

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTO DE BIOCHAR Y GALLINAZA EN EL FLUJO DE NITRÓGENO DE UN SISTEMA SUELO ENTISOL – CULTIVO DE MAÍZ EN SAN RAMÓN, PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Juan Sebastián Dumler Granthon

Asesor:

Brenton Mark Ladd

Lima – Perú

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 29 de noviembre de 2019.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: PhD. Julio Cesar Alegre Orihuela
Integrante: MSc. Karol Natalie Lavado Solis
Integrante: MSc. Ingrid Rabitsch Musso

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:
EFECTO DE BIOCHAR Y GALLINAZA EN EL FLUJO DE NITRÓGENO DE UN SISTEMA SUELO ENTISOL – CULTIVO DE MAÍZ EN SAN RAMÓN, PERÚ

Presentada por el bachiller:

- Juan Sebastián Dumler Granthon

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por:

- Dr. Brenton Mark Ladd

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del bachiller en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

• Integrante 1: Juan Sebastián Dumler Granthon	Nota (escrito): <i>Discurso</i>		
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.


 Presidente del Jurado


 Miembro del Jurado


 Miembro del Jurado


 Asesor

DEDICATORIA

Dedico este logro a las personas más importantes en mi vida: mi familia. En especial a mis padres Karina Granthon y Juan Dumler, por su apoyo incondicional y sin quienes no hubiera podido empezar ni finalizar esta etapa de mi vida; así como a mi querida abuela y segunda madre Isabel Isasi de Granthon, Q.E.P.D.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor y asesor de tesis Brenton Ladd, quien me dio la gran oportunidad de trabajar con él y desarrollar mi tesis, financiándola al 100 % a través del proyecto Biochar for Sustainable Soils (B4SS), proyecto del cual estoy orgulloso y agradecido de haber formado parte y desarrollado esta investigación; además de haber tenido la oportunidad de acompañarlo al magistral evento de fin de proyecto en Indonesia.

A Ruy Anaya de la Rosa, uno de los líderes de este proyecto internacional (B4SS) desarrollado en Perú, Kenia, Etiopía, China, Indonesia y Vietnam; por todas sus enseñanzas y valioso apoyo a la distancia.

A Mariela Leveau, amiga de la carrera, con quien formamos parte del proyecto B4SS y hemos trabajado mano a mano en gabinete como en el campo en diversas salidas a la selva central, apoyándonos mutuamente a lo largo del desarrollo de nuestras tesis.

A Rogelio Gómez, uno de los pequeños agricultores beneficiarios de este proyecto ejecutado en San Ramón, Chanchamayo; a quien tuve la suerte de conocer y me enseñó muchas cosas del campo así como lecciones de vida. Por su amabilidad y apoyo desinteresado facilitándome un espacio de su chacra para desarrollar mi experimento.

A Josefina Takahashi, ex decana de la Facultad de Ciencias Ambientales y ex rectora de la Universidad Científica del Sur, gracias a su apoyo tuve la oportunidad de realizar un enriquecedor intercambio estudiantil en la Universidad de Helsinki, Finlandia.

A todos los profesores que a lo largo de la carrera universitaria me dejaron grandes enseñanzas tanto en lo académico como en lo personal.

INDICE GENERAL

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE GENERAL.....	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	8
I. ARTÍCULO ENVIADO A PUBLICAR (la estructura dependerá de la revista elegida). 10	
INTRODUCTION	11
METHODOLOGY	12
Area of study	12
Biochar	13
Experimental Design	16
Statistical Analysis	17
Parameters evaluated	17
Economic analysis	18
RESULTS	20
Yield	21
Nitrogen inputs into the soil-plant system	22
Nitrogen balance and estimation of nitrogen losses	23
Nitrogen use efficiency	23
DISCUSSION	26
Yield	26
Nitrogen balance and estimation of nitrogen losses	27
Nitrogen use efficiency	28
Economic Profitability	28
CONCLUSIONS	30
REFERENCES	31
II. VERSIÓN EN CASTELLANO SI EL ARTÍCULO ES ENVIADO EN INGLÉS	35
INTRODUCCIÓN	35

METODOLOGÍA	36
Área de estudio	36
Biochar	37
Diseño Experimental	40
Análisis Estadístico	41
Parámetros evaluados	41
Análisis Económico	42
RESULTADOS	44
Rendimiento	45
Entradas de nitrógeno en el Sistema suelo-planta	46
Balance de nitrógeno y estimación de pérdidas de nitrógeno	47
Eficiencia en el uso de nitrógeno	48
DISCUSIÓN	50
Rendimiento	50
Balance de nitrógeno y estimación de pérdidas de nitrógeno	51
Eficiencia en el uso de nitrógeno	52
Rentabilidad Económica	53
CONCLUSIONES	55
REFERENCIAS	56
Evidencia del envío a revista científica (Carta o e mail de envío tras aprobar la revisión académica).....	60
Copia de carta de aprobación académica (Carrera).....	61
Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista).....	62
Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera).....	63

RESUMEN

La influencia del biochar en el balance de nitrógeno del sistema cultivo - suelo es un aspecto importante del biochar que debe ser estudiado. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial del biochar para aumentar la eficiencia en el uso de nitrógeno y mejorar así el rendimiento del cultivo. Este estudio evaluó la influencia de seis formulaciones de biochar, producidos en un horno controlado de metal Kon-Tiki a unos 500 °C, utilizando residuos verdes con dos abonos orgánicos diferentes y ajustes específicos: biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo (BPM1), biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH (BPM2), biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y relación C/N (BPM3), biochar de residuos verdes y gallinaza (BCM1), biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH (BCM2), biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH y relación C/N (BCM3), en comparación con los controles no fertilizados (C1 y C2) y los controles de la práctica común local: estiércol de cerdo (PM) y gallinaza (CM). Los experimentos se establecieron en dos parcelas separadas en la selva alta tropical de Perú en la región Junín. Todos los tratamientos con biochar incrementaron el rendimiento del maíz en comparación con los controles de estiércol, y los biochar con ajustes de pH y relación C/N (BPM3 y BCM3) produjeron los rendimientos más altos de 5.71 t ha⁻¹ y 5.24 t ha⁻¹, respectivamente. Estos rendimientos representan incrementos de 133.1% y 83.2% en comparación con sus respectivos controles de estiércol (PM y CM). Este estudio mostró que las enmiendas basadas en biochar tuvieron un efecto positivo en el rendimiento del maíz en los suelos altos tropicales y que la pérdida de nitrógeno fue menor en las parcelas experimentales modificadas con biochar que en las parcelas que no recibieron biochar. Sin embargo, el

análisis económico muestra que estos biochar no fueron rentables, debido a los costos de producción del biochar. Es necesario realizar más investigaciones para encontrar una forma económicamente viable de producir y aplicar biochar en el suelo. Políticas alternativas deben evaluarse para reducir los incentivos económicos perversos que impulsan la agricultura moderna.

Palabras clave: biochar, estiércol, maíz, nitrógeno, residuos verdes, suelo tropical.

ABSTRACT

The influence of biochar on the nitrogen balance of the crop - soil system is an important aspect of biochar to be studied. The objective of this study was to evaluate the potential of biochar to increase nitrogen use efficiency and thus improve crop yield. This study assessed the influence of six biochars produced in a controlled metal Kon-Tiki kiln at around 500°C from green waste with two different manures and specific adjustments: biochar from green waste and pig manure (BPM1), biochar from green waste and pig manure with pH adjustment (BPM2), biochar from greenwaste and pig manure and pH and C/N ratio adjustment (BPM3), biochar from greenwaste and chicken manure (BCM1), biochar from greenwaste and chicken manure with pH adjustment (BCM2), biochar from greenwaste and chicken manure with pH and C/N ratio adjustment (BCM3), compared to both unfertilized controls (C1 and C2) and common local practice controls: pig manure (PM) and chicken manure (CM). The experiments were established on two separate farms in Peru's tropical highlands in the region of Junin. All biochar treatments increased corn yield compared to the manure controls, and the biochars with pH and C/N ratio adjustments (BPM3 and BCM3) produced the highest yields 5.71 t ha⁻¹ and 5.24 t ha⁻¹, respectively. These yields represent increases of 133.1 % and 83.2 % compared to their respective manure controls (PM and CM). This study showed that the biochar-based amendments had a positive effect on corn yield in the tropical highlands and that the loss of nitrogen was lower in experimental plots amended with biochar than in plots that received no biochar. However, the economic analysis shows that biochar was not profitable, due to the costs of biochar production. There is a need to conduct more research to find an economically viable way to produce and apply

biochar into soil. Alternative policies need to be adjusted so that the perverse economic incentives that drive modern agriculture are mitigated.

Key words: biochar, corn, green waste, manure, nitrogen, tropical soil.

I. ARTÍCULO ENVIADO A PUBLICAR (la estructura dependerá de la revista elegida).

Título: “Efecto de biochar y gallinaza en el flujo de nitrógeno de un sistema suelo entisol

– cultivo de maíz en San Ramón, Perú.”

Afiliaciones: Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

Revista: Biochar

Enlace de la revista: <https://www.springer.com/journal/42773>

Autor de correspondencia: Brenton Ladd

Colocar el artículo a enviar en el formato de la revista elegida.

INTRODUCTION

Agriculture, the production of food through the cultivation of crops, relies heavily on healthy soils (Brady and Weil, 2002). However, despite the known importance of soils (Carter, 2002) current management of this resource is often far from optimal. It is estimated that 33% of the terrestrial ice free land surface is moderately to highly degraded. This degradation of the soil affects crop productivity and therefore yields (FAO, 2015).

In order to improve soil productivity and crop yield, organic amendments such as compost and manure are applied to provide nutrients and improve nutrient cycling. However, in tropical climates, the increase in nutrient retention capacity from organic amendments is not long lasting, as the amendments may be quickly leached due to high precipitation (Novak et al., 2009) (Zheng, Sharma, and Rajagopalan, 2010).

Many humid tropical soils are seen as very infertile to develop sustainable agriculture. One of the main problems for agriculture in the humid tropics is the rapid decomposition of organic matter due to high temperatures, high rates of annual precipitation and lack of stable minerals (Zech, Haumaier, & Hempfling, 1990). However, there is strong evidence that permanent or semi-permanent agriculture can be developed in the humid tropics. The sustainable fertile soils known as "Terra Preta" created by the pre-Columbian civilizations of the Amazon are one example. These soils not only contain higher concentrations of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium and calcium, but also higher quantities of stable organic matter than adjacent soils. At various sites in the Amazon, researchers have found these soils that contain high concentrations of highly aromatic organic matter indicative of pyrolyzed organic material (biochar), a legacy of the pre columbian cultures that inhabited the Amazon (Glaser, Haumaier, Guggenberger, & Zech, 2001).

The motivation behind the application of biochar in agricultural soils is basically to revive this ancient sustainable land management practice, and biochar, the modern day analog of terra pretas has been shown to improve soil quality and productivity, sequester atmospheric carbon in the soil and therefore mitigate climate change (Lehmann, 2007) (Laird, 2008) (Joseph, et al., 2013).

In addition to enhancing pH, cation exchange capacity (CEC) and water retention capacity (Park, Choppala, Bolan, Chung and Chuasavathi, 2011), the application of biochar in tropical soils may improve soil quality and decrease nutrient leaching (Laird, Fleming,

Wang, Horton and Karlen, 2010). This decrease in the leaching of nutrients such as nitrogen and phosphorus implies better retention of nutrients in the soil; ensuring that they remain available for crops (Lehman and Joseph, 2015).

Biochar may improve soil health, increase crop yields and mitigate climate change. However, generalities are difficult since both soils and biochars are highly variable (Macdonald *et al.*, 2014). The objective of this study was therefore to test a range of different biochar formulations in the montane tropical rainforest zone of Peru, on corn yield, profitability and nitrogen use efficiency.

METHODOLOGY

Area of study

The two experiments conducted were part of the Biochar for Sustainable Soils (B4SS) project, funded by the Global Environment Facility (GEF), and were carried out on: 1) the experimental station of the Peruvian NGO APRODES in the Naranjal, and 2) a coffee farm of a champion farmer (Rogelio Gomez) that works closely with APRODES in Palma Pampa. Both sites are located in Peru's tropical montane forest zone in the province of Chanchamayo, at 950 m.a.s.l. (11°08'22.3" S; 75°23'44.3" W) and 1,180 m.a.s.l. (11°04'39.8" S; 75°23'16.7" W) respectively. The native vegetation of the area is highland tropical rainforest and Chanchamayo is one of Peru's main coffee growing regions. In this region, small scale coffee farmers (that own and farm between 1-3 ha) also grow corn to supply grain to own chickens that are consumed on farm. The soil at the experimental site 1 (Naranjal) is alluvial and the soil at site 2 (Palma Pampa) is an entisol (Table 1).

Table 1.- Soil characterization analysis performed by the laboratory at the Universidad Nacional Agraria La Molina, in Peru.

Parameter	Unit	Soil site 1	Soil site 2
		Naranjal	Palma Pampa
Electrical Conductivity	dS/m	0.18	0.07
Sand	%	49	47
Silt	%	38	38
Clay	%	13	15
pH	-	8.35	6.17
O. M.	%	2.12	1.64
P	ppm	5.2	3.7
K	ppm	71	49
CaCO ₃	%	9.1	0
CIC	meq/100g	10.08	6.40
Ca ⁺²	meq/100g	8.81	3.98
Mg ⁺²	meq/100g	1.02	0.43
Na ⁺	meq/100g	0.1	0.08
K ⁺	meq/100g	0.15	0.10
Al ⁺³ + H ⁺	meq/100g	0	0
Fe	ppm	40.8	132
C	%	2.4	0.22
N	%	0.06	0.11

Biochar

For the production of biochar, branches, leaves and leaf litter were collected from the municipal green waste of the municipality of Lurin, Lima. Biochar was produced from a mixture of this green waste and pig or chicken manure in a proportion of 50 / 50 in a KonTiki kiln where temperature was controlled between 450°C and 550°C for 90 minutes (after Botnen *et al.*, 2017). Thus in addition to the control treatments mentioned above we produced the following biochars for use as experimental treatments:

- 1) BPM1: biochar made from greenwaste and pig manure (pH 7.6);
- 2) BCM1: biochar made from greenwaste and chicken manure (pH 9.3);
- 3) BPM2: biochar made from greenwaste and pig manure adjusted using 12 L ton⁻¹ phosphoric acid to get a more neutral pH (pH 7.4);
- 4) BCM2: biochar made from greenwaste and chicken manure adjusted using 12 L ton⁻¹ phosphoric acid to get a more neutral pH (pH 8);
- 5) BPM3: biochar produced from greenwaste and pig manure with pH adjustment, was also C/N ratio adjusted by adding 24 grams of urea (46 % N) per kilogram of biochar (pH 7.9 and C/N 18); and
- 6) BCM3: biochar produced from greenwaste and chicken manure with pH adjustment, was also C/N ratio adjusted by adding 24 grams of urea (46 % N) per kilogram of biochar (pH 7.9 and C/N 13.08).

Table 2.- Chemical characteristics of the treatments/soil amendments. Analyses performed in the laboratory of the Department of Primary Industries of New South Wales in Australia. CM = Chicken manure, BCM1 = Biochar produced from greenwaste and chicken manure, BCM2 = Biochar produced from greenwaste with chicken manure and pH adjustment, BCM3 = Biochar produced from greenwaste with chicken manure, pH adjustment and adjustment of the biochars C/N ratio, PM = Pig manure, BPM1 = Biochar produced from greenwaste and pig manure, BPM2 = Biochar produced from greenwaste and pig manure and pH adjustment, BPM3 = Biochar produced from greenwaste and pig manure, pH adjustment and adjustment of the biochars C/N ratio.

Parameter	Units	CM	BCM1	BCM2	BCM3	PM	BPM1	BPM2	BPM3
Phosphorus	%	1.6	1.7	2	1.9	2	1.3	1.3	1.9
Formic Acid Soluble P	mg/kg	18000	15000	16000	18000	15000	12000	12000	18000
Total Organic Carbon	%	19	14	14	16	33	16	12	18
Total Carbon	%	20	16	15	17	33	16	12	18
Total Nitrogen	%	1.4	0.89	1	1.3	2.5	1	0.76	1
C/N ratio		14.29	17.98	15.00	13.08	13.2	16	15.79	18
Electrical Conductivity	dS/m	11	9.2	9	10	18	6.1	5.6	8.1
pH (CaCl ₂)	pH units	8.5	9.3	8	7.9	7.1	7.6	7.4	7.9
<u>Exchangeable</u>									
<u>Cations</u>									
Aluminium	cmol(+)/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Calcium	cmol(+)/kg	8.5	6.4	8.1	6.9	7.2	21	19	6.2
Potassium	cmol(+)/kg	53	41	40	44	49	18	17	27
Magnesium	cmol(+)/kg	9.4	6.6	9.3	14	21	11	6.4	12
Sodium	cmol(+)/kg	15	17	20	22	54	16	17	26
CEC	cmol(+)/kg	86	71	77	86	130	66	59	72
Calcium/ Magnesium		0.91	0.96	0.87	0.51	0.35	1.9	2.9	0.51
Exchangeable Calcium	%	9.9	9	11	8	5.5	32	31	8.6
Exchangeable Potassium	%	61	58	52	51	37	27	29	38
Exchangeable Magnesium	%	11	9.3	12	16	16	17	11	17

Experimental Design

Corn (*Zea mays L.*, “Marginal 28 Tropical”) was used as the experimental crop to evaluate the different biochar treatments/soil amendments. The corn was harvested after 150 days. The experimental plots were hand weeded every month on field visits and insecticide was applied once to control pests. The two experiments were established in two separate fields as randomized complete blocks with five replicates for each of the ten treatments. The experimental treatments were established in 4m² plots, with 1 meter of buffer between each plot. In each 4 m² plot, the different treatments were applied in the top 10 cm of soil. The application rate of organic fertilizer (pig or chicken manure) and biochar was formulated in accordance to the nutritional requirement of corn (175 kg N/ha) recommended by the New South Wales Department of Primary Industries (NSW DPI) in Australia after measurement of the N content of the chicken manure, pig manure and the biochars used in the current experiment (Table 3).

Table 3.- Calculation of treatment application rates to ensure standardization of nitrogen across treatments.

Treatments*	N %	t/ha**	% Humidity	kg/plot***
CM	1.4	12.5	9.2	5.46
BCM1	0.89	19.7	17.6	9.3
BCM2	1	17.5	15	8.05
BCM3	1.3	13.5	14.2	6.2
PM	2.5	7	26.8	3.55
BPM1	1	17.5	19.2	8.34
BPM2	0.76	23.03	5.6	9.73
BPM3	1	17.5	11.4	7.8

* CM = Chicken manure, BCM1 = Biochar from greenwaste and chicken manure, BCM2 = Biochar from greenwaste and chicken manure and pH adjustment, BCM3 = Biochar from greenwaste and chicken manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment, PM = Pig manure, BPM1 = Biochar from greenwaste and pig manure, BPM2 = Biochar from greenwaste and pig manure and pH adjustment, BPM3 = Biochar from greenwaste and pig manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment. ** Application rate based on the nutritional requirement of corn. *** Application dose including percentage of moisture

and plot size (4 m²); application rate in accordance to the nutritional requirement of corn (175 kg N/ha) recommended by NSW DPI in Australia.

Statistical Analysis

ANOVA and Dunnett's test were conducted to all the data obtained from the experiment where ANOVA showed significant differences.

Parameters evaluated

The parameters evaluated were plant biomass (dry weight), yield (grain dry weight) and nitrogen content in all biomass fractions. In the soil, we measured total nitrogen using the Kjeldahl method.

- **Dry biomass:** the plants were harvested from each of the experimental plots, solar oven dried in labelled paper bags and weights recorded by components: leaves, stems, roots and grain. The grain biomass (yield) values obtained per plant for each treatment, were expressed as tons per hectare (t ha⁻¹). In accordance with the recommendations provided by INIA (2008), we assumed that two corn plants occupy an area of 0.4 m². This figure was used to extrapolate the yield data obtained in this experiment to a per hectare basis.
- **Final nitrogen in the soil:** a 1 kg soil sample was extracted from every experimental plot at the end of experiment (at day 150). The samples were sent to the soil, plant and fertilizer analysis laboratory of the Universidad Nacional Agraria La Molina in Peru to determine total nitrogen (see table 7) by the Kjeldahl method.
- **Nitrogen absorbed by the plants:** at day 124, when the first corn flowers had begun to form, samples of representative leaves were collected from all plants in the experiment to determine the foliar nitrogen content. At day 150, when the corn grain had finished its development, the rest of the biomass was harvested (grain, root, stem and leaves). These biomass fractions were harvested and dried separately. Then each of the crop biomass fractions was weighted to determine total biomass and assess for potential variations in biomass allocation patterns across treatments. One sample of each fraction was sent to the soil, plant and fertilizer analysis laboratory of the Universidad Nacional Agraria La Molina, to determine nitrogen (see table 7) by Kjeldahl method. Finally, the %N of each

fraction was multiplied by the biomass of the corresponding fraction to determine the total nitrogen absorbed by the crop.

- **Nitrogen balance:** a mass balance of nitrogen was estimated considering the inputs and outputs of the soil-crop system in each of the treatments according to the modified model proposed by Errebhi *et al.* (1998); Meinsinger *et al.* (2008), Giletto and Echeverria (2013) cited by Walter *et al.* (2015).

$$\begin{aligned} N_{inputs} &= N_{outputs} \\ N_{inputs} &= N_{is} + N_{fer} \\ N_{output} &= N_{ap} + N_{fs} \end{aligned}$$

Where:

- N_{is} : initial nitrogen in soil;
 - N_{fer} : nitrogen added with the treatment (fertilizer);
 - N_{ap} : nitrogen absorbed by the plant; and
 - N_{fs} : final nitrogen in soil.
- **Nitrogen Use Efficiency:** nitrogen use efficiency or fertilizer recovery in the crop production systems were computed using the difference method.
http://www.nue.okstate.edu/N_Fertilizers/NUE_definition.html

$$PFR = \frac{NF - NC}{R}$$

Where:

- NF = total crop N uptake (corn) from fertilized plots;
- NC = total crop N uptake (corn) from unfertilized plots;
- R = rate of fertilizer N applied; and
- PFR = percent fertilizer recovery.

Economic analysis

The profitability of the experimental treatments was calculated using the average values of yield per hectare across the ten experimental treatments. For the economic analysis, it was assumed that corn could be sold to 0.37 USD/kg using figures published by the Ministry for Agriculture in Peru (<http://minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo-duro/maiz-2016>). The cost of urea (0.42 USD/kg), the cost of phosphoric acid (2.27

USD/L), and the cost of biochar was obtained from own calculations made during the B4SS project (<http://biochar.international/the-biochar-for-sustainable-soils-b4ss-project/peru/>) (Table 4). In accordance with the recommendations provided by INIA (2008), it was estimated that two corn plants occupy an area of 0.4 m². This figure was used to extrapolate the yield data obtained in this experiment to a per hectare basis.

Table 4.- Economic analysis results of treatments.

First crop cycle	Unit	C1	PM	BPM1	BPM2	BPM3	C2	CM	BCM1	BCM2	BCM3
Application rate of treatment for the soil	ton/ha	0	7.00	17.50	23.03	17.50	0	12.50	19.70	17.50	13.50
Cost of application per ton	\$/ton	0	60.6	218.2	245.5	303.0	0	189.4	228.8	256.1	281.4
Cost of application per hectare	\$/ha	0	424.2	3818.2	5652.8	5303.0	0	2367.4	4507.1	4481.1	3798.8
Yield of corn grain	ton/ha	0.41	2.45	2.94	3.14	5.71	3.04	2.87	3.72	5.05	5.24
Selling price of corn	\$/ton	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8
Revenue per hectare	\$/ha	155.3	928.0	1113.6	1189.4	2162.9	1151.5	1087.1	1409.1	1912.9	1984.8
Net profit per hectare	\$/ha	155.3	503.8	-2704	-4463	-3140	1151	-1280	-3098	-2568	-1814

RESULTS

Table 5.- Statistical analysis summary of Naranjal station (where biochar-pig manure amendments were tested), ANOVAs total biomass, corn yield, total nitrogen absorbed by plants, soil nitrogen content at the end, nitrogen use efficiency and nitrogen balance.

Source	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
a) Total biomass				
Treatment	4	83097	6.39	0.00
Error	18	58547		
C. Total	22	141645		
b) Corn yield				
Treatment	4	28601	4.47	0.01
Error	18	28813		
C. Total	22	57414		
c) Total N absorbed by plants				
Treatment	4	28.22	6.38	0.00
Error	20	22.11		
C. Total	24	50.33		
d) Soil N content at the end of the experiment				
Treatment	4	102726	6	0.00
Error	20	85590		
C. Total	24	188316		
e) Nitrogen balance (N lost via evaporation or leaching)				
Treatment	4	48995.05	1.82	0.17
Error	18	120836.48		
C. Total	22	169831.54		
f) Nitrogen use efficiency				
Treatment	4	8119.62	5.2	0.01
Error	17	6639.85		
C. Total	21	14759.48		

Table 6.- Statistical analysis summary of Palma Pampa station (where biochar-chicken manure amendments were tested), ANOVAs total biomass, corn yield, total nitrogen absorbed by plants, soil nitrogen content at the end, nitrogen use efficiency and nitrogen balance.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
a) Total biomass					
Treatment	4	28986.88	7246.72	3.27	0.03
Error	19	42131.47	2217.45		
C. Total	23	71118.35			
b) Corn yield					
Treatment	4	23.57	5.89	2.66	0.06
Error	19	42.09	2.22		
C. Total	23	65.66			
c) Total N absorbed by plants					
Treatment	4	18460.45	4615.11	3.54	0.03
Error	19	24775.77	1303.99		
C. Total	23	43236.22			
d) Soil N content at the end of the experiment					
Treatment	4	3420018	855005	8.10	0.00
Error	19	2005456	105550		
C. Total	23	5425474			
e) Nitrogen balance (N lost via evaporation or leaching)					
Treatment	4	55190.95	13797.7	3.98	0.02
Error	19	65839.51	3465.2		
C. Total	23	121030.46			
f) Nitrogen Use Efficiency					
Treatment	4	3751.43	937.86	2.52	0.08
Error	19	7081.42	372.71		
C. Total	23	10832.84			

Yield

For Palma Pampa station yields, no significant difference was found between treatments (Table 6); while in the case of Naranjal station (Table 5), only the biochar made from greenwaste and pig manure with pH adjustment and C/N ratio adjustment (BPM3) had a significant effect on the yield in relation to the unfertilized control treatment according to Dunnet's test.

In terms of yield at Naranjal station, the biochar formulation that produced the highest effect had both pH and C/N ratio adjustment (figure 1a), whereas in Palma Pampa the adjustment of the C/N ratio produced a higher yield on the corn but not statistically significant effect above and beyond the results obtained after pH adjustment (Figure 1b).

If we compare between field sites (Figure 1a vs Figure 1b), we can observe that in Palma Pampa station, higher yields were obtained in the control treatments compared to the Naranjal control treatments. However, the yield of the treatment with both adjustments of Naranjal station (BPM3) exceeded by 8.97 % the yield obtained in the treatment with both adjustments of Palma Pampa (BCM3).

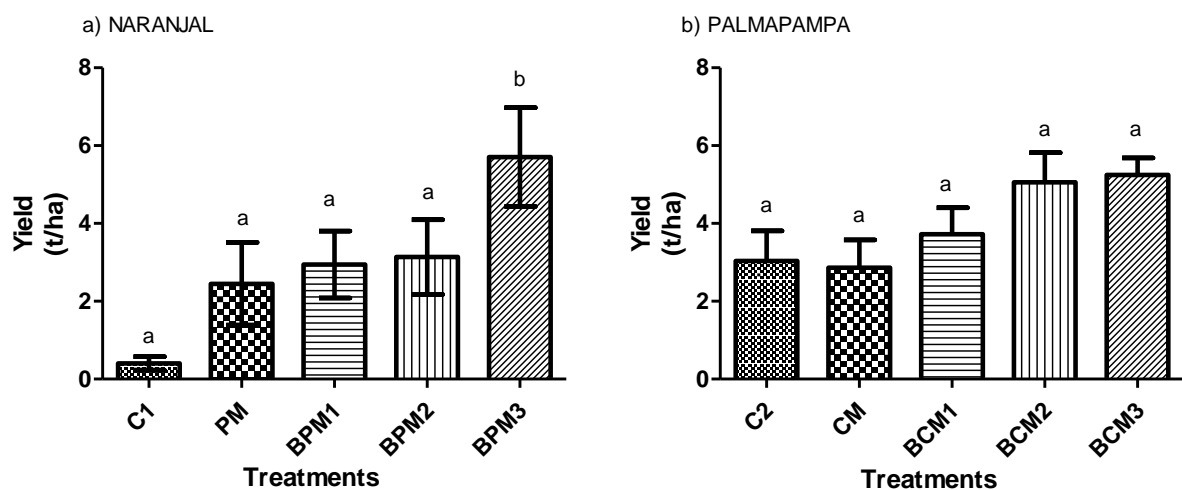


Figure 1. a) Yield of corn in Naranjal station expressed in tons per hectare. Where: C1 = Control Naranjal, PM = Pig Manure, BPM1 = Biochar from greenwaste and pig manure; BPM2 = Biochar from greenwaste and pig manure, and pH adjustment; BPM3 = Biochar from greenwaste and pig manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment. b) Yield of corn in Palmapampa station expressed in tons per hectare. Where: C2 = Control Palmapampa, CM = Chicken manure, BCM1 = Biochar from greenwaste and chicken manure; BCM2 = Biochar from greenwaste and chicken manure, and pH adjustment; BCM3 = Biochar from greenwaste and chicken manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment.

Nitrogen inputs into the soil-plant system

For the Palma Pampa soil (unfertilized treatment C2), the nitrogen stock was 1650 kg N ha⁻¹, while in Naranjal soil (unfertilized treatment C1) it only reached 900 kg N ha⁻¹. Then,

175 kg N ha⁻¹ was added by means of the treatments to both soils, resulting in a total of 1825 kg N ha⁻¹ (for chicken manure and biochar made from greenwaste and chicken manure treatments (BCM1, BCM2, BCM3) and 1075 kg N ha⁻¹ initial in the soils containing the pig manure and biochar made from greenwaste and pig manure treatments (BPM1, BPM2, BPM3).

Nitrogen balance and estimation of nitrogen losses

Calculations to determine the nitrogen absorbed by the plant and the final content of nitrogen in the soil are presented in Table 7. With these data we can estimate the nitrogen losses. As shown in Figure 2d, only in the experimental station of Palma Pampa there is a significant difference between the regular practice control (chicken manure) and the unfertilized control (C2). On the other hand, in Table 7, it is observed that the nitrogen loss across treatments is higher in unfertilized treatments, followed by the manure fertilized treatments for both experimental sites.

Table 7.- Nitrogen lost average for each treatment. Estimated from the nitrogen balance in the plant-soil system, the input nitrogen minus the nitrogen absorbed by the plant (Nap) and the final nitrogen in soil (Nfs).

Treatments	N - inputs (kg/ha)	Nap (kg/ha)	Nfs (kg/ha)	Lost nitrogen (kg/ha)	Lost nitrogen (%)
C1	900	31.36	210	658.64	73.19
PM	1075	93.76	234	744.99	69.3
BPM1	1075	108.52	351	615.48	57.25
BPM2	1075	134.02	303	637.23	59.28
BPM3	1075	194	174	706.67	65.74
C2	1650	131.52	262.1	1256.38	76.14
CM	1825	134.89	320.4	1369.67	75.05
BCM1	1825	142.45	331.7	1350.85	74.02
BCM2	1825	190.34	383.3	1251.34	68.57
BCM3	1825	195.13	335	1294.87	70.95

Nitrogen use efficiency

For Naranjal station, significant differences were found between treatment unfertilized control (C1) and biochar made from greenwaste and pig manure with pH and C/N ratio adjustments (BPM3) (Figure 2a, Table 8). While for Palma Pampa station no significant differences were found between any of their treatments. In Naranjal station, the biochar

made from greenwaste and pig manure with pH and C/N ratio adjustments (BPM3) presented the highest nitrogen use efficiency (NUE) with 56%, while the lowest was in the pig manure (PM) treatment with 23.84%. In Palma Pampa station, the chicken manure treatment (CM) presented the lowest NUE with -7.01%, resulting that manures got the lowest values of NUE in both sites.

Table 86.- Calculating nitrogen use efficiency using the difference method.

Treatment	Applied N (kg/ha)	Grain Yield (kg/ha)	Grain N (%)	N crop uptake (kg/ha)	NUE - Fertilizer Recovery (%)
C1	0	404.6	2.07	8.36	0
PM	175	2449.75	2.04	50.07	23.84
BPM1	175	2942.8	1.93	56.85	27.71
BPM2	175	3137.67	1.81	56.67	27.6
BPM3	175	5705.63	1.86	106.35	56
C2	0	3036.25	2.49	75.6	0
CM	175	2866	2.21	63.34	-7.01
BCM1	175	3724.42	2.17	80.82	2.98
BCM2	175	5054.69	2.26	114.24	22.08
BCM3	175	5244.83	1.94	101.75	14.94

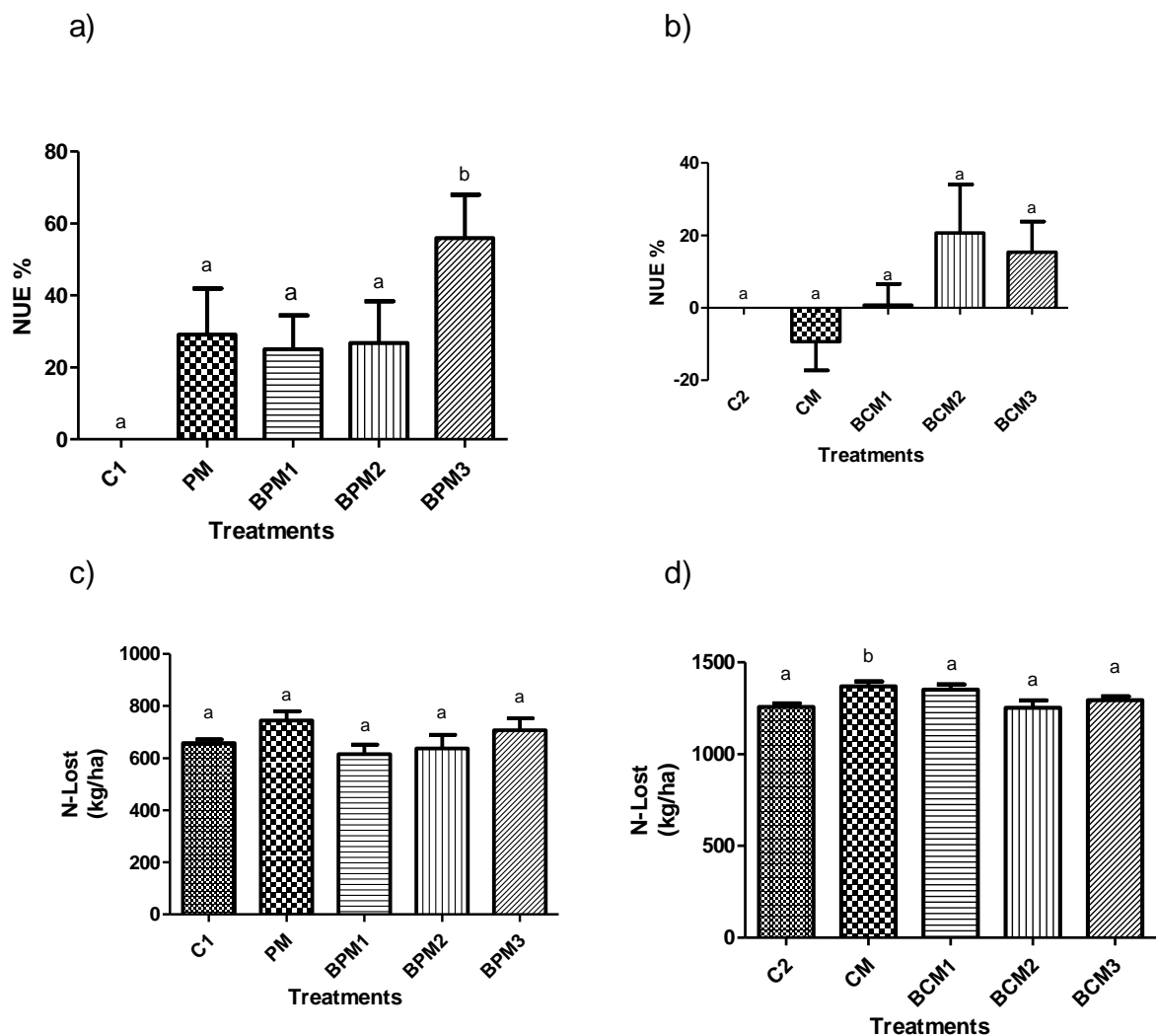


Figure 2. a) Nitrogen use efficiency – Naranjal. b) Nitrogen use efficiency – Palma Pampa. c) N-lost in Naranjal. d) N-lost in Palma Pampa. Where: C1 = Control Naranjal; PM = Pig Manure, BPM1 = Biochar from greenwaste and pig manure; BPM2 = Biochar from greenwaste and pig manure, and pH adjustment; BPM3 = Biochar from greenwaste and pig manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment; C2 = Control Palma Pampa; CM = Chicken manure; BCM1 = Biochar from greenwaste and chicken manure, BCM2 = Biochar from greenwaste and chicken manure, and pH adjustment; BCM3 = Biochar from greenwaste and chicken manure, pH adjustment and C/N ratio adjustment.

DISCUSSION

Yield

According to the Peruvian ministry for agriculture (MINAGRI 2018), the national average yield of yellow corn is 4.73 ton ha⁻¹ in Peru. For this research, at Naranjal and Palma Pampa sites the adjusted treatments BPM3, BCM2 and BCM3 reached a yield of 5.71 t ha⁻¹, 5.05 t ha⁻¹ and 5.24 t ha⁻¹, which are above average. However, the yields of the other biochar treatments (BPM1, BPM2, BCM1) and manure treatments are below this average. Results are variable in terms of what biochar does to yield and diverse studies suggest that the variation we see is due to environment and the constraints that affect plant growth like bulk density, soil structure, rainfall and irrigation related to water holding capacity, other nutrients availability (P, K), etc. (Borchard et al. (2014)). Another potential reason for variability in experimental results with biochar is differences in biochar formulation and application rates since biochar application may affect soil pH and the availability of nutrients for plants which also often depends on soil pH. Many authors (Chan *et al.*, 2007; Iglesias *et al.*, 2018) also indicate that there are trends toward increased yields of corn when biochar is added to the soil, because it works as an amendment that increases the retention of nutrients in the soil, which are used by the crop. However, BCM1 had lower performance than BCM2 and BCM3. This is due to the fact that the last two treatments were adjusted for pH and C/N ratio. The reason to adjust the pH (BPM2, BPM3, BCM2 and BCM3) was to change the properties of the biochars and test different formulations, the hypothesis was that the small quantities of biochar added to the soil might act as nuclei in this mass of soil where conditions are good (i.e. neutral, enhanced in terms of CIC) and that this might be enough to favor a healthier more productive plant-soil system (see for example, Weng et al 2017).

Alonso *et al.* (2016) conclude that although the use of certain biochars improved some chemical properties of the soil such as CEC, pH and nutrient content (P, Ca, Mg, K and Zn), the biochar evaluated in that study was not a source itself of macronutrients like nitrogen. Therefore, it was recommended to combine low-nutrient biochars, such as those made from wood, with other sources of nutrients like manures and urea (as we did testing BPM3 and BCM3 formulations). Lehmann et al. (2002) and Carter (2013) also concluded that when biochar is applied to the soil along with fertilizer, increases in crop yields are more likely.

Macdonald et al. (2014) studied four contrasting soils (acidic arenosol, acidific ferralsol, neutral vertisol and alkaline calcisol) applying biochar made from poultry litter (PL) and biochar made from wheat straw (WS) in all soils, and suggested little benefit resulted from biochar application where plant growth is unconstrained and bigger benefits where soil constraints are targeted specifically by the biochar formulation. They found acidic soil conditions constrain plant growth through limiting the availability of key nutrients like N, P, and K, and also because of the excess availability of potentially toxic elements like Al and Bo. Bertrand et al. (2003) also relate many of the soil constraints to pH limitations in nutrient availability for the crop. This requires wider consideration of the main production constraints of different sites and soil types, and the fact that biochars need to be tailored to address these.

Nitrogen balance and estimation of nitrogen losses

In all biochar-based treatments (BCM1, BCM2, BCM3 and BPM1, BPM2, BPM3), the loss of nitrogen was lower compared with manures (CM and PM). The explanation that we found higher values of nitrogen in the plant absorbed by the crop and nitrogen in the soil in the plots where biochars were applied might be because the biochar should be working as a nutrient-retaining additive, increasing the use efficiency of fertilizers like the chicken or pig manure. Lehmann and Rondon (2006) suggested that this higher nutrient availability for the crop is the result of the nutrient addition by the amendment and also the better nutrient retention, but it could be also explained by the changes in soil microbial dynamics.

Diverse studies show the significant potential of biochar in decreasing the nitrogen losses via volatilization and leaching from soils, and simultaneously improving use efficiency of nutrients by crops. These pathways for nitrogen losses are of special concern in the tropics because of high temperatures and high precipitation. Ammonia (NH_3) volatilization allows for a major nitrogen (N) loss from the soil, and results in low N use efficiency by crops. Mandan *et al.* (2016), conducted experiments using five soils (pH range 5.5–9.0), three sources of nitrogen: urea, di-ammonium phosphate (DAP) and chicken manure (CM), and two biochars: chicken manure biochar and macadamia nut shell biochar. They proved that volatilization of ammonia was reduced by approximately 70% with biochar formulations attributed to different mechanisms such as NH_3 adsorption/immobilization, and nitrification. Other studies like Ding *et al.* (2010) also show reductions in leaching, in their experiment in which biochar reduced NH_4^+ -N losses

by approximately 15.2% and this was attributed by Zheng *et al.* (2013) to the increase in soil water holding capacity when biochar is added.

Nitrogen use efficiency

In many agricultural systems, a considerable portion of the applied nitrogen fertilizer and mobile nutrients are lost, e.g. to groundwater, where plants cannot utilize them; and this nitrate and ammonium efflux results in a reduction of net nitrogen uptake by the crop (Glass, 2003; Major *et al.*, 2012). The global nitrogen use efficiency for cereal production is around 33% (Raun *et al.*, 1999). About 67% of nitrogen applied to soils is thus lost through volatilization, leaching, soil denitrification, surface runoff, etc. This indicates that the rates of total crop nitrogen uptake in fertilized plots are slightly higher than the rates found in this experiment. Also, in this experiment we found a negative nitrogen use efficiency in chicken manure (CM) compared to the unfertilized control at Palma Pampa site (C2). When natural deficiencies of nitrogen in an ecosystem are remedied, plant growth begins to be limited by other factors such as phosphorus, calcium or water availability (that biochar compared to manures also helped to retain), and vegetation can no longer benefit from further nitrogen additions. The ecosystem reaches a state described as "nitrogen saturation", where nitrogen will be dispersed into streams, groundwater and the atmosphere (Renderos, 2001). These losses are the result of numerous chemical, physical and biological processes, the magnitude of which is affected by environmental, soil and management factors such as temperature, soil pH, cation exchange capacity, organic matter, wind, surface vapor pressure and fertilizer dosage and location (FAO, 2002).

Economic Profitability

Biochar adoption strategies should take into consideration not only environmental but also economic and social issues (Barrow, 2012), since farmer decisions to apply biochar to the field will also depend on the economic profitability. Ladd *et al.* (2017) identified considerable economic benefits of using biochar as a co-product with granular nitrogen fertilizers in corn cultivation, obtaining an increase in crop yield and higher profitability, when compared to use of granular nitrogen fertilizer alone. This is a very important point to address if we think about more widespread application of biochar in agriculture, especially in small farmers who struggle to break the soil-poverty cycle that Barret (2015) studied and exemplified: poor soil constrains agricultural production and household

capital, and low household capital constrains investments in improving soils. In this study, even the biochar-based amendments with pH and C/N ratio adjustments (BPM3 and BCM3) that presented the higher crop yields were not profitable, because of the production costs of these biochars. Bach et al. (2016) studied 48 different publications evaluating yield effects of biochars and their economic viability; and found negative results in profit if only the agronomic value of biochar amendment to soil was considered. They concluded that a crucial factor for a cost-benefit analysis is the permanence of the yield increase by a biochar in the long-term, in order to offset repeated annual revenues against one-time expenses for biochar application. But to estimate the longevity of a biochar, we need to assess its stability in soils and the sustainability of its effectiveness on yield (Gurwick et al. 2013). Galinato *et al.* (2011) concluded that biochar application to soil could become profitable if biochar was eligible in carbon pricing mechanisms and the respective carbon price was high enough to incentivize biochar practices, or if the biochar market price was low enough for farmers to earn a profit. Considering that carbon pricing instruments are unlikely to be well implemented in a short period in Peru, we suggest to promote the use of biochar as a co-product among small farmers by involving them in the local production of biochar with their own farm raw materials. This approach is based on the experience and lessons obtained in the Biochar for Sustainable Soils (B4SS) project, which was implemented in Peru, China, Ethiopia, Indonesia, Kenya and Vietnam from April 2015 to December 2018 (www.biochar.international).

CONCLUSIONS

The amendments containing biochar had all a positive effect on the increase of total biomass and corn yield. The biochar that had its C/N ratio adjusted had higher positive effects on yield than the application of biochar alone. The amount of nitrogen absorbed by the plant was also higher in crops where fertilization was made with biochar formulations. This higher nutrient absorption resulted in lower nitrogen losses when biochar was applied to the soil, and therefore contributed to higher nitrogen use efficiency, and thus less of the externality (eutrophication) that results from inefficient N use. However, the biochar-based treatments did not prove to be profitable, due to the cost of labor and feedstocks; in this case, green waste, needed to produce biochar. More research using biochar in the Peruvian Amazon soils should help identify the best cost-effective formulations of biochar to address local constraints and enhance soil fertility (and therefore crop yield). More attention also needs to be paid to policy that could favor the widespread use of this ancestral and sustainable strategy for land management.

REFERENCES

- Alonso L., Cruz A., Jiménez D., Ocampo A., Parra S. 2016. Biochar as an amendment in an oxisol and its effect on the growth of corn. *Rev. U.D.C.A. Actualidad & Divulgacion Cientifica*. 19(2): 341-349.
- Bach M., Wilske B., Breuer L. 2016. Current economic obstacles to biochar use in agriculture and climate change mitigation. *Carbon Management*, 7(3-4):183-190.
- Barrow, C.J. 2012. Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography* 34: 21-28.
- Barrett C., Bevis L. 2015. The self-reinforcing feedback between low soil fertility and chronic poverty. *Nature Geoscience* 8: 907-912.
- Bertrand I., Holloway R.E., Armstrong R.D., McLaughlin M.J. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research* 41: 61-76.
- Borchard N., Siemens J., Ladd B., Moller A., Amelung W. 2014. Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil & Tillage research*, 144: 184-194.
- Botnen S., Sparrevik A., Schmidt M., Cornelissen G. 2017. Life-cycle assessment of biochar production systems in tropical rural areas: Comparing flame curtain kilns to other production methods. *Biomass and Bioenergy*, 101: 35-43.
- Brady N., Weil R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. NJ, EEUUA: Prentice Hall.
- Carter M.R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management. *Agronomy Journal*, 94(1): 38-47.
- Carter S., Shackley S., Sohi S., Suy B., Haefele S. 2013. The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 3: 404-418.
- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45:629-634.
- Ding Y., Xue Y., Xiang W., Zhi D., Yang M., Ke Z. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, air, & soil pollution*, 213: 47-55.

- Errebhi M., Rosen C., Gupta S., Birong D. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* 90: 10-15.
- FAO. 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. El crecimiento demográfico, la industrialización y el cambio climático, amenazan la salud del suelo.
- Galinato S., Yoder J., Granatstein D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy* 30(10): 6344-6350.
- Giletto C., Echeverría H. 2013. Nitrogen balance for potato crops in the southeast pampas region, Argentina. *Nutr. Cycl. Agroecosys* 95: 73-86.
- Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 2001. The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.
- Glass A. 2003. Nitrogen Use Efficiency of Crop Plants: Physiological Constraints upon Nitrogen Absorption. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22: 453-470.
- Gurwick N.P., Moore L.A., Kelly C., Elias P. 2013. A systematic review of biochar research, with a focus on its stability in situ and its promise as a climate mitigation strategy. *Plos One* 8(9): e75932 doi:10.1371/journal.pone.0075932.
- Iglesias S., Alegre J., Salas C., Eguez J. 2018. El rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria* 9(1): 25-32.
- INIA. 2008. Maíz amarillo duro marginal 28 tropical.
- Joseph S., Graber E., Chia C., Munroe P., Donne S., Thomas T., Hook J. 2013. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. *Carbon Management*, 323-343.
- Ladd B., Dumler S., Loret de Mola E., Anaya R., Borchard N. 2017. Incremento de rentabilidad en producción del maíz en Perú: N fertilizantes y biochar. *The Biologist (Lima)*, 15(2): 351-358.
- Laird D. 2008. The charcoal vision: A win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100: 178-181.
- Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 436-442.
- Lehmann J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144.

- Lehmann J., Da Silva J.P., Rondon M., Da Silva C.M., Greenwood J., Nehls T., Steiner C., Glaser B. 2002. Slash- and- char: a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand. Symposium n°13, p. 449.
- Lehmann J., Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Earthscan from Routledge.
- Lehmann J., Rondon M. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* 113: 517-530.
- Macdonald L.M., Farrell M., Van Zwieten L., Krull E.S. 2014. Plant growth responses to biochar addition: an Australian soils perspective. *Biology and Fertility of Soils* 50: 1035-1045.
- Major J., Steiner C., Downie A., Lehmann J. 2012. Biochar Effects on Nutrient Leaching. *Biochar for Environmental Management. Science and technology.* Earthscan, London 271–287.
- Mandal S., Thangarajan R., Bolan N., Sarkar B., Khan N., Sik Y., Naidu R. 2016. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. *Chemosphere* 142: 120-127.
- Meisinger J., Schepers J., Raun W. 2008. Crop nitrogen requirement and fertilization. In: JS Schepers; WR Raun (eds). *Nitrogen in Agricultural Systems.* Agronomy. Monograph 49. ASA-CSSA-SSSAJ. Madison. Pp. 563-612.
- MINAGRI. 2018. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de Maíz Amarillo Duro.
- Novak J., Lima I., Xing B., Gaskin J., Steiner C., Das K., Schomberg H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3: 195-206.
- Park H., Choppala K., Bolan S., Chung W., Chuasavathi T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348: 439-451.
- Raun W., Johnson G. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, vol 91: 357-363.
- Walter S., Giletto C., Echeverría H. 2015. Balance de Masa de Nitrógeno en el cultivo de papa en Villa Dolores, Córdoba. Argentina. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Ciencia Suelo* 34(1):93-104,2016.

- Weng, Z.H., Van Zwieten, L., Singh, B.P., Tavakkoli, E., Joseph, S., Macdonald, L.M., Rose, T.J., Rose, M.T., Kimber, S.W., Morris, S. and Cozzolino, D. 2017. Biochar built soil carbon over a decade by stabilizing rhizodeposits. *Nature Climate Change* 7(5): 371-376.
- Zech W., Haumaier L., Hempfling R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, 187-202.
- 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.
- Zheng W., Sharma B., Rajagopalan N. 2010. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. *Illinois Sustainable Technology Center University of Illinois at Urbana-Champaign*. 36 p.

II. VERSIÓN EN CASTELLANO SI EL ARTÍCULO ES ENVIADO EN INGLÉS

INTRODUCCIÓN

La agricultura, la producción de alimentos a través del crecimiento de cultivos, depende en gran medida de suelos saludables (Brady y Weil, 2002). Sin embargo, a pesar de la importancia conocida de los suelos (Carter, 2002), el manejo actual de este recurso a menudo está lejos de ser óptimo. Se estima que el 33% de la superficie terrestre libre de hielo está moderada a altamente degradada. Esta degradación del suelo afecta su productividad y, por lo tanto, el rendimiento de los cultivos (FAO, 2015).

Con el fin de mejorar la productividad del suelo y el rendimiento de los cultivos, se aplican enmiendas orgánicas como el compost y el estiércol para aportar nutrientes y mejorar el ciclo de los nutrientes. Sin embargo, en climas tropicales, el aumento en la capacidad de retención de nutrientes de las enmiendas orgánicas no es de larga duración, ya que las enmiendas se pueden lixiviar rápidamente debido a la alta precipitación (Novak et al., 2009) (Zheng, Sharma y Rajagopalan, 2010).

Muchos suelos tropicales húmedos se consideran muy infértiles para desarrollar una agricultura sostenible. Uno de los principales problemas para la agricultura en los trópicos húmedos es la rápida descomposición de la materia orgánica debido a las altas temperaturas, las altas tasas de precipitación anual y la falta de minerales estables (Zech, Haumaier y Hempfling, 1990). Sin embargo, existe una fuerte evidencia de que la agricultura permanente o semipermanente sí puede desarrollarse en los trópicos húmedos. Los suelos fértiles sostenibles conocidos como "Terra Preta" creados por las civilizaciones precolombinas de la Amazonía son un ejemplo. Estos suelos no sólo contienen concentraciones más altas de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y calcio, sino también cantidades más altas de materia orgánica estable que los suelos adyacentes. En varios sitios de la Amazonía, los investigadores han encontrado estos suelos que contienen altas concentraciones de materia orgánica altamente aromática indicativa de material orgánico pirolizado (biochar), un verdadero legado de las culturas precolombinas que habitaban la Amazonía (Glaser, Haumaier, Guggenberger, & Zech), 2001).

La motivación detrás de la aplicación de biochar en suelos agrícolas es básicamente para revivir esta antigua práctica de manejo sostenible de la tierra; y el biochar, el análogo moderno de terra preta, ha demostrado mejorar la calidad y productividad del suelo,

secuestrar carbono atmosférico en el suelo y, por lo tanto, mitigar el cambio climático (Lehmann, 2007) (Laird, 2008) (Joseph, et al., 2013).

Además de mejorar el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y la capacidad de retención de agua (Park, Choppala, Bolan, Chung y Chuasavathi, 2011), la aplicación de biochar en suelos tropicales puede mejorar la calidad del suelo y disminuir la lixiviación de nutrientes (Laird, Fleming, Wang, Horton y Karlen, 2010). Esta disminución en la lixiviación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo implica una mejor retención de nutrientes en el suelo; asegurando que permanezcan disponibles para los cultivos (Lehman y Joseph, 2015).

El biochar puede mejorar la salud del suelo, aumentar el rendimiento de los cultivos y mitigar el cambio climático. Sin embargo, las generalidades son difíciles ya que tanto los suelos como los biochars son altamente variables (Macdonald et al., 2014). El objetivo de este estudio fue, por lo tanto, probar una gama de diferentes formulaciones de biochar en la zona de selva tropical montana del Perú, en rendimiento de maíz, rentabilidad y eficiencia en el uso de nitrógeno.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Los dos experimentos realizados fueron parte del proyecto Biochar for Sustainable Soils (B4SS), financiado por Global Environment Facility (GEF), y se llevaron a cabo en: 1) la estación experimental de la ONG peruana APRODES en Naranjal, y 2) una finca de café de un agricultor estrella (Rogelio Gómez) que trabaja en estrecha colaboración con APRODES en Palma Pampa. Ambos sitios están ubicados en la zona de bosque tropical montano de Perú en la provincia de Chanchamayo, a 950 m.s.n.m. (11° 08' 22.3" S; 75° 23' 44.3" W) y 1,180 m.s.n.m. (11° 04' 39.8" S; 75° 23' 16.7" W) respectivamente. La vegetación nativa del área es de selva alta tropical y Chanchamayo es una de las principales regiones cafetaleras de Perú. En esta región, los pequeños productores de café (que poseen y cultivan entre 1 y 3 ha) también cultivan maíz para suministrar grano a los pollos que crían y consumen en la granja. El suelo en el sitio experimental 1 (Naranjal) es aluvial y el suelo en el sitio 2 (Palma Pampa) es un entisol (Tabla 1).

Tabla 7.- Análisis de caracterización de suelo realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Perú.

Parámetro	Unidad	Suelo 1	Suelo 2
		Naranjal	Palma Pampa
Conductividad Eléctrica	dS/m	0.18	0.07
Arena	%	49	47
Limo	%	38	38
Arcilla	%	13	15
pH	-	8.35	6.17
M.O.	%	2.12	1.64
P	ppm	5.2	3.7
K	ppm	71	49
CaCO ₃	%	9.1	0
CIC	meq/100g	10.08	6.40
Ca ⁺²	meq/100g	8.81	3.98
Mg ⁺²	meq/100g	1.02	0.43
Na ⁺	meq/100g	0.1	0.08
K ⁺	meq/100g	0.15	0.10
Al ⁺³ + H ⁺	meq/100g	0	0
Fe	ppm	40.8	132
C	%	2.4	0.22
N	%	0.06	0.11

Biochar

Para la producción de biochar, se recolectaron ramas, hojas y hojarasca de los residuos verdes municipales de la municipalidad de Lurín, Lima. El biochar se produjo a partir de una mezcla de estos desechos verdes y estiércol de cerdo o pollo (gallinaza) en una proporción de 50/50 en un horno KonTiki donde la temperatura se controló entre 450°C y 550°C durante 90 minutos (después de Botnen et al., 2017). Así, además de los tratamientos de control mencionados anteriormente, producimos los siguientes biochars para uso como tratamientos experimentales:

- 1) BPM1: biochar hecho de desechos verdes y estiércol de cerdo (pH 7.6);
- 2) BCM1: biochar hecho de desechos verdes y gallinaza (pH 9.3);
- 3) BPM2: biochar hecho de desechos verdes y estiércol de cerdo ajustado con 12 L ton-1 de ácido fosfórico para obtener un pH más neutro (pH 7.4);
- 4) BCM2: biochar hecho de desechos verdes y gallinaza ajustado con 12 L ton-1 de ácido fosfórico para obtener un pH más neutro (pH 8);
- 5) BPM3: el biochar producido a partir de desechos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH, también se ajustó a la relación C/N agregando 24 gramos de urea (46% N) por kilogramo de biochar (pH 7.9 y C / N 18); y
- 6) BCM3: biochar producido a partir de desechos verdes y gallinaza con ajuste de pH, también se ajustó a la relación C/N agregando 24 gramos de urea (46% N) por kilogramo de biochar (pH 7.9 y C/N 13.08).

Tabla 8.- Características químicas de los tratamientos / enmiendas del suelo. Análisis realizados en el laboratorio del Departamento de Industrias Primarias de New South Wales en Australia. CM = gallinaza, BCM1 = biochar producido a partir de residuos verdes y gallinaza, BCM2 = biochar producido a partir de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH, BCM3 = biochar producido a partir de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N, PM = estiércol de cerdo, BPM1 = biochar producido a partir de residuos verdes y estiércol de cerdo, BPM2 = biochar producido a partir de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH, BPM3 = biochar producido a partir de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N.

Parámetro	Unidad	CM	BCM1	BCM2	BCM3	PM	BPM1	BPM2	BPM3
Fósforo	%	1.6	1.7	2	1.9	2	1.3	1.3	1.9
Fósforo soluble en ácido fórmico	mg/kg	18000	15000	16000	18000	15000	12000	12000	18000
Carbono orgánico total	%	19	14	14	16	33	16	12	18
Carbono total	%	20	16	15	17	33	16	12	18
Nitrógeno total	%	1.4	0.89	1	1.3	2.5	1	0.76	1
Relación C/N		14.29	17.98	15.00	13.08	13.2	16	15.79	18
Conductividad Eléctrica	dS/m	11	9.2	9	10	18	6.1	5.6	8.1
pH (CaCl ₂)	pH	8.5	9.3	8	7.9	7.1	7.6	7.4	7.9
<u>Cationes intercambiables</u>									
Aluminio	cmol(+)/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Calcio	cmol(+)/kg	8.5	6.4	8.1	6.9	7.2	21	19	6.2
Potasio	cmol(+)/kg	53	41	40	44	49	18	17	27
Magnesio	cmol(+)/kg	9.4	6.6	9.3	14	21	11	6.4	12
Sodio	cmol(+)/kg	15	17	20	22	54	16	17	26
CIC	cmol(+)/kg	86	71	77	86	130	66	59	72
Calcio/ Magnesio		0.91	0.96	0.87	0.51	0.35	1.9	2.9	0.51
Calcio intercambiable	%	9.9	9	11	8	5.5	32	31	8.6
Potasio intercambiable	%	61	58	52	51	37	27	29	38
Magnesio intercambiable	%	11	9.3	12	16	16	17	11	17

Diseño Experimental

Maíz (*Zea mays L.*, “Marginal 28 Tropical”) fue usado como cultivo experimental para evaluar los diferentes tratamientos de biochar / enmiendas del suelo. El maíz fue cosechado después de 150 días. Las parcelas experimentales se desyerbaron manualmente cada mes en visitas de campo y se aplicó insecticida una vez para controlar las plagas. Los dos experimentos se establecieron en dos campos separados como bloques completamente al azar con cinco repeticiones para cada uno de los diez tratamientos. Los tratamientos experimentales se establecieron en parcelas de 4m², con 1 metro de distancia de amortiguación entre cada parcela. En cada parcela de 4 m², los diferentes tratamientos se aplicaron en los 10 cm superiores del suelo.

La tasa de aplicación de fertilizante orgánico (estiércol de cerdo o gallinaza) y biochar se formuló de acuerdo con los requerimientos nutricionales del maíz (175 kg N/ha) recomendado por el Departamento de Industrias Primarias de New South Wales (NSW DPI) en Australia después de la medición del contenido de N del estiércol de cerdo, gallinaza y los biochar utilizados en el experimento actual (Tabla 3).

Tabla 9.- Cálculo de las tasas de aplicación del tratamiento para asegurar la estandarización del nitrógeno en todos los tratamientos.

Tratamiento*	N %	t/ha**	% Humedad	kg/parcela***
CM	1.4	12.5	9.2	5.46
BCM1	0.89	19.7	17.6	9.3
BCM2	1	17.5	15	8.05
BCM3	1.3	13.5	14.2	6.2
PM	2.5	7	26.8	3.55
BPM1	1	17.5	19.2	8.34
BPM2	0.76	23.03	5.6	9.73
BPM3	1	17.5	11.4	7.8

* CM = gallinaza, BCM1 = biochar de residuos verdes y gallinaza, BCM2 = biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH, BCM3 = biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH y ajuste de relación C/N, PM = estiércol de cerdo, BPM1 = biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo, BPM2 = biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH, BPM3 = biochar de residuos verde y estiércol de cerdo con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N. ** Tasa de aplicación basada en los

requerimientos nutricionales del maíz. *** Dosis de aplicación que incluye el porcentaje de humedad y el tamaño de la parcela (4 m²); tasa de aplicación de acuerdo con los requerimientos nutricionales del maíz (175 kg N/ha) recomendada por NSW DPI en Australia.

Análisis Estadístico

ANOVA y la prueba de Dunnett se realizaron para todos los datos obtenidos del experimento donde ANOVA mostró diferencias significativas.

Parámetros evaluados

Los parámetros evaluados fueron biomasa (peso seco), rendimiento (peso seco del grano) y contenido de nitrógeno en todas las fracciones de biomasa. En el suelo, medimos el nitrógeno total utilizando el método Kjeldahl.

- Biomasa seca: las plantas se recolectaron de cada una de las parcelas experimentales, se secaron en un horno solar en bolsas de papel etiquetadas y se registraron los pesos por componentes: hojas, tallos, raíces y granos. Los valores de biomasa de granos (rendimiento) obtenidos por planta para cada tratamiento, se expresaron en toneladas por hectárea (t ha⁻¹). De acuerdo con las recomendaciones proporcionadas por el INIA (2008), asumimos que dos plantas de maíz ocupan un área de 0.4 m². Esta cifra se usó para extrapolar los datos de rendimiento obtenidos en este experimento a una base por hectárea.
- Nitrógeno final en el suelo: se extrajo una muestra de 1 kg de suelo de cada parcela experimental al final del experimento (en el día 150). Las muestras se enviaron al laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina en Perú para determinar el nitrógeno total en el suelo (ver tabla 7) mediante el método Kjeldahl.
- Nitrógeno absorbido por las plantas: en el día 124, cuando comenzaron a formarse las primeras flores de maíz, se recolectaron muestras de hojas representativas de todas las plantas en el experimento para determinar el contenido de nitrógeno foliar. En el día 150, cuando el grano de maíz había terminado su desarrollo, se recogió el resto de la biomasa (grano, raíz, tallo y hojas). Estas fracciones de biomasa fueron cosechadas y secadas por separado. Luego, cada una de las fracciones de biomasa del cultivo se ponderó para determinar la biomasa total y evaluar las variaciones potenciales en los patrones de asignación de biomasa a través de los tratamientos. Se envió una muestra de cada fracción al laboratorio

de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar el nitrógeno (ver tabla 7) por el método Kjeldahl. Finalmente, el % N de cada fracción se multiplicó por la biomasa de la fracción correspondiente para determinar el nitrógeno total absorbido por el cultivo.

- Balance de nitrógeno: se estimó un balance de masa de nitrógeno considerando las entradas y salidas del sistema de cultivo de suelo en cada uno de los tratamientos de acuerdo con el modelo modificado propuesto por Errebhi et al. (1998); Meinsinger et al. (2008), Giletto y Echeverria (2013) citados por Walter et al. (2015).

$$N_{ingresos} = N_{salidas}$$

$$N_{ingresos} = N_{is} + N_{fer}$$

$$N_{salidas} = N_{ap} + N_{fs}$$

Donde:

- N_{is} : nitrógeno inicial en el suelo;
 - N_{fer} : nitrógeno adicionado con el tratamiento (fertilizante);
 - N_{ap} : nitrógeno absorbido por la planta; y
 - N_{fs} : nitrógeno final en el suelo.
- Eficiencia en el uso de nitrógeno: la eficiencia en el uso de nitrógeno o la recuperación de fertilizantes en los sistemas de producción de cultivos se calcularon utilizando el método de diferencia.

http://www.nue.okstate.edu/N_Fertilizers/NUE_definition.html

$$PFR = \frac{NF - NC}{R}$$

Donde:

NF = captación total de N por el cultivo (maíz) de parcelas fertilizadas;

NC = captación total de N por el cultivo (maíz) de parcelas no fertilizadas;

R = tasa de fertilizante de N aplicado; y

PFR = porcentaje de recuperación de fertilizante.

Análisis Económico

La rentabilidad de los tratamientos experimentales se calculó utilizando los valores promedio de rendimiento por hectárea en los diez tratamientos experimentales. Para el análisis económico, se asumió que el maíz podría venderse a 0,37 USD / kg utilizando las cifras publicadas por el Ministerio de Agricultura de Perú

([http://minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo-duro / maiz-2016](http://minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo-duro/maiz-2016)). El costo de la urea (0,42 USD / kg), el costo del ácido fosfórico (2,27 USD / L) y el costo del biochar se obtuvieron de cálculos propios realizados durante el proyecto B4SS ([http://biochar.international/the-biochar -para-suelos-sustentables-b4ss-project / peru /](http://biochar.international/the-biochar-para-suelos-sustentables-b4ss-project/peru/)) (Tabla 4). De acuerdo con las recomendaciones proporcionadas por el INIA (2008), se estimó que dos plantas de maíz ocupan un área de 0.4 m². Esta cifra se usó para extrapolar los datos de rendimiento obtenidos en este experimento a una base por hectárea.

Tabla 10.- Resultados del análisis económico de los tratamientos.

Primer ciclo de cultivo	Unidad	C1	PM	BPM1	BPM2	BPM3	C2	CM	BCM1	BCM2	BCM3
Tasa de aplicación del tratamiento para el suelo	ton/ha	0	7.00	17.50	23.03	17.50	0	12.50	19.70	17.50	13.50
Costo de aplicación por tonelada	\$/ton	0	60.6	218.2	245.5	303.0	0	189.4	228.8	256.1	281.4
Costo de aplicación por hectárea	\$/ha	0	424.2	3818.2	5652.8	5303.0	0	2367.4	4507.1	4481.1	3798.8
Rendimiento de maíz	ton/ha	0.41	2.45	2.94	3.14	5.71	3.04	2.87	3.72	5.05	5.24
Precio de venta de maíz	\$/ton	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8	378.8
Ingresos por hectárea	\$/ha	155.3	928.0	1113.6	1189.4	2162.9	1151.5	1087.1	1409.1	1912.9	1984.8
Ganancia neta por hectárea	\$/ha	155.3	503.8	-2704	-4463	-3140	1151	-1280	-3098	-2568	-1814

RESULTADOS

Tabla 11.- Resumen del análisis estadístico de la estación de Naranjal (donde se probaron las enmiendas de biochar con estiércol de cerdo). ANOVA de biomasa total, rendimiento, nitrógeno total absorbido por las plantas, el contenido de nitrógeno final en el suelo al final del experimento, balance de nitrógeno y eficiencia en el uso de nitrógeno.

Fuente	g.l.	Suma de Cuadrados	F	Prob > F
a) Biomasa total				
Tratamiento	4	83097	6.39	0.00
Error	18	58547		
C. Total	22	141645		
b) Rendimiento				
Tratamiento	4	28601	4.47	0.01
Error	18	28813		
C. Total	22	57414		
c) N total absorbido por la planta				
Tratamiento	4	28.22	6.38	0.00
Error	20	22.11		
C. Total	24	50.33		
d) N final en el suelo al final del experimento				
Tratamiento	4	102726	6	0.00
Error	20	85590		
C. Total	24	188316		
e) Balance de nitrógeno (N perdido vía evaporación o lixiviación)				
Tratamiento	4	48995.05	1.82	0.17
Error	18	120836.48		
C. Total	22	169831.54		
f) Eficiencia en el uso de nitrógeno				
Tratamiento	4	8119.62	5.2	0.01
Error	17	6639.85		
C. Total	21	14759.48		

Tabla 6.- Resumen del análisis estadístico de la estación de Palma Pampa (donde se probaron las enmiendas de biochar con gallinaza). ANOVA de biomasa total, rendimiento, nitrógeno total absorbido por las plantas, el contenido de nitrógeno final en el suelo al final del experimento, balance de nitrógeno y eficiencia en el uso de nitrógeno.

Fuente	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Prob > F
a) Biomasa					
Tratamiento	4	28986.88	7246.72	3.27	0.03
Error	19	42131.47	2217.45		
C. Total	23	71118.35			
b) Rendimiento					
Tratamiento	4	23.57	5.89	2.66	0.06
Error	19	42.09	2.22		
C. Total	23	65.66			
c) N total absorbido por la planta					
Tratamiento	4	18460.45	4615.11	3.54	0.03
Error	19	24775.77	1303.99		
C. Total	23	43236.22			
d) N final en el suelo al final del experimento					
Tratamiento	4	3420018	855005	8.10	0.00
Error	19	2005456	105550		
C. Total	23	5425474			
e) Balance de nitrógeno (N perdido vía evaporación o lixiviación)					
Tratamiento	4	55190.95	13797.7	3.98	0.02
Error	19	65839.51	3465.2		
C. Total	23	121030.46			
f) Eficiencia en el uso de nitrógeno					
Tratamiento	4	3751.43	937.86	2.52	0.08
Error	19	7081.42	372.71		
C. Total	23	10832.84			

Rendimiento

Para los rendimientos de la estación de Palma Pampa, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 6); mientras que en el caso de la estación de Naranjal (Tabla 5), sólo el biochar hecho de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N (BPM3) tuvo un efecto significativo en el rendimiento en relación con el tratamiento de control no fertilizado según Dunnet.

En términos de rendimiento en la estación de Naranjal, la formulación de biochar que produjo el efecto más alto fue la que tuvo ajuste de pH y relación C/N (figura 1a), mientras

que en Palma Pampa el ajuste de la relación C/N produjo un rendimiento más alto en el maíz, pero este efecto no fue estadísticamente significativo más allá de los resultados obtenidos después del ajuste del pH (Figura 1b).

Si comparamos entre ambas estaciones (Figura 1a vs Figura 1b), podemos observar que en la estación de Palma Pampa, se obtuvieron mayores rendimientos en los tratamientos de control en comparación con los tratamientos de control de Naranjal. Sin embargo, el rendimiento del tratamiento con ambos ajustes de la estación de Naranjal (BPM3) superó en 8.97% el rendimiento obtenido en el tratamiento con ambos ajustes de Palma Pampa (BCM3).

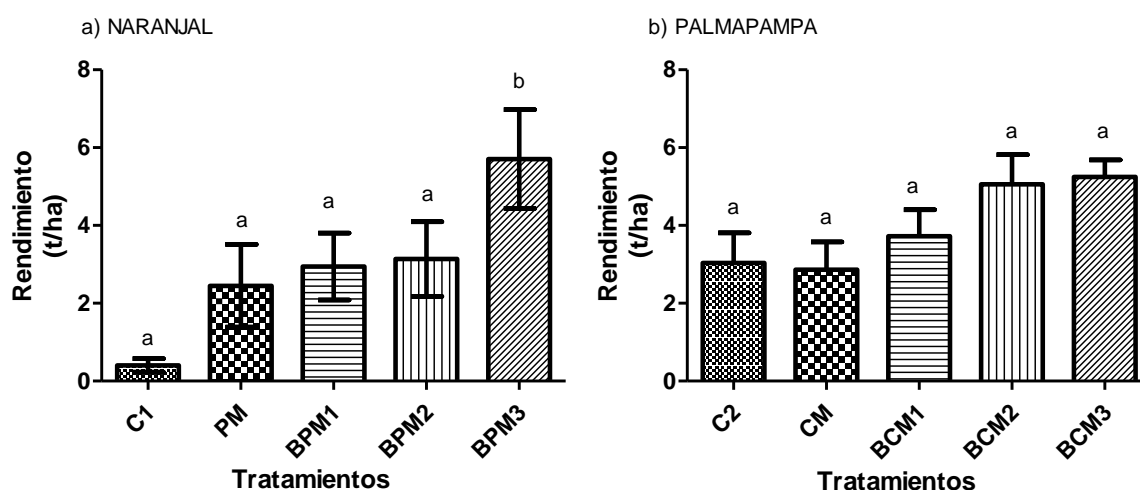


Figura 1. a) Rendimiento de maíz en la estación de Naranjal expresado en toneladas por hectárea. Donde: C1 = Control Naranjal, PM = Estiércol de cerdo, BPM1 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo; BPM2 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH; BPM3 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N. b) Rendimiento de maíz en la estación de Palmapampa expresado en toneladas por hectárea. Donde: C2 = Control Palmapampa, CM = Gallinaza, BCM1 = Biochar de residuos verdes y gallinaza; BCM2 = Biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH; BCM3 = biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N.

Entradas de nitrógeno en el Sistema suelo-planta

Para el suelo de Palma Pampa (tratamiento no fertilizado C2), el stock de nitrógeno fue de 1650 kg N ha⁻¹, mientras que en el suelo de Naranjal (tratamiento no fertilizado C1)

solo alcanzó los 900 kg N ha⁻¹. Luego, se agregaron 175 kg N ha⁻¹ por medio de los tratamientos a ambos suelos, lo que dio como resultado un total de 1825 kg N ha⁻¹ para gallinaza (CM) y biochar hechos de residuos verdes y gallinaza (BCM1, BCM2, BCM3) y 1075 kg N ha⁻¹ inicial en los suelos que contienen el estiércol de cerdo (PM) y biochar hechos de residuos verdes y de estiércol de cerdo (BPM1, BPM2, BPM3).

Balance de nitrógeno y estimación de pérdidas de nitrógeno

Los cálculos para determinar el nitrógeno absorbido por la planta y el contenido final de nitrógeno en el suelo se presentan en la Tabla 7. Con estos datos podemos estimar las pérdidas de nitrógeno. Como se muestra en la Figura 2d, sólo en la estación experimental de Palma Pampa hay una diferencia significativa entre el control de práctica regular (gallinaza) y el control no fertilizado (C2). Por otro lado, en la Tabla 7, se observa que la pérdida de nitrógeno a través de los tratamientos es mayor en los tratamientos no fertilizados, seguida de los tratamientos fertilizados con estiércol en ambos sitios experimentales.

Tabla 7.- Pérdidas de nitrógeno promedio para cada tratamiento. Estimado a partir del balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta, el nitrógeno de entrada menos el nitrógeno absorbido por la planta (Nap) y el nitrógeno final en el suelo (Nfs).

Tratamientos	N - entrada (kg/ha)	Nap (kg/ha)	Nfs (kg/ha)	Pérdidas de nitrógeno (kg/ha)	Pérdidas de nitrógeno (%)
C1	900	31.36	210	658.64	73.19
PM	1075	93.76	234	744.99	69.3
BPM1	1075	108.52	351	615.48	57.25
BPM2	1075	134.02	303	637.23	59.28
BPM3	1075	194	174	706.67	65.74
C2	1650	131.52	262.1	1256.38	76.14
CM	1825	134.89	320.4	1369.67	75.05
BCM1	1825	142.45	331.7	1350.85	74.02
BCM2	1825	190.34	383.3	1251.34	68.57
BCM3	1825	195.13	335	1294.87	70.95

Eficiencia en el uso de nitrógeno

Para la estación de Naranjal, se encontraron diferencias significativas entre el control no fertilizado del tratamiento (C1) y el biochar hecho de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajustes de pH y relación C/N (BPM3) (Figura 2a, Tabla 8). Mientras que para la estación de Palma Pampa no se encontraron diferencias significativas entre ninguno de sus tratamientos. En la estación de Naranjal, el biochar producido con residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y relación C/N (BPM3) presentó la mayor eficiencia en el uso de nitrógeno (NUE) con 56%, mientras que el más bajo fue en el tratamiento de estiércol de cerdo (PM) con 23.84 %. En la estación de Palma Pampa, el tratamiento de gallinaza (CM) presentó la NUE más baja con un -7.01%, lo que dio como resultado que los estiércoles obtuvieran los valores más bajos de NUE en ambos sitios.

Tabla 812.- Cálculo de la eficiencia en el uso de nitrógeno usando el método de diferencia.

Tratamiento	N fertilizado (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	N en el grano (%)	Captación de N por cultivo (kg/ha)	NUE – Recuperación de Fertilizante (%)
C1	0	404.6	2.07	8.36	0
PM	175	2449.75	2.04	50.07	23.84
BPM1	175	2942.8	1.93	56.85	27.71
BPM2	175	3137.67	1.81	56.67	27.6
BPM3	175	5705.63	1.86	106.35	56
C2	0	3036.25	2.49	75.6	0
CM	175	2866	2.21	63.34	-7.01
BCM1	175	3724.42	2.17	80.82	2.98
BCM2	175	5054.69	2.26	114.24	22.08
BCM3	175	5244.83	1.94	101.75	14.94

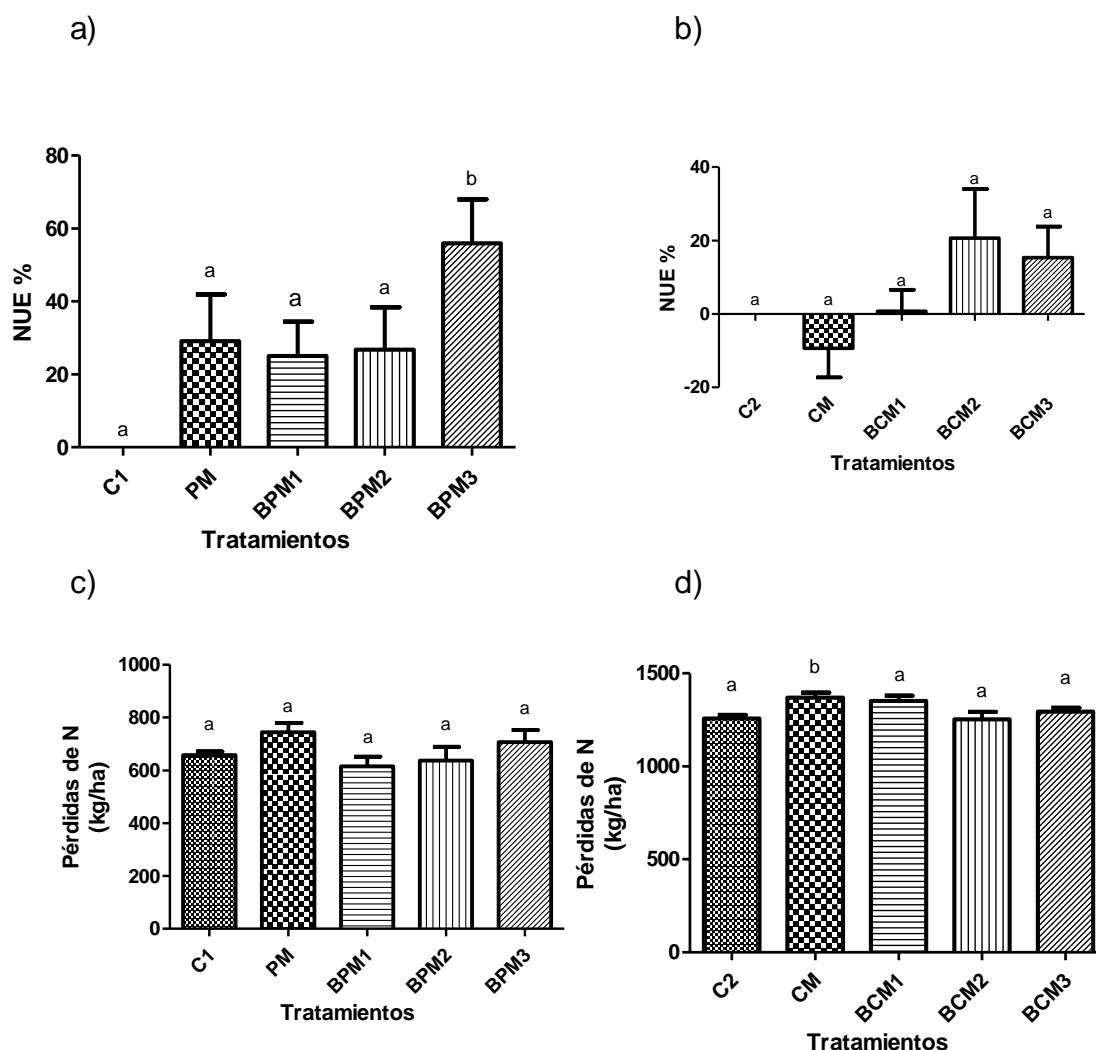


Figura 2. a) Eficiencia en el uso de nitrógeno – Naranja. b) Eficiencia en el uso de nitrógeno – Palma Pampa. c) Pérdidas de N en Naranja. d) Pérdidas de N en Palma Pampa. Donde: C1 = Control Naranja; PM = Estiércol de cerdo; BPM1 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo; BPM2 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH; BPM3 = Biochar de residuos verdes y estiércol de cerdo con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N; C2 = Control Palmapampa; CM = Gallinaza; BCM1 = Biochar de residuos verdes y gallinaza; BCM2 = Biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH; BCM3 = biochar de residuos verdes y gallinaza con ajuste de pH y ajuste de la relación C/N.

DISCUSIÓN

Rendimiento

Según el Ministerio de Agricultura y Riego de Perú (MINAGRI 2018), el rendimiento promedio nacional de maíz amarillo es de 4.73 ton ha⁻¹ en Perú. Para esta investigación, en los sitios de Naranjal y Palma Pampa, los tratamientos ajustados BPM3, BCM2 y BCM3 alcanzaron un rendimiento de 5.71 t ha⁻¹, 5.05 t ha⁻¹ y 5.24 t ha⁻¹, que están por encima del promedio. Sin embargo, los rendimientos de los otros tratamientos de biochar (BPM1, BPM2, BCM1) y tratamientos de estiércol están por debajo de este promedio. Los resultados son variables en términos de lo que el biochar hace para producir y diversos estudios sugieren que la variación que vemos se debe al ambiente y las restricciones que afectan el crecimiento de las plantas como la densidad aparente, la estructura del suelo, la lluvia y el riego relacionados con la capacidad de retención de agua, la disponibilidad de otros nutrientes (P, K), etc. (Borchard et al. (2014)). Otra razón potencial para la variabilidad en los resultados experimentales con biochar son las diferencias en la formulación de biochar y las tasas de aplicación, ya que la aplicación de biochar puede afectar el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, que a menudo también depende del pH del suelo. Muchos autores (Chan et al., 2007; Iglesias et al., 2018) también indican que existen tendencias hacia el aumento de los rendimientos de maíz cuando se agrega biochar al suelo, porque funciona como una enmienda que aumenta la retención de nutrientes en el suelo, que son utilizados por el cultivo. Sin embargo, BCM1 tuvo un rendimiento más bajo que BCM2 y BCM3. Esto se debe al hecho de que los dos últimos tratamientos se ajustaron para el pH y la relación C/N. La razón para ajustar el pH (BPM2, BPM3, BCM2 y BCM3) fue cambiar las propiedades de los biochar y probar diferentes formulaciones, la hipótesis era que las pequeñas cantidades de biochar agregadas al suelo podrían actuar como pequeños núcleos en esta masa de suelo donde las condiciones son buenas (es decir, neutrales, mejoradas en términos de CIC) y que esto podría ser suficiente para favorecer un sistema suelo-planta más productivo y saludable (véase, por ejemplo, Weng et al 2017).

Alonso et al. (2016) concluyen que aunque el uso de ciertos biochar mejoró algunas propiedades químicas del suelo, como la CIC, el pH y el contenido de nutrientes (P, Ca, Mg, K y Zn), el biochar evaluado en ese estudio no fue una fuente en sí misma de macronutrientes como el nitrógeno. Por lo tanto, se recomendó combinar biochar de bajos nutrientes, como los hechos de madera, con otras fuentes de nutrientes como

estiércol y urea (como hicimos con las formulaciones de BPM3 y BCM3). Lehmann et al. (2002) y Carter (2013) también concluyeron que cuando se aplica biochar al suelo junto con fertilizante, es más probable que aumenten los rendimientos de los cultivos.

Macdonald et al. (2014) estudiaron cuatro suelos contrastantes (arenosol ácido, ferralsol acidificante, vertisol neutro y calcisol alcalino) aplicando biochar hecho de gallinaza (PL) y biochar hecho de paja de trigo (WS) en todos los suelos, y sugirieron que la aplicación de biochar dio pocos beneficios donde el crecimiento de las plantas no tiene restricciones y mayores beneficios donde las limitaciones del suelo son específicamente abordadas por la formulación de biochar. Descubrieron que las condiciones ácidas del suelo restringen el crecimiento de las plantas al limitar la disponibilidad de nutrientes clave como N, P y K, y también debido a la disponibilidad excesiva de elementos potencialmente tóxicos como Al y Bo. Bertrand et al. (2003) también relacionan muchas de las restricciones del suelo con las limitaciones de pH en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo. Esto requiere una consideración más amplia de las principales limitaciones de producción de los diferentes sitios y tipos de suelo, y el hecho de que los biochar deben adaptarse para abordarlos.

Balance de nitrógeno y estimación de pérdidas de nitrógeno

En todos los tratamientos basados en biochar (BCM1, BCM2, BCM3 y BPM1, BPM2, BPM3), la pérdida de nitrógeno fue menor en comparación con los estiércoles (CM y PM). La explicación de que encontramos valores más altos de nitrógeno en la planta y nitrógeno en el suelo en las parcelas donde se aplicaron los biochar podría deberse a que el biochar estaría funcionando como un aditivo que retiene nutrientes, lo que aumenta la eficiencia en el uso de fertilizantes como el estiércol de cerdo o gallinaza. Lehmann y Rondon (2006) sugirieron que esta mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo es el resultado de la adición de nutrientes por parte de la enmienda y también la mejor retención de nutrientes, pero también podría explicarse por los cambios en la dinámica microbiana del suelo.

Diversos estudios muestran el importante potencial del biochar para disminuir las pérdidas de nitrógeno a través de la volatilización y la lixiviación de los suelos y, al mismo tiempo, mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes por los cultivos. Estas vías para la pérdida de nitrógeno son de especial preocupación en los trópicos debido a las altas temperaturas y las altas precipitaciones. La volatilización del amoníaco (NH₃) permite

una gran pérdida de nitrógeno (N) del suelo, y resulta en una baja eficiencia de uso de N por los cultivos. Mandan et al. (2016), realizaron experimentos con cinco suelos (rango de pH 5.5–9.0), tres fuentes de nitrógeno: urea, fosfato de amonio (DAP) y estiércol de pollo (CM), y dos biochars: biochar de gallinaza y biochar de cáscara de nuez de macadamia. Demostraron que la volatilización del amoníaco se redujo en aproximadamente un 70% con formulaciones de biochar atribuidas a diferentes mecanismos, como la adsorción / inmovilización de NH_3 y la nitrificación. Otros estudios como Ding et al. (2010) también muestran reducciones en la lixiviación, en su experimento en el que el biochar redujo las pérdidas de $\text{NH}_4 + -\text{N}$ en aproximadamente un 15,2% y esto fue atribuido por Zheng et al. (2013) al aumento en la capacidad de retención de agua del suelo cuando se agrega biochar.

Eficiencia en el uso de nitrógeno

En muchos sistemas agrícolas, una parte considerable del fertilizante nitrogenado aplicado y los nutrientes móviles se pierden, por ejemplo a las aguas subterráneas, donde las plantas no pueden utilizarlas; y este flujo de nitrato y amonio produce una reducción de la absorción neta de nitrógeno por parte del cultivo (Glass, 2003; Major et al., 2012). La eficiencia en el uso de nitrógeno global para la producción de cereales es de alrededor del 33% (Raun et al., 1999). Por lo tanto, aproximadamente el 67% del nitrógeno aplicado a los suelos se pierde a través de la volatilización, la lixiviación, la desnitrificación del suelo, la escorrentía superficial, etc. Esto indica que las tasas de absorción total de nitrógeno en las parcelas fertilizadas son ligeramente más altas que las tasas encontradas en este experimento. Además, en este experimento encontramos una eficiencia en el uso de nitrógeno negativo en la gallinaza (CM) en comparación con el control no fertilizado en el sitio de Palma Pampa (C2). Cuando se remedian las deficiencias naturales de nitrógeno en un ecosistema, el crecimiento de las plantas comienza a verse limitado por otros factores como el fósforo, el calcio o la disponibilidad de agua (que el biochar en comparación con el estiércol también ayudó a retener), y la vegetación ya no puede beneficiarse de más adiciones de nitrógeno. El ecosistema alcanza un estado descrito como "saturación de nitrógeno", donde el nitrógeno se dispersará en las corrientes, el agua subterránea y la atmósfera (Renderos, 2001). Estas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud se ve afectada por factores ambientales, de manejo de suelo y otros, tales como la temperatura, el pH del

suelo, la CIC, la materia orgánica, el viento, la presión de vapor de superficie y la dosificación de fertilizantes, así como la ubicación (FAO, 2002).

Rentabilidad Económica

Las estrategias de adopción de biochar deben tener en cuenta no sólo las cuestiones ambientales, sino también económicas y sociales (Barrow, 2012), ya que las decisiones de los agricultores de aplicar biochar al campo también dependerán de la rentabilidad económica. Ladd et al. (2017) identificaron considerables beneficios económicos del uso de biochar como un coproducto con fertilizantes granulares de nitrógeno en el cultivo de maíz, obteniendo un aumento en el rendimiento de los cultivos y una mayor rentabilidad, en comparación con el uso y aplicación de fertilizantes granulares de nitrógeno solos. Este es un punto muy importante para abordar si pensamos en una aplicación más generalizada del biochar en la agricultura, especialmente en pequeños agricultores que luchan por romper el ciclo de pobreza del suelo que Barret (2015) estudió y ejemplificó: el suelo pobre restringe la producción agrícola y el capital familiar, y el bajo capital de los hogares restringe las inversiones para mejorar los suelos. En este estudio, incluso las enmiendas basadas en biochar con ajustes de pH y relación C/N (BPM3 y BCM3) que presentaron los mayores rendimientos de los cultivos no fueron rentables, debido a los costos de producción de estos biochares. Bach et al. (2016) estudiaron 48 publicaciones diferentes que evaluaron los efectos en el rendimiento de los biochar y su viabilidad económica; y encontraron resultados negativos en las ganancias si sólo se consideraba el valor agronómico de la enmienda de biochar al suelo. Llegaron a la conclusión de que un factor crucial para un análisis costo-beneficio es la persistencia en el aumento del rendimiento de un biochar a largo plazo, a fin de compensar y recibir anualmente los ingresos repetidos por un gasto único de la aplicación de biochar. Pero para estimar la longevidad de un biochar, necesitamos evaluar su estabilidad en los suelos y la sostenibilidad de su efectividad en el rendimiento (Gurwick et al. 2013). Galinato et al. (2011) concluyeron que la aplicación de biochar en el suelo podría ser rentable si el biochar fuera elegible para los mecanismos de fijación de precios de carbono y el precio respectivo del carbono fuera lo suficientemente alto como para incentivar las prácticas de biochar, o si el precio del mercado del biochar era lo suficientemente bajo para que los agricultores obtuvieran una ganancia. Teniendo en cuenta que es poco probable que los instrumentos de fijación de precios del carbono se implementen correctamente en un corto

plazo en Perú, sugerimos promover el uso del biochar como un coproducto entre pequeños agricultores al involucrarlos en la producción local de biochar con sus propias materias primas agrícolas. Este enfoque se basa en la experiencia y las lecciones obtenidas en el proyecto Biochar for Sustainable Soils (B4SS), que se implementó en Perú, China, Etiopía, Indonesia, Kenia y Vietnam desde abril de 2015 hasta diciembre de 2018 (www.biochar.international).

CONCLUSIONES

Las enmiendas que contienen biochar tuvieron un efecto positivo en el aumento de la biomasa total y el rendimiento del maíz. El biochar que tuvo su relación C/N ajustada tuvo efectos positivos más altos en el rendimiento de maíz que la aplicación de biochar sólo. La cantidad de nitrógeno absorbido por la planta también fue mayor en los cultivos donde la fertilización se realizó con formulaciones de biochar. Esta mayor absorción de nutrientes dio como resultado menores pérdidas de nitrógeno cuando se aplicó biochar al suelo y, por lo tanto, contribuyó a una mayor eficiencia en el uso de nitrógeno; reduciendo así la externalidad (eutrofización) que resulta del uso ineficiente de N. Sin embargo, los tratamientos basados en biochar no demostraron ser rentables, debido al costo de la mano de obra y las materias primas (residuos verdes) necesarios para producir biochar. Una mayor investigación sobre el uso de biochar en los suelos de la Amazonía peruana debería ayudar a identificar las mejores y más rentables formulaciones de biochar para abordar las limitaciones locales y mejorar la fertilidad del suelo (y, por lo tanto, el rendimiento de los cultivos). También se debe prestar más atención a las políticas que podrían favorecer el uso generalizado de esta estrategia ancestral y sostenible para la gestión del suelo.

REFERENCIAS

- Alonso L., Cruz A., Jiménez D., Ocampo A., Parra S. 2016. Biochar as an amendment in an oxisol and its effect on the growth of corn. *Rev. U.D.C.A. Actualidad & Divulgacion Cientifica*. 19(2): 341-349.
- Bach M., Wilske B., Breuer L. 2016. Current economic obstacles to biochar use in agriculture and climate change mitigation. *Carbon Management*, 7(3-4):183-190.
- Barrow, C.J. 2012. Biochar: Potential for countering land degradation and for improving agriculture. *Applied Geography* 34: 21-28.
- Barrett C., Bevis L. 2015. The self-reinforcing feedback between low soil fertility and chronic poverty. *Nature Geoscience* 8: 907-912.
- Bertrand I., Holloway R.E., Armstrong R.D., McLaughlin M.J. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research* 41: 61-76.
- Borchard N., Siemens J., Ladd B., Moller A., Amelung W. 2014. Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil & Tillage research*, 144: 184-194.
- Botnen S., Sparrevik A., Schmidt M., Cornelissen G. 2017. Life-cycle assessment of biochar production systems in tropical rural areas: Comparing flame curtain kilns to other production methods. *Biomass and Bioenergy*, 101: 35-43.
- Brady N., Weil R. 2002. *The Nature and Properties of Soils*. NJ, EEUUA: Prentice Hall.
- Carter M.R. 2002. Soil Quality for Sustainable Land Management. *Agronomy Journal*, 94(1): 38-47.
- Carter S., Shackley S., Sohi S., Suy B., Haefele S. 2013. The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 3: 404-418.
- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45:629-634.
- Ding Y., Xue Y., Xiang W., Zhi D., Yang M., Ke Z. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, air, & soil pollution*, 213: 47-55.

- Errebhi M., Rosen C., Gupta S., Birong D. 1998. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agronomy Journal* 90: 10-15.
- FAO. 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. El crecimiento demográfico, la industrialización y el cambio climático, amenazan la salud del suelo.
- Galinato S., Yoder J., Granatstein D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy* 30(10): 6344-6350.
- Giletto C., Echeverría H. 2013. Nitrogen balance for potato crops in the southeast pampas region, Argentina. *Nutr. Cycl. Agroecosys* 95: 73-86.
- Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 2001. The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.
- Glass A. 2003. Nitrogen Use Efficiency of Crop Plants: Physiological Constraints upon Nitrogen Absorption. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22: 453-470.
- Gurwick N.P., Moore L.A., Kelly C., Elias P. 2013. A systematic review of biochar research, with a focus on its stability in situ and its promise as a climate mitigation strategy. *Plos One* 8(9): e75932 doi:10.1371/journal.pone.0075932.
- Iglesias S., Alegre J., Salas C., Eguez J. 2018. El rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria* 9(1): 25-32.
- INIA. 2008. Maíz amarillo duro marginal 28 tropical.
- Joseph S., Graber E., Chia C., Munroe P., Donne S., Thomas T., Hook J. 2013. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. *Carbon Management*, 323-343.
- Ladd B., Dumler S., Loret de Mola E., Anaya R., Borchard N. 2017. Incremento de rentabilidad en producción del maíz en Perú: N fertilizantes y biochar. *The Biologist* (Lima), 15(2): 351-358.
- Laird D. 2008. The charcoal vision: A win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal* 100: 178-181.
- Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., Karlen D. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 436-442.
- Lehmann J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144.

- Lehmann J., Da Silva J.P., Rondon M., Da Silva C.M., Greenwood J., Nehls T., Steiner C., Glaser B. 2002. Slash- and- char: a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand. Symposium n°13, p. 449.
- Lehmann J., Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Earthscan from Routledge.
- Lehmann J., Rondon M. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* 113: 517-530.
- Macdonald L.M., Farrell M., Van Zwieten L., Krull E.S. 2014. Plant growth responses to biochar addition: an Australian soils perspective. *Biology and Fertility of Soils* 50: 1035-1045.
- Major J., Steiner C., Downie A., Lehmann J. 2012. Biochar Effects on Nutrient Leaching. *Biochar for Environmental Management. Science and technology.* Earthscan, London 271–287.
- Mandal S., Thangarajan R., Bolan N., Sarkar B., Khan N., Sik Y., Naidu R. 2016. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. *Chemosphere* 142: 120-127.
- Meisinger J., Schepers J., Raun W. 2008. Crop nitrogen requirement and fertilization. In: JS Schepers; WR Raun (eds). *Nitrogen in Agricultural Systems. Agronomy. Monograph 49. ASA-CSSA-SSSAJ. Madison. Pp. 563-612.*
- MINAGRI. 2018. Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de Maíz Amarillo Duro.
- Novak J., Lima I., Xing B., Gaskin J., Steiner C., Das K., Schomberg H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3: 195-206.
- Park H., Choppala K., Bolan S., Chung W., Chuasavathi T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant Soil* 348: 439-451.
- Raun W., Johnson G. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, vol 91: 357-363.
- Walter S., Giletto C., Echeverria H. 2015. Balance de Masa de Nitrógeno en el cultivo de papa en Villa Dolores, Córdoba. Argentina. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo. Ciencia Suelo* 34(1):93-104,2016.

- Weng, Z.H., Van Zwieten, L., Singh, B.P., Tavakkoli, E., Joseph, S., Macdonald, L.M., Rose, T.J., Rose, M.T., Kimber, S.W., Morris, S. and Cozzolino, D. 2017. Biochar built soil carbon over a decade by stabilizing rhizodeposits. *Nature Climate Change* 7(5): 371-376.
- Zech W., Haumaier L., Hempfling R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. *American Society of Agronomy and Soil Science Society of America*, 187-202.
- 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.
- Zheng W., Sharma B., Rajagopalan N. 2010. Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. *Illinois Sustainable Technology Center University of Illinois at Urbana-Champaign*. 36 p.

III. ANEXOS (OBLIGATORIO SI LOS TIENES)

Evidencia del envío a revista científica (Carta o e mail de envío tras aprobar la revisión académica)



Copia de carta de aprobación académica (Carrera)

Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista)

Copia de resolución de aprobación del proyecto de tesis (Carrera)



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL DE ACEPTACIÓN E INSCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS Y
NOMBRAMIENTO DEL ASESOR DE LA INVESTIGACIÓN**

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°004-2017-EIA-FCA-CIENTÍFICA

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Lima, 02 de febrero del 2017

VISTO:

El informe técnico del Comité de Investigación de la Facultad, aprueba el proyecto de tesis: "Efecto de biochar y gallinaza en el flujo de nitrógeno de un sistema suelo entisol – cultivo de maíz en San Ramón, Perú" presentado por don Juan Sebastián Dumler Granthon con código de matrícula N° 4201020183.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos, para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental en la facultad de Ciencias Ambientales/ Escuela de Ingeniería Ambiental, el bachiller de la especialidad de Ingeniería y Gestión Ambiental debe desarrollar la tesis titulada "Efecto de biochar y gallinaza en el flujo de nitrógeno de un sistema suelo entisol – cultivo de maíz en San Ramón, Perú". El bachiller ha presentado los expedientes correspondientes y efectuado los pagos respectivos. Estando a lo dispuesto por el Reglamento de Grados y Títulos, las disposiciones vigentes y en uso de las atribuciones conferidas al decano de la facultad.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado "Efecto de biochar y gallinaza en el flujo de nitrógeno de un sistema suelo entisol – cultivo de maíz en San Ramón, Perú" del bachiller Juan Sebastián Dumler Granthon con código de matrícula N° 4201020183; así como, nombrar como asesor para el desarrollo de la tesis en mención al Blg. Armando Jesús Edilberto Vélez Azañero y como co-asesor a Ph.D Brenton Mark Laad.

Regístrese, comuníquese y archívese



Dr. MANUEL ROSEMBERG BARRÓN
Director (e)
Escuela de Ingeniería Ambiental