, H; Daxiong, Q. 1993. One Hundred Million Improved Cookstoves in China: How Was It Done?. World Development (vol 21) 6:941-961.

Stavi, I; Lal, R. 2013. Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. Agronomy for Sustainable Development, 33(1):81-96.

Steiner, C; Teixeira, WG; Lehmann, J; Nehls, T; Macêdo, JLV; Blum, WEH; Zech, W. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil 291(1-2):275-290.

Taylor, P; Mason, J. 2010. Biochar Production Fundamentals (capítulo 9) en: Taylor, P (ed.). The Biochar Revolution: Transforming Agriculture & Environment. Global Publishing Group. Australia. 113p.

UNDP, Energy After Rio: Prospects and Challenges, United Nations Publications: NewYork, 1997.

Westhoff, B and Germann, D. 1995. Stoves Images: A Documentation of Improved and Traditional Stoves in Africa, Asia and Latin America. Commission of the European Communities; SfE, GIZ, Brandes & Apsel Verlag GmbH, Frankfurt am Main, Germany. 65p.

Wick, J. 2004. Estufas Mejoradas: Mejorar la Vida, la Salud y el Medio Ambiente. Publicado en Revista Futuros No 5. 2004 Vol. II Disponible en: http://www.revistafuturos.info

Widowati; Utomo, WH; Guritno, B; Soehono, LA. 2012. The Effect of Biochar on the Growth and N Fertilizer Requirement of Maize (*Zea mays* L.) in Green House Experiment. Vol. 4, No. 5.

WRI, A Guide to the Global Environment, ed. World Resources Institute with UNEP/UNDP and World Bank, Oxford University Press: New York, NY, 1999.

Xu, R-k; Zhao, A-z; Yuan, J-h; Jiang, J. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars. Journal of Soils and Sediments 12(4):494-502.

Yang, H; Yan, R; Chen, H; Lee, DH; Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicelulose, cellulose and lignin pyrolisis, Fuel, 86:1781-1788.

IX. Apartado 1. Análisis de las implicaciones de los resultados de la Tesis para el desarrollo desde una perspectiva integral y multidisciplinaria.

Título de la investigación:

Evaluación del uso de estufas ecológicas y análisis de la producción y uso del biocarbón como enmienda del suelo para el mejoramiento de rendimientos de maíz (Zea mays) en tres municipios de León, Nicaragua.

Descripción de la investigación

La investigación fue desarrollada durante el año 2013 en comunidades de tres municipios del departamento de León, Nicaragua. Se realizaron experimentos de campo en las fincas de nueve familias, las cuales a su vez recibieron como parte del proyecto una estufa mejorada de biocarbón, entrenamiento, capacitación, un manual y biocarbon previamente elaborado para los tratamientos del experimento.

Los productores y usuarios de la estufa, tomando como conjunto la familia fueron involucrados y participaron en todas las labores: medición, trabajo en campo, preparación del suelo, preparación y aplicación del biocarbón, cuido de las parcelas, riego, cosecha y pruebas de uso de la estufa mejorada de biocarbón. Todo esto con el objetivo de generar experiencia y entrenamiento para los productores y usuarios de las estufas e impulsar la adopción de la tecnología en general. Además las familias realizaron un intercambio hacia otras fincas del mismo proyecto y conocieron a cada una de las familias involucradas en la investigación a fin de compartir experiencias e información adquirida que al final ayudaría a consolidar el conocimiento sobre la ciencia de manera participativa.

Los criterios de selección de las familias fueron realizados y elegidas las familias que cocinan con estufas de leña, que tienen tierras aptas para el cultivo de maíz, que les gustara la idea de participar en el desarrollo de una nueva tecnología, que fueran líderes comunitarios y tuvieran suelos con clases texturales definidas por la investigación (Arenoso Franco, Franco Arenoso y Franco Arcillo Arenoso).

Las estufas fueron fabricadas por Juan Gutierrez, dueño de la microempresa de MI-FOGÓN, encargada de fabricar, vender e instalar estufas mejoradas en todo el país. Fue ahí donde se evolucionó la iniciativa de fabricar una estufa mejorada con la capacidad de producir biocarbón y aportar los diferentes beneficios de la misma. Además, se contó con la participación y apoyo de la UNAN-LEÓN con la cooperación de su personal, estudiantes, instalaciones y equipos de laboratorio.

Resultados de la investigación

- ✓ La aplicación de biocarbón a 15 t ha-1 incrementa la capacidad del suelo de retener agua, hasta en un 17.57%.
- ✓ La aplicación de biocarbón a 15 t Ha-1 disminuye significativamente la densidad aparente de los suelos hasta en un 0.82g/cm^3 en suelos de texturas Franco Arcillo Arenoso.

- ✓ Los suelos aplicados con biocarbón o alguna mezcla de abonos con biocarbón aumenta significativamente el pH del suelo con respecto a los suelos que no recibieron biocarbón hasta llegar a 7.36 [H^+].
- ✓ Las aplicaciones de biocarbón combinado con gallinaza ayuda a mejorar el desarrollo radicular de las plantas de maíz.
- ✓ Las aplicaciones de biocarbón con gallinaza al suelo aumentan el contenido nutricional (Ca, Mg, K, P y N) del mismo.
- ✓ Las aplicaciones de biocarbón con gallinaza al suelo aumentan significativamente el peso de los chilotes y las mazorcas producidas, la biomasa vegetal y los rendimientos en t ha^{-1}.
- ✓ La estufa mejorada de biocarbón utiliza la misma cantidad de madera significativamente que usar una estufa tradicional para cocinar.
- ✓ La estufa mejorada de biocarbón disminuye drásticamente el tiempo necesario para cocinar tres alimentos (frijoles, tortillas y arroz) comparada con las estufas tradicionales.
- ✓ Las temperaturas alcanzadas en la estufa de biocarbón durante el tiempo no son significativamente diferentes que las estufas tradicionales.
- ✓ Los usuarios de las estufas están satisfechos y apropiados con la estufa de biocarbón.
- ✓ Los productores están satisfechos con los resultados del uso del biocarbón en sus fincas.

Análisis integral de la situación actual y las implicaciones de la investigación para el desarrollo.

La investigación fue desarrollada en las comunidades agropecuarias del trópico seco del Departamento de León:

- ✓ Telica: El Tololar (2 Fincas), Palo de lapa (1 Finca)
- ✓ León: Monte redondo (1 Finca), Los Alpes (1 Finca), San Pedro (1 Finca)
- ✓ La Paz Centro: La Sabaneta (3 Fincas)

Situación actual:

Las fincas esta situadas en la región de la franja seca del pacifico donde las precipitaciones anuales pueden llegar hasta 500mm o menor en el peor de los casos. Los productores en la zona no cuentan son un sistema de riego, lo cual les imposibilita la producción durante la temporada más seca y en los períodos de escasas lluvias y la canícula durante el invierno. Como medida de adaptación para este caso los productores realizan en lo posible dos ciclos de cultivos, los que son llamados comúnmente como "primeras" y "postreras" que corresponde al período anterior y posterior a la canícula (Junio-Julio); con el efecto del cambio climático el período de la canícula se ha extendido lo cual es letal para los cultivos que están en desarrollo en ese tiempo y los productores ante esta situación no les queda más alternativa que esperar en la lluvia o regar con agua de pozo las plantas en caso de ser extensiones cortas de cultivo, todo esto implica un riesgo serio de perder la producción debido al estrés hídrico ocasionado por la insuficiencia de agua en el suelo.

Durante la temporada seca los habitantes de la zona rural no se dedican a la agricultura debido a este fenómeno; se dedican a la extracción y venta de leña, caza de especies silvestres como la iguana y armadillos, realizar trabajos de construcción en la misma comunidad, empleo en fincas vecinas, ventas de abarrotes y trabajos domésticos en general.

Sumado a lo anterior está la ineficiencia de los fertilizantes sintéticos que tienden a bajar el pH de los suelos, haciéndolos más ácidos y limitando la disponibilidad de otros nutrientes. Los vendedores de fertilizantes sintéticos cada vez están subiendo sus precios y los productores debido a la falta de conocimiento y alternativas se ven obligados a depender cada vez más de los mismos. Las aplicaciones de fertilizantes sintéticos carecen de materia orgánica y los nutrientes se pierden debido a la lixiviación y volatilización al ambiente, además los fertilizantes sintéticos no mejoran las estructuras de los agregados del suelo y debido a eso se da la compactación de los mismos, añadiendo la necesidad de realizar una fuerte preparación del suelo para que las plantas puedan tener un buen desarrollo radicular.

Implicaciones:

- ✓ En términos del capital humanos los productores podrían optimizar el uso de suelo, al aplicar biocarbón, debido a que bajaría la densidad aparente de los mismos, con lo cual se haría menos necesario hacer uso de maquinaria agrícola y menos trabajo en general para airear el suelo.
- ✓ El capital natural tendría un beneficio directo debido a que al aplicar biocarbón los productores estarían incrementando la capacidad de los suelos para retener la humedad y evitar riesgos de pérdida de sus cultivos durante períodos críticos de sequía, además de proteger el suelo y las aguas de posibles contaminaciones por aplicaciones de fertilizantes sintéticos.
- ✓ En cuanto al capital productivo los agricultores podrían tener a su disposición la tecnología sostenible para obtener un abono orgánico que les permita incrementar la disponibilidad de nutrientes y mejorar las características químicas del suelo y de esta manera incrementar la producción en general y los rendimientos de maíz en mazorcas, a su vez disponer de mayor biomasa vegetal para alimentar a su ganado.
- ✓ En cuanto al capital social y cultural, el uso de una nueva tecnología implicaría el cambio del estilo de vida de las personas al cocinar con las estufas mejoradas de biocarbón y pensar en mejorar las características de suelo de sus fincas. Definitivamente el poder cocinar más rápido los alimentos usando las mismas cantidades de madera y niveles de temperatura que normalmente se usan en un fogón tradicional, les permite ahorrar tiempo para hacer otras actividades domésticas y productivas. Los productores del campo y usuarios de la estufa aceptan la tecnología ya que les permite cocinar sus alimentos de la misma manera que lo hacían en el fogón tradicional, pero con ventajas en el ahorro del tiempo.
- ✓ El capital financiero y económico se ven afectados positivamente debido a que al producir biocarbón reducen los niveles de aplicación de fertilizantes sintéticos, lo cual les permitirá ahorrar dinero. El biocarbón puede ser comercializado como un abono orgánico, teniendo mejores resultados si se combina previamente con un abono orgánico rico en nitrógeno; por lo tanto sería un ingreso extra de dinero a la familia, pudiendo convertir el uso de la estufa en un medio de vida alternativo para las familias del área rural.
- ✓ En cuanto al capital político, los resultados de la investigación permitirían tener una visión más amplia en cuanto a tomar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático en las comunidades productivas de las cuales depende la alimentación de la población. Además podrían considerar el uso de estufas mejoradas de biocarbón para ser utilizadas en las áreas rurales y que puedan enriquecer sus propios suelos con el subproducto de las cocinas.

X. Apartado 2. Potencial de la investigación para la formación de políticas a nivel local, departamental, nacional y global.

Los resultados de la presente investigación puede involucrar a actores públicos y privados, lo cual permite abrir oportunidades desde diferentes puntos de referencia que facilitan dar el siguiente paso de la ciencia que es la aplicación y extensión para el desarrollo de la sociedad. Al analizar los principales actores que participan, interactúan y se ven involucrados de forma directa o indirectamente en la investigación nos encontramos con: Hombres, mujeres, niños (as), ancianos, líderes comunitarios, productores agropecuarios, estudiantes, docentes, investigadores, ONGs, medios de comunicación, pequeña y mediana empresa, Alcaldías municipales, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Ministerio de Agricultura y Forestería (MAGFOR), Ministerio de la Economía Familiar (MEF), Ministerio de Educación, Instituto Nacional de Tecnología Agrícola (INTA), Instituto Nacional Forestal (INAFOR) y el Ministerio de Salud (MINSA).

El impacto del uso del biocarbón aborda muchos temas de preocupación actual como: El cambio climático, seguridad alimentaria, salud integral, energías renovables, tecnologías climáticamente inteligentes o tecnologías sostenibles e integración social. Estos temas a su vez tienen impacto a nivel local, nacional, regional y global. De esta manera, las políticas en potencia, y propuestas de regulaciones y leyes deben de considerar la participación e integración de los diferentes aspectos antes mencionados para lograr una gobernanza efectiva.

Local

Para el caso de los municipios de La Paz Centro, León y Telica los cuales se encuentran en la franja seca del pacífico y la actividad productiva principal es la agricultura conviene implementar políticas que vayan a favor de promover la protección de los suelos contra la desertificación, esto implica prácticas de conservación de la biodiversidad, corredores biológicos, cuencas hidrográficas, reservas naturales y zonas de amortiguamiento, además implica prácticas de conservación de suelo y defensa contra la erosión eólica principalmente, reforestación e implementación de técnicas agrícolas sostenibles como el uso de productos orgánicos y ecológicos al suelo para promover la vida macro y microbiana en el suelo.

Para la producción de biocarbón se necesitan técnicas sostenibles que puedan permitir la autonomía de cada familia y sus territorios. Es decir que debe de existir una capacidad máxima de producción de biocarbón por día para no sobrepasar la tasa de recuperación de la biomasa maderable de las fincas. Además del uso de especies maderables como fuentes de biomasa, se pueden usar desechos orgánicos, rastrojos de cultivo y hojas del patio, en fin cualquier fuente de biomasa que pase por un previo proceso de secado por insolación y viento en las fincas.

Propuestas:

- ✓ Establecimiento de una ley de pagos por servicios ambientales, tanto para la fijación como el secuestro de carbono en el suelo en todas las áreas rurales.
- ✓ Establecimiento de puestos de acopio y distribución de biocarbón a todas las propiedades comunitarias de los municipios que se encuentran en la franja seca del pacífico.

- ✓ Establecimiento de una ley que prohíba la incineración de rastrojos y hojarascas y que obligue a las personas a utilizar reactores de producción de biocarbón.

Nacional

Los actores, en este caso el gobierno y las entidades estatales y representantes de la nación podrían comenzar con normas que promuevan el carbono neutral y establecer leyes donde las empresas y las personas puedan realizar sus pagos por emisiones de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero en forma de biocarbón listo para ser aplicado al suelo, lo cual sería mucho más eficiente que pagar las emisiones con dinero, lo cual no es realista en tanto de las funciones administrativas de las organizaciones encargadas de capturar el carbono atmosférico, debido al flujo de dinero por muchas razones, entre ellas la corrupción.

Propuestas:

- ✓ Establecimiento de una ley que obligue a las empresas y a las personas que paguen por las emisiones de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero en las localidades encargadas del acopio y distribución del biocarbón.
- ✓ Establecimiento de leyes que permitan canjear los pagos por emisiones de dióxido de carbono por trabajos de incorporación de biocarbón en áreas agrícolas de cualquier escala.

Global

Muchas empresas, instituciones y fábricas de los países de Europa, Asia y Norteamérica están obligadas a realizar pagos por servicios ambientales a organizaciones del gobierno y no gubernamentales para que puedan desarrollar proyectos y programas de reforestación en países con riqueza del recurso suelo para la agricultura y la forestería, sin embargo esta forma de trabajo no ha sido eficiente debido a que gran parte de las inversiones que vienen de los pagos por emisiones se pierden por mala administración del dinero y del capital humano. Para esto sería más fácil utilizar el dinero de los pagos por emisiones de gases de efecto invernadero para comprar el biocarbón directamente y dedicar los esfuerzos en proyectos para la incorporación del biocarbón al suelo de los productores y de una vez mejorar las propiedades físico-químicas de los suelos agrícolas y fomentar a su vez programas de reforestación de las áreas agrícolas en extensión, las cuencas y áreas protegidas. De esta manera se estimularía la creación de medios de vida que permitan la fabricación sostenible del biocarbón, acopio, comercialización y distribución del mismo a nivel mundial.

Propuesta:

- ✓ Establecer un decreto internacional en el que se establezca la compra del biocarbón como pago por las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.
- ✓ Promover proyectos para la capacitación, incorporación de biocarbón e investigación el uso y producción del mismo en todos los países.

XI. ANEXOS

I. RECOMENDACIONES

Recomendaciones técnicas aplicadas con base a los resultados de la investigación:

- Para la zona de la franja seca del pacífico se recomienda la aplicación mínima de 15 t ha^{-1} combinada con gallinaza (preferiblemente proveniente de ponedoras de piso locales), incorporado al suelo, antes de la siembra y durante el ciclo de cultivo, con el propósito de obtener los mejores resultados en rendimientos para el cultivo de maíz, reducción de la densidad aparente de los suelos, en el caso de suelos Franco Arcillo Arenoso y la retención de la humedad. La dosis de 15 t ha-1 de biocarbón se considera sostenible ya que permite hacer un uso eficiente de los recursos forestales de la zona y no promover la deforestación; además los resultados obtenidos en la presente investigación y recientes investigaciones sugieren aplicar esta dosis como mínimo para obtener un buen equilibrio nutricional para los cultivos.
- El biocarbón debe de ser incorporado estratégicamente en el suelo en el lugar donde se desarrollará la planta para optimizar los resultados y evitar tener el biocarbón subutilizado en áreas no productivas del suelo.
- Al trabajar en la trituración del biocarbón se recomienda humedecerlo y utilizar mascarillas para evitar la pérdida por el viento y la contaminación de las vías respiratorias de las personas. Además se debe de utilizar cribas de $1cm^2$ máximo para colar las partículas trituradas de biocarbón y ser aplicadas al suelo.
- Se recomienda utilizar biomasa proveniente de leña, podas y hojas secas de las especies locales más abundantes y a la vez reforestar las fincas con el propósito de contribuir al abastecimiento de madera para las fincas.
- Sustituir la estufa tradicional por la mejorada para biocarbón.
- En el caso de ser necesario obtener mayores cantidades de biocarbón para los suelos de las fincas, se recomienda usar hornos de gasificación caseros (55- galones TLUD). Estos hornos pueden elaborarse con barriles de metal de cualquier medida, alcanzando temperaturas de hasta 450˚C durante una hora y media como máximo.
- Se recomienda humedecer el biocarbón un poco antes de ser aplicada al suelo para evitar la pérdida del mismo por el viento y obtener una respuesta rápida de su efecto en el suelo.
- En el caso de mezclar el biocarbón con abonos orgánicos nitrogenados, se recomienda combinar en seco y utilizar relaciones 1:1 del peso de ambos abonos, para obtener un buen equilibrio en la retención de los nutrientes por el biocarbón.

Recomendaciones generales de la investigación

- Evaluar variables de respiración microbiana de suelo.
- Repetir el experimento con otras especies de cultivo.
- Evaluar la eficiencia y calidad de diferentes tipos de materias primas para la elaboración del biocarbón.
- Evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón en la reducción de la marchitez en los cultivos.

- Medir las emisiones de gases de la estufa.
- Medir el efecto y resiliencia del biocarbon a lo largo del tiempo.
- Realizar estimaciones de potenciales para la producción de biocarbón de manera sostenible en la zona de la franja seca del pacífico.

II. EFECTO DEL BIOCARBÓN EN LA DENSIDAD APARENTE DE LOS SUELOS FRANCO ARCILLO ARENOSOS.

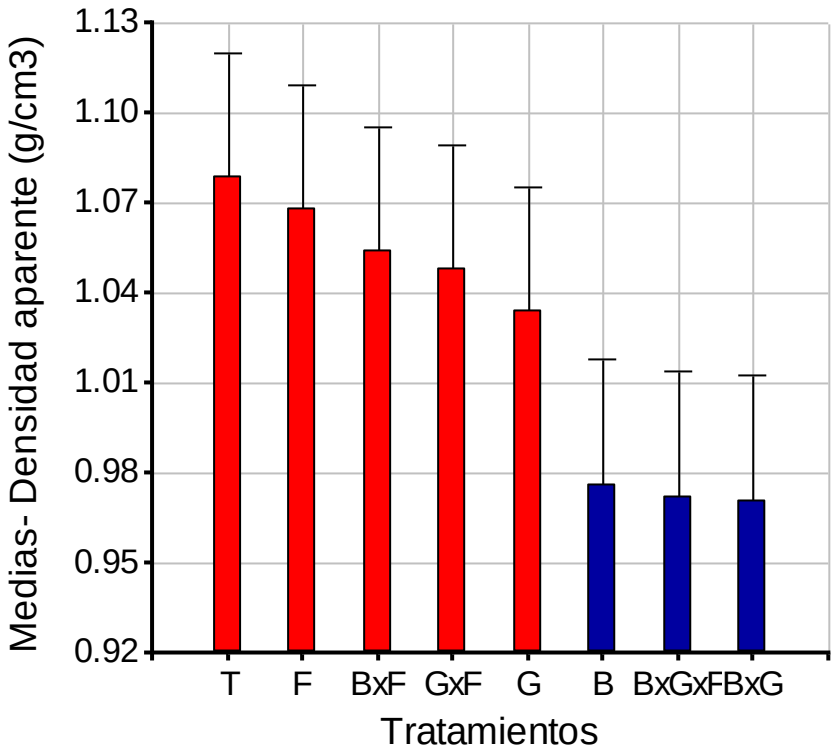
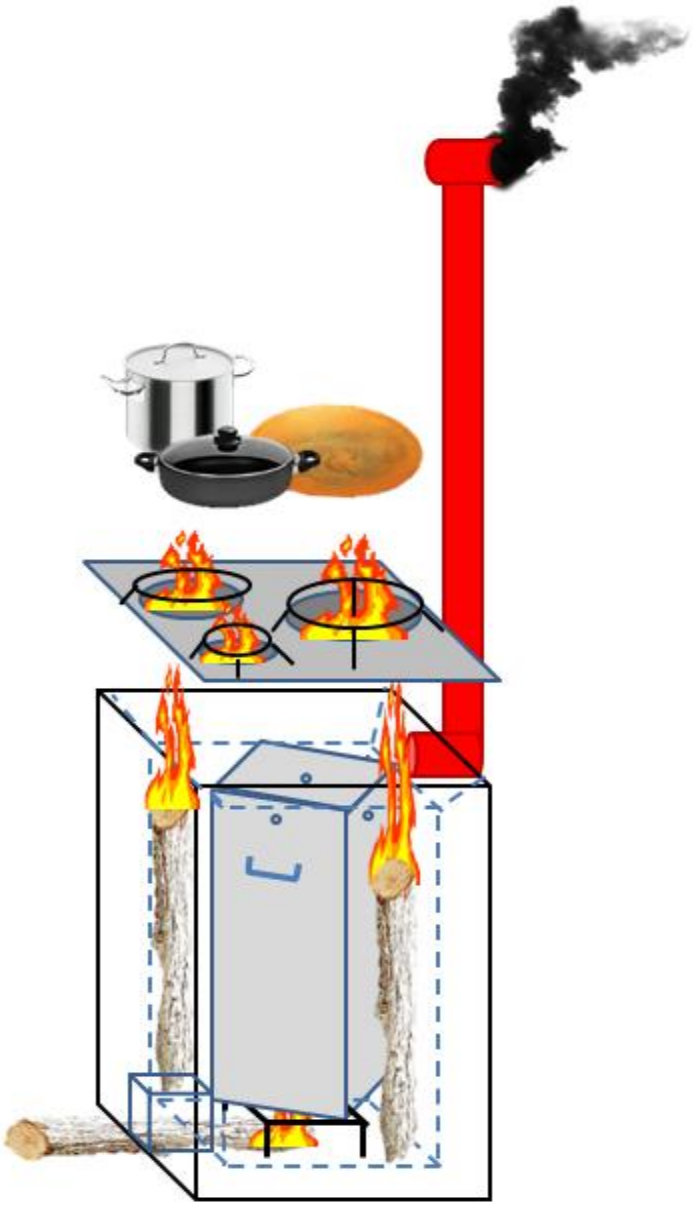


Figura anexo. Densidad aparente (Dap) (g/cm^3) del suelo en cada tratamiento en texturas Franco Arcillo Arenoso a los 50 días después de la siembra en temporada seca. Los tratamientos con letra B= biocarbón, G= gallinaza, F= fertilizantes sintéticos, BxG= biocarbón y gallinaza, BxF= biocarbón y fertilizantes sintéticos, GxF= gallinaza y fertilizantes sintéticos, BxGxF= biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0.05).

III. DISENO DE LA ESTUFA MEJORADA ESPECIALIZADA EN PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN



IV. ENCUESTA SEMI-ESTRUCTURADA

Finca:_____ Fecha:_____

1. ¿Cómo califica su experiencia usando la estufa de biocarbón?

	Muy mala	mala	Regular	Buena	Muy buena

¿Por qué?

2. ¿Qué cosas le gustaron más con respecto a las particularidades de la estufa mejorada de biocarbón en comparación con la estufa que tiene en su cocina?

	Marque con una "X" la casilla correspondiente				
	Muy mala	mala	Regular	Buena	Muy buena
Diseño de la estufa:					
Gasto de leña:					
Facilidad/practicidad para usarla:					
Preparación de la madera para usar la cocina:					
Humo en la cocina:					
La posibilidad de hacer biocarbón:					

3. ¿Qué tan satisfechos están con los resultados del uso del biocarbón en los rendimientos de maíz en su finca?

	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Indiferente	Satisfecho	Muy satisfecho

¿Por qué?

4. ¿Qué le parece el precio de la estufa mejorada de biocarbón?

	Muy caro	Caro	Accesible	Barato	Muy barato

¿Por qué?

5. ¿Sustituirá el uso de la cocina de su hogar por esta nueva estufa de biocarbón?

Si__
No__
¿Por qué?

6. ¿Recomendaría a sus vecinos adquirir y usar este tipo de estufas?

Si__
No__
¿Por qué?

7. ¿Qué cambios en la estufa recomendaría para mejorarla?