



El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto

Corn yield (*Zea mays* L.) improves with the use of eucalyptus biochar

Sergio Iglesias Abad^{1,*}; Julio Alegre Orihuela²; Carlos Salas Macías³; José Egúez Moreno⁴

¹ Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Ecuador. Avenida de las Américas y Humbolt. Cuenca.

² Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Perú. Avenida La Molina s/n. Distrito la Molina Lima.

³ Universidad Técnica de Manabí (UTM), Ecuador. Avenida José María Urbina. Portoviejo.

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador. Via Cuenca - Gualaceo Km 25, entrada a El Cabo. Azuay.

Received November 5, 2017. Accepted January 28, 2018.

Resumen

El uso inadecuado de los sistemas integrados de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con cultivos del maíz (*Zea mays* L.) en la región austral del Ecuador, está generando contaminación y desperdicio de fuentes alternas de fertilización orgánica. El objetivo de la investigación fue aprovechar la biomasa residual del eucalipto, transformada a biochar, para la siembra del maíz y propiciar el aumento del rendimiento. El cultivo se realizó en coordinación con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP). Para la preparación del biochar se utilizó dos tipos de pirólisis y dos clases de biomasa. Un control sin aplicación de biocarbón y un tratamiento fertilizado. El diseño experimental utilizado fue bloque completo al azar. La semilla probada fue la variedad "INIAP 103 Mishqui sara". Las variables del rendimiento evaluadas fueron: peso de grano seco, índice de área foliar, peso en materia seca de biomasa, contenido de (N-P-K) y proteína en grano. Bajo las condiciones estudiadas se encontraron tendencias de incrementos en los rendimientos y proteína del grano del maíz con el biochar de eucalipto, así como otras características fenológicas de crecimiento y se espera que la respuesta de este biocarbón tenga efectos residuales a mediano y largo plazo para posteriores cultivos.

Palabras clave: biomasa; carbón de eucalipto; índice de área foliar; proteína en grano.

Abstract

Inadequate use of the integrate systems of Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) with maize (*Zea mays* L.) crops in the southern region of Ecuador is generating pollution and waste of alternatives of organic fertilization. The objective of the research was to take advantage of the eucalyptus's residual biomass, which are transformed into biochar in order to use it in the sowing of the maize to promote an increase in yields. Field cultivation was carried out in coordination with the National Institute of Agriculture Research of Ecuador (INIAP). Two types of pyrolysis were used for the preparation of the biochar and two classes of biomass, including a control sample without bio charcoal and using a fertilization treatment. The experimental design used was random complete blocks. The seed used was the variety "INIAP 103 Mishqui sara". The yield variables evaluated were: grain weight in dry matter, leaf area index, biomass dry weight, content (N-P-K) and protein in grain. Under the ecosystem conditions of the study the maize presented a tendency of yield and grain protein increases and other growth phenological characteristics and it is expected that the biochar will have residual effects in the medium and long term for subsequent crops.

Keywords: biomass; eucalyptus charcoal; leaf area index; grain protein.

1. Introducción

En la zona austral de la sierra ecuatoriana, el maíz blanco (*Zea mays* L.) es un cultivo representativo de la región, al igual que en

todos los andes de sur América, se encuentra integrado a los ecosistemas rurales conjuntamente con otros cultivos agrícolas y algunas especies forestales

* Corresponding author
E-mail: siglesias@ucacue.edu.ec (S. Iglesias).

principalmente introducidas como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

Este sistema que integra estos árboles y cultivos interactuando en forma simultánea o con alternancia es un sistema agroforestal (Timoteo *et al.*, 2016) y que no está cumpliendo el rol de reciclaje porque estas especies arbóreas no son manejadas y los residuos de lenta descomposición no son utilizados generando contaminación.

El maíz es un cultivo tradicional de la sierra andina, se lo cultiva desde épocas prehispánicas, conocido con el nombre de sara o kuri sara, es originario de México y llegó a costas ecuatorianas hace aproximadamente 4300 años (Piperno, 2003; Guillen *et al.*, 2014; Vargas, 2014).

Por sus propiedades alimenticias y nutritivas, y su facilidad agronómica, este vegetal, se ha constituido un importante elemento de la cultura y tradiciones andinas y se lo consume en forma de grano tierno y maduro, harinas, bebidas, etc. Este cultivo resulta fundamental para la supervivencia de las poblaciones rurales y urbanas de la región, constituyendo una importante fuente de su alimentación.

La creciente demanda por la gramínea lleva a buscar estrategias de aumento de la producción expresadas en mayores niveles de rendimiento que optimicen el uso de recursos amigables con el ambiente y que sean de fácil aplicación local (Vera *et al.*, 2013; Njuguna *et al.*, 2015).

La sierra andina está ampliamente poblada por el eucalipto blanco o goma azul, especie originaria de Australia y Tasmania (Moreno *et al.*, 2010). Fue introducido a la región austral del Ecuador hacia 1870, y se ha integrado plenamente a los ecosistemas andinos, siendo todavía una especie muy desacreditada y relativamente poco estudiada (Iglesias, 2014).

La especie forestal constituye la única fuente de producción de leña y madera para las comunidades, evitando la presión constante sobre los pocos relictos de bosque nativo existente (Grattapaglia y Kirst, 2008; Braun *et al.*, 2017), además brinda importantes servicios ambientales directos e indirectos como captura y secuestro de carbono (Alegre *et al.*, 2002; Kanninen, 2003; Timoteo *et al.*, 2016). El deficiente manejo silvicultural que se da a la especie, asociado al deterioro de los suelos, producido por prácticas inapropiadas, desencadenan una baja productividad de la especie (Iglesias, 2014).

Al respecto, es importante destacar la importancia del secuestro de carbono como servicio ecosistémico de las plantaciones de eucalipto frente a la problemática del

calentamiento global, no solo en la biomasa arbórea sino también en los suelos, los cuales se presentan como sumideros más estables (Yaranga y Cano, 2013; Oliva *et al.*, 2017; Salas *et al.*, 2017). Para ello, es imprescindible contar con tecnologías enfocadas a la conservación del recurso suelo.

En la actualidad hay una preocupación generalizada de científicos, centros de investigación agropecuaria y universidades que trabajan con tecnologías para favorecer el incremento de los cultivos de una manera sustentable y que proporcionen alternativas de manejo integral de los sistemas agroforestales rurales (Gonzalez-Gamboa *et al.*, 2010). El deterioro del suelo producido por prácticas tradicionales de cultivo sin innovaciones tecnológicas, es una realidad en nuestros países (Kanninen, 2003; Oliva *et al.*, 2017).

Desde hace unos pocos años, se ha propuesto el uso del biochar (biocarbón), como una estrategia viable de tratamiento de la biomasa residual de los sistemas agroforestales, que tiene las ventajas de recircular nutrientes in situ, y mejorar las condiciones físico químicas y biológicas de suelo (Yadav *et al.*, 2016; Yeboah *et al.*, 2016), además aporta en la importante estrategia ambiental de secuestrar carbono al interior de la estructura del biochar (Crombie *et al.*, 2015).

No existe suficiente investigación en la zona austral del Ecuador sobre el uso del biochar como potencializador de los cultivos, por lo que es fundamental abrir un proceso de exploración de alternativas, que propicien las soluciones a los problemas productivos y de conservación del suelo a base de esta tecnología.

Se ha demostrado con estudios en otras latitudes y para otros cultivos, que el biochar mejora el rendimiento de las cosechas (Abenavoli *et al.*, 2016; Gwenzi *et al.*, 2016). En el caso del maíz, no se han encontrado, a nivel de país, estudios de aplicación de biochar en este cultivo como mejorador del rendimiento.

La biomasa residual que desprenden los árboles como son ramas y cortezas, al quedarse sobre el suelo, causan acidificación y alelopatía a otras especies, o peor aun cuando son quemados producen daños a la estructura física, química y biológica del suelo, además generan abundante CO₂ a la atmosfera (Arellano y Castillo-Guevara, 2014; Iglesias, 2014; Abdelmigid y Morsi, 2017).

El objetivo del presente estudio fue reutilizar la biomasa residual del eucalipto transformada a biochar, para incorporarla al

suelo al inicio de la siembra del cultivo del maíz, y evaluar el rendimiento en el año agrícola 2016 - 2017.

2. Materiales y métodos

Condiciones del territorio

El estudio se realizó en la zona austral de la región interandina de la república del Ecuador, el cultivo de maíz se emplazó en la Estación Experimental del Austro, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP), localizada en las coordenadas 2° 51' 91" latitud sur y 78° 46' 62" longitud oeste, ubicada en el sector Bullcay, cantón Gualaquero, provincia del Azuay, a una altura de 2230 msnm, con una humedad relativa promedio de 75 % y la precipitación anual promedio de 750 mm. El clima de la zona es templado seco, su temperatura media es de 18 °C, la zona se localiza a 25 Km de la ciudad de Cuenca.

Cultivo del maíz y toma de datos

El cultivo de maíz (*Zea. mays*) se realizó en las mismas condiciones de producción locales en cuanto a época de siembra y labores culturales, y el manejo agronómico, se efectuó con la guía de manejo de la variedad y las directrices del Programa del Maíz del INIAP, durante el ciclo agrícola octubre de 2016 a abril de 2017.

La semilla utilizada fue el híbrido "INIAP 103 *Mishqui sara*" (maíz nutritivo). La siembra se realizó a 0,80 m entre surcos y 0,20 m entre plantas. El material genético proviene de la variedad "*Aycha Sara 101*" del Centro de Fitogenética de Pairumani Bolivia (INIAP, 2010).

La cosecha en mazorca, se realizó siguiendo la metodología para evaluar el rendimiento en grano del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México, calculando para grano seco con 13 % de humedad (CIMMYT, 2017).

El índice de área foliar (IAF), se lo obtuvo siguiendo los procedimientos de relación entre el área foliar ocupada por todas las hojas y la superficie de cobertura de la planta (Camacho et al., 1995).

La biomasa cosechada en estado pastoso se redujo a materia seca, todo esto con el

objetivo de poder comparar los datos obtenidos con otros estudios de rendimiento.

Los análisis bromatológicos de grano para macronutrientes, se realizaron en los laboratorios de Análisis de Suelos Plantas, Agua y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima-Perú (UNALM).

Biochar utilizado

El biochar utilizado para este estudio, se elaboró a partir de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus. globulus*) conformada por ramas y cortezas, obtenidas del bosque de eucalipto de la granja de la Unidad Académica de Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria de la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), ubicada en el sector de Machángara del cantón Cuenca.

El biochar se procesó con dos métodos de elaboración: uno mediante pirólisis rápida, efectuada en un horno de retorta, y el otro por medio de pirólisis lenta realizada bajo tierra. El biochar obtenido fue triturado y aplicado al inicio del cultivo, se lo dispuso al fondo del surco en dosis de 5 t ha⁻¹ calificada como enmienda de suelo.

Diseño experimental y procedimientos estadísticos

El diseño experimental utilizado fue Bloques Completos al Azar, en 32 unidades experimentales con 8 tratamientos obtenidos de dos tipos de pirólisis del biochar, elaborados con tres tipos de biomasa, más un tratamiento fertilizado (con las recomendaciones de manejo de la variedad), además un tratamiento control (blanco), sin ninguna aplicación (Tabla 1), y todos los tratamientos en cuatro repeticiones.

El método utilizado para el análisis estadístico de los componentes del rendimiento: peso de grano seco, índice de área foliar y peso en materia seca de biomasa, fue el de modelos lineales generales y mixtos, utilizando máxima verosimilitud, con ANOVA de una vía, y pruebas de hipótesis para contrastes, procesados mediante el software estadístico InfoStat.

Tabla 1

Combinación de tratamientos con biocarbón, control y con fertilización y sus respectivas codificaciones

Tratamiento	Biochar	Tipo de biomasa	Codificación
1	Producido en horno pirólisis rápida (Pr)	Cortezas (Cor)	Pr-Cor
2	Producido en horno pirólisis rápida (Pr)	Ramas (Ram)	Pr-Ram
3	Producido en horno pirólisis rápida (Pr)	Cortezas 50% + ramas 50%	Pr-Cor+Ram
4	Producido bajo el suelo pirólisis lenta (Pl)	Cortezas (Cor)	Pl-Cor
5	Producido bajo el suelo pirólisis lenta (Pl)	Ramas (Ram)	Pl-Ram
6	Producido bajo el suelo pirólisis lenta (Pl)	Cortezas 50% + ramas 50%	Pl-Cor+Ram
7	--	--	Control
8	--	--	Fertilizado*

* Recomendaciones de fertilización Guía de Manejo de la Variedad (INIAP, 2010).

Para el análisis de los componentes en macroelementos del grano, el método utilizado fue análisis de ordenación no restringida con análisis de componentes principales, procesados mediante el mismo programa InfoStat.

3. Resultados y discusión

Rendimiento en peso de granos de mazorca (t ha⁻¹)

En la [Tabla 2](#) se muestra los rendimientos del maíz con sus medias ajustadas y errores estándares para los diferentes tratamientos.

Tabla 2

Media ajustada y error estándar (EE) para peso de grano seco

Tratamientos	Media t ha ⁻¹	EE	Clase*
Pr-Cor+Ram	9,64	0,89	A
PI-Cor	8,94	0,14	A
Pr-Cor	8,68	0,83	A
Pr-Ram	8,45	0,71	A
PI-Cor+Ram	8,25	0,46	A
PI-Ram	8,08	0,73	A
Fertilizado	7,71	0,86	A
Control	7,56	1,36	A

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

Para el rendimiento del grano del maíz, no se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$); sin embargo, se pudo ver que la tendencia en general fue de mayor producción para el tratamiento Pr Cor + Ram, seguido de los otros tratamientos, siendo mejores que el tratamiento control que presentó los promedios más bajos de producción.

Esta mejor producción por el material de biochar de cortezas y ramas, se debe a que estos materiales generan una pirolisis más completa, cuando se unen estas dos estructuras forestales. También se puede ver que el mejor método de pirolisis expresado en rendimiento de maíz es el rápido en horno de retorta, donde existe un mayor control de la temperatura.

No se encontró diferencias significativas para contrastes de rendimientos ($p \leq 0,05$) ([Tabla 3](#)). Los promedios obtenidos de rendimiento en mazorca para los tratamientos, fluctúan entre 7,56 y 9,64 t ha⁻¹. La variedad *Mishqui sara*, se siembra también en el litoral del Ecuador, en el estudio de rendimientos con híbridos, se reportó promedios de 7,0 t ha⁻¹, a 7,48 t ha⁻¹ ([Vera et al., 2013](#)).

El INIAP en su registro de cultivares de maíz en Ecuador en localidades entre los 800 a 2650 msnm, reporta promedios de ren-

dimiento de 7,75 t ha⁻¹ ([INIAP, 2010](#)). El INIA del Perú para la variedad "INIA 620-WARI" maíz choclero de sierra, indica que tendría un rendimiento potencial de 5,2 t ha⁻¹ en grano seco ([INIA, 2013](#)).

Tabla 3

Pruebas de hipótesis para contrastes de rendimiento entre los diferentes tratamientos

Tratamiento	Contraste	EE	F	gl (num)	gl (den)	p-valor
Control vs Pr-Cor+Ram	-2,08	1,63	1,64	1	23	0,2136
Control vs PI-Cor+Ram	-0,70	1,44	0,23	1	23	0,6326
PI-Cor vs Pr-Cor	0,26	0,84	0,10	1	23	0,7591
Pr-Cor vs Pr-Ram	0,23	1,09	0,05	1	23	0,8313
Total			0,74	4	23	0,5768

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

El tratamiento fertilizado presentó un bajo rendimiento, frente a los demás tratamientos con biochar, esto indica que las recomendaciones de fertilización del híbrido INIAP-103, tienen que ser ajustadas bajo diferentes condiciones, que pueden ser complementadas con fuentes alternas como el biochar.

Índice de área foliar (IAF)

En la [Tabla 4](#) se muestran los promedios de índice de área foliar con sus medias ajustadas y errores estándares para los diferentes tratamientos.

Tabla 4

Media ajustada y error estándar para IAF

Tratamientos	Media (IAF)	EE	Clase*
Pr-Ram	5,11	0,29	A
Fertilizado	5,06	0,29	A B
Pr-Cor	5,03	0,29	A B
Pr-Cor+Ram	5,02	0,29	A B
PI-Ram	4,74	0,29	A B
PI-Cor+Ram	4,61	0,29	A B
Control	4,49	0,33	A B
PI-Cor	4,26	0,29	B

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

Los tratamientos con mayor IAF fueron los que incorporaron biochar producido con el método de pirolisis rápida (en horno de retorta), esto significa una mejor fotosíntesis y metabolismo en la nutrición de las plantas. Una de las mejores respuestas para IAF se dio también para el tratamiento con fertilización completa y que no se observó con la respuesta a los rendimientos de grano y esto nos dice que se necesita tener una mejor combinación de los inorgánicos con los orgánicos a base de biochar para obtener un mayor balance nutricional y mejores rendimientos.

Tabla 5

Pruebas de hipótesis para contrastes de IAF entre los diferentes tratamientos

Tratamiento	Contraste	EE	F	gl (num)	gl (den)	p valor
Control vs Pr-Cor Ram	-0,53	0,44	1,43	1	23	0,2438
Control vs PI-Cor Ram	-0,12	0,44	0,07	1	23	0,7900
PI-Cor vs Pr-Cor	-0,77	0,41	3,56	1	23	0,0720
Pr-Cor vs Pr-Ram	-0,08	0,41	0,04	1	23	0,8468
Total			1,74	4	23	0,1750

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

No se encontraron diferencias significativas para contrastes de IAF ($p \leq 0,05$) (Tabla 5). Para la comparación en materia prima de cortezas, se nota alguna diferencia con el método de pirólisis, debido a la mayor sensibilidad de la corteza a la temperatura. Los valores del índice de área foliar, por tratamiento varían entre 4,26 y 5,11 (Tabla 4).

Los hallazgos son coincidentes con el estudio de caracterización de nueve genotipos de maíz, en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz, donde se reporta IAF con valores de 4,26 a 6,67 (Camacho et al., 1995).

En Perú, el estudio análisis de crecimiento en *Zea mays* L. y *Arachis hypogaea* L., refiere índices de área foliar óptima de 5,59 (Soplín et al., 1993).

Para el IAF el tratamiento fertilizado mejora, en comparación con el análisis de peso en grano seco, lo que indicó que la fertilización recomendada para la variedad, estaría propiciando el desarrollo de la parte aérea de la planta de maíz.

Biomasa en materia seca (MS) (t ha⁻¹)

En la Tabla 6 se muestra el peso de biomasa MS con sus medias ajustadas y errores estándares para los diferentes tratamientos. Los tratamientos donde se aplicó biochar producido con pirólisis rápida (con mejor control de temperatura), propician la formación de biomasa. También se puede deducir que la pirólisis lenta, no es determinante en los resultados de biomasa.

Para la producción de forraje con la variedad *Mishqui sara*, tiene fuerte efecto el tratamiento fertilizado, debido a la acción del nitrógeno en la formación de biomasa, corroborando lo encontrado en el análisis del IAF. La producción de mayor cantidad de biomasa, potencializada con alternativas a la fertilización química tradicional, como el uso de biochar tiene asidero entre los ganaderos, debido a que en la región austral se está empezando a utilizar maíz para forraje verde y ensilaje, debido a la creciente actividad ganadera principalmente con razas de vacunos para la producción de lácteos.

Tabla 6

Medias ajustadas y errores estándares para peso de biomasa MS

Tratamientos	Media (t ha ⁻¹)	EE	Clase*
Fertilizado	19,08	1,02	A
Pr-Cor	18,94	1,02	A
Pr-Cor+Ram	18,89	1,02	A
Control	18,80	1,17	A B
PI-Cor+Ram	18,42	1,02	A B
Pr-Ram	17,49	1,02	A B
PI-Ram	16,78	1,02	A B
PI-Cor	15,78	1,02	B

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

Tabla 7

Pruebas de hipótesis para contrastes de biomasa entre los diferentes tratamientos

Tratamiento	Contraste	EE	F	gl (num)	gl (den)	p valor
Control vs Pr-Cor Ram	-0,09	1,55	0,0034	1	23	0,9538
Control vs PI-Cor Ram	0,38	1,55	0,06	1	23	0,8079
PI-Cor vs Pr-Cor	-3,16	1,44	4,82	1	23	0,0384
Pr-Cor vs Pr-Ram	1,45	1,44	1,02	1	23	0,3233
Total			1,24	4	23	0,3224

*LSD Fisher (Alfa=0,05).

En este caso se encontró diferencia significativa para contrastes ($p \leq 0,05$) en la comparación PI-Cor vs Pr-Cor (Tabla 7), donde se hacen presentes diferencias para la producción de biomasa del maíz con el método de pirólisis del biochar. Este efecto se debe a la mayor sensibilidad de la corteza del eucalipto a la temperatura y cuya respuesta se observó también en el análisis de contrastes para el índice de área foliar.

Los promedios de rendimiento en biomasa (forraje), cosechada cuando el fruto está en estado pastoso, expresada en materia seca varían entre 15,78 y 19,08 t ha⁻¹ (Tabla 6).

Las medias de peso de biomasa (MS), tienen relación con el estudio realizado en el valle del Sinú medio en Colombia, para genotipos de *Zea mays* con fines forrajeros, que refieren valores de materia seca entre 13,71 y 22,11 t ha⁻¹ (Cabrales et al., 2007).

En México el paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua, documenta rendimientos en materia seca de 12 a 20 t ha⁻¹ (Jurado et al., 2014).

En Argentina el estudio de rendimiento y calidad de maíz forrajero *Zea mays* con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas, originó rendimientos en materia seca de 12,31 a 15,14 t ha⁻¹ (Yescas et al., 2015).

Altura de plantas y diámetro de tallos

En la Figura 1 se muestran las alturas alcanzadas por las plantas en cada uno de los tratamientos.

Los datos de altura de planta por tratamiento varían entre 2,31 y 2,67 m, siendo los tratamientos con biochar elaborado con el

método de pirólisis rápida y el tratamiento fertilizado los que alcanzan las mejores alturas de planta. Estos resultados son coincidentes con lo encontrado en el análisis de índice de área foliar y biomasa.

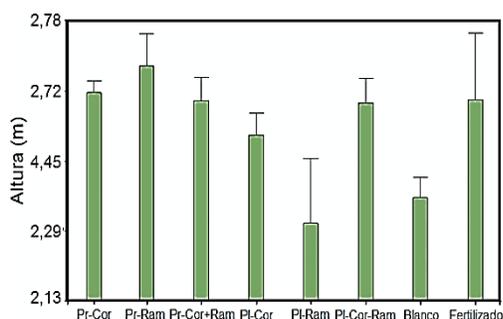


Figura 1. Medias de altura (m) por tratamiento.

En la Figura 2 se muestran los diámetros de las plantas en cada uno de los tratamientos.

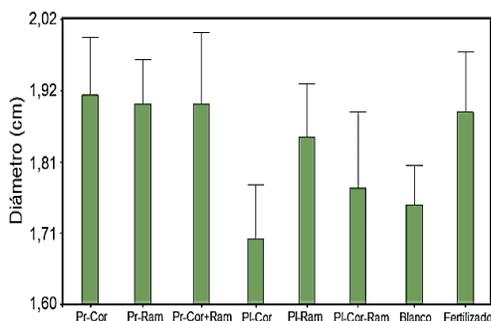


Figura 2. Diámetro de tallo (cm) por tratamiento.

Los resultados del diámetro por tratamiento varían entre 1,70 y 1,91 cm; siendo los tratamientos con biochar y el tratamiento fertilizado, los que alcanzan los mejores diámetros. Al igual que en el análisis de altura de planta, resaltan en el diámetro los tratamientos donde se utilizó biochar con el método de pirólisis rápida. El diámetro del tallo es un factor fisiológico muy importante, debido a que un tallo más grueso resiste mejor la influencia del viento y también disminuye el acame de las plantas por el peso de los choclos.

Contenido de macroelementos (N-P-K) del grano

En la Figura 3 se puede observar la relación de los elementos en los tratamientos estudiados con el análisis por componentes principales. El análisis de los porcentajes para N-P-K y los tratamientos, muestra que el contenido de nitrógeno estaría más relacionado con el potasio, esto se explicaría porque los aminoácidos de las proteínas

tienen nitrógeno en su estructura y por la acción celular del potasio.

El fósforo que contiene el grano, no se relaciona directamente con el potasio y nitrógeno. El potasio estaría más relacionado al tratamiento fertilizado.

Los tratamientos de siembra con biochar Pr-Ram y Pr-Cort, estarían inversamente relacionados al contenido de nitrógeno y potasio del fruto.

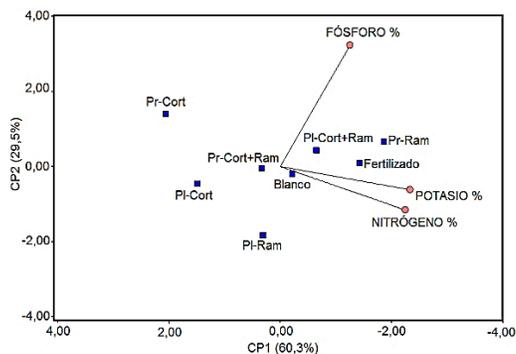


Figura 3. Análisis de componentes principales para nitrógeno, fósforo y potasio.

Análisis de proteína en el grano del maíz

El tratamiento donde se aplicó biochar elaborado por el método de pirólisis rápida con biomasa residual de ramas, alcanzó los mejores niveles de proteína en grano, incluso superando a los niveles de proteína del tratamiento fertilizado. Esta situación mostró que el biochar potencializa la proporción de proteína en el maíz.

La variedad INIAP-103 “Mishqui sara” (maíz nutritivo), evaluada en este estudio, se promociona como rica en proteína, debido a que posee mayor cantidad de aminoácidos como triptófano y lisina que otras variedades (INIAP, 2010).

El tratamiento fertilizado estuvo influenciando directamente en la calidad del grano en cuanto a proteína, con el aporte del fertilizante 10-30-10 y la urea.

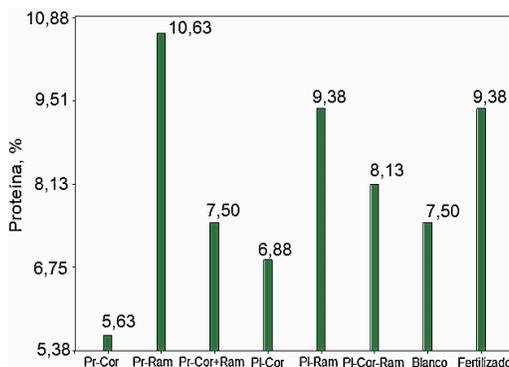


Figura 4. Análisis de porcentaje de proteína en grano.

4. Conclusiones

En cuanto a peso de grano seco, los mejores rendimientos se lograron con los tratamientos donde se aplicó biochar elaborado con cortezas y ramas de eucalipto y el método de pirólisis rápida, superando al tratamiento fertilizado. Para el índice de área foliar (IAF) los tratamientos con biochar elaborado por el método de pirólisis rápida, en horno de retorta, lograron los mejores resultados y se mostraron superiores a los biochar producidos bajo tierra. Al analizar la altura y diámetro de plantas, los tratamientos con biochar elaborado con pirólisis rápida y el tratamiento fertilizado, demostraron los mejores resultados. En la producción de biomasa del maíz, la diferencia de las características del biochar mostró significancia en las pruebas de contraste, con el biochar producido mediante pirólisis rápida. La incorporación de biochar al cultivo de maíz, ocasionó también aumento de los contenidos del porcentaje de proteína en fruto.

En forma general bajo las condiciones estudiadas de cultivo de Bullcay provincia de Azuay en Ecuador, se encontraron tendencias de incremento en los rendimientos del maíz híbrido INIAP 103 *Mishqui sara* con el uso del biochar de eucalipto, así como otras características fenológicas de crecimiento y se espera que el efecto de este biocarbón tenga respuestas residuales a mediano y largo plazo para posteriores cultivos.

Sería importante en futuros estudios, analizar el rendimiento de maíz con otros tipos de biochar, utilizando diferentes materias primas de origen orgánico para la producción del biochar, de la misma manera, se podría ampliar la utilización de esta enmienda a otros tipos de cultivos.

Referencias Bibliográficas

- Abdelmigid, H.M.; Morsi, M.M. 2017. Cytotoxic and molecular impacts of allelopathic effects of leaf residues of *Eucalyptus globulus* on soybean (*Glycine max*). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 15(2): 297-302.
- Abenavoli, L.M.; Longo, L.; Proto, A.R.; Gallucci, F.; Ghignoli, A.; Zimbalatti, G.; Colantoni, A. 2016. Characterization of Biochar Obtained from Olive and Hazelnut Prunings and Comparison with the Standards of European Biochar Certificate (E.B.C.). *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 223: 698–705.
- Alegre, J.; Arevalo, L.; Ricse, A. 2002. Reservas de Carbono con Diferentes Sistemas de Uso de la Tierra en dos Sitios de la Amazonia Peruana. ICRAF/INIA.
- Arellano, L.; Castillo-Guevara, C. 2014. Efecto de los incendios forestales no controlados en el ensamble de escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) en un bosque templado del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(3): 854–865.
- Braun, A.C.; Troeger, D.; Garcia, R.; Aguayo, M.; Barra, R.; Vogt, J. 2017. Assessing the impact of plantation forestry on plant biodiversity: A comparison of sites in Central Chile and Chilean Patagonia. *Global Ecology and Conservation* 10: 159–172.
- Cabral, R.; Montoya, R.; Rivera, J. 2007. Evaluación agronómica de 25 genotipos de maíz (*Zea mays*) con fines forrajeros en el valle del Sinú medio. Colombia. *Revista MVZ Córdoba* 12(2): 1054–1060.
- Camacho, R.G.; Garrido, O.; Lima, M.G. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Science Agriculture Piracicaba* 52(2): 294–298.
- CIMMYT - Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México. 2017. Manual para la estimación de productividad del cultivo del Maíz. Proyecto de Garantía Tecnológica, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México. 6 pp.
- Crombie, K.; Mašek, O.; Cross, A.; Sohi, S. 2015. Biochar - synergies and trade-offs between soil enhancing properties and C sequestration potential. *GCB Bioenergy* 7(5): 1161–1175.
- Gonzalez-Gamboa, V.; Barkmann, J.; Marggraf, R. 2010. Social network effects on the adoption of agroforestry species: Preliminary results of a study on differences on adoption patterns in Southern Ecuador. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 4: 71–82.
- Grattapaglia, D.; Kirst, M. 2008. Eucalyptus applied genomics: From gene sequences to breeding tools. *New Phytologist* 179(4): 911–929.
- Guillen, J.; Mori, S.; Paucar, L.M. 2014. Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria* 5(4): 211–217.
- Gwenzi, W.; Muzava, M.; Mapanda, F.; Tauro, T.P. 2016. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. *Journal of Integrative Agriculture* 15(6): 1395–1406.
- Iglesias, S. 2014. Factores que inciden en el rendimiento del *Eucalyptus globulus* y valoración ambiental en la subcuenca del río Burgay, provincia del Cañar. Tesis de Maestría en Protección y Remediación Ambiental. Universidad Católica de Cuenca-Ecuador. 132 pp.
- INIA - Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú. 2013. Maíz Choclero INIA 620 – Wari: Nueva variedad de maíz choclero para la sierra peruana. Dirección de Investigación Agraria, INIA. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013 - 04172. Tríptico. 2 pp.
- INIAP - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador. 2010. Ficha técnica INIAP-103 “Mishqui sara”: variedad de maíz blanco harinoso para consumo humano. Estación experimental del Austro, Programa de maíz. Cuenca, Ecuador. 23 pp.
- Jurado, P.; Lara, C.; Saucedo, R. 2014. Producción de maíz forrajero, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Experimental Chihuahua-México. 43 pp.
- Kanninen, M. 2003. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s09.htm>
- Moreno, J.C.; López, G.; Siche, R. 2010. Modeling and optimization of extraction process of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria* 1(2): 147–154.
- Njuguna, E.; Gathara, M.; Nadir, S.; Mwalusepo, S.; Williamson, D.; Mwalusepo, P.; Calatayud, P. 2015. Characteristics of soils in selected maize growing sites along altitudinal gradients in East African highlands. Data in Brief 5: 138–144.
- Oliva, M.; Culqui-Mirano, L.; Leiva, S.; Collazos, R.; Salas, R.; Vásquez, H.; Maicelo Quintana, J.L. 2017. Reserve of carbon in a silvopastoral system composed of *Pinus patula* and native herbaceous. *Scientia Agropecuaria* 8(2): 149–157.

- Piperno, D.R. 2003. A few kernels short of a cob: on the Staller and Thompson late entry scenario for the introduction of maize into northern South America. *Journal of Archaeological Science* 30(7): 831–836.
- Salas, C.; Alegre, J.; Iglesias, S. 2017. Estimation of above-ground live biomass and carbon stocks in different plant formations and in the soil of dry forests of the Ecuadorian coast. *Food and Energy Security* 6(4): e00115.
- Soplín, J.; Rengifo, A.; Chumbe, J. 1993. Análisis de crecimiento en *Zea mays* L. y *Archis hypogaea* L. *Folia Amazónica* 5: 171–189.
- Timoteo, K.; Remuzgo, J.; Valdivia, L.; Sales, F.; Soria, D.G.; Abanto, C. 2016. Estimation of Carbon Storage in Three Agroforestry Systems During the First Year of Installation in the Department of Huanuco. *Folia Amazónica* 25(1): 45–54.
- Vargas, L.A. 2014. El maíz, viajero sin equipaje. Simposio "Somos de maíz: principio y destino". Instituto Nacional de Ciencias Médicas. *Anales de Antropología* 48(1): 123–137.
- Vera, D.V.; Delfini, G.L.; Montiel, L.G.; Díaz, E.; Ávila, F.S.; Fiallos, F.G.; Bone, G.M. 2013. Análisis de estabilidad para el rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays*) en la Región Central del Litoral Ecuatoriano. *Scientia Agropecuaria* 4(3): 211–218.
- Yadav, A.; Ansari, K.B.; Simha, P.; Gaikar, V.G.; Pandit, A.B. 2016. Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment. *Resource-Efficient Technologies* 2: S177–S185.
- Yaranga, R.; Cano, M. 2013. Almacenamiento de carbono en pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria* 4: 313–319.
- Yeboah, E.; Asamoah, G.; Kofi, B.; Abunyewa, A.A. 2016. Effect of Biochar Type and Rate of Application on Maize Yield Indices and Water Use Efficiency on an Ultisol in Ghana. *Energy Procedia* 93: 14–18.
- Yescas, C.P.; Segura, C.; Martínez, C.; Alvarez, V.; Montemayor, T.; Orozco, V.; Frias, R. 2015. Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo sub-superficial y densidad de plantas. *Phyton* 84(2): 262–279.