

**Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y
trichoderma en el mejoramiento de la calidad del
suelo y el crecimiento de pasto King grass
(*Pennisetum purpureum*)**

Marisol Dar Ali Rothsuh

Escuela Agrícola Panamericana Zamorano
Honduras
Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Marisol Dar Ali Rothsuh

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2013

Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*)

Presentado por:

Marisol Dar Ali Rothschuh

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesora principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de Ambiente y
Desarrollo

Timothy Longwell, M.Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

José Martín Reyes, Ing. Agr.
Asesor

Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King Grass (*Pennisetum purpureum*)

Marisol Dar Ali Rothschuh

Resumen: Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto del biochar inoculado con micorrizas y trichodermas en el suelo y en el crecimiento de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en condiciones controladas. Se determinó el efecto de la aplicación de biochar en las características químicas del suelo, el crecimiento, la biomasa y las raíces del pasto. El estudio se desarrolló en el Programa de Investigación de frijol, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, entre los meses de julio y septiembre de 2013. Se utilizaron seis tratamientos: suelo, suelo con biochar, suelo con biochar y Trichozam[®], suelo con biochar y Mycoral[®], suelo con Trichozam[®] y suelo con Mycoral[®]. Se utilizaron bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, se sembraron esquejes de pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) en suelo franco. Se midió la altura del pasto durante nueve semanas y al final se pesó la biomasa y la raíz de cada planta. Se utilizó una separación de medias Duncan ($P < 0.05$) en el software SAS[®]. El pasto en el suelo con biochar y Trichozam[®] y suelo con Mycoral[®] obtuvo 18% más de crecimiento comparado con el suelo. La biomasa fresca y seca tuvo mayores rendimientos en el suelo con biochar inoculado con ambos microorganismos. Se presentó mayor peso de raíces en los tratamientos con Mycoral[®]. El suelo obtuvo más materia orgánica y conductividad eléctrica en los tratamientos con biochar y Mycoral[®]. El biochar requiere microorganismos benéficos para aumentar el crecimiento, la biomasa y desarrollo radicular del pasto.

Palabras clave: Carbón vegetal, enmienda al suelo, micorrizas, pirolisis, trichodermas.

Abstract: This study was conducted to evaluate the effect of biochar inoculated with mycorrhizae and trichodermas in soil and King grass (*Pennisetum purpureum*) growth in controlled conditions. Also, the effect of biochar application was determined on soils chemical properties, the growth of grass, biomass production and roots development. The study was conducted at Programa de Investigación de frijol (PIF) Zamorano, Honduras, between July and September 2013. Six treatments were applied: soil, soil with biochar, soil with biochar and Trichozam[®], soil with biochar and Mycoral[®], soil with Mycoral[®] and soil with Trichozam[®]. A complete randomized block design was used with four replications per treatment. King grass cuttings were sown in loam soil. Grass height was measured for nine weeks and the biomass and roots of each plant were weighed. A mean separation by Duncan ($P < 0.05$) in SAS[®] was used for the statistical analysis. The grass increased 18% of its growth in the soil with biochar and Trichozam[®] and the soil with Mycoral[®] compared to the soil. The fresh and dry biomass had higher yields with soils and biochar inoculated with both microorganisms. Roots had higher weight with Mycoral[®] treatments. Chemically, soils got more organic matter and electrical conductivity in the treatments with biochar and Mycoral[®]. Biochar requires some microorganisms to increase the growth, the biomass and the roots development of grass.

Key words: Charcoal, mychorrizal, pirolisis, soils amendment, trichoderma.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4 CONCLUSIONES.....	12
5 RECOMENDACIONES.....	13
6 LITERATURA CITADA.....	14
7 ANEXOS	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Resultados del análisis de suelo franco antes de siembra del pasto King grass en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	7
2. Análisis químico y densidad aparente de biochar preparado a partir de olote (residuo de la mazorca desgranada) a 490° C en la Escuela Agrícola Panamericaba Zamorano, Honduras.....	7
3. Comparación de altura promedio y peso de biomasa con la aplicación de biochar activado con Thrichozam [®] y Mycoral [®] en Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	9
4. Contenido de nutrientes del biochar preparado a partir de olote, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	10
5. Efecto del biochar y la inoculación con Mycoral [®] y Trichozam [®] en las raíces y a los 72 días después de siembra del pasto King grass en Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.....	10
6. Análisis de los tratamientos de suelo inoculados con biochar, Mycoral [®] y Trichozam [®] en Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras.	11
Figuras	Página
1. Altura de tallo del pasto King grass (<i>Pennisetum purpureum</i>) a los 72 días después de siembra en la EAP Zamorano, Honduras.....	8
Anexos	Página
1. Resultado de análisis químico de biochar realizado por Zheng <i>et al.</i> 2010.....	17

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se conocen numerosas formas de mejorar las condiciones y la calidad del suelo sin utilizar la agricultura convencional. Entre estas nuevas alternativas que han surgido, se conocen los abonos orgánicos como el compost, el bocashi, práctica de la lombricultura, entre otros, que tienen como fin darle auge a la agricultura sostenible.

El biochar es una de las alternativas que ha surgido como enmienda al suelo, debido a que ha mostrado ser de alta estabilidad y persistencia. Se obtiene mediante una modificación térmica de la biomasa o los residuos agrícolas, se recomienda utilizar biomasa seca. El biochar es considerado un catalizador debido a que facilita las reacciones benéficas en la dinámica del suelo, sin ser consumido en los procesos de degradación biológica como sucede con los fertilizantes (McLaughlin *et al.* 2009).

La agricultura genera una gran cantidad de residuos que se reincorporan a los procesos de mejoramiento del suelo. El olote obtenido en el proceso de desgrane de la mazorca de maíz, se ha identificado como una buena fuente para la elaboración de biochar, debido a su bajo contenido de humedad y rápida quema en la cámara de combustión¹ de la Unidad de Forestales de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano.

Por lo tanto, el biochar es una nueva alternativa que los científicos sugieren, debido a lo que han descubierto en las llamadas Terra Preta de la Amazonía, en donde los suelos son altamente fértiles debido al contenido de biochar que poseen. Igualmente, se han obtenido notables resultados con estudios que lo utilizaron de 5 al 20% del volumen del suelo (Hunt *et al.* 2010).

El biochar es un abono compuesto por carbón vegetal que se ha investigado muy poco en Latinoamérica. Países como “Estados Unidos, Japón y Corea han revivido el uso de biochar en sistemas de agricultura sostenible” (Hunt *et al.* 2010). Los estudios actuales sobre el biochar se inspiran en la forma en que los indígenas de la Amazonía manipulaban el suelo mediante carbón vegetal. Los estudios muestran que el manejo de biochar aumenta significativamente la productividad de los cultivos y reduce la lixiviación de los nutrientes (Lehmann *et al.* 2006).

Existen áreas en donde se produce biochar naturalmente como sucede en Las Praderas de Estados Unidos (oeste del río Mississippi y este de las Montañas Rocosas), lo cual caracteriza a los suelos de esta zona como unos de los suelos más fértiles del mundo.

¹ Támara, F. 2012. Tesista de Unidad de Forestales. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Comunicación personal.

El término biochar es relativamente nuevo pero su uso data como mínimo de hace 2,000 años. En la cuenca de la Amazonía hay evidencia del uso extensivo del biochar en las llamadas Terra Preta y Terra Mulata, creadas por los ancestros de la cultura indígena. Debido a la gran cantidad de biochar incorporado al suelo la región sigue siendo fértil, a pesar de los siglos que ha sufrido la zona por la lixiviación a causa de las fuertes lluvias (Hunt *et al.* 2010).

Entre los beneficios del biochar se encuentran: retención de nutrientes y capacidad de intercambio catiónico, reducción de la acidez del suelo, reducción de la captación de toxinas, mejora de la estructura, uso eficiente de los nutrientes, mayor capacidad de retención de agua, disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (CSIRO s.f.). El biochar puede aumentar la eficiencia del uso de los fertilizantes, al disminuir los requerimientos del cultivo y reducir las emisiones de CO₂ asociados con la manufactura de los mismos (Woolf *et al.* 2010).

El biochar y la productividad del suelo. Los suelos que se caracterizan por poseer alta proporción de biochar se encuentran en los suelos vertisoles, un factor que contribuye a la alta acumulación de este carbón en los vertisoles es la arcilla. Sin embargo, la arcilla no es determinante en cuanto a la cantidad de carbón que puede retener un suelo. El clima, la posición del terreno y la mineralogía son factores a considerar en cuanto a la formación y retención de carbón vegetal en el suelo (Krull *et al.* 2008).

Al igual que otros productos de pirólisis se espera que el biochar sea material de alta superficie activa que adsorba los compuestos orgánicos. El área superficial de carbón vegetal puede ser de hasta 400 m²/g, depende del material de origen y de las condiciones de formación (Elmer *et al.* 2009).

Un requisito previo para el uso a gran escala de carbón vegetal como mejorador de suelos en la agricultura, es una evaluación exhaustiva de sus efectos sobre la disponibilidad biológica de los productos químicos de importancia agrícola. Estos son los plaguicidas, los contaminantes existentes y las sustancias químicas naturales de las plantas (Elmer *et al.* 2009).

El biochar contiene algunos de los nutrientes de las plantas que potencialmente podrían ser utilizados para la producción de los cultivos. La densidad aparente del biochar es baja y puede disminuir la densidad aparente de los suelos de arcilla y aumentar la capacidad de retención de agua de los suelos arenosos (Ha *et al.* 2010).

Hongo Trichoderma. Desde una perspectiva de conservación, el biochar puede ser parte de un paquete más amplio de estrategias ya establecidas, por eso debe combinarse con otras técnicas (Verheijen *et al.* 2010). El biochar debe ser recargado o activado para tener mejor efecto en el suelo y el cultivo, debido a que se considera un catalizador por su capacidad de aumentar y mejorar el consumo de los nutrientes y la absorción del agua en las plantas y los microorganismos del suelo (Hunt *et al.* 2010).

Para este estudio se decidió utilizar Trichozam[®] cuyo ingrediente activo es *Trichoderma harzianum* que actúa como una capa protectora para las raíces de la planta, al hacer una

simbiosis con las raíces del cultivo. Así como también elimina las fuentes de alimento de un patógeno que quiera atacar a la planta (EAP 2005).

Al activar el biochar con Trichozam[®] se le brinda protección a la planta y mayor tamaño de sistemas radiculares. Junto con el biochar molido, la trichoderma tendrá mayor superficie de contacto en el suelo y el pasto King grass (*Pennisetum purpureum*). Este hongo crece mejor en medios con un pH de 4-8 y temperaturas que oscilan entre 9 y 35° C. Se aplica de forma diluida en el suelo o sustrato que se va a utilizar (EAP 2005).

Micorrizas. Se definen como una asociación simbiótica entre hongos del suelo (zigomicetos) y la raíz de gran parte de las plantas, es decir, las micorrizas se encuentran de forma natural en el suelo. Con la simbiosis, tanto la micorriza como la raíz del cultivo se benefician, ya que la raíz toma los nutrimentos absorbidos por el hongo y son trasladados al cultivo; el hongo toma el carbono del cultivo para su desarrollo (CORPOICA s.f.).

Entre los beneficios que manifiesta la simbiosis de micorrizas con un cultivo se encuentran: incremento de biomasa y mejor crecimiento de las flores y las raíces, mayor absorción de los nutrientes, menor uso de los fertilizantes, mejoramiento de la estructura del suelo, entre otros efectos que son de gran beneficio para el suelo y el cultivo (Arévalo s.f.).

Los suelos que contienen carbón vegetal biochar, resultan de gran importancia para implementar agricultura sostenible. El biochar reincorpora los residuos agrícolas y mejora la fertilidad de los suelos por su alto contenido de materia orgánica y estabilidad en el suelo. Con el fin de dar a conocer los beneficios del uso de biochar, inoculado con micorriza y trichoderma en el suelo y en el cultivo de pasto, es necesario realizar una investigación sobre cuál de estos microorganismos combinados con biochar, es más efectivo en cuanto a la mejora de la calidad del suelo y el crecimiento del pasto King grass.

Objetivos del estudio

- Evaluar el efecto del biochar inoculado con micorrizas y trichodermas en el suelo y en el crecimiento de pasto King grass, a partir de su aplicación en condiciones controladas.
- Determinar el efecto de la aplicación del biochar en las características químicas del suelo, en la altura, la biomasa y desarrollo radicular del pasto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de Biochar. Se requiere una cámara de combustión que sea capaz de bloquear el paso de oxígeno al quemar la biomasa. Para este estudio se utilizó una cámara de combustión llamada bulbo industrial obtenida en la Unidad de Forestales de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano. La capacidad de carga del bulbo es 8.035 kg de olote picado (residuo de mazorca desgranada). El peso del balde fue de 3.075 kg, al quemar el olote a aproximadamente 490°C por 70 minutos se apagó la llama y se cerraron las entradas de oxígeno dando como resultado 1.23 kg de biochar, lo que equivale a un 15% de rendimiento.

Análisis de Laboratorio. Se realizó un análisis de suelo y del biochar antes de siembra en el Laboratorio de Suelos de la EAP Zamorano. Se determinó pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio en el suelo. En el caso del biochar, se determinó pH, humedad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, cobre, manganeso, zinc, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, cationes solubles y cationes intercambiables.

Para el análisis del suelo previo a la aplicación de los tratamientos, el carbono orgánico se analizó por el método de Walkey and Black. Este consiste en oxidar la materia orgánica rápidamente con 1N dicromato de potasio y combustión de ácido sulfúrico concentrado y titulado con definelamina de sulfato de bario. A partir del carbono se multiplica por 1.74 para determinar la materia orgánica del suelo (Arévalo y Gauggel 2013); el nitrógeno fue calculado del cinco por ciento de la materia orgánica; el P, K, Ca, Mg se determinaron por una solución extractora Mehlich III.

Para el análisis del biochar, la materia orgánica se determinó por ignición, método que consiste en la oxidación del suelo a temperaturas entre 500-575°C, la pérdida de masa es equivalente a la cantidad de materia orgánica que hay en el suelo (Wright *et al.* 2008). El N fue medido por el método directo Micro Kjeldahl, el cual se basa en la oxidación catalítica del nitrógeno orgánico y químicamente combinado (Arévalo y Gauggel 2013). En cambio el K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn se determinaron por una digestión húmeda con ácido sulfúrico determinado por absorción atómica, conductividad eléctrica (C.E.) y cationes solubles por absorción atómica determinada en pasta saturada. Los cationes intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determinaron por acetato de amonio a pH 7.

Para las variables del peso de la biomasa y las raíces del pasto King grass, se utilizaron cálculos del porcentaje de humedad y materia seca con las siguientes fórmulas:

$$\frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} = \% \text{ Humedad} \quad [1]$$

$$100 - \% \text{ Humedad} = \% \text{ Materia seca} \quad [2]$$

Al final del estudio, se tomaron muestras de los seis tratamientos utilizados. Para cada muestra, se tomó suelo de los maceteros elegidos al azar de cada uno de los bloques y se mezcló de forma homogénea para obtener una muestra representativa de cada tratamiento. En total se analizaron seis muestras de suelo, una por tratamiento en el Laboratorio de Suelos de la EAP Zamorano. Se determinó C.E. medida en el extracto de saturación y determinada en el conductivímetro (Arévalo y Gauggel 2011). El porcentaje de materia orgánica por el método de Walkley and Black y luego por ignición, el porcentaje de nitrógeno por el método Kjeldahl y el pH con una relación suelo agua 1:1.

Etapas del estudio. Primera etapa, siembra preliminar para observar el desarrollo del cultivo, a partir de las observaciones se tomó la decisión de hacer una segunda siembra o continuar con la primera instalación, al hacer evaluaciones con la corta del pasto y al evaluar el crecimiento del mismo.

A partir de las observaciones de la siembra preliminar, se decidió realizar una resiembra para medir el crecimiento del pasto en su fase inicial. Esta decisión se debe a que no se tomó en cuenta que habría diferencias entre los primeros brotes del pasto de cada tratamiento.

Segunda etapa, en un invernadero del Programa de Investigación de frijol de la EAP, se sembraron esquejes de pasto King grass en el periodo de tiempo comprendido entre julio a septiembre del 2013. En cada macetero se colocó suelo franco obtenido de La Vega, uno de los terrenos de la EAP. Se utilizaron maceteros de 2,903 cm³.

Instalación de los maceteros. Se tamizó el suelo traído del lote conocido como La Vega de la EAP para eliminar el material grueso >0.5 cm. En cada macetero se agregó el mismo suelo y a los maceteros que contenían el biochar se les aplicó 5% del volumen total del macetero, al tomar en cuenta la densidad aparente del biochar equivalente a 0.208 g/cm³. El volumen del macetero fue de 2,903 cm³, 5% de este es igual a 145.15 cm³ multiplicados por 0.208 g/cm³ equivale a 30.19 gramos aplicados en una mezcla uniforme del suelo con biochar.

El Trichozam[®] se debe aplicar a 240 g/ha. Para este estudio se utilizaron 120 gramos de la trichoderma en 16 litros de agua. Con una bomba de fertilización se aplicaron 400 ml en 40 maceteros cuyo tratamiento requería Trichozam[®]. A los tratamientos con Mycoral[®], se les aplicó 100 gramos por metro lineal equivalentes a 20 gramos de Mycoral[®] mezclados con el suelo. Al momento de la siembra del pasto se adicionaron 10 gramos más en cada hoyo de siembra antes de poner el esqueje.

Variables. Altura del cultivo mediante una medición semanal del brote principal hasta su punto de lignificación durante 9 semanas; la biomasa a través del peso de tallo y follaje fresco y seco al final de las 9 semanas del cultivo; el peso seco y húmedo de raíces a través de una medición al final del estudio; el porcentaje de materia seca y porcentaje de humedad de la biomasa y las raíces.

Tratamientos. Suelo, suelo con biochar, suelo con biochar y Mycoral[®], suelo con biochar y Trichozam[®], suelo con Mycoral[®] y suelo con Trichozam[®]

Diseño Experimental y Análisis Estadístico. Se utilizaron bloques completos al azar (BCA) con seis tratamientos y cuatro repeticiones (bloques) para la distribución de los maceteros en el invernadero. Para el análisis de datos se utilizó la separación de medias Duncan con un nivel de significancia del 5% con el Software estadístico SAS[®].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del Laboratorio de Suelos de la EAP (Cuadro 1) muestran que el suelo obtenido en La Vega, terreno de la EAP, tiene altos niveles de potasio y fósforo. Los niveles de nitrógeno, en cambio son muy bajos; el pH se encuentra en un nivel óptimo que puede ser modificado con la presencia del biochar debido a que tiene la característica de elevar el pH (CSIRO s.f.).

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo franco antes de siembra del pasto King grass en la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Análisis de laboratorio	pH	%		mg/kg	% de saturación			
		M.O.	N Total	P	K	Ca	Mg	Na
Suelo La Vega Zamorano	6.01	2.63	0.13	62	18	66	15	1
Interpretación		Medio	Bajo	Alto	Alto	Medio	Medio	Normal
Rangos óptimos	6-6.5	2-4	0.2-0.5	13-30	3-5	50-75	15-20	<15

M.O.: materia orgánica; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio.

El biochar se analizó químicamente en el Laboratorio de Suelos, pero no existe alguna muestra estándar de biochar con análisis de nutrientes para comparar con el resultado obtenido. Para interpretar el resultado del análisis del biochar se compararon algunos nutrientes con un biochar obtenido a partir de olote sometido a una pirólisis de 450°C por Zheng *et al.* (2010).

La materia orgánica del biochar obtenido en La Unidad de Forestales de Zamorano presentó 93.5% de materia orgánica comparado con los 77.84% obtenidos por Zheng *et al.* 2010. El porcentaje de nitrógeno en cambio fue menor en este estudio, obteniendo 0.62% comparado con 0.86% obtenidos por Zheng *et al.* 2010 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis químico y densidad aparente de biochar preparado a partir de olote (residuo de la mazorca desgranada) a 490° C en la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Análisis de laboratorio	pH	M.O.N	% base seca					mg/kg					C.E. ds/m	CIC cmol/kg	Dap t/m³	
			P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn					
	7.1	94	0.62	0.24	3.16	0.1	0.2	101	366	11	26	272	33	14	0.21	
					mg/kg											
Cationes solubles					15769	11	34	9								
Cationes intercambiables					16423	97	269	79								

M.O.: materia orgánica; C.E.: Conductividad eléctrica; Dap: Densidad aparente; Fe: hierro; Cu: cobre; Mn: manganeso; Zn: zinc.

Altura y Biomasa. La altura del pasto es la única variable que se midió durante nueve semanas (Figura 1) y se obtuvo una diferencia significativa en dos de los tratamientos (Cuadro 3). El suelo combinado con biochar y activado con Trichoizam[®] generó mayor altura del pasto seguido por el tratamiento de suelo con Mycoral[®]. Se determinó que el biochar activado con Trichoizam[®] aumenta el crecimiento del pasto, debido a la teoría que menciona que el área superficial y la estructura de los poros del biochar retienen bacterias y hongos que la planta necesita para absorber los nutrientes del suelo, lo cual favorece el crecimiento del cultivo (Zheng *et al.* 2010).

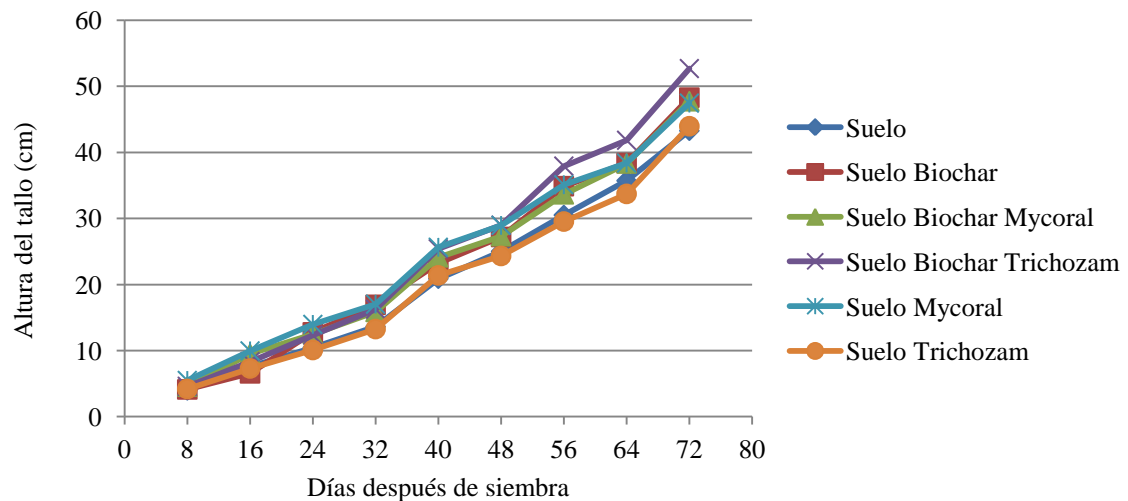


Figura 1. Altura de tallo del pasto King grass (*Pennisetum purpureum*) a los 72 días después de siembra en la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el suelo con biochar y Trichoizam[®] y el suelo con Mycoral[®] con los demás tratamientos.

También se determinó que hay diferencias significativas para el suelo con biochar y Trichoizam[®] en relación al peso seco de la biomasa y el porcentaje de materia seca. El suelo con biochar y Mycoral[®] alcanzó diferencias significativas con el peso de biomasa fresca y el porcentaje de humedad. El porcentaje de materia seca tuvo valores iguales en los tratamientos de suelo con biochar y biochar inoculado con Trichoizam[®]. El suelo con Trichoizam[®], tuvo igual porcentaje de humedad que el suelo con biochar y Mycoral[®] (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de la altura promedio y el peso de la biomasa con la aplicación de biochar activado con Thrichozam[®] y Mycoral[®] en Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Tratamiento	Altura brote (cm)	Peso biomasa fresca (t/ha)	Peso biomasa seca (t/ha)	%Materia seca biomasa	%Humedad biomasa
Suelo	19.7 b	23.9 c	3.0 ab	12.9 ab	87.0 bc
Suelo Biochar	20.6 b	27.4 bc	3.6 ab	13.2 a	86.7 bc
Suelo Biochar Mycoral [®]	21.2 b	37.9 a	3.7 ab	8.8 bc	90.2 ab
Suelo Biochar Trichozam [®]	24.1 a	30.6 bc	4.5 a	13.9 a	85.2 c
Suelo Mycoral [®]	23.7 a	26.0 c	4.1 ab	15.6 a	84.4 c
Suelo Trichozam [®]	19.6 b	33.2 ab	2.7 b	8.0 c	91.9 ab
CV	29.5	22.7	32.6	29.8	4.2
R ²	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6
Pr >F	<.0001	0.0027	0.0209	<.0001	0.0004

^{abc} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

Se estimó que todos los tratamientos tienen diferencias entre sí aunque algunas no fueron significativas. Los tratamientos con biochar inoculado con Thrichozam[®] y Mycoral[®] presentaron mayores rendimientos que el suelo sin tratamiento.

En un estudio realizado en un suelo oxisol en Colombia, el total de la biomasa aumentó en 189% al aplicar biochar en una escala de 23.2 toneladas por hectárea. Las investigaciones indicaron que la fijación biológica del nitrógeno y la simbiosis con las micorrizas en un cultivo de frijol fueron enriquecidas con la aplicación de biochar (Hunt *et al.* 2010). En otro estudio con periódicas aplicaciones de *Trichoderma harzianum*, ingrediente activo del Trichozam[®] aumentó la longitud y el diámetro de las mazorcas y el peso seco de las raíces (Castillo 2007).

El biochar presentó alto contenido de potasio (Cuadro 1) al igual que el suelo utilizado para este estudio. En cada macetero se agregó biochar a una proporción de 5% del volumen del mismo lo cual equivale a 657 kg/ha de potasio (Cuadro 4). La materia seca del pasto King grass aumentó significativamente al aplicar 165 kg/ha de potasio (Escobar Morán y Ronquillo Molina 2012).

Cuadro 4. Contenido de nutrientes del biochar preparado a partir de olote, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Nutrientes	%			Aporte kg/ha		
	Base seca	Cationes solubles	Cationes intercambiables	Total	Solubles	Intercambiables
N	0.620			128.960		
P	0.240			49.920		
K	3.160	1.578	1.642	657.280	328.224	341.536
Ca	0.129	0.001	0.010	26.832	23.808	2.028
Mg	0.198	0.003	0.027	41.256	0.708	5.605
Na	0.010	0.001	0.008	2.101	0.193	1.648
Fe	0.037			7.622		
Cu	0.001			0.239		
Mn	0.003			0.546		
Zn	0.027			5.662		

Raíces. Se determinó que el suelo con biochar y Mycoral® tiene diferencias significativas en las variables de peso de las raíces frescas y raíces secas. En general, los tratamientos inoculados con Mycoral® generan más raíces frescas. El tratamiento suelo como testigo obtuvo el mayor porcentaje de humedad de las raíces pero no fue significativa su diferencia con respecto a los tratamientos con biochar. En cuanto a materia seca, las raíces con mayor porcentaje fueron las del suelo con Mycoral® (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto del biochar y la inoculación con Mycoral® y Trichozam® en las raíces y a los 72 días después de siembra del pasto King grass en Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Tratamiento	Peso raíces frescas (t/ha)	Peso raíces secas (t/ha)	%Humedad raíces	%Materia seca
Suelo	6.1 cd	0.6 c	90.5 a	9.4 b
Suelo Biochar	8.2 ab	0.9 ab	88.2 ab	11.7 ab
Suelo Biochar Mycoral®	9.8 a	1.2 a	88.2 ab	11.7 ab
Suelo Biochar Trichozam®	7.3 bc	0.8 bc	89.3 ab	10.6 ab
Suelo Mycoral®	8.2 ab	1.0 ab	87.9 b	12.0 a
Suelo Trichozam®	4.4 d	0.5 c	89.1 ab	10.8 ab
CV	41	48.3	17.3	17.3
R ²	0.4	0.4	0.5	0.5
Pr > F	0.0067	0.0047	0.0466	0.0466

^{abcd} Valores en columnas con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí (P<0.05).

La respuesta de las raíces del pasto King grass ante el Mycoral® concuerdan con un estudio que midió variables como el peso de las raíces de *Leucaena leucocephala*, las

cuales fueron inoculadas con dos tipos de micorrizas. Con el estudio se determinó que las raíces tienen mayor peso fresco, 35.74 g/planta equivalentes a 10.7 t/ha, comparados a los tratamientos sin inoculación con micorrizas (Rey *et al.* 2005).

Análisis del suelo. Al evaluar el efecto de los tratamientos en el suelo (Cuadro 6), no se obtuvieron diferencias relevantes entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de materia orgánica determinada por el método de Walkley y Black. El pH en general fue mayor en los tratamientos que contenían biochar aunque no fue comprobado estadísticamente debido a la reducida cantidad de muestras.

Cuadro 6. Análisis de los tratamientos de suelo inoculados con biochar, Mycoral® y Trichozam® en Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Tratamiento	pH	%M.O.	%C	% M.O. por ignición	%N total	C.E. ds/m	C/N	TSD (ppm)	ΔTSD
Suelo	6.6	2.6	1.5	9.0	0.1	0.8	11.5	514.6	0.0
Suelo Biochar	6.7	2.5	1.4	10.3	0.1	1.3	9.7	855.6	341.0
Suelo Biochar Mycoral®	6.6	2.6	1.5	13.0	0.1	1.2	10.9	784.9	270.3
Suelo Biochar Trichozam®	6.8	2.5	1.4	12.0	0.1	0.9	11.7	594.3	79.7
Suelo Mycoral®	6.5	2.5	1.4	10.3	0.2	0.8	9.6	536.7	22.1
Suelo Trichozam®	6.5	2.6	1.5	12.0	0.1	0.6	10.1	411.4	-103.2
Rangos óptimos	6-6.5	2-4			0.2-0.5	< 2 ds/m		< 1340	

M.O.: materia orgánica determinada por Walkley and Black; TSD: total de sales disueltas.

Se estimó que el suelo con biochar y Mycoral® tiene mayor porcentaje de materia orgánica en los análisis realizados por ignición. Los tratamientos con biochar tienen más contenido de materia orgánica que el suelo testigo (Cuadro 6). Los tratamientos con biochar también presentaron mayor conductividad eléctrica, pero el suelo no alcanza niveles de salinidad al aplicar biochar en la dosis usada en este estudio.

4. CONCLUSIONES

- El pasto King grass presenta mayores rendimientos en la altura, el peso seco y fresco y la materia seca al aplicar tratamientos que contienen biochar inoculado con Trichozam[®] y Mycoral[®] comparados con el testigo que solo contiene suelo.
- Se determinó que los tratamientos inoculados con Mycoral[®] muestran mejores resultados en el peso de las raíces secas y frescas. El suelo con biochar y Thrichozam[®] tiene efecto sobre el crecimiento del pasto en 18% más que el suelo.
- Con el estudio se pudo determinar que el suelo presenta diferencias mínimas en el pH, el contenido de materia orgánica, el nitrógeno, la conductividad eléctrica y la relación carbono nitrógeno al aplicar biochar. Aunque no se comprobó estadísticamente, los resultados indican que los tratamientos con biochar tienen mayor conductividad eléctrica y materia orgánica.
- El biochar inoculado incrementa el desarrollo radicular y de biomasa del pasto King grass. El suelo con biochar sin inocular, no incrementa el crecimiento del pasto.
- El biochar debe de ser inoculado con microorganismos benéficos (micorriza o thrichoderma) para obtener mayor crecimiento en el cultivo de pasto King grass o bien en la calidad del suelo. El biochar aporta nutrientes disponibles al suelo, principalmente potasio.
- El biochar es una alternativa ambiental y económica para capturar C, N, K, Ca y Mg y para mejorar la calidad del suelo.

5. RECOMENDACIONES

- Obtener una fuente segura de pasto King grass debido a que es muy difícil encontrar esquejes de pasto de la misma edad en Zamorano. Igualmente es necesario probar un tratamiento de suelo con biochar, Mycoral[®] y Thrichozam[®].
- Realizar el mismo estudio con pasto King grass y suelos con biochar inoculado con microorganismos benéficos a nivel de campo, para obtener resultados de crecimiento de pasto y efectos en el suelo bajo condiciones no controladas.
- Realizar un estudio enfocado a la calidad del suelo, mediante el uso de suelos de baja fertilidad para observar el efecto del biochar en el mismo. El biochar como enmienda al suelo debe ser estudiado al largo plazo.
- La época de siembra del pasto King grass debe ser con temperaturas de 24°C, debido a que esta es la temperatura óptima de crecimiento para este cultivo. Las altas temperaturas pueden inferir en la germinación.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G. s.f. MYCORAL. Brochure Zamorano. Unidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Escuela Agrícola Panamericana.

Arévalo, G. E. y C.A. Gauggel. 2012. Manual de Prácticas de Laboratorio del Curso de Manejo de Suelos y Nutrición Vegetal Tercer año. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa Honduras. 89 p.

Castillo Ricaurte (2007). Efecto de la aplicación de TRICHOZAM® (*Trichoderma harzianum*) en la producción de maíz dulce (*Zea mays*) variedad Golden Baby. Proyecto Especial Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 8p.

CORPROICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). s.f. Las micorrizas: una opción sostenible de manejo de suelos y nutrición de plantas. (En línea). Consultado 24 de noviembre de 2012. Disponible en [http:// books.google.hn/books?id=bTmd_XYrPwC&pg=PA6&lpg=PA6&dq=micorrizas&source=bl&ots=hBqZW4eEx4&sig=Dr81zJMnyHoX81ApAuRKm8bHA7g&hl=es-419&sa=X&ei=YUSxUK6qB4i29QT63oFI&ved=0CH4Q6AEwDg](http://books.google.hn/books?id=bTmd_XYrPwC&pg=PA6&lpg=PA6&dq=micorrizas&source=bl&ots=hBqZW4eEx4&sig=Dr81zJMnyHoX81ApAuRKm8bHA7g&hl=es-419&sa=X&ei=YUSxUK6qB4i29QT63oFI&ved=0CH4Q6AEwDg)

CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). s.f. Biochar. Sustainable Agriculture Flagship. (En línea). Consultado 10 de junio de 2012. Disponible en <http://www.csiro.au/files/files/pnzp.pdf>

EAP (Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano). 2005. Manual para la producción de: *Spodoptera frugiperda*, *Telenomus remus* Virus de la Polihedrosis Nuclear (VPN) TRICHOZAM, BAZAM y VERZAM. Escuela Agrícola Panamericana. (En línea). Consultado 24 de noviembre de 2012. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/58590627/Manual-Control-Biologico>

Elmer, W., J. White y J. Pignatello. s.f. Impact of Biochar Addition to Soil on the Bioavailability of Chemicals Important in Agriculture. Colorado, US. (En línea). Consultado 16 de junio de 2012. Disponible en: [http:// cees.colorado.edu/ biochar_soils .html](http://cees.colorado.edu/biochar_soils.html)

Escobar Morán, J.J. y O.E. Ronquillo Molina. 2012. Respuesta a la fertilización orgánica con el uso de Biol y potásica inorgánica en King grass (*Pennisetum purpureum*) para estimación energética de potencial productivo de biogás, Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano, Honduras. 27 p.

Ha, M., M. Bumgardner, C. Munster, D. Vietor, S. Capareda, M. Palma y T. Provin. 2010. Optimizing the Logistics of a Mobile Fast Pyrolysis System for Sustainable Bio-crude Oil Production. (En línea). Consultado 16 de junio de 2012. Disponible en <http://elibrary.asabe.org/azdez.asp?search=1&JID=5&AID=30046&CID=pitt2010&T=1&urlRedirect>

Hunt J., M. DuPonte, D. Sato y A. Kawabata. 2010. The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment. Hawaii, US. (En línea). Consultado 10 de junio de 2012. Disponible en <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/SCM-30.pdf>

Krull E., J. Lehmann, J. Skjemstad, J. Baldock y L. Spouncer. 2008. The global extent of black c in soils: is it everywhere?. Nova Science Publishers. (En línea). Consultado 15 de junio de 2012. Disponible en <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/Krull%20et%20al%202008%20Nova%20Sci%20Publ.pdf>

Lehmann, J., J. Guant y M. Rondon. 2006. Black Carbon Sequestration in Soil-A New Frontier. Pennsylvania, US. (En línea). Consultado 16 de junio de 2012. Disponible en <http://soilcarboncenter.k-state.edu/conference/USDA%20Abstracts%20html/Abstract%20Lehmann.htm>

McLaughlin, H., P. S. Anderson, F.E. Shields y T.B. Reed. 2009. All Biochars are Not Created Equal, and How to Tell Them Apart. North American Biochar Conference. Boulder, CO. (En línea). Consultado 31 de mayo de 2013. Disponible en <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/All-Biochars--Version2--Oct2009.pdf>

Rey, A., D.R. Chamorro y M. Ramírez. 2005. Efecto de la doble inoculación de rizobios y micorrizas sobre la producción y calidad del forraje de *Leucaena leucecala*. (En línea). Corpoica 6(2)52-59. Consultado 28 de septiembre de 2013. Disponible en http://200.75.42.3/sitioweb/Archivos/Revista/6_efectoDobleInocul_pp52-59_v6n2.PDF

Woolf, D., J. Amonette, F. Street-Perrott, J. Lehmann y S. Joseph. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change: Supplementary information. (En línea). Consultado 11 de junio de 2012. Disponible en <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/NatureCommunications%201,%2056,%202010%20Woolf%20supplementary%20information.pdf>

Verheijen, F.G.A., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. Van der Velde y I. Diafas. 2009. Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg. (En línea). Consultado 22 de noviembre de 2012. Disponible en http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/eusoils_docs/other/eur24099.pdf

Wright, A. L., Y. Wang y K.R. Reddy. 2008. Loss-on-Ignition Method to Assess Soil Organic Carbon in Calcareous Everglades Wetlands. Communications in Soils Science and Plant Analysis. University of Florida, Gainesville, Florida, USA. (En línea). Consultado 29 de octubre de 2013. Disponible en <http://soils.ifas.ufl.edu/wetlands/publications/PDF-articles/325.Loss-on-ignition%20method%20to%20assess%20soil%20organic%20carbon%20in%20calcareous%20Everglades%20wetlands..pdf>

Zheng, Wei., B.K. Sharma y N. Rajagopalan. 2010. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. Illinois Sustainable Technology Center University of Illinois at Urbana-Champaign, Estados Unidos. Consultado 3 de septiembre de 2013. Disponible en <https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/25503/Using%20Biochar%20as%20a%20Soil%20Amendment%20for%20Sustainable%20Agriculture-final%20report%20from%20Zheng.pdf?sequence=2>

7. ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis químico de biochar realizado por Zheng *et al.* 2010.

Table 2. Selected physicochemical properties of a commercial activated carbon (AC) and biochars prepared under different conditions from selected feedstocks^a.

Feedstock	Pyrolysis Temperature	SSA (m ² /g)	% C	% H	% N	% O	(O+N)/C	O/C	H/C	% Moisture	% Ash
Corn cob	250 °C	1.86	61.16	4.96	0.82	27.82	0.353	0.341	0.973	1.32	3.92
Corn cob	300 °C	2.42	70.54	4.19	0.81	19.06	0.213	0.203	0.713	1.3	4.1
Corn cob	350 °C	3.36	72.92	3.79	0.79	16.86	0.183	0.173	0.624	1.29	4.35
Corn cob	400 °C	4.70	75.23	3.37	0.82	14.11	0.150	0.141	0.538	1.35	5.12
Corn cob	450 °C	7.79	77.84	2.95	0.86	11.45	0.120	0.110	0.455	1.35	5.55
Corn cob	500 °C	17.08	80.85	2.5	0.97	8.87	0.093	0.082	0.371	1.25	5.56
Corn cob	550 °C	30.57	82.62	2.25	0.84	7.43	0.076	0.067	0.327	1.28	5.58
Wood pellet ^b	750 °C	105.3	81.99	1.14	0.52	3.04	0.033	0.028	0.167	4.56	8.75
Wood chip	450 °C	12.96	70.44	2.67	1.11	13.86	0.161	0.148	0.455	1.69	10.23
Defatted DDG	400 °C	1.98	64.43	3.76	7.44	10.14	0.217	0.118	0.700	1.45	12.78
Corn stover	400 °C	4.69	55.98	3.4	0.43	18.16	0.250	0.243	0.729	1.28	20.75
Pine cone	400 °C	17.92	73.88	3.21	1.33	15.31	0.171	0.155	0.521	1.32	4.95
AC ^c		988.4	91.1	0.9	0.28	5.71	0.050	0.047	0.119	1.12	0.89

^a Abbreviations: SSA-specific surface area; C-carbon; H-hydrogen; N-nitrogen, and O-oxygen. (O+N)/C: atomic ratio of sum of nitrogen and oxygen to carbon. O/C: atomic ratio of oxygen to carbon. H/C: atomic ratio of hydrogen to carbon.

^b The biochar provided by Chip Energy Inc. from a gasification system.

^c AC: an activated carbon (Darco G-60) purchased from Aldrich Chemical Company