

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Efecto de la aplicación de biocarbón sobre propiedades químicas de suelo y
desarrollo y rendimiento de lechuga

Estudiante

Javier Alejandro Santamaria Pita

Carlos Enrique Rossignoli Chavez

Asesores

Alejandra Sierra, M.Sc.

Hugo Ramírez, Ph.D.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Contenido.....	3
Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	13
Producción de Biocarbón.....	13
Tratamientos.....	14
Establecimiento	14
Variables Evaluadas en el Suelo.....	15
Análisis Químico.....	15
pH y Conductividad Eléctrica	15
Variables Evaluadas en el Cultivo	15
Contenido de clorofila.....	15
Peso fresco foliar y radicular.....	15
Porcentaje De Materia Seca Foliar y Radicular (Ms).....	16
Rendimiento.....	16

	4
Diseño Experimental.....	16
Análisis Estadístico.....	16
Resultados y Discusión.....	17
Variables del Suelo.....	17
Análisis Químico del Suelo.....	17
pH.....	17
Conductividad Eléctrica.....	18
Variables del Cultivo.....	20
Contenido de Clorofila.....	20
Peso Fresco Foliar.....	21
Peso Fresco Radicular.....	23
Materia Seca (MS) Foliar y Radicular.....	24
Rendimiento.....	25
Conclusiones.....	26
Recomendaciones.....	27
Referencias.....	28
Anexos.....	34

Índice de Cuadros

Cuadro 1 <i>Tratamientos con diferentes dosis de biocarbón aplicados al suelo para evaluar los diferentes parámetros del estudio.</i>	14
Cuadro 2 <i>Análisis químico del suelo del Lote M de la Unidad de Agricultura Orgánica.....</i>	17
Cuadro 3 <i>Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en la contenido de clorofila (SPAD) en plantas de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 DDT.</i>	21
Cuadro 4 <i>Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el peso fresco foliar (g) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.</i>	22
Cuadro 5 <i>Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el peso fresco radicular (g) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.</i>	23
Cuadro 6 <i>Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el porcentaje de materia seca foliar y radicular (%)de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.</i>	24
Cuadro 7 <i>Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el rendimiento (t/ha) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.</i>	25

Índice de Figuras

- Figura 1** *Efecto de diferentes dosis de biocarbón BC (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el pH del suelo comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 días después del trasplante (DDT) del cultivo de lechuga. 18*
- Figura 2** *Efecto de diferentes dosis de biocarbón BC (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en la Conductividad eléctrica (dS/m) del suelo comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 días después del trasplante (DDT) del cultivo de lechuga. 19*

Índice de Anexos

Anexo A Velocidad de infiltración según categorías.....	34
Anexo B Capacidad de infiltración del suelo al inicio del estudio previo a la aplicación del Biocarbón	35
Anexo C Capacidad de infiltración del suelo al final del estudio previo a la aplicación del Biocarbón.	36

Resumen

El biocarbón es un producto derivado de la quema de biomasa mediante el proceso de pirólisis. Estudios indican que la aplicación de biocarbón al suelo mejora las propiedades físicas y químicas, incrementando la capacidad de retención de humedad y nutrientes, neutralizando el pH en suelos ácidos y hábitat para el establecimiento de microorganismos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las diferentes dosis de biocarbón en las propiedades químicas de suelo y desarrollo y rendimiento de lechuga var. Kristine. Se evaluaron cinco tratamientos, tres dosis de biocarbón (4.5, 9 y 13.5 t/ha), comparadas con un testigo comercial y un testigo absoluto. Se utilizó un diseño BCA con cuatro repeticiones. El biocarbón se elaboró a partir de olote como materia prima, incorporándolo previo al trasplante. El pH y la conductividad eléctrica del suelo y el contenido de clorofila (SPAD) en la planta se evaluaron a los 14, 21, 28 y 35 días después del trasplante (DDT). Semanalmente se evaluó el peso fresco foliar y radicular iniciando a los 21 DDT. El pH y CE de todos los tratamientos se mantuvo dentro de los rangos óptimos para el cultivo de lechuga. No se observó diferencia en el contenido de clorofila, peso fresco radicular y porcentaje de materia seca foliar y radicular. El tratamiento que se le aplicó una dosis de 13.5 t/ha de biocarbón presentó el mayor peso fresco foliar (208 g/planta) y rendimiento (22.8 t/ha) en comparación con ambos testigos.

Palabras clave: Bocashi, compost, erosión, pirólisis.

Abstract

Biochar is a product derived from the burning of biomass through the pyrolysis process. Studies indicate that the application of biochar to the soil improves its physical and chemical properties, increasing its moisture and nutrient retention capacity, neutralizing pH in acid soils and providing habitat for the establishment of microorganisms. The objective of this study was to evaluate the effect of different doses of biochar on soil chemical properties and development and yield of lettuce var. Kristine. Five treatments were evaluated, three biochar doses (4.5, 9 and 13.5 t/ha), compared with a commercial control and an absolute control. A BCA design with four replications was used. The biochar was made from corncob as raw material, incorporating it prior to transplanting. Soil pH and electrical conductivity and chlorophyll content (SPAD) in the plant were evaluated at 14, 21, 28 and 35 days after transplanting (DDT). Leaf and root fresh weight were evaluated weekly starting at 21 DDT. The pH and EC of all treatments remained within the optimum ranges for lettuce cultivation. No differences were observed in chlorophyll content, root fresh weight and percentage of leaf and root dry matter. The treatment with a dose of 13.5 t/ha of biochar showed the highest leaf fresh weight (208 g/plant) and yield (22.8 t/ha) in comparison with both controls.

Keywords: bocashi, compost, degradation, pyrolysis

Introducción

La degradación de los suelos es uno de los principales problemas que se intenta resolver en la actualidad, ya que eso conlleva a una gran pérdida en la productividad de los cultivos y la sustentabilidad de su entorno. Esta se define como un suceso que disminuye la capacidad productiva potencial de nuestros suelos ya que su fertilidad se ve limitada a raíz del deterioro del equilibrio de sus propiedades. Eso tiene repercusión en aspectos físicos como es la erosión, químicos (déficit de nutrientes, acidez, salinidad, otros) y biológicos del suelo (deficiencia de materia orgánica) (Cartes Sanchez 2013).

La degradación de los suelos se puede dar por diferentes factores, uno de ellos es la labranza que impacta tanto en su estructura física y química; erosión, deficiencia de nutrientes, ausencia de materia orgánica, baja retención de humedad y ausencia de microorganismos benéficos (Woods 2003). Las condiciones climáticas también afectan las características que presenta un suelo, al igual que las condiciones geomorfológicas, pero sobre todo tiene relación con la deforestación, el asentamiento de sistemas agrarios inapropiados y las consecuencias que causan las políticas públicas en el medio ambiente (Espinosa Ramírez et al. 2011)

Las actividades agrícolas reducen las reservas de carbono orgánico del suelo (COS). Así mismo, la pérdida del carbono en el suelo lleva a cruciales pérdidas en la composición del suelo y esto representa una gran amenaza para los sistemas de producción agrícola y también para la seguridad alimentaria (Verhulst et al. 2015).

La retención de carbono ayuda a la estructura del suelo al formar agregados estables (terrones), esos son más resistentes a la compactación, lo cual conlleva a una mejora en la aireación del suelo (Etcheverría *et al.* 2017). El COS se puede presentar en una variedad de almacenes, los cuales pueden ser residuos vegetales recién incorporados hasta el carbono orgánico contenido en estructuras moleculares, estas se pueden encontrar en compostas, biocarbón y materia orgánica adsorbida por partículas de arcilla y unidas a agregados del suelo (FAO 2017).

Existen agricultores que optan por el uso de abonos orgánicos para nutrir su suelo (Fortis Hernández et al. 2009). Uno que se ha implementado comúnmente en la agricultura moderna es el bocashi, este cuenta con diferentes beneficios que ayudan al suelo como también al cultivo (Garro Alfaro 2016). Otro abono orgánico es el compost; este incrementa la materia orgánica en los suelos, incrementa el aporte de nutrientes a los cultivos lo cual se ve reflejado en la productividad de los cultivos a la hora de cosecha del mismo (CMA 2015).

El biocarbón es un producto en tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, también conocidas como "Terra Preta" (Woods 2003). De acuerdo con la literatura estos suelos descubiertos en la amazonia tenían una característica en particular de ser suelos oscuros y fértiles producto de la aplicación de materiales orgánicos, derivados de la quema de biomasa (Amoah 2019). Lo interesante de su investigación es que confirma que un suelo trabajado con biocarbón puede ser transformado en uno rico en nutrientes con alto contenido de nutrientes esenciales como lo son P, Ca, y K (Amoah 2019).

El biocarbón es un producto derivado de la quema de biomasa (Lehmann y Joseph 2009) y su elaboración puede darse con materiales derivados de recursos renovables (Elad et al. 2011). Los usos del biocarbón son múltiples y la aplicación de este en el suelo constituye una práctica que ha vuelto a ver su despertar en la agricultura junto con la nueva tendencia de la implementación de nuevas tecnologías agrícolas (Verheijen et al. 2009). Su manejo conduce a una mayor producción de los cultivos y al mejoramiento de la calidad del suelo, de ahí el interés en esta práctica (K. Yin Chan y Zhihong Xu 2009).

Estudios indican que el biocarbón aplicado al suelo mejora las propiedades físicas y químicas, incrementando la capacidad de retención de humedad y retención de nutrientes, entre los cuales se encuentra el nitrógeno para ser absorbido en su forma de compuesto estructural para luego ser liberado como producto inorgánico y así aumentar la eficacia y rendimiento del cultivo (Ippolito et al. 2012). Como en otros productos de pirólisis, se espera que el biocarbón sea un material con una alta

capacidad de absorber los compuestos orgánicos que se encuentran en el suelo (Elmer y Pignatello 2011).

El estudio y aplicación del biocarbón tiene muchas ventajas para la regeneración y longevidad de nuestros suelos. De acuerdo a Flesch et al. (2016), suelos en donde se aplicó biocarbón poseen una retención de humedad de un 56% en comparación con aquellos convencionales que poseen un 20%. Así mismo, indica que estos suelos presentaron un aumento de actividad de microorganismos benéficos, ayudando así a la planta a la absorción de una mayor cantidad de nutrientes. El biocarbón altera la disponibilidad de nutrientes mediante su aporte directo y su capacidad de retención, generalmente se evidencia un aumento en nutrientes como P, K, Ca, Mg, Cu y Zn; además por características propias de retención evita la pérdida de los mismos y demás nutrientes por lixiviación ejerciendo un impacto positivo a largo plazo (FAO 1983). De acuerdo a Rondon et al. (2006) la utilización de biocarbón mejora la producción y el rendimiento de los cultivos y hay un incremento en biomasa de los mismos.

En la actualidad la tendencia de uso de biocarbón ha ido en aumento, diversos estudios recientes evidencian los múltiples beneficios de este para el suelo. Los objetivos de esta investigación fueron determinar los cambios en pH, CE y contenido de nutrientes al incorporar diferentes dosis de biocarbón y evaluar el efecto de diferentes dosis de biocarbón en los parámetros de desarrollo y rendimiento del cultivo de lechuga.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo entre los meses de abril a junio del 2021 en el lote M de la Unidad de Agricultura Orgánica de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada a 30 km de Tegucigalpa y a 800 msnm con latitud de 14.01 y longitud de -87.03. Durante el estudio cuanto y cuantos meses la temperatura promedio fue de 25°C y la precipitación de 6.6 mm (datos tomados de la estación climatológica de Campus Central).

Producción de Biocarbón

La pirólisis es un proceso termoquímico que se da en ausencia de oxígeno cuyo objetivo es la descomposición química de materia orgánica (Manyà 2012). Para este estudio se tomó como referencia el estudio realizado por Lee et al. (2019) donde evidencian que la mejor manera de producir biocarbón es la quema a temperaturas altas usando dos cilindros de diferentes dimensiones, donde el menor debe incluir la materia prima que se convertirá en biocarbón. El segundo debe de ir por encima del más pequeño y en el espacio que queda entre ambos se coloca material leñoso para que se pueda cumplir el proceso de pirólisis.

Investigaciones sostienen que un buen biocarbón debe de empezar con materia prima que tenga 0% de humedad; donde para obtener una carbonización aceptable se debe tener una temperatura de 400°C; sin embargo, a esta temperatura aún se van a encontrar residuos sin carbonizar, por ello se recomienda aumentar la temperatura del horno a 500°C para obtener un biocarbón óptimo (FAO 1983).

Para la producción de biocarbón se utilizó elotes como materia prima, realizando una quema de la materia prima en un cilindro el cual iba dentro de un cilindro de mayores dimensiones, para cubrir los espacios en vacío que quedaban producto de las dimensiones de ambos cilindros se utilizó leña cortada, la cual fue quemada para acelerar el proceso de pirólisis.

Tratamientos

Se evaluaron cinco tratamientos; tres dosis de biocarbón 4.5, 9.0 y 13.5 t/ha y estos se compararon con un testigo comercial y un testigo absoluto (Cuadro 1). Todos los tratamientos a excepción del testigo absoluto fueron fertilizados con una combinación de compost y bocashi de acuerdo con los lineamientos establecidos en la unidad con 2.2 kg de bocashi y 6.53 kg de compost por m².

Cuadro 1

Tratamientos con diferentes dosis de biocarbón aplicados al suelo para evaluar los diferentes parámetros del estudio.

Tratamiento	Descripción	Biocarbón
TA	Testigo absoluto: sin aplicaciones	--
TC	Testigo comercial: bocashi +compost	--
BC-4.5	Biocarbón 4.5 t/ha + bocashi +compost	4.5 t/h
BC-9.0	Biocarbón 9.0 t/ha + bocashi +compost	9.0 t/h
BC-13.5	Biocarbón 13.5 t/ha + bocashi +compost	13.5 t/h

Establecimiento

Para la preparación del área experimental se prepararon manualmente dos camas altas con una semana de anticipación. Las dimensiones de cada cama fueron de 35 m de largo y un ancho de 0.8 m, con una distancia de centro a centro de cama de 1.5 m, para un área experimental total del experimento de 80.5 m². Estos se dividieron en 5 unidades experimentales con un área de 2.56 m² dejando un espacio de 1 m entre unidad experimental. Una vez finalizada la preparación de las camas se incorporaron los tratamientos (Cuadro 1). Se instaló un sistema de riego por goteo con 2 cintas a lo largo de la cama con un distanciamiento de 20 cm entre cintas, las cuales fueron instaladas un día previo al trasplante.

Para evaluar el efecto del biocarbón se utilizó el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), variedad Kristine. Las plántulas se produjeron en la sección de plántulas de la Unidad de Ornamentales y

Propagación de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Las semillas fueron sembradas en bandejas plásticas de 100 celdas con un sustrato de turba PINSTRUP. Estas permanecieron 24 días bajo condiciones controladas de invernadero. El trasplante se realizó a una distancia de 0.25 m entre planta, a tres bolillos en tres hileras. Se utilizó 28 plantas por unidad experimental.

Variables Evaluadas en el Suelo

Análisis Químico

Previo a la siembra se tomó una mezcla compuesta del área de investigación. Al finalizar el ensayo se tomó una muestra compuesta por tratamiento. Ambas muestras se tomaron de los primeros 20 cm. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos y Agua de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano para su análisis químico de rutina y de materia orgánica.

pH y Conductividad Eléctrica

El pH y la conductividad eléctrica (CE) se evaluaron semanalmente, desde el trasplante hasta la cosecha. Para la medición se tomó 100 g de suelo de los primeros 20 cm y se mezclaron con 100 mL de agua destilada, agitando constantemente por 30 minutos para luego dejar reposar las muestras durante 15 minutos (Beretta et al. 2014). Las variables fueron medidas utilizando un “pH/EC combo meter” de la marca Hanna Instruments® (HI98130).

Variables Evaluadas en el Cultivo

Contenido de clorofila

El contenido de clorofila fue medido en SPAD. Se tomaron muestras de cinco plantas al azar tomando de las mismas tres hojas, esto nos daba un total de 15 hojas por unidad experimental. Se tomó el contenido de clorofila en las plantas a los 14, 21, 28 y 35 después del trasplante (DDT). Para realizar la toma de datos se utilizó un medidor de clorofila “Apogee MC-100®”.

Peso fresco foliar y radicular

A los 21, 28 y 35 DDT se tomaron muestras de peso fresco foliar y radicular. Esto se llevó a cabo tomando 5 plantas al azar por unidad experimental. Cada planta fue lavada para posteriormente

separar la parte foliar de la radicular. Se utilizó una balanza de precisión de 0.1 g de marca "Ohaus" para la toma de datos.

Porcentaje De Materia Seca Foliar y Radicular (Ms)

Al momento de cosecha se tomaron cinco plantas al azar por cada unidad experimental, se lavó y se separó la parte radicular de la foliar. Las muestras fueron colocadas en un horno de aire forzado a 65°C por 72 horas para eliminar todo el contenido de agua para finalmente pesar y determinar el porcentaje de materia seca (Ms) foliar y radicular (Ecuación 1).

$$\text{Porcentaje Materia seca (Ms)} = \frac{\text{Peso seco (Ps)}}{\text{Peso Fresco (Pf)}} * 100 \text{ (1)}$$

Rendimiento

Para evaluar el resultado de los tratamientos en el cultivo, se cosecho a los 35 DDT, se tomaron cinco plantas por tratamiento las cuales fueron pesadas individualmente utilizando una balanza de precisión de 0.1 g de marca "Ohaus". El rendimiento se calculó extrapolado a una ha utilizado una densidad de 109,300 plantas/ha.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones para un total de 20 unidades experimentales.

Análisis Estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias de Duncan con una probabilidad $P \leq 0.05$, utilizando el programa estadístico "Statistical Analysis System" (SAS versión 9.4).

Resultados y Discusión

VARIABLES DEL SUELO

Análisis Químico del Suelo

El resultado obtenido del análisis de suelo del Lote M perteneciente a la unidad de Agricultura Orgánica mostró que el contenido de materia orgánica presente en el suelo estuvo dentro del rango óptimo del suelo; los macronutrientes P, K y el micronutriente Ca estuvieron por encima del rango, mientras que el porcentaje de N y de Mg se presentaron niveles bajos (Cuadro 2).

Cuadro 2

Análisis químico del suelo del Lote M de la Unidad de Agricultura Orgánica

g/100g(%)		mg/kg(extractable)				
M.O	N total	P	K	Ca	Mg	Na
Medio	Bajo	Alto	Alto	Alto	Bajo	
3.83	0.19	401	634	3157	242	ND
2-4 [¥]	0.2-0.5 [£]	Por: Saturación de bases				

Nota. Tomado de Laboratorio de Suelos, Zamorano (2021)

M.O.: Materia orgánica

[¥]Rangos óptimos de materia orgánica en el suelo

[£]Rangos óptimos de nitrógeno en el suelo

pH

Se encontró efecto de los tratamientos en el pH del suelo únicamente a los 21 días DDT ($P \leq 0.05$). En la Figura 1 podemos observar que el pH muestra una tendencia a mantenerse entre los rangos óptimos para el cultivo de la lechuga que deben de estar entre 6.4-7.5 (Luna Riquelme 2012).

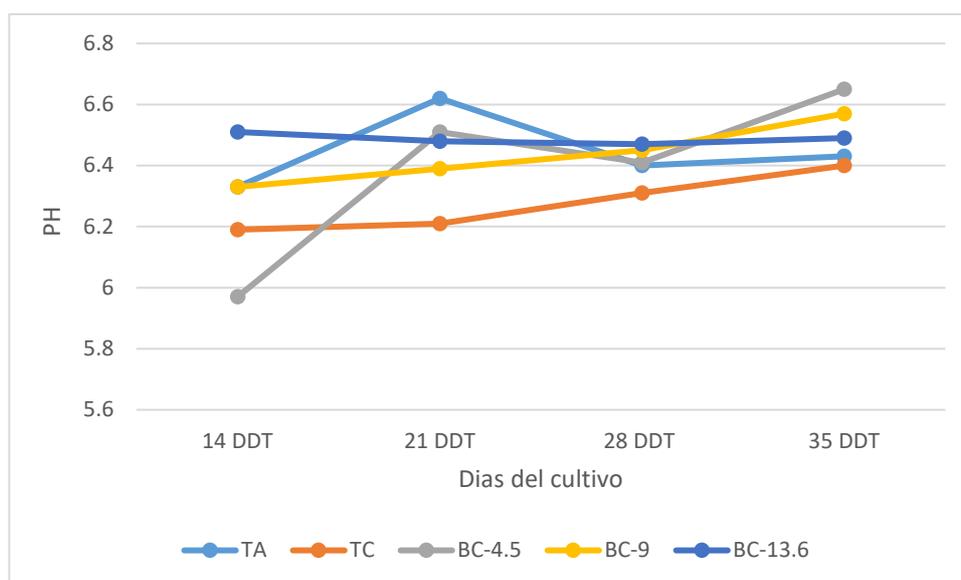
El pH de suelos tratados con biocarbón pueden mostrar tendencias hacia un suelo neutro. El biocarbón mejora la disponibilidad de nutrientes ya que los suelos tratados con esta enmienda sufren cambios en su pH evaluando distintos cultivos (Escalante Rebolledo et al. 2016).

La investigación realizada por Rajakumar y Sankar (2019) quienes usaron dosis de entre 5 a 10 t/ha mostraron que a mayor dosis de biocarbón hay un mayor incrementó en el pH del suelo, es decir

existe una relación directa entre dosis aplicada y el incremento del pH. Otros estudios indican que el potencial del biocarbon de incrementar el pH de los suelos está relacionado con el material de su fabricación. Luo et al. (2011) evaluaron el cambio en los niveles de pH del suelo a corto y largo plazo aplicando biocarbón fabricado a base pastos (*Miscanthus giganteus*) y encontraron que este incrementa el pH de los suelos de 3.7 a 7.6 después de 87 días. Sin embargo, Wang et al. (2011) encontraron que el biocarbón elaborado a base de madera no tiene ningún efecto en el pH de los suelos (3.41 a 3.69).

Figura 1

Efecto de diferentes dosis de biocarbón BC (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el pH del suelo comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 días después del trasplante (DDT) del cultivo de lechuga.



Conductividad Eléctrica

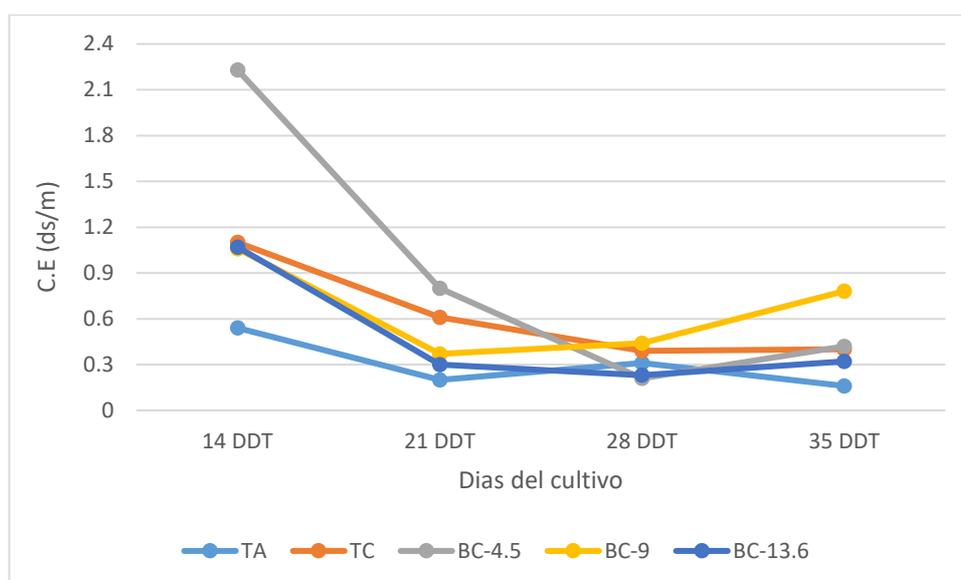
Se observó efecto de los tratamientos de biocarbón sobre la conductividad eléctrica a los 21 y 35 DDT ($P \leq 0.05$) (Figura 2). La conductividad eléctrica tuvo un rango mayor a 1 dS/m previo a la aplicación de tratamientos. A los 21 DDT, el tratamiento BC-4.5 presenta la conductividad eléctrica

mayor en comparación con los demás tratamientos. A los 35 DDT, el tratamiento bc-13.5 fue el que tuvo una conductividad eléctrica elevada en comparación con los demás tratamientos. Para todos los tratamientos hubo una reducción en la conductividad eléctrica a lo largo del experimento.

Barbaro *et al.* (2014) recomiendan que un suelo tenga una conductividad eléctrica igual o menor a 1 dS/m esto ya que una baja conductividad eléctrica evita una fitotoxicidad en el cultivo y facilita un mejor manejo en la aplicación de fertilizantes.

Figura 2

Efecto de diferentes dosis de biocarbón BC (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en la Conductividad eléctrica (dS/m) del suelo comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 días después del trasplante (DDT) del cultivo de lechuga.



De acuerdo a nuestro estudio a partir de los 21 DDT hubo una tendencia en la reducción de la conductividad eléctrica comparada a los 14 DDT, esto debido a que la incorporación de materia orgánica en el suelo que está fuertemente relacionada con la disminución de la conductividad eléctrica, ya que la materia orgánica es responsable de acumulación de nutrientes y en la retención de agua, los cuales son factores claves en una reducción de la conductividad eléctrica (Martínez *et al.*

2009). De acuerdo a Partida Rucalva *et al.* (2006) la conductividad eléctrica también puede disminuir debido a la absorción de nutrientes por las plantas.

Similar a nuestros resultados, la investigación de Obregón Castro (2019) indica que la incorporación de biocarbón a una dosis de 15 t/ha presentó una disminución en la conductividad eléctrica después de 30 días de su aplicación. Así mismo, indica que, al incrementar el tiempo de incubación a 60 días, el biocarbón puede generar una mayor reducción de la conductividad eléctrica en el suelo.

Variables del Cultivo

Contenido de Clorofila

La aplicación de biocarbón no presentó efecto sobre el contenido de clorofila (SPAD) a lo largo del estudio ($P>0.05$) (Cuadro 3). Sin embargo, el contenido de clorofila encontrado se encuentra dentro de los parámetros óptimos. De acuerdo a la investigación de Guerrero *et al.* (2014) se pudo evidenciar que los parámetros óptimos van desde los 13 hasta los 29 SPAD. Esto depende de la fertilización que se dé al cultivo. El mismo autor en su investigación indica que los contenidos más altos de clorofila lo obtuvieron los cultivos a los cuales se le agregó nitrato de calcio más estiércol de aves.

Carter y Spiering (2002) mencionan que los contenido de clorofila en una planta pueden verse reflejados en su vigor y en su capacidad fotosintética, la cual depende mucho de los pigmentos presentes en la misma. La región, estación, clima, altitud, y la cantidad de horas luz que reciba una planta tienen un impacto significativo tanto en el aumento o reducción en los contenidos de clorofila presentes en las plantas. Esto fue confirmado por Jansen *et al.* (2009) quienes en su estudio demostraron que el factor que más influye sobre el contenido de clorofila fue la cantidad de horas a temperaturas promedio entre los 24°C - 36°C y periodos largos de horas luz en plantas de tabaco.

El contenido de clorofila a nivel foliar es un indicador confiable de la actividad fotosintética de la planta, así como de su estado nutricional ya que, una planta con contenido de clorofila óptimos

indica que está absorbiendo nutrientes necesarios para su desarrollo Wu *et al.* (2008), indica que entre aquellos nutrientes uno que más se presenta en las moléculas de clorofila es el N, por lo que, a mayor horas luz mayor se verá reflejada la nutrición a nivel foliar de la planta (Daughtry *et al.* 2000) .

Cuadro 3

Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en la contenido de clorofila (SPAD) en plantas de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 14, 21, 28 y 35 DDT.

Tratamientos	14 DDT	21 DDT	28 DDT	35 DDT
TA	13.72 ^{NS}	11.53 ^{NS}	14.11 ^{NS}	14.93 ^{NS}
TC	15.63	12.98	13.62	14.91
BC-4.5	15.05	13.34	15.86	15.41
BC-9.0	15.29	15.50	15.64	15.88
BC-13.5	14.56	13.36	13.91	15.76
P	0.21	0.11	0.27	0.48
R ²	0.52	0.55	0.44	0.36
C.V (%)	10.34	11.51	10.15	5.68

Nota. ^{NS} Sin diferencia significativa entre tratamientos de la misma semana ($P \leq 0.05$)

^{DDT} Días después de trasplante

Peso Fresco Foliar

Los tratamientos tuvieron efecto sobre el peso fresco foliar a los 21 y 35 DDT ($P \leq 0.05$). A los 21 DDT, el testigo absoluto presentó el menor peso fresco foliar, sin embargo, no hubo diferencia entre el resto de los tratamientos. A los 35 DDT, el tratamiento BC-13.5 obtuvo un mayor peso fresco foliar que ambos testigos, pero igual que los otros tratamientos donde se aplicó biocarbón (Cuadro 4). En este aspecto Santos Jimenez (2009) comenta que a partir de los 21 DDT la planta de lechuga tiene un incremento de biomasa de 64.18% y pasados los 28 DDT un 54.2%.

Estudios indican que el efecto del biocarbón en el desarrollo de un cultivo se refleja en cultivos de ciclos largos o en el segundo ciclo cultivo (Glaser *et al.* 2002). Esto es corroborado por Arguello Arias y Chiguachi (2020) quien evaluó el uso de biocarbón y compost (75 y 25 %) en dos ciclos de tomate en el cual durante el primer ciclo los tratamientos no tuvieron efecto, sin embargo, durante el

segundo ciclo se observó efecto en el peso del cultivo (24.7 a 39.8 kg). Así mismo Guerrero *et al.* (2014) evaluó el uso de biocarbón en el peso de girasoles encontrando efectos en el segundo ciclo de cultivo (9.86 en el primer ciclo y 16.86 g en el segundo ciclo).

Quevedo Guerrero (2018) en su estudio realizado en banano evaluó el uso de biocarbón junto con microorganismos conformados por levaduras y bacterias ácido lácticas. En su estudio evaluaron el peso del racimo obteniendo resultados favorables en comparación a un tratamiento convencional. Los autores argumentan que el añadir microorganismos al biocarbón las plantas incrementan su eficiencia para captar nutrientes y agua y transformarlos en mayor producción de biomasa, para el incremento de rendimientos o en la producción de fitoalexinas para su propia protección contra organismos patógenos y ofrece a los hongos un microhábitat donde vivir y realizar sus actividades metabólicas.

Cuadro 4

Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el peso fresco foliar (g) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.

Tratamientos	21 DDT	28 DDT	35 DDT
TA	12.65 b ^β	36.78 ^{NS}	88.77 c ^β
TC	37.21a	72.68	143.54 bc
BC-4.5	39.88 a	70.78	169.75 ab
BC-9.0	42.92 a	70.42	167.96 ab
BC-13.5	33.92 a	60.45	208.26 a
P	0.03	0.18	0.02
R ²	0.65	0.50	0.69
C.V (%)	31.06	31.72	23.37

Nota. ^{NS} Sin diferencia significativa entre tratamientos de la misma semana ($P \leq 0.05$)

^βMedias seguidas por letras diferentes presentan diferencia significativa en la misma semana ($P \leq 0.05$)

^{DDT} Días después de trasplante

Peso Fresco Radicular

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en el crecimiento radicular de las plantas muestreadas ($P > 0.05$) (Cuadro 5).

Estudios indican que el desarrollo radicular está altamente relacionado con el contenido de nutrientes presentes en el suelo. En la investigación realizada por Mencia Guevara y Reyes Medina (2018) encontraron que al aplicar bocashi y compost a base de pulpa de café se incrementa el peso fresco radicular.

Araméndiz Tatis et al. (2013) en su estudio encontraron en sus tratamientos que el uso de biocarbón más la adición de cascarilla de arroz y fibra de coco son mejoran el desarrollo radicular en comparación con al uso de compost.

Cuadro 5

Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el peso fresco radicular (g) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.

Tratamientos	21 DDT Media	28 DDT Media	35 DDT Media
TA	2.81 ^{NS}	3.14 ^{NS}	6.02 ^{NS}
TC	4.47	4.45	9.03
BC-4.5	4.89	4.58	9.01
BC-9.0	5.17	5.26	8.26
BC-13.5	4.27	4.60	9.84
P	0.08	0.39	0.19
R ²	0.58	0.40	0.50
C.V (%)	22.89	26.18	20.73

Nota. ^{NS} Sin diferencia significativa entre tratamientos de la misma semana ($P \leq 0.05$)

^{DDT} Días después de trasplante

Materia Seca (MS) Foliar y Radicular

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en el % de materia seca foliar y radicular en las plantas muestreadas ($P > 0.05$) (Cuadro 6). Los resultados % de materia seca foliar fueron superiores a los obtenidos por Sánchez (2010) cuyos valores fluctuaron entre 4.25 y 6% quienes realizaron su estudio en invierno, pero inferiores a los reportados por Defilipis et al. (2015) cuyos valores oscilaron entre 24.67 y 36.80% atribuyéndolo a que la hora y temperatura de cosecha son factores importantes que influyen en la MS del follaje del cultivo de lechuga.

Los resultados obtenidos de materia seca radicular son bajos comparados con el estudio realizado por Alcántara Ríos (2017) quien evaluó dos tipos de enmiendas orgánicas; el uso de biocarbón y el uso de abonos a base de estiércol bovino con la adición de una fertilización convencional. Sus resultados muestran que el uso de abonos a base de estiércol de bovino y una fertilización en relación 120-120-120 de NPK incrementan la acumulación de materia seca radicular en comparación al biocarbón.

Cuadro 6

Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el porcentaje de materia seca foliar y radicular (%) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.

Tratamientos	% Foliar Media	% Radicular Media
TA	23.33 ^{NS}	25.45 ^{NS}
TC	26.48	33.93
BC-4.5	21.74	26.03
BC-9.0	31.75	19.69
BC-13.5	27.50	17.48
P	0.31	0.77
R ²	0.43	0.24
C.V(%)	36.30	41.75

Nota. ^{NS} Sin diferencia significativa entre tratamientos de la misma semana ($P \leq 0.05$)

Rendimiento

El tratamiento BC-13.5 alcanzó el mayor rendimiento en comparación a los testigos (Cuadro 7). La adición de biocarbón tiende a aumentar la disponibilidad de nutrientes y mejorar la actividad microbiana que en conjunto puede resultar benéfica para el incremento de rendimientos de cultivos. Meddeb et al. (2018) evaluó la aplicación de biocarbón a 5, 10 y 15 t/ha en el cultivo de tomate comparados con un testigo y control que al aplicar 15t/ha encontró rendimientos de (27.43 t/ha) en comparación al testigo (20.23 t/ha)

Cuadro 7

Efecto de las dosis de biocarbón en el suelo (4.5, 9.0 y 13.5 t/ha) en el rendimiento (t/ha) de lechuga var. Kristine comparadas con un testigo absoluto (TA) y un testigo comercial (TC) a los 21, 28 y 35 DDT.

Tratamientos	Rendimiento (t/ha)
TA	9.70 c ^β
TC	15.68 bc
BC-4.5	18.55 ab
BC-9.0	18.35 ab
BC-13.5	22.76 a
P	0.02
R ²	0.69
C.V (%)	23.37

Nota. ^{abc}Medias seguidas por letras diferentes presentan diferencia significativa en la misma semana ($p \leq 0.05$)

^{DDT} Días después de trasplante

Conclusiones

La incorporación de biocarbón en dosis desde 4.5 a 13.5 toneladas por hectárea tuvo efecto en el peso fresco foliar de la lechuga únicamente a los 21 y 35 DDT siendo el BC-13.5 el que mayor efecto tuvo; sin embargo, no se presentaron efectos en el peso fresco radicular y la materia seca del cultivo.

El BC-13.5 generó un mayor efecto en el rendimiento del cultivo obteniendo 22.76 toneladas por hectárea en comparación a los tratamientos testigos.

Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios utilizando dosis más altas de biocarbón en combinación con otras enmiendas orgánicas, evaluar la combinación de microorganismos con biocarbón y estudiar los cambios que estos puedan traer en las propiedades del suelo. Además, se recomienda evaluar los efectos del biocarbón en diferentes ciclos de cultivo.

Referencias

- Alcántara Ríos GM. 2017. Estiércol de Ovino y Fertilización npk en la acumulación de materia seca en *hordeum vulgare* L. var. Zapata en un Suelo Ácido de Santiago de Chuco, La Libertad [Tesis]. Peru: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Agronomía.
- Amoah S. 2019. The effects of biochar on the soil properties and The effects of biochar on the soil properties and on yield formation of pea (*Pisum sativum* L) nine years after application [Master's thesis]. Finland: University of Helsinki, Helsingin yliopisto, Department of Agricultural Sciences.
- Araméndiz Tatis H, Cardona Ayala C, Correa Álvarez E. 2013. Efecto de diferentes sustratos en la calidad de plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.): Effects of different substrates on the quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings. REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS. 7(1):1–7.
- Arguello Arias H, Chiguachi D. 2020. Efecto de diferentes dosis de biocarbon y compost en la producción y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*) bajo cubierta. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe. 15(2).
- Barbaro LA, Karlanian MA, Mata DA. 2014. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Argentina: Instituto de Floricultura.
- Beretta A, Bassahum D, Musselli R. 2014. ¿ Medir el pH del suelo en la mezcla suelo: agua en reposo o agitando? [Tesis]. Colonia, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Facultad de Agronomía.
- Carter GA, Spiering BA. 2002. Optical Properties of Intact Leaves for Estimating Chlorophyll Concentration. Journal of Environmental Quality. 31(5):1424–1432.
- Cartes Sanchez G. 2013. Degradación de suelos agrícolas y el SIRSD-S. Chile: Ministerio de agricultura de Chile. Español; [consultado el 22 de jun. de 2021]. <https://sgs.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/2702>.

- [CMA] Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía. 2015. Uso del compost en: Agricultura, viveros y paisajismo. 1ª ed. Andalucía: Junta de Andalucía. 12 p; [consultado el 19 de may. de 2021]. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Calidad_Ambiental/Gestion_De_Los_Residuos_Solidos/compost/Usos_Compost.pdf.
- Daughtry C, Walthall CL, Kim MS, Brown de Colstoun E, McMurtrey III JE. 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 74:229–239.
- Defilipis C, Puyos da Costa E, Barneto S, Borioni L, Jimenez A, Verón P, Rossi F. 2015. Acumulación de materia seca en lechuga (*Lactuca sativa* L.) con riego deficitario. *Universidad Nacional de Luján*. 1–2.
- Elad Y, Cytryn E, Meller Harel Y, Graber E. 2011. The Biochar Effect. *Phytopathologia Mediterranea*. 50(3):335–349.
- Elmer WH, Pignatello JJ. 2011. Effect of Biochar Amendments on Mycorrhizal Associations and Fusarium Crown and Root Rot of Asparagus in Replant Soils. 8ª ed. Connecticut, USA: The American Phytopathological Society.
- Escalante Rebolledo A, Pérez López G, Hidalgo Moreno C, Collado Lopez J, Campo Alves J, Pacheco EV, Etchevers Barra J. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*. 34(3):367–382.
- Espinosa Ramírez M, Andrade Limas E, Rivera Ortiz P, A. Romero Díaz A. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Pap. geogr.* (53-54):1–12. es.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Roma: FAO. 154 p. (Estudio FAO: Montes; vol. 41). ISBN: 9253013281.

- [FAO] Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. 2017. LIBERACIÓN DEL POTENCIAL DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO. Roma, Italia: FAO. ISBN: 978-92-5-309759-3.
- Flesch F, Berger P, Robles Vargas D, Santos Medrano GE, Rico Martínez R. 2016. Characterization and Determination of the Toxicological Risk of Biochar Using Invertebrate Toxicity Tests in the State of Aguascalientes, México. *Appl. Sci.* 9(8):1–19.
- Fortis Hernández M, Leos Rodríguez JA, Preciado Rangel P, Orona Castillo I, García Salazar JA, García Hernández JL, Orozco Vidal JA. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*; [consultado el 1 de jun. de 2021]. 27(4):1–8.
- Garro Alfaro JE. 2016. El suelo y los abonos orgánicos. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. 1–113.
- Glaser B, Lehmann J, Steiner C, Nehls T, Yousaf M, Zech W. 2002. Potential of Pyrolyzed Organic Matter in Soil Amelioration. 1ª ed. China: 12th ISCO Conference.
- Guerrero EM, Revelo JC, Benavides B. O, Chaves J. G, Moncayo C. A. 2014. EVALUACIÓN DE SUSTRATOS EN UN CULTIVO DE LECHUGA BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO EN EL MUNICIPIO DE PASTO: EVALUATION OF SUBSTRATES IN A HYDROPONIC LETTUCE CULTURE SYSTEM IN THE MUNICIPALITY OF PASTO. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.* 31(1).
- Ippolito JA, Laird DA, Busscher WJ. 2012. Environmental benefits of biochar. *Journal of Environmental Quality.* 41(4):967–972. eng. doi:10.2134/jeq2012.0151.
- Jansen M, Gilmer F, Biskup B, Nagel KA, Rascher R, Fischbach A, Briem S, Dreissen G, Tittmann S, Braun S, et al. 2009. Simultaneous phenotyping of leaf growth and chlorophyll fluorescence via GROWSCREEN FLUORO allows detection of stress tolerance in *Arabidopsis thaliana* and other rosette plants. *Functional Plant Biology.* 36:902–914.

- K. Yin Chan, Zhihong Xu. 2009. Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. En: Lehmann J, Joseph S, editores. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Taylor and Francis. p. 99–116. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781849770552-12/biochar-nutrient-properties-enhancement-yin-chan-zhihong-xu>.
- Lee J, Sarmah AK, Kwon EE. 2019. Production and Formation of Biochar. *Biochar from Biomass and Waste*. 3–18. doi:10.1016/B978-0-12-811729-3.00001-7.
- Lehmann J, Joseph S, editores. 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Taylor and Francis. 449 p. ISBN: 9781849770552.
- Luna Riquelme MC. 2012. Influencia de los factores Pre y Post cosecha en la Calidad de la Lechuga IV Gama [Tesis]. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Luo Y, Durenkamp M, De Nobili M, Lin Q, Brookes PC. 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology & Biochemistry*. 43:1–12.
- Manyà JJ. 2012. Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs: Production and Formation of Biochar. *Environ. Sci. Technol.* 46(15):7939–7954. EN. doi:10.1021/es301029g.
- Martínez G, Vanderlinden K, Giráldez JV, Espejo AJ, Rodríguez E, Ordóñez R, Muriel JL. 2009. Use of apparent electrical conductivity as secondary information for soil organic carbon spatial characterization. *Estudios en la zona no saturada del suelo*. 9:1–8.
- Meddeb S, Hassine HB, Tangour D, Aichi H, Álvarez MJ, de la Rosa MJ, Lopez R, editores. 2018. Efectos de biochar y compost en un suelo de huerto urbano moderadamente contaminado por metales pesados: Protección y Restauración de suelos. VIII Congreso Ibérico de las Ciencias del Suelo; 22-28 Junio; Centro Ignacio M^a Barriola, UPV/EHU, Donostia-San Sebastián. Donostia-San Sebastián: [sin editorial].

- Mencia Guevara RA, Reyes Medina DR. 2018. Evaluación de abonos orgánicos a base de pulpa de café, en el cultivo de lechuga cv. Kristine y Versai [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Carrera de Ingeniera Agronomica.
- Obregón Castro GDP. 2019. Disminución de la salinidad de suelos aplicando biochar a base de biomasa animal y vegetal en Cañete [Tesis]. Lima, Peru: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Partida Rucalva L, Velázquez Alcaraz TdJ, Acosta Villegas B, Angulo Gaxiola CE. 2006. EXTRACTOS VEGETALES Y SU EFECTO EN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE DOS SUELOS SALINOS Y DE SOLUCIONES: Plant Extracts and its Effect on the Electric Conductivity of Two Saline Soils and Solutions. *Terra Latinoamericana*. 21(1).
- Quevedo Guerrero JN. 2018. MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE BANANO (*MUSA X PARADISIACA* L.) CLON WILLIAMS, USANDO BIOCARBÓN Y MICROORGANISMOS EFICIENTES [Tesis]. Machala, Ecuador.: Universidad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronomica.
- Rajakumar R, Sankar JS. 2019. Effect of Biochar on Improving Soil Properties of Ultisols (Typic Plinthustults). *Environment and Ecology*. 37(4):1–8.
- Rondon MA, Lehmann J, Ramírez J, Hurtado M. 2006. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol Fertil Soils*. 43:1–10.
- Sánchez TM. 2010. Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Rev. de la Fac. de Agronomía - UNLPam* -. 21:1–8.
- Santos Jimenez A. 2009. Evaluación de sustratos en producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en camas elevadas bajo cubierta para el trópico húmedo. [Tesis]. Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda,
- Verheijen F, Jeffery S, Bastos AC, van der Velde M, Diafas I. 2009. Biochar application to soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. Luxembourg: JRC Scientific and Technical Reports.

- Verhulst N, François I, Govaerts B. 2015. Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor. 1ª ed. Mexico: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Wang B, Lehmann J, Hanley K, Hestrin R, Enders A. 2011. Adsorption and desorption of ammonium by maple wood biochar as a function of oxidation and pH. *Chemosphere*. 138:120–126.
- Woods WI. 2003. Development of Anthrosol Research. En: Lehmann J, Dirse KC, Glaser B, Woods WI, editores. *Amazonian dark earths: Origin properties management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 3–14.
- Wu C, Zheng N, Quan T, Wenjiang H. 2008. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *agricultural and forest meteorology*. 148:1230–1241.

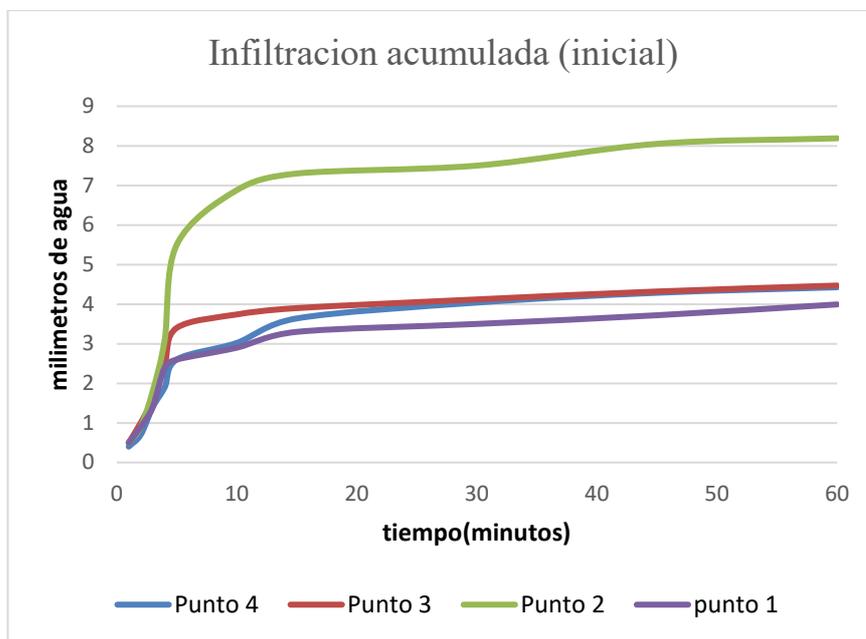
Anexos**Anexo A***Velocidad de infiltración según categorías*

Velocidad de infiltración por categorías	
CATEGORIA	Infiltración(cm/h)
Muy lenta	<0.1
Lenta	0.1- 0.5
Mod. Lenta	0.5- 2.0
Moderada	2.0- 6.0
Mod. Rápida	6.0- 12.5
Rápido	12.5- 25.0
Muy rápido	>25.0

Nota. Manual de Laboratorio Manejo de Suelos y Aguas, Zamorano.

Anexo B

Capacidad de infiltración del suelo al inicio del estudio previo a la aplicación del Biocarbón



Anexo C

Capacidad de infiltración del suelo al final del estudio previo a la aplicación del Biocarbón.

