

BIOCHAR COMO ENMIENDA EN UN OXISOL Y SU EFECTO EN EL CRECIMIENTO DE MAÍZ

BIOCHAR AS AN AMENDMENT IN AN OXISOL AND ITS EFFECT ON THE GROWTH OF CORN

Leonardo Alonso-Gómez¹, Alejandra Cruz-Dominguez², Deicy Jiménez-Madrid³, Álvaro Ocampo-Duran⁴, Sergio Parra-González⁵

¹ Ing. Agroindustrial, MEng, Programa de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: lalonso@unillanos.edu.co; ² Ing. Agroindustrial. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: malejacruz@gmail.com; ³ Ing. Agrónoma. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: deicy.jimenez@unillanos.edu.co; ⁴ Zootecnista, MSc., PH.D., Profesor Titular. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: aocampo@unillanos.edu.co; ⁵ Ing. Agrónomo, MSc Suelos, Laboratorio de Suelos. Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia, Km 12 Vía a Puerto López, Vereda Barcelona, C.P. 1745, e-mail: sdparra@unillanos.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(2): 341-349, Julio-Diciembre, 2016

RESUMEN

Hay una creciente preocupación, a nivel mundial, por la declinación de la calidad de los suelos. Numerosos reportes sugieren la adición de biochar, para incrementar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes niveles de biochar, en un oxisol representativo de la Altillanura Colombiana y su efecto en el crecimiento del maíz. Las muestras de suelo fueron recolectadas y tratadas con biochar de cuesco de palma africana procesado, en un reactor termoquímico cilíndrico de lecho fijo; se manejó régimen de flujo concurrente y diferentes temperaturas, para priorizar la obtención de biochar. Se utilizaron dosis de biochar (masa/masa) de 0, 2, 5 y 10% y se compararon con tratamiento con cal. Después de incubación por 45 días bajo condiciones ambientales exteriores, cuatro semillas de maíz (*Zea mays* L.) variedad Guacavía fueron sembradas en cada recipiente, sin adición de fertilizante o enmienda. Las unidades experimentales fueron contenedores plásticos de 5kg. El material vegetal, aunque se recolectó a los 90 días después de la siembra, presentaba una fase vegetativa V5. Se analizó absorción de nutrientes por el maíz en planta entera. Independiente, se analizaron muestras del biochar, encontrándose que predominaron las cargas negativas. En la mezcla suelo-biochar, se observó incremento de P, Ca, Mg y K, pero el Na no tuvo incremento; se redujo el Al^{+3} proporcional a la aplicación de biochar. La absorción de Zn y Mg aumentó notablemente en el maíz, pero también la absorción de Fe se incrementó, a niveles tóxicos.

Palabras clave: Pirolisis, cuesco palma de aceite, suelos arcillosos, absorción de nutrientes.

SUMMARY

There is growing concern worldwide for the decline of soil quality. Numerous reports suggest the addition of biochar to increase soil fertility and crop productivity. The effect of applying different levels of biochar in a representative oxisol of Colombian Altillanura and its effect on corn growth was evaluated. Soil samples were collected and treated with African palm shell biochar, thermochemically obtained in a cylindrical fixed bed reactor, in a concurrent flow regime. Different temperatures were handled to prioritize obtaining biochar. Doses of biochar (m/m) of 0, 2, 5 and 10% were used and compared with treatment with lime. After 45 days incubation, under external environmental conditions, seeds of maize (*Zea mays* L.), Guacavía variety were planted in each container, without addition of fertilizer or amendment. The experimental units were plastic containers of 5kg. Although the plant material was collected 90 days after planting, it presented a vegetative phase V5. Nutrient uptake by corn was analyzed in whole plant. Independent biochar samples were analyzed and found predominance negative charges. In the mix biochar-soil increased P, Ca, Mg and K was observed, but did not increase Na. Al^{+3} proportional to the application of biochar was reduced. The Zn and Mg absorption increased significantly in maize, but also Fe uptake increased to toxic levels.

Key words: Pyrolysis, plant uptake, palm kernel shell, clay soil.

INTRODUCCIÓN

El biochar, que es un producto de la pirolisis, recientemente se ha comenzado a utilizar, como enmienda del suelo. Se ha propuesto, para mejorar las propiedades del suelo y para darles valor agregado, cuando tiene deficiencias físicas y químicas. El biochar ha demostrado tener un efecto positivo en las propiedades químicas y físicas de los suelos, además de contribuir a mejorar la producción de biomasa y rendimiento de los cultivos (Petter *et al.* 2012); sin embargo, se presentan vacíos en el conocimiento, respecto a su efecto en Oxisoles, como los de la Altillanura Colombiana.

Los Llanos Orientales de Colombia cuentan con zonas subutilizadas en ganadería extensiva, como la Altillanura, debido, principalmente, a los altos costos de acondicionamiento físico y químico de los suelos, para el establecimiento de cultivos, dada su condición de alta acidez y compactación (Lavelle *et al.* 2014). Adicionalmente, los suelos de la Altillanura Colombiana tienen otros factores limitantes para los cultivos, como son: el bajo contenido de materia orgánica y nutrientes, la baja capacidad de aireación, el elevado contenido de aluminio intercambiable (alrededor del 80% de su capacidad de intercambio catiónico) y su pH extremadamente ácido (3,8 a 5,0). Estas características repercuten en: que las raíces de las plantas que allí crecen penetren con dificultad, la toxicidad directa, debida al pH y, además, en que se tengan bajos rendimientos en biomasa y en productividad de los cultivos. Estos factores hacen que las prácticas agrícolas tradicionales no permitan mantener la capacidad productiva del suelo, porque se deteriora en poco tiempo y su desempeño agrícola disminuye (Vanegas *et al.* 2013). Entidades, como La Universidad de los Llanos, el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA y la Universidad Nacional de Colombia, han desarrollado investigaciones encaminadas a conocer y mejorar las condiciones de estos suelos, para su mejor aprovechamiento (Alarcón-Jiménez *et al.* 2016; Jamioy Orozco *et al.* 2015; Malagón Castro, 2003). Estas entidades han llegado a la conclusión que, para convertir estos suelos a una agricultura comercialmente viable, se requiere de la formación de una capa de suelo cultivable, a través de labranza profunda, para mejorar la estructura de los suelos y la aplicación de correctores, como la cal, para incrementar el pH.

Un residuo de la Agroindustria del aceite con alta disponibilidad en la Altillanura es el cuesco de palma africana, la conversión de este cuesco en biochar vía pirolisis y su posterior aplicación a los suelos de la región, puede ser una manera alternativa de mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo. El biochar es un material rico en carbono, obtenido mediante la descomposición térmica (pirolisis) de biomasa, que se lleva a cabo típicamente, a temperaturas entre 400

y 600°C y bajo limitado suministro de oxígeno, es decir, en condiciones subestequiométricas (Liaw *et al.* 2012). Debido a su estructura aromática, el biochar es química y biológicamente más estable que la materia orgánica de la que proviene; el carbono contenido en el biochar, siendo escasamente mineralizado a CO₂, permite aumentar las reservas de carbono en el suelo, a largo plazo, porque el biochar es la forma en que el C puede quedar secuestrado por largos periodos. El equipo para la producción de biochar, en este estudio, corresponde a un gasificador. Las variables que afectan comúnmente el proceso de pirolisis para la producción de biochar son: la temperatura máxima de procesado, el tiempo de residencia y el tamaño de partícula de la biomasa, con la que se alimenta el gasificador; por ejemplo, Tripathi *et al.* (2016) encontraron que con altas temperaturas, se consiguen bajos rendimientos de biochar y alto rendimiento en gas de síntesis y alquitranes, pero gran parte de los informes sobre pirolisis han indicado que bajas temperaturas, cortos periodos de calentamiento y pequeños tamaños de partícula promueven la descomposición de los polímeros de la biomasa, disminuyen la producción de gases pirolíticos y maximizan la producción del biochar (Lee *et al.* 2013). Siendo el biochar el producto de interés para este proyecto, estas últimas condiciones de pirolisis fueron las aplicadas al cuesco.

La adición de biochar a suelos poco fértiles ha sido documentada con efectos positivos, como por ejemplo, el aumento de la capacidad de retención de fósforo (P) y la disminución en la lixiviación de nitrógeno (Kong *et al.* 2014; Zhang *et al.* 2016). También, se han encontrado evidencias que la adición de biochar contribuye a la biodisponibilidad del nitrógeno (N) en los suelos agrícolas y, potencialmente su aplicación, puede disminuir la demanda de fertilizantes nitrogenados, para el crecimiento de los cultivos (Zheng *et al.* 2013). Los suelos arenosos también han sido objeto de estudio, tras la adición de biochar, Mohamed *et al.* (2016) encontraron que el biochar de pasto varilla (*Panicum virgatum*) mejoró la capacidad de retención de agua y la capacidad de intercambio catiónico en suelos arenosos y arcillosos. He *et al.* (2016) demostraron que con la adición de biochar en Oxisoles, con características similares a los de la Altillanura Colombiana, mejora la nitrificación, la actividad nitrificante y la reducción de emisiones de N₂O, bajo condiciones de incubación, a corto plazo. Asimismo, se ha demostrado que el biochar mejora la disponibilidad de P en la marga arcillosa, por ser adsorbente de fosfato y fuente de fósforo disponible (Zhang *et al.* 2016); sin embargo, aunque se han estudiado diferentes tipos de biomásas residuales, hay poca evidencia del efecto del biochar de cuesco de palma africana, usado como enmienda en Oxisoles.

El presente trabajo propone el uso del biochar de cuesco de palma africana, como enmienda en un Oxisol, representativo de los suelos de Altillanura; se prepararon diferentes

mezclas de suelo y de biochar, al igual, que mezclas de suelo con cal dolomítica, como testigo; su efecto fue evaluado en el crecimiento y en la absorción de nutrientes de un cultivo indicador, en este caso, el maíz Guacavía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la materia prima. Como materia prima para producir el biochar, se empleó la cáscara de la almendra del fruto de la palma (cuesco), que se obtuvo de la empresa Unipalama de los Llanos S.A., ubicada en los Llanos Orientales de Colombia, en el municipio de Cumaral (Meta).

Caracterización del cuesco de palma. La materia prima (cuesco) se tamizó, para remover los excesos de impurezas y utilizar partículas de tamaño inferior a 4mm, acorde al objetivo de obtener la mayor cantidad de biochar, en el proceso de caracterización y de pirolisis. El cuesco tamizado se caracterizó, realizando análisis proximal, elemental y poder calorífico. En el análisis proximal, se determinó la humedad, usando la norma ASTM D3173-11; el material volátil, según la norma ASTM D3175-1; el material contenido de cenizas, con base en los parámetros establecidos en la norma ASTM D3174-11 y el poder calorífico, según la norma ASTM D5865-11a. El análisis elemental, se realizó acorde al procedimiento descrito en la norma ASTM D5373-08 y el contenido de azufre, de acuerdo a la norma ASTM D4239-08 y así determinar el contenido de C%, H%, %O, %N y S%.

Obtención y caracterización del Biochar. El cuesco tamizado se pirolizó, a régimen de flujo concurrente, en un gasificador cilíndrico de lecho fijo, con capacidad de 7380cm³, sin entrada de aire, dos resistencias eléctricas alrededor del cuerpo del gasificador lo calientan, estimándose la temperatura mediante una termocúpula, que se incorporó en la tapa. La parte superior del equipo presentaba una salida de gas, que se conectaba al sistema de limpieza de gases, donde hay agua con hielo (burbujeador o “scrubber”), que baja la temperatura del gas a 25°C y condensa los alquitranes. El scrubber, se conectó con una manguera al medidor de caudal de gas producido. Después de realizada la pirolisis, se dejó enfriar el equipo por 24 horas, a temperatura ambiente, para proceder a la medición de los pesos de los productos sólido y líquido; la masa del gas producida, se determinó por balance de materia. Con esta información, se procedió a calcular el rendimiento del sólido, líquido y gas.

Una vez obtenido el biochar, se le aplicaron los mismos análisis proximal, elemental y poder calorífico, usando los métodos mencionados en la sección anterior. El poder calorífico y el contenido porcentual de los componentes del gas de pirolisis producido, se realizó con un Analizador de gases portátil marca Wuhan Cubic 3200L. El esquema del proceso es sintetizado en la figura 1.

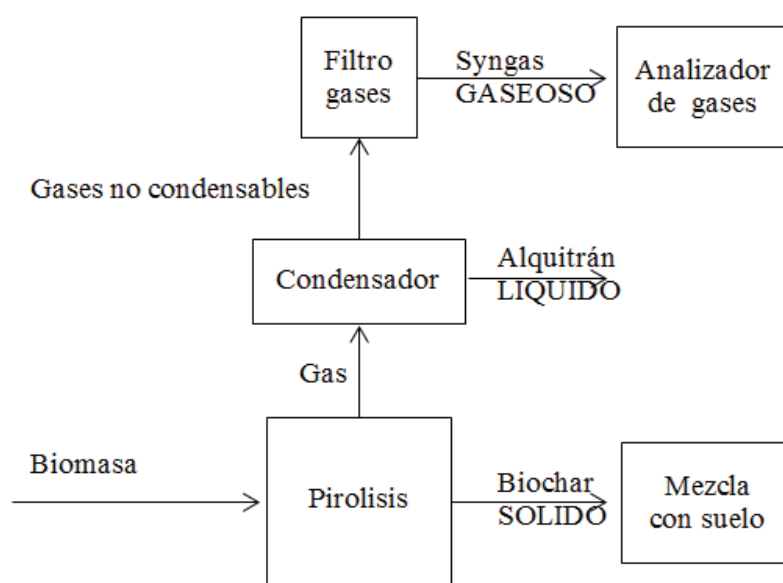


Figura 1. Esquema del montaje para el proceso de pirolisis.

El rendimiento energético, se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Yang *et al.* (2016) y se definió como la fracción de energía que figura en la alimentación de biomasa recuperada en los productos de la pirolisis, usando la Ecuación (1).

(Ec.1)

$$\text{Rendimiento energético (\%)} = \frac{\text{Rendimiento en peso (\%)} \times \text{PCS}_{\text{producto}}}{\text{PCS}_{\text{biomasa}}} \times 100$$

Dónde: PCS_{producto} = poder calorífico superior de los productos de pirolisis (Mj kg⁻¹) y PCS_{biomasa} = poder calorífico superior de la biomasa (Mj kg⁻¹).

Finalmente, al Biochar se le determinó el pH en relación (1:2.5), en agua y en cloruro de potasio 1N (KCl); esta información se sustituyó en la ecuación (2), con la finalidad de determinar la carga líquida, es decir, si es electronegativo u electropositivo (Souza *et al.* 2007; Department of Agriculture, 2001).

$$\Delta \text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O} \quad (\text{Ec.2})$$

Obtención del suelo. El suelo utilizado, se recolectó en la finca El Antojo, Vereda Remolino, ubicada en Puerto López Meta, con coordenadas latitud 04° 12' 49,053"N, longitud 72° 40' 41,778"E, altitud 212m, taxonómicamente el suelo corresponde a un Plinthic Hapludox con epipedon óxico (Olarte *et al.* 1979). La colecta, se realizó en una zona prístina, retirando la vegetación de la capa superficial y a una profundidad de 0 a 20cm. Después de la colecta, el suelo se secó a la sombra, desterronó y tamizó en malla de 2mm de apertura. El suelo, se caracterizó para conocer los siguientes parámetros: textura (bouyoucos); pH en agua (método potenciométrico relación 1:1); M.O. (Walkley Black); S (Fosfato monobásico de Calcio); Ca, Mg, K, Na (acetato de amonio 1N pH 7,0); P (Bray II); Al (Cloruro de potasio 1N); elementos menores (DTPA); B (ácido clorhídrico); la determinación de: M.O., Ca, Mg y Al, se efectuó por titulación; P, B, S, por espectrofotometría uv-bis y Cu, Fe, Mn, Zn, por espectrofotometría de absorción atómica. Las extracciones y las determinaciones, siguieron las recomendaciones consignadas en Olarte *et al.* (1979).

Tratamientos aplicados al suelo. El biochar, obtenido de la pirolisis, se molió y tamizó en malla de 2mm de apertura y se adicionó al suelo, en las siguientes proporciones (masa/masa): 0, 2, 5 y 10%; simultáneamente, a una parte del suelo colectado al que no se le aplicó Biochar, se le adicionó cal dolomítica (CaCO₃ 55% y MgCO₃ 55%, especificaciones del fabricante), para elevar el contenido de bases al 70% de la Capacidad de intercambio catiónico. El suelo con el biochar y el suelo con cal se incubaron, por un periodo de 45 días, bajo condiciones ambientales exteriores, normales de Villavicencio, sin cubierta, a sol y lluvia directa. Ninguna otra

adición de fertilizante o enmiendas se realizó en el desarrollo del experimento, para no generar resultados alterados por factores externos al mismo.

Siembra del material vegetal. Después de la incubación, el suelo se depositó en cinco contenedores plásticos, por tratamiento evaluado; cada contenedor tenía capacidad para 5kg. Cuatro semillas de maíz, variedad Guacavía, fueron sembradas en cada recipiente; esta variedad criolla colombiana es conocida por adaptarse a las condiciones de suelo, como las encontradas en los Llanos Orientales y por ser poco exigente en cuidados para plagas y enfermedades. Después de 15 días de la emergencia, se ralearon tres plantas y transcurridos 90 días después de la siembra, se recolectó la planta entera, para realizar el análisis de tejido vegetal. El material vegetal, después de colectado, se lavó con abundante agua destilada y se secó en estufa, a temperatura de 40°C, por un periodo de 48 horas; se molió, en molino tipo Wiley. Al triturado, se le realizó digestión nitro-perclórica, para determinar los contenidos de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B; las determinaciones, se realizaron usando las mismas técnicas aplicadas en suelo y descritas anteriormente (Olarte *et al.* 1979).

Caracterización final del suelo. Al finalizar del experimento, el suelo de cada una de las repeticiones de los tratamientos aplicados se homogenizó, con la finalidad de obtener una muestra compuesta por tratamiento, para evaluar las mismas características analizadas inicialmente (M.O., pH, Al, Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Zn, Mn, B, S), usando los mismas técnicas de extracción y de determinación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del cuesco y el biochar. Luego de haber realizado el proceso de pirolisis, se presenta en la tabla 1, la caracterización de la materia prima y el biochar de cada prueba y los rendimientos, el peso de cada subproducto y el potencial energético del sólido y gas producido en las diferentes pruebas de pirolisis, en la tabla 2.

Como en la gran mayoría de las biomásas, el contenido de azufre tiende a cero, que hace de estas biomásas una materia prima poco contaminante. También, se observa que parte del material volátil fue convertido en gas de síntesis, por lo que en el biochar, se disminuye casi a la mitad el contenido de material volátil; el bajo contenido de cenizas de los productos, le da un valor agregado, pues hace también de este biochar, un residuo potencial, para su uso en combustión. Los elevados valores de contenido de carbón fijo ratifican el secuestro de carbono, que contribuiría a la disminución de gases de efecto invernadero, pues al agregarlo a los suelos, se convertirían en sumideros de carbono.

Tabla 1. Datos de los análisis elemental y proximal de la materia prima y el biochar.

Prueba	Análisis elemental				Análisis proximal			
	C (%)	H (%)	N (%)	O* (%)	Humedad (%)	Material Volátil (%)	Ceniza (%)	Carbón Fijo* (%)
Cuesco	46,3±1,5	6,5±0,2	0,6±0,1	46,6 ±1,4	9,12±1,3	68,8±4,2	1,5±0,5	20,4±3,0
Biochar	74,8±1,5	4,8±0,3	0,7±0,1	19,3±1,5	-	35,8±4,4	2,8±0,4	61,4±4,0

Cada valor de la tabla es la media \pm desviación estándar de seis repeticiones. No detectado

* Valores calculados por diferencia

Tabla 2: Datos del peso, rendimiento y poder calorífico de los productos de la pirolisis del cuesco de palma de aceite.

Peso			Rendimiento			Poder calorífico	
Biochar (kg)	Alquitrán (kg)	Gas (kg)	Biochar (%)	Alquitrán (%)	Gas (%)	Char (MJ/kg)	Gas (MJ/kg)
1,0±0,1	0,7±0,3	0,7±0,3	41,2	29,5	29,2	29,2±0,6	3,7±0,4

Los valores de peso y poder calorífico de la tabla son la media \pm desviación estándar de seis repeticiones.

La celulosa por su composición semicristalina es térmicamente más estable, por ende, se descompone entre 305 y 375°C (Abdullah *et al.* 2010) y la lignina, se descompone, de forma constante, entre 250 y 500°C; esta estructura es más compleja, ya que es la que genera resistencia de las paredes celulares vegetales (Cui & Cheng, 2015). Durante la pirolisis, la celulosa y la hemicelulosa son los constituyentes de la biomasa que producen la mayoría de volátiles, mientras que la lignina es la principal responsable de la producción de biochar (Yang *et al.* 2007). El poder calorífico del biochar expresa su potencial energético, para un posterior uso como combustible. El poder calorífico tiene una relación directamente proporcional con el contenido de carbono fijo (Okoroigwe & Saffron, 2012), a mayor contenido de carbono fijo, mayor es el poder calorífico del biochar; para la presente investigación, el biochar producido a 320°C y 80 minutos presenta el mayor valor de poder calorífico. Otro de los productos obtenidos durante la pirolisis de cuesco de palma de aceite es el gas, se obtiene una menor proporción comparada a la gasificación, debido al rango de temperatura, en el cual, se desarrolla el proceso; el gas obtenido está compuesto por CO, CO₂, H₂, O₂, CH₄ y C_nH_m. El CH₄ es uno de los componentes que hacen que el gas sea combustible; la producción gradual del mismo puede estar dada con la descomposición de la lignina. El CH₄ presenta una relación directamente proporcional con el poder calorífico de los gases, por lo tanto, a mayor contenido de CH₄, mayor es el poder calorífico del gas (Chen *et al.* 2015); para la presente investigación, la prueba a 320°C y 80 minutos también resultó ser el gas con mayor poder calorífico. Son resaltados los aspectos energéticos, debido a que la obtención del biochar para los suelos, que tendría una doble finalidad: el aprove-

chamiento de la energía y el mejoramiento de los suelos, lo que ratifica el beneficio de este material.

Análisis de suelo. El P es un elemento que tiene una estrecha interacción con compuestos orgánicos (materia orgánica del suelo) e inorgánicos (aluminosilicatos e oxihidróxidos de hierro y aluminio) y disminuye su disponibilidad con la disminución del pH en el suelo; en esta condición, se favorece la absorción específica (enlaces covalentes), entre el fósforo (P) y los oxihidróxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al), impidiendo la disponibilidad de este nutriente (Bohn *et al.* 2015; Novais *et al.* 2007). En la tabla 3, se observa un incremento del P disponible y una reducción de Al⁺³ con el aumento del porcentaje de biochar adicionado en el suelo, a pesar que, en este trabajo, no se tiene información acerca del contenido de P en el biochar producido; se ha reportado que este tipo de enmiendas puede ser fuente de P y potasio (Chan *et al.* 2007; Petter *et al.* 2012). Otra explicación al incremento del P disponible es el aumento del pH, que acrecienta las cargas negativas en las arcillas, generando repulsión entre fosfato y la superficie del colide mineral que, finalmente, aumenta la disponibilidad de este elemento (Novais *et al.* 2007). Comparando el contenido del P con los cánones de interpretación del ICA (1981), se observa que al adicionar 10% de Biochar (masa/masa), el contenido de este nutriente, pasó del nivel bajo a medio.

En los sistemas coloidales, la naturaleza de las cargas netas (capacidad de intercambio catiónico o aniónico) puede ser determinada por la comparación del pH determinado en cloruro de potasio 1N y el pH medido en agua (Δ pH, ecuación 2) (Department of Agriculture, 2001; Souza *et al.* 2007); al

Tabla 3. Análisis final de suelo, después de 45 días de incubación.

Porcentaje de mezcla Biochar	Text Tacto	M.O. %	P ppm	pH 1:1	CATIONES meq/100g					CATIONES p.p.m.					
					Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
0%	Ar	0,80	1,20	4,8	1,50	0,30	0,01	0,07	0,01	0,02	9,35	1,55	0,05	0,04	5,34
2%	Ar	0,80	2,90	5,0	1,45	0,40	0,05	0,21	0,03	0,25	9,75	1,80	0,65	0,20	5,91
5%	Ar	1,10	2,90	5,3	0,80	0,40	0,30	0,47	0,03	0,40	16,25	2,95	1,50	0,07	7,06
10%	FArA	1,90	10,60	5,4	0,40	0,80	0,20	0,77	0,03	0,70	18,12	3,80	11,00	0,11	13,26
Cal	Ar	0,60	0,80	5,9	0,10	2,50	1,00	0,05	0,02	0,05	6,30	0,85	0,05	0,11	8,84

aplicar este cálculo para el Biochar, el resultado fue -0,87, de acuerdo a lo expuesto. Inicialmente, se puede deducir, que el Biochar tiene una carga líquida negativa.

Los suelos de la Attilanura en Colombia, se caracterizan por ser de carga variable, con altos contenidos de arcillas de baja actividad, como la caolinita, la gibsit y presencia de oxihidróxidos de Al y Fe; además, tienen una baja capacidad de intercambio catiónico, incidiendo en una baja retención de nutrientes (Malagón Castro, 2003). Al calcular la CIC efectiva ($Al^{+3} + Ca + Mg + K + Na$) para los diferentes tratamientos aplicados (0% = 1,89; 2% = 2,14; 5% = 2,00; 10% = 2,20; Cal 3,67 meq 100g de suelo⁻¹), se observa un incremento en la capacidad del suelo para retener y suministrar nutrientes de la fase intercambiable a la soluble, tanto para plantas como para microorganismos, en función de la aplicación del biochar, algo que es deseable en suelos altamente evolucionados.

Un resultado destacado es la reducción de los contenidos de Al^{+3} con la adición de biochar al suelo (Tabla 3), considerando que el Al^{+3} es un limitante químico en la productividad de Oxisoles y Ultisoles y que, típicamente, este problema se maneja con la adición de cales, que actúan como bases fuertes, que hidrolizan el agua y producen iones hidroxilos (OH^-), que neutraliza la acidez activa (H^+) y precipita el Al en forma oxihidróxidos ($Al(OH)_3$) (Souza *et al.* 2007). Los resultados sugieren, que el biochar reduciría la necesidad de uso de cales, ya que la cantidad a aplicar para controlar el Al^{+3} es menor, debido al poder encalante del biochar.

A pH ácido y extremadamente ácido típico de los suelos tropicales, altamente lixiviados, aumenta la solubilidad de algunos metales, como Al, Mn, Fe, Cu, B y Ni, que pueden causar fitotoxicidad y afectar el crecimiento y la fisiología de la planta (Bohn *et al.* 2015); con la adición del biochar, se observó un aumento en el pH, que redujo el riesgo de desbalances nutricionales y estrés a las plantas, por alta con-

centración de los elementos mencionados. Los resultados (Tabla 3) muestran un aumento de la disponibilidad de Ca y Mg, elementos altamente demandados por la mayoría de las plantas, cultivadas en la zona de estudio; es de resaltar que el Na no incrementó.

El incremento en la disponibilidad de K fue notable (Tabla 3), indicando que este tipo de biochar aplicado, periódicamente, puede ser recomendado para cultivos de yuca y de palma africana en tiempos de fructificación o cultivos de plátano y caña, que tienen alta demanda de este elemento. La periodicidad de aplicación del biochar es un tema que ofrece posibilidades de investigación posteriores y está ligado a su perdurabilidad en el tiempo en los suelos. Efectos sobre la disponibilidad de P y K y aumento en el pH, como los descritos en este trabajo y en otros parámetros asociados a la fertilidad del suelo, también fueron reportados en los trabajos de Petter *et al.* (2012) y Chan *et al.* (2007).

Análisis tejido vegetal del maíz. A pesar que las plantas estuvieron plantadas durante 90 días, solamente lograron alcanzar una fase vegetativa V5, debido a que no se fertilizó con nitrógeno, elemento que es esencial y requerido en altas dosis, para el óptimo crecimiento y desarrollo de esta especie; las plantas no alcanzaron el nivel de estado fenológico correspondiente a los 90 días, después de plantado, que correspondería a las primeras fases de la etapa reproductiva. En la tabla 4, se observa aumento en la absorción de potasio (K) con el aumento de biochar aplicado al suelo; comparando el contenido de K en la planta, con los niveles críticos, indicados por Cantarutti *et al.* (2007), las plantas tratadas con biochar no fueron deficitarias en este nutriente, en comparación con las no tratadas. A pesar del incremento de los contenidos de P en el suelo con la adición de biochar (Tabla 3), este nutriente no alcanzó el nivel de suficiencia en la planta (Cantarutti *et al.* 2007), efecto que puede ser explicado por la también alta absorción de zinc (Zn), que es antagonista de la absorción de P, cuando sus concentraciones

son muy altas.

También, hay un aumento notable en la absorción de Mg con el uso del biochar, un hecho positivo al ayudar este elemento en la formación de ATP en los cloroplastos, en la fijación fotosintética del dióxido de carbono, a la síntesis de proteínas y clorofila, a la recarga de floema, a la activación de reacciones enzimáticas y, en general, a la asimilación de los productos de la fotosíntesis (Bryson & Barker, 2007); sin embargo, llama la atención el aumento observado en la absorción de Fe, a niveles que pueden generar toxicidad (Howeler, 1983; Furlani, 2004), lo cual, puede ser contrarrestado con la aplicación simultánea de cal-biochar, en condiciones de cam-

po. El Mn influencia el sistema enzimático de la planta; las reacciones metabólicas, como la conversión de N a nitratos (Bryson & Barker, 2007) y la absorción de Mn mayor en las plantas que recibieron tratamiento con biochar, en comparación de aquellas que solo recibieron cal (Tabla 4), este comportamiento puede ser explicado, a que en pH superior 5,5, como el alcanzado con la aplicación de cal, se reduce la disponibilidad de este elemento (Dechen & Nachtigall, 2007). A pesar de estos resultados, aún es necesario adelantar otros estudios, para evaluar las interacciones del biochar en combinación con enmiendas y fertilizantes, con la finalidad de obtener mejores recomendaciones, para el uso de esta enmienda, que permita un mejor manejo del suelo.

Tabla 4. Análisis Vegetal Maíz Guacavía, después de 90 días de siembra.

Análisis foliar muestra Maíz Guacavía								
Identificación en campo	MACRONUTRIENTES (%)				MICRONUTRIENTES p.p.m.			
Porcentaje de mezcla Biochar	Ca	Mg	K	P	Cu	Fe	Mn	Zn
0%	0,19	0,06	0,84	0,02	8,00	5910,0	64,50	32,00
2%	0,18	0,08	2,64	0,04	8,50	3730,0	57,00	62,00
5%	0,18	0,10	2,19	0,04	6,00	3690,0	60,00	58,50
10%	0,20	0,12	1,86	0,05	6,50	6380,0	72,00	100,00
Cal	0,62	0,22	1,01	0,03	5,50	5365,0	40,00	23,50

Se concluye, que el uso de biochar mejoró algunas propiedades químicas del suelo, que son de interés agronómico: pH, CIC, contenido de P, Ca, Mg, K, Zn (Plinthic Hapludox); sin embargo, el biochar, como no es fuente de N, elemento muy limitante en la producción, no permitió sostener el óptimo desarrollo del maíz, planta susceptible a la falta de este nutriente.

Este experimento permite inferir, además que el biochar se puede recomendar para neutralizar altos contenidos de Al que afecta el crecimiento de las raíces de las plantas, mejorar el pH y, probablemente, mejorar la capacidad de retención de nutrientes y, a la vez, secuestrar carbono, a largo plazo. Desde el punto de vista de corrección de condiciones de pH, el uso de biochar podría ser una alternativa a la cal. Finalmente, se recomienda estudiar a fondo las interacciones del biochar, a través del tiempo y su dinámica con nutrientes, como P, K, Ca, Mg, Fe y Mn.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Ingeniero Fernando Castro Jurado, Director del programa Mejoramiento y Semillas de la empresa Unipalma S.A., por facilitar el cuesco

de palma para esta investigación y al Ingeniero Carlos Armando Medina Polo, de la empresa Bioenergy, por su colaboración en la obtención de las muestras de suelo de Altillanura. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad de los Llanos, en Convocatoria año 2014, para apoyar económicamente la ejecución de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, dirigida a docentes, código FCARN-24-14.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABDULLAH, N.; GERHAUSER, H.; SULAIMAN, F. 2010. Fast pyrolysis of empty fruit bunches. Fuel. 89(8):2166-2169.
2. ALARCÓN-JIMÉNEZ, M.F.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; BERNAL, J.H. 2016. Management zones based on corn yield and soil physical attributes. Agronomía Colombiana. 33(3):373-382.

3. BOHN, H.L.; STRAWN, D.G.; O'CONNOR, G.A. 2015. Soil chemistry. John Wiley & Sons. 392p.
4. BRYSON, G.; BARKER, A. 2007. Effect of nitrogen fertilizers on zinc accumulation in fescue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38(1):217-228.
5. CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. 2007. Avaliação da fertilidade de solo e recomendação de fertilizantes. In: Novais, R.F.; Alvarez V., V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS. p.769-850
6. CHAN, K.Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian J. Soil Res.* 45(8):629-634.
7. CHEN, D.; LIU, D.; ZHANG, H.; CHEN, Y.; LI, Q. 2015. Bamboo pyrolysis using TG-FTIR and a lab-scale reactor: Analysis of pyrolysis behavior, product properties, and carbon and energy yields. *Fuel*. 148:79-86.
8. CUI, W.; CHENG, J.J. 2015. Growing duckweed for bio-fuel production: A review. *Plant Biol (Stuttg). Suppl.* 1:16-23.
9. DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. 2007. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.L.(eds). *Fertilidade do solo*. 1. Ed. Viçosa, MG: SBCS. p.92-129.
10. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, U.S. 2001. Soil Survey Technical Note 8. NRCS Soils.
11. FURLANI, A.M.C. 2004. Nutrição mineral. In: Kerbaux, G.B. (ed). *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p.40-75.
12. HE, L.; ZHAO, X.; WANG, S.; XING, G. 2016. The effects of rice-straw biochar addition on nitrification activity and nitrous oxide emissions in two Oxisols. *Soil and Tillage Research*. 164:52-62.
13. HOWELER, R.H. 1983. Análisis del tejido vegetal en el diagnostico de problemas nutricionales algunos cultivos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 31p.
14. ICA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 1981. Fertilización de diversos cultivos 4ª aproximación. Ica, Bogotá, 56p.
15. JAMIOY OROZCO, D.D.; MENJIVAR FLORES, J.C.; RUBIANO SANABRIA, Y. 2015. Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*. 64(4):302-307.
16. KONG, S.H.; LOH, S.K.; BACHMANN, R.T.; RAHIM, S.A.; SALIMON, J. 2014. Biochar from oil palm biomass: A review of its potential and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 39:729-739.
17. LAVELLE, P.; RODRÍGUEZ, N.; ARGUELLO, O.; BERNAL, J.; BOTERO, C.; CHAPARRO, P.; FONTE, S.J. 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 185:106-117.
18. LEE, Y.; PARK, J.; RYU, C.; GANG, K.S.; YANG, W.; PARK, Y.K.; HYUN, S. 2013. Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500°C. *Biores. Techn.* 148:196-201.
19. LIAW, S.-S.; WANG, Z.; NDEGWA, P.; FREAR, C.; HA, S.; LI, C.-Z.; GARCIA-PEREZ, M. 2012. Effect of pyrolysis temperature on the yield and properties of bio-oils obtained from the auger pyrolysis of Douglas Fir wood. *J. Analytical and Applied Pyrolysis*. 93:52-62.
20. MALAGÓN CASTRO, D. 2003. Ensayo Sobre tipología de suelos Colombianos - énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(104):319-341.
21. MOHAMED, B.A.; ELLIS, N.; KIM, C.S.; BI, X.; EMAM, A.E. 2016. Engineered biochar from microwave-assisted catalytic pyrolysis of switchgrass for increasing water-holding capacity and fertility of sandy soil. *Science Total Environment*. 566:387-397.
22. NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C. 2007. Relação solo-planta. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J.L.(eds). *Fertilidade do solo*. 1. Ed. Viçosa, MG: SBCS. p.276-374.
23. OKOROIGWE, E.C.; SAFFRON, C.M. 2012. Determination of bio-energy potential of palm kernel shell by physicochemical characterization. *Nigerian J. Technol.* 31(3):329-335.

24. OLARTE, L.J.; MUÑOZ, B.M.; BENAVIDES, G.E.; GARAVITO, F.; LUNA, C.; MEJÍA, L.; ROZO, E. 1979. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 4a. Ed. Bogotá, Colombia. JOUR.
25. PETTER, F.A.; MADARI, B.E.; SILVA, M.A.S. DA.; CARNEIRO, M.A.C.; CARVALHO, M.T. DE M.; MARIMON JÚNIOR, B.H.; PACHECO, L.P. 2012. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesquisa Agropec. Bras.* 47(5):699-706.
26. SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. 2007. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.(eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.205-274.
27. TRIPATHI, M.; SAHU, J.N.; GANESAN, P. 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renew. Sustain. Energy Reviews.* 55:467-481.
28. VANEGAS, J.; LANDAZABAL, G.; MELGAREJO, L.M.; BELTRAN, M.L.; URIBE-VÉLEZ, D. 2013. Structural and functional characterization of the microbial communities associated with the upland and irrigated rice rhizospheres in a neotropical Colombian savannah. *Eur. J. Soil Biology.* 55:1-8.
29. YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D.H.; ZHENG, C. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel.* 86(12-13):1781-1788.
30. YANG, Z.; KUMAR, A.; HUHNKE, R.L.; BUSER, M.; CAPAREDA, S. 2016. Pyrolysis of eastern redcedar: Distribution and characteristics of fast and slow pyrolysis products. *Fuel.* 166:157-165.
31. ZHANG, H.; CHEN, C.; GRAY, E.M.; BOYD, S.E.; YANG, H.; ZHANG, D. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus. *Geoderma.* 276:1-6.
32. ZHENG, H.; WANG, Z.; DENG, X.; HERBERT, S.; XING, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma.* 206:32-39.

Recibido: Julio 13 de 2016

Aceptado: Noviembre 9 de 2016

Cómo citar.

Alonso-Gómez, L.; Cruz-Dominguez, A.; Jiménez-Madrid, D.; Ocampo-Duran, Á.; Parra-González, S. 2016. Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 19(2): 341-349.