

# Bioabonos con biochar de morera (*Morus alba* L.) en la germinación y desarrollo inicial de *Crotalaria juncea* L. en cepellón

## Biofertilizers with Mulberry Biochar (*Morus alba* L.) in the Germination and Initial Development of *Crotalaria juncea* L. in Root Ball

Milianys Pérez Reyes\* <https://orcid.org/0000-0002-9019-5600>

Esther B. Norda Castro <https://orcid.org/0000-0002-9011-9544>

Yania S. Oropesa Scull <https://orcid.org/0009-0001-4498-8992>

Gertrudis Pentón Fernández <https://orcid.org/0000-0002-4253-9317>

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey

\*Autor de correspondencia: milianys.perez@ihatuey.cu

### Resumen

**Objetivo.** Determinar el sustrato apropiado a partir de abonos con biochar de morera para la germinación y desarrollo inicial de *Crotalaria juncea* L. **Materiales y métodos.** Se compararon seis combinaciones que estuvieron compuestas por, tratamiento 1: 100% suelo ferrolítico rojo, tratamiento 2: 50% suelo y 50% biochar, tratamiento 3: 50% suelo y 50% compost, tratamiento 4: 50% suelo y 50% humus de lombriz, tratamiento 5: 50% suelo, 25% biochar y 25% compost y tratamiento 6: 50% suelo, 25% biochar y 25% humus de lombriz. Previamente se realizaron evaluaciones al biochar comparando su forma de elaboración y su origen de enriquecimiento. Variables a medir: emergencia (%), longitud del tallo (mm), grosor del tallo (mm), longitud de raíz principal (mm), hojas (número) y raíces secundarias (número). **Resultados.** Los mejores resultados a los 15 días se obtuvieron con el sustrato compuesto por 50% suelo, 25% biochar y 25% humus de lombriz (tratamiento 6) con valores de longitud

### Abstract

**Objective.** Determine the most appropriate substrate from mulberry biochar fertilizers for the germination and initial development of *Crotalaria juncea* L. **Materials and methods.** Six combinations were compared that were composed of: Treatment 1: 100% red ferralitic soil, Treatment 2: 50% soil and 50% biochar, Treatment 3: 50% soil and 50% compost, Treatment 4: 50% soil and 50% humus. worm, Treatment 5: 50% soil, 25% biochar, and 25% compost, and Treatment 6: 50% soil, 25% biochar, and 25% worm humus. Previously, biochar evaluations were carried out comparing its way of elaboration, and its origin of enrichment. Variables to measure: emergence (%), stem length (mm), stem thickness (mm), main root length (mm), leaves (number), and secondary roots (number). **Results.** The best results at 15 days were obtained with the substrate composed of 50% soil, 25% biochar, and 25% earthworm humus (treatment 6) with values of stem length (95.70 mm), stem diameter

del tallo (95.70 mm), diámetro del tallo (1.10 mm), número de hojas (5.13), longitud de la raíz principal (45.50 mm) y número de raíces secundarias (13.74) que dan lugar a un buen desarrollo de la planta, propiciando la mejor consistencia del cepellón. **Conclusiones.** Se aprecia que el sustrato combinado de biochar, humus de lombriz y suelo presenta potencialidades para el desarrollo y germinación de crotalaria en cepellón.

### Palabras clave

Pirolisis, humus, compost, IHPLUS® BF.

(1.10 mm), number of leaves (5.13), length of the main root (45.50 mm) and number of secondary roots (13.74) that give rise to a good development of the plant, favoring the best consistency of the root ball. **Conclusions.** It can be seen that the combined substrate of biochar, earthworm humus, and soil presents the potential for the development and germination of crotalaria in root ball.

### Keywords

Pyrolysis, humus, compost, IHPLUS® BF.

## Introducción

El creciente aumento de la población mundial lleva a la necesidad de incrementar las producciones de alimentos (Campos, 2018); por tanto, la agroecología toma importancia con alternativas que permitan mejorar la eficiencia de los cultivos y, a la vez, mitiguen los efectos adversos de los fertilizantes químicos y disminuyan su uso (Gómez *et al.*, 2015). Esta forma de agricultura promueve actualmente gran variedad de sustratos para la producción de las plántulas, entre los que se encuentran varios bioabonos basados en biochar, humus de lombriz, gallinaza, compost y guano, mismos que pueden ser enriquecidos con microorganismos eficientes (Pentón *et al.*, 2022).

Tradicionalmente, cada agricultor prepara su semillero donde obtiene las plántulas para ser trasplantadas a raíz desnuda. Este sistema presenta grandes inconvenientes, como son el alto consumo de semillas, la poca uniformidad en el desarrollo de las plántulas y el alto porcentaje de raíces que pierden las plantas al ser extraídas, lo que dificulta su adaptación a las condiciones de campo y trae consigo alta mortalidad en la fase posterior al trasplante. Ante esta situación, la tecnología de cepellón se muestra como una alternativa favorable para la realización del trasplante exitoso (Herrera, 2020), y donde el suelo es el medio de crecimiento por naturaleza y el material más utilizado como sustrato. Sin embargo, este no necesariamente es el material más indicado para la producción de plántulas en cepellón. El conocimiento de las propiedades de otros sustratos es de suma importancia, ya que actúan como regeneradores del suelo y tienden a mejorar su estructura, lo que adecua la infiltración de agua, facilita el crecimiento radical, posibilita mejor aireación y contribuye al control de la erosión (Oliverio, 2014).

*Crotalaria juncea* L. justifica el cultivo inicial en cepellón sobre sustratos orgánicos de alta calidad, debido a la importancia de su uso en asociación con gramíneas y otras leguminosas para el pastoreo de rumiantes (Palma y Milera, 2022). Esta planta presenta alta disponibilidad de nitrógeno, rasgo importante en los vegetales en crecimiento donde

aproximadamente un 75 a 90% del nitrógeno total se encuentra en forma de proteína (Gámez *et al.*, 2019). Esta especie también constituye un mejorador del suelo al incorporar nitrógeno, necesario para el desarrollo de cultivos asociados y de postsiembra. *Crotalaria juncea* L. es de los abonos verdes más conocidos, pero es poco estudiado en nuestro país. Incorpora al suelo grandes cantidades de materia orgánica por hectárea y aumenta con ello la porosidad, la aireación del suelo, la capacidad de retención de agua y la fertilidad (Melgares *et al.*, 2020).

Por todo lo anterior, se realizó un estudio para determinar el sustrato más apropiado a partir de abonos con biochar de morera (*Morus alba* L.), obtenido por el método del Kon Tiki para la emergencia y el crecimiento inicial de *Crotalaria juncea* L.

## Materiales y métodos

### *Ubicación del área de estudio*

El estudio se desarrolló en el patio agroecológico La Luz y el Laboratorio de Nutrición de Plantas y Biofertilizantes de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, ubicada entre los 22,81911° o 22° 49' 9" latitud norte y los -81,01354° o 81° 0' 49" longitud oeste, a 19.9 msnm, en el municipio Perico, en Matanzas, Cuba.

El suelo empleado se corresponde con el tipo genético ferralítico rojo (FR), según los criterios de Hernández *et al.* (2015) y con la clasificación Nitisol Ferralítico Ródico, Lítico, Eutrítico.

El biochar se obtuvo mediante un proceso de pirolisis lenta mediante la tecnología de Kon Tiki (Schmidt y Wilson, 2012).

Los fragmentos carbonosos se trituraron con ayuda de un molino manual hasta una dimensión de 2-5 mm; fueron sumergidos durante 24 horas en el bioproducto IHPLUS® BF, posteriormente se escurrieron durante una hora.

El IHPLUS® BF fue diluido a la mitad y se le adicionó al biochar hasta que fue cubierto totalmente.

### *Evaluación de la emergencia y el crecimiento de las plantas*

La etapa del estudio abarcó 15 días del mes de septiembre de 2022.

Se empleó un diseño totalmente aleatorizado y se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ); asimismo se compararon las siguientes formulaciones de sustratos utilizando biochar de morera obtenido en horno en el suelo enriquecido con IHPLUS® BF.

- Tratamiento 1. Suelo ferralítico rojo (control negativo).
- Tratamiento 2. 50% de suelo + 50% de biochar/IHPLUS® BF.
- Tratamiento 3. 50% de suelo + 50% de compost.
- Tratamiento 4. 50% de suelo + 50% de humus de lombriz.
- Tratamiento 5. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de compost.
- Tratamiento 6. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de humus de lombriz.

Los abonos utilizados (humus de lombriz y compost) estuvieron en el rango adecuado de contenido de materia orgánica para los fertilizantes orgánicos, según los criterios de Paneque (2010). Además, el potencial redox [Eh (pH7)] y el pH estuvieron en el rango óptimo, entre +350 y +450 mV, y pH de 6.5 a 7.5, según Husson (2013).

Se establecieron 25 muestras por tratamiento, distribuidas en tres bandejas. Se utilizaron 75 semillas por tratamiento, tres en cada alveolo. Previamente se realizó la prueba de germinación de dichas semillas y arrojó que presentaban 99% de germinación. Se realizó el riego diario por aspersión hasta capacidad de campo.

Se evaluó la emergencia a los 3, 6, 11 y 15 después de la siembra. Se calculó el porcentaje de emergencia (Nasri *et al.*, 2015).

$$\%G = \left( \frac{GF}{N} \right) * 100$$

G (%): porcentaje de emergencia.

Gf: total, de semillas emergidas al final del ensayo.

N: total, de semillas empleadas.

A los 15 días se desmontó el ensayo y se evaluaron las siguientes variables:

Altura de planta: se midió en milímetros (mm) desde la base de la planta al nivel del suelo, hasta el inicio de la hoja bandera, para esto se utilizó un pie de rey.

Diámetro del tallo: medida en milímetros con un pie de rey, en la parte media del tallo.

Hojas (número): se contabilizó el número total de hojas por cada planta.

Longitud de la raíz principal: tomada en milímetros desde la base del tallo hasta el final de la raíz.

Raíces secundarias (número): se contabilizó el número de raíces por cada planta.

Al final del experimento se evaluó la consistencia de los sustratos a través del método de observación. Una vez extraídos los cepellones, se sostuvo la plántula a la altura del tallo y se calificó según los siguientes criterios:

a. Ideal: el cepellón se mantiene consistente, no pierde material.

b. Aceptable: el cepellón pierde menos del 25% del material.

c. No aceptable: el cepellón pierde más del 25% del material.

Las bandejas de cepellón utilizadas presentaban 200 cavidades de una capacidad de 22 ml.

### *Análisis estadístico*

Se aplicó estadística descriptiva y se verificó la normalidad de la distribución de los datos en todas las variables por la prueba modificada de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianza, según la prueba de Levene. Se realizó análisis de varianza para un diseño totalmente aleatorizado y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Se realizó la prueba no paramétrica de  $X^2$ . Se utilizó el programa estadístico Infostat (Rienzo *et al.*, 2008).

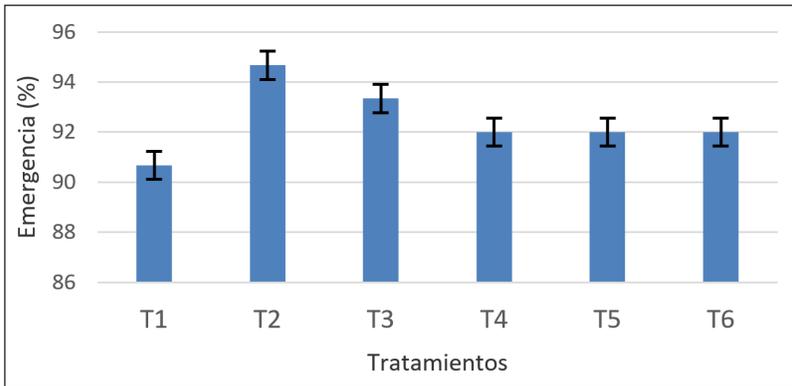
## Resultados

### Porcentaje de emergencia de las plantas

Se observó un alto porcentaje de emergencia para todos los tratamientos, que superó el 90%, por lo que el análisis estadístico arroja que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (figura 1).

Figura 1

Porcentaje de emergencia de las semillas de *Crotalaria juncea* L. en presencia de diferentes sustratos



T 1 (control negativo). Suelo ferralítico rojo.

T 2. 50% de suelo + 50% de biochar/IHPLUS® BF.

T 3. 50% de suelo + 50% de compost.

T 4. 50% de suelo + 50% de humus de lombriz.

T 5. 50% de suelo + 25% de biochar/IHPLUS® BF + 25% de compost.

T 6. 50% de suelo + 25% de biochar/IHPLUS® BF + 25% de humus de lombriz.

### Altura de la planta

Los resultados mostraron diferencias significativas en cuanto a la altura de las plantas entre los tratamientos de 50% de suelo + 25% de biochar/IHPLUS® BF + 25% de compost (T5), y 50% de suelo + 25% de biochar/IHPLUS® BF + 25% de humus de lombriz (T6) con respecto al suelo ferralítico rojo (control negativo) y el sustrato 50% de suelo + 50% de biochar/IHPLUS® BF (T2), siendo estos dos últimos los que mostraron los valores más bajos (cuadro 1).

### Diámetro del tallo

Los sustratos T5 y T6 mostraron los valores más altos de diámetro del tallo, seguidos por T4 y T2. Los tratamientos T1 y T3 fueron menores, con diferencias altamente significativas (cuadro 1).

## Hojas

Se puede apreciar que el sustrato compuesto por 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de humus (T6) promueve mayor emisión de hojas respecto a T1, T4 y T5, aunque comparten similitud estadística con los tratamientos compuestos por 50% de suelo + 50% de biochar (T2) y 50% de suelo + 50% de compost (T3) (cuadro 1).

## Longitud de la raíz principal

El sustrato T1 mostró las mejores condiciones para el buen desarrollo y crecimiento de la raíz con valores de 52.69 mm, siendo T2 y T5 los que mostraron los valores más bajos a pesar de compartir similitud estos tratamientos con T3, T4 y T6 (cuadro 1).

## Raíces secundarias

Se observó que T1, T3, T4 y T6 presentaron las mejores condiciones para la formación de raíces, mientras que T2 se ubicó por debajo del promedio de los demás tratamientos (cuadro 1).

Cuadro 1  
Características morfológicas de *Crotalaria juncea* L. con diferentes sustratos

Tratamiento	Altura de la planta	Diámetro tallo (mm)	Hojas (número)	Longitud raíz principal (mm)	Cantidad raíces secundarias (número)
T1	66.93c	0.80e	3.92c	52.69a	13.36ab
T2	76.49c	0.95cd	4.48abc	38.20b	7.96c
T3	90.64b	0.84de	4.64ab	44.66ab	16.92a
T4	89.03b	0.98bc	4.4bc	44.32ab	14.72ab
T5	103.07a	1.16a	4.28bc	40.86b	12.71b
T6	95.70ab	1.10ab	5.13a	45.50ab	13.74ab
CV	19.05	16.14	19.1	24.75	33.04
P	0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0001

\*Letras diferentes indican diferencias significativas para  $p < 0.05$  según la prueba de Tukey.

Tratamiento 1 (control negativo). Suelo ferralítico rojo.

Tratamiento 2. 50% de suelo + 50% de biochar.

Tratamiento 3. 50% de suelo + 50% de compost.

Tratamiento 4. 50% de suelo + 50% de humus de lombriz.

Tratamiento 5. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de compost.

Tratamiento 6. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de humus de lombriz.

## Formación del cepellón

De acuerdo con el análisis estadístico realizado, existe una asociación estadísticamente significativa entre los tratamientos, para una  $p = 0.0001$ . Los tratamientos T1, T3, y T6 mostraron la mayor formación de cepellones ideales. Mientras que fue identificado como

aceptable el T5. Los sustratos T2 y T4 mostraron una consistencia no aceptable (cuadro 2); ya que perdieron más del 50% y en muchos casos el 100% del material.

Cuadro 2  
Clasificación del cepellón según su calidad para el trasplante

Tratamiento	Tipo de cepellón (n=25)		
	a	b	c
1	24	1	0
2	2	0	23
3	2	1	1
4	0	0	25
5	1	20	4
6	23	0	2
X <sup>2</sup>		222.53	
p		0.0001	

a= retiene el 100%, b= pierde menos del 25%, c= pierde más del 25%.

Tratamiento 1 (control negativo). Suelo ferralítico rojo.

Tratamiento 2. 50% de suelo + 50% de biochar.

Tratamiento 3. 50% de suelo + 50% de compost.

Tratamiento 4. 50% de suelo + 50% de humus de lombriz.

Tratamiento 5. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de compost.

Tratamiento 6. 50% de suelo + 25% de biochar + 25% de humus de lombriz.

## Discusión

### *Emergencia y desarrollo de las plantas*

Los resultados indicaron confiabilidad aceptable en la viabilidad de las semillas en estos sustratos, lo que pudo asegurar el crecimiento y el desarrollo de suficientes plántulas. Al respecto, según Zucconi (1981), en presencia de un nuevo abono, los valores de índice de germinación o emergencia por debajo de 50% con respecto al control, sugieren fitotoxicidad del sustrato; valores por encima de 80% no indican efectos fitotóxicos.

Rebolledo *et al.* (2016) y Concilco *et al.* (2018) hicieron referencia a un grupo de investigaciones que confirman que al incorporar biochar al suelo aumenta su calidad, puesto que influye positivamente sobre sus propiedades físicas y químicas mejorando los contenidos de materia orgánica, la aireación, la textura, la retención de humedad y la disponibilidad de elementos químicos nutritivos para las plantas. El biochar mostró su influencia positiva sobre las poblaciones y la actividad de los microorganismos benéficos y para las especies vegetales; con impactos positivos sobre la germinación, el crecimiento y el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, el biochar cuando es aplicado en dosis altas (mayores de 50%) en el suelo puede provocar efectos negativos en el desarrollo de las

plántulas por el incremento de la basicidad del suelo y a su vez, el aumento de nutrientes que podrían ser potencialmente tóxicos y estar presentes en el biochar (Aróstegui, 2019).

Estudios realizados por Rosa *et al.* (2021) arrojan que las combinaciones de biochar y compost a dosis bajas (menos de 50%) favorecen la emergencia de leguminosas de la familia fabácea, por los nutrientes que aportan y porque contribuyen a mantener la humedad de los sustratos, a la vez que reducen a un rango óptimo la densidad aparente en el suelo. Por otro lado, la adición de biochar en los suelos demostró que permite la germinación y el crecimiento de plantas, e incluso mejora las actividades microbianas en suelos altamente degradados (Anawar *et al.*, 2015).

### *Altura de la planta*

Con respecto al crecimiento en altura de las plantas, los principales resultados coinciden con los obtenidos por Riveros (2017), quien al evaluar sustrato con compost obtuvo un promedio de 160.78 mm, en este sentido se corrobora que el compost presenta nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas; además, este bioabono combinado con biochar, aumenta la biodisponibilidad y con ello se optimiza la producción de biomasa vegetal (Quispe, 2019; Kamali *et al.*, 2022).

Sobre el efecto del biochar, algunos autores como Zwieten *et al.* (2010), Carter *et al.* (2013) y Dorais *et al.* (2015) reportaron aumentos en la producción de biomasa vegetal cuando el biochar es aplicado a los suelos de los cultivos, en especial cuando se añaden en conjunto con fertilizantes orgánicos o inorgánicos (Quispe, 2019).

### *Diámetro del tallo*

Estos resultados demuestran que la adición de biochar al humus de lombriz y compost como componente de los sustratos mejora las condiciones para el desarrollo de las plantas.

Según Olmo (2016), el biochar enriquecido puede alterar la fertilidad del suelo por medio de un aporte directo de nutrientes, significando mejor disponibilidad en el suelo *y* aumentando el diámetro del tallo. Ello coincide con los resultados de Martínez *et al.* (2017), quienes obtuvieron mejores resultados en altura y grosor del tallo en los tratamientos donde aplicaron humus de lombriz, seguido por los tratamientos donde se aplicó biochar, ya que el humus de lombriz es un tipo de enmienda que mejora la estructura del suelo y es fuente orgánica recuperadora de suelos degradados por sus aportes de alto contenido de nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las planta, mientras que el biochar por su parte mejora las estructuras del suelo.

Los valores inferiores a la media poblacional, obtenidos para el diámetro del tallo con sustrato con base de 50% de suelo + 50% de compost, coinciden con los obtenidos por Astulla (2019), quien determinó que la aplicación de compost no tuvo efecto significativo en el crecimiento en diámetro de tallo en especies de la familia fabácea. Las desventajas de utilizar materiales orgánicos, como el compost, son la variación en el tiempo para la disponibilidad de los nutrimentos, los fertilizantes minerales son más predecibles y la cantidad de silicio aportado y la forma asimilable por efecto de las condiciones edáficas interfieren en su absorción (Schaller y Ehlers, 2021).

## Hojas

Sobre el indicador número de hojas, en estudios realizados por Pérez *et al.* (2021) se evidenció que el biochar enriquecido agregado al suelo en una relación 1:9 favoreció la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio adicionados en el fertilizante, y la disponibilidad de magnesio y calcio con incremento de altura, diámetro y biomasa aérea.

Por otro lado, Papathanasiou *et al.* (2012) aplicaron humus de lombriz a un 20%, observando un aumento significativo en la formación de hojas y flores en las plantas.

Reyes (2018) observa en su estudio mayor crecimiento y desarrollo de la parte foliar y del tallo en los tratamientos con presencia de biochar en comparación con la fertilización mineral. Plantea que una de las causas por las que el abono con biochar podría procurar aumento en la tasa de crecimiento y desarrollo es la cantidad de potasio que pone a disposición de las plantas, como resultado de mayor capacidad de fotosíntesis.

Por otro lado, Jindo *et al.* (2012) plantean que el biochar puede servir de sostén para los microorganismos, los cuales son incorporados al suelo y son capaces de solubilizar los nutrientes necesarios para las plantas.

## Longitud de la raíz principal

Los mejores resultados en longitud de las raíces pueden ser explicados, puesto que la presencia del humus de lombriz mejora la humificación de la materia orgánica y la disponibilidad de fósforo para las plantas y el medio edáfico (Castillo, 2014). Además, el humus de lombriz se probó en numerosos cultivos lográndose en las plantas mayor desarrollo radicular (Aruquipa, 2021).

Por otra parte, algunos autores atribuyen el incremento del desarrollo radicular a la adición de biochar que activa las micorrizas y estas a su vez estimularon el desarrollo del sistema radicular con una mejor captación de nutrientes, en especial el fósforo que se encuentra asociado con el incremento de la tasa de crecimiento de las raíces (Camargo *et al.*, 2012). Además, la incorporación de biochar al suelo puede alterar las propiedades físicas del suelo, como son el pH y el contenido de nutrientes (Escalante *et al.*, 2016), viéndose afectado el desarrollo de las raíces de las plantas cuando el pH del suelo es muy básico y los nutrientes se encuentran en concentraciones tóxicas para la planta (Aróstegui, 2019). También se puede decir que el tamaño de partícula del biochar utilizado debió ser más pequeño para permitir un mejor desarrollo de las raíces en el cepellón, quedando este aspecto a tener en cuenta para analizar en futuras investigaciones.

## Raíces secundarias

Hubo un efecto importante del compost en la cantidad de raíces secundarias, que se explica porque este abono orgánico obtenido a partir de la descomposición aerobia por la acción de millones de microorganismos, de la parte orgánica de los residuos de origen animal o vegetal (Gonzales, 2021). En cada una de sus etapas la diversidad de microorganismos que participan constituyen un ecosistema que se va haciendo más complejo, a medida que van degradando la materia orgánica y se van dando cambios en los parámetros físico-químicos (Nakasaki *et al.*, 2019).

Además, el compost contribuye a la reinoculación de microorganismos implicados en el ciclo de los nutrientes, como es el caso de *Pseudomonas fluorescences*, microorganismo estimulador del desarrollo de las raíces.

Adicionalmente, los efectos del biochar en el suelo incluyen un aumento de la porosidad que puede mejorar su capacidad de infiltración y su permeabilidad, contribuyendo positivamente al desarrollo de la raíz y a la respiración microbiana y favoreciendo el intercambio gaseoso y las condiciones de oxigenación para la formación de raíces (Olmo, 2016). Sin embargo, el tratamiento con suelo 50% y biochar 50% tuvo un efecto negativo sobre las raíces, lo que indica que al aplicar la combinación de biochar con compost mitiga estos efectos y ayuda al desarrollo radicular.

Por otro lado, el humus de lombriz presenta un perfecto equilibrio e inmediata disponibilidad de los macro elementos nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que es un magnífico enriquecedor del suelo que aporta gran cantidad de micro elementos e incentiva en la planta un desarrollo radicular por la rápida absorción de estos nutrientes (Guevara, 2021). En este experimento se aprecia un efecto positivo del suelo sobre el desarrollo de las raíces, indicando una vez más que el problema principal estuvo dado por la consistencia de los sustratos, el biochar sólo evidenció los peores resultados, por la dureza del material y el tamaño de partícula que no permitió el desarrollo adecuado de las raíces.

El bajo desarrollo de raíces secundarias propiciado por T2 también se puede asociar a que el biochar tiene una reacción lenta en el suelo, por lo que sus efectos en la productividad y en la disponibilidad de elementos se pueden mostrar con mayor énfasis en el biochar enriquecido (Tian *et al.*, 2018).

Según estudios realizados por Albuquerque *et al.* (2014), aseguran que los efectos del biochar en el crecimiento de las plantas son más evidentes cuando se combinan con otros fertilizantes, ya que éstos se relacionan principalmente con mayor disponibilidad de nutrientes, mejorando la capacidad de retención de agua del suelo.

También, Gonzales *et al.* (2020) manifiestan que el uso del biochar como remediador de suelo en dosis moderadas proporciona a las plantas mayor índice de clorofila y ayuda a que el cultivo tenga alta probabilidad de sobrevivencia, puesto que tienen la posibilidad de expandir sus raíces para la obtención de agua y minerales que necesiten.

### *Formación del cepellón*

Según la metodología planteada, una formación ideal del cepellón se refiere a la condición de los sustratos que al momento del trasplante mantiene su forma y su estructura; es decir, que al extraer la postura de la bandeja y sostenerla a la altura del tallo, no pierde ningún material.

Los resultados permitieron corroborar los obtenidos por Gonzales (2021), quien considera al compost como un sustrato totalmente natural, carente de semillas, malas hierbas y agentes patógenos. Ideal por su homogeneidad y textura, su aplicación permite la formación de cepellones consistentes, evita el apelmazamiento de la tierra y logra un drenaje ideal, factores esenciales para un perfecto enraizamiento y trasplante al campo.

Se conoce que el exceso de agua en la rizósfera determina menor disponibilidad de oxígeno que afecta el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes (Mascarini *et al.* 2012), siendo la causa fundamental del porqué la mayoría de las veces el suelo no deba ser utilizado para el cultivo en contenedor, como único componente del sustrato (Acosta *et al.* 2008); además, dificulta la extracción del plantín del contenedor, de ahí la conveniencia de emplear sustratos con una elevada porosidad, con un mínimo de 50-55% de poros de aire (Mathers *et al.* 2007). Por lo que se puede dilucidar que el suelo empleado era altamente poroso.

Con respecto al T2, se observa que el número de raíces secundarias es pequeño, provocando que esta sea la causa por la cual no logra formarse el cepellón, este tratamiento es considerado no aceptable con una pérdida de más de 50% del cepellón, observándose el mismo comportamiento con T4 y siendo el factor común en estos tratamientos el biochar. Faure *et al.* (2014) muestra resultados similares en sus estudios producto de un desequilibrio por escasez de sistema radical.

Se puede apreciar que en los tratamientos T3, T6 y T1 presentan un cepellón consistente, lo que indica que el sistema radical colonizó adecuadamente el contenedor, y esto sólo se consigue si existe una parte aérea suficientemente grande y productiva (Oliet *et al.*, 2011). Por lo que se aprecia que un buen cepellón exige siempre buena consistencia, un buen crecimiento del sistema radical durante un tiempo y un volumen determinado de contenedor, propiciándole a la planta un adecuado manejo nutricional.

## Conclusiones

Todos los sustratos utilizados en este estudio arrojaron buenos resultados en la emergencia de las semillas de crotalaria.

Se demostró que el suelo combinado con biochar y compost propició mayor desarrollo en cuanto a la altura de la planta y diámetro de tallo, pero esto es comparable a la combinación con biochar y humus de lombriz.

Las combinaciones de sustratos de suelo con biochar, suelo con compost y suelo con biochar y humus de lombriz dieron lugar a mayor emisión de hojas, también presentan similitud con los resultados obtenidos los tratamientos que contienen humus de lombriz y biochar enriquecido con compost. Además, todos los tratamientos elaborados dieron lugar a un buen o aceptable desarrollo de las raíces, excepto el tratamiento que sólo tenía biocarbón.

De acuerdo a la formación de cepellones de calidad los mejores sustratos a utilizar serían suelo, suelo con compost y la combinación de suelo con biochar y humus de lombriz.

## Agradecimientos

A los propietarios del patio agroecológico La Luz; a la Universidad de Matanzas, Cuba, por la oportunidad de formar parte de sus procesos académicos con los resultados obtenidos en el presente ensayo; a los proyectos *Nuevos abonos órgano-minerales para la nutrición de las plantas y la restauración de los suelos*, de la EEPFIH y financiado por Fondo Nacional de Ciencia e Innovación, perteneciente al Ministerio de Ciencia Tec-

nología y Medio Ambiente y *Reciclaje de nutrientes de biomasa y carbono para fertilización orgánica avanzada en una agricultura eco-inteligente y clima positiva en Cuba* (Bio-C, IZ08Z0\_177346), de la Fundación Nacional de Ciencia de Suiza y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE); a la Red Latina del Biochar; al Dr. José Manuel Palma García, de la Universidad de Colima, México, por donar las semillas de crotalaria empleadas y ayudar en todo lo posible para la realización de este trabajo.

## Literatura citada

- Acosta, C.M.; Gallardo, C.S.; Kämpf, A.N. y Bezerra, F.C. (2008). Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. *Rev. de Investig. Agropecu.* 5(2): 93-106.
- Albuquerque, J.A.; Calero, J.M.; Barrón, V.; Torrent, J.; del Campillo, M.C.; Gallardo, A. y Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 177(1): 16-25.
- Anawar, H.M.; Akter, F.; Solaiman, Z.M. y Strezov, V. (2015). Biochar: an emerging panacea for remediation of soil contaminants from mining, industry and sewage wastes. *Pedosphere.* 25(5): 654-665.
- Aróstegui, C.K. (2019). *Evaluación del efecto de biochar de residuos desacha inchi y cacao sobre suelos degradados de Campoverde. Ucayali, usando Zea mays como indicador* Tesis de titulación. Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
- Aruquipa, O. (2021). *Comportamiento agronómico de dos variedades de col rizada (brassica oleracea var. sabellica) bajo dos frecuencias de aplicación de caldo de humus de lombriz en el municipio de El Alto.* Tesis doctoral. Facultad De Agronomía, Universidad Mayor De San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Astulla, D.A. (2019). *Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de Phaseolus vulgaris L. var. Canario en un suelo ácido-Satipo.* Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Satipo, Perú.
- Camargo, S.L.; Montaña, N.M. y Montaña, S.A. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria.* 13(7): 1-19.
- Campos, M.A.R. (2018). El uso de pesticidas en la agricultura y su desorden ambiental. *Revista Enfermería la Vanguardia.* 6(2): 40-47.
- Carter, S.; Shackley, S.; Sohi, S.; Suy, T.B. y 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(2): 404-418.
- Castillo, V. (2014). *Abonamiento orgánico en base a cuatro niveles de humus de lombriz y dos sistemas de siembra en el cultivo de zanahoria (Daucus Carota L.) Var. Chantenay en condiciones de zonas áridas.* Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- Concilco, E.; Moreno, A.; García, M.; Quiroga, H. M. y Ángel, O. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Revista Terra Latinoam.* 36(3): 221-228.
- Dorais, M.; Martinez, C.; Diop, M.; Thériault, M.; Menard, C. y Pepin, S. (2015). Assessing the potential of biochar as a growing media component for potted plants. In *International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture (INNOHORT)*. 1137: 19-26.
- Escalante, A.; Pérez, G.; Hidalgo, C.; López, J.; Campo, J.; Valtierra, E. y Etchevers, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista Terra Latinoam.* 34(3): 367-382.
- Faure, C.; Montagnon, F. y Fontvielle, F. (2014). *Guide technique. Réussir la plantation forestière. Contrôle et réception des travaux de reboisement (3<sup>a</sup> ed).* Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt. [https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/guide\\_reussir\\_la\\_plantation\\_forestiere\\_201501\\_a4\\_cle8a81f1.pdf](https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/guide_reussir_la_plantation_forestiere_201501_a4_cle8a81f1.pdf) (Consultada el 15 de agosto de 2022).
- Gámez, C.F.J.; Bañuelos, T.O.; Perdomo, R.F.; Vázquez, S.J.M. y Trujillo, C.A. (2019). *La Crotalaria juncea L. una alternativa forrajera para la ganadería en el trópico mexicano.* VI Congreso Mundial de Ganadería Tropical. Tampico, Tamaulipas, México. Pp. 23-26.

- Gómez, L.F.; Ríos-Osorio, L. y Eschenhagen, M.L. (2015). Las bases epistemológicas de la agroecología. *Agrociencia*. 49(6): 679-688.
- Gonzales, J.; López, R. y Gutiérrez, U. (2020). *Efectos del Biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados*. Tesis de diploma. Universidad Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- Gonzales, P. (2021). *Elaboración de compost utilizando corteza de Ceiba pentandra (L.) Gaertn. (Lupuna blanca) y Guazuma crinita Mart. (Bolina blanca) en un sistema cerrado horizontal con rotación en Pucallpa-Ucayali*. Facultad De Ciencias Forestales Y Ambientales, Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú.
- Guevara, D. (2021). *Influencia de tres dosis de humus de lombriz (Eisenia foetida) en el crecimiento y desarrollo de la tara (Caesalpinia spinosa)*. Tesis de diploma. Facultad De Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú.
- Hernández, J.A.; Pérez, J.J.M.; Bosch, I.D. y Castro, S.N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA. Cuba. 93 p.
- Herrera, J. (2020). *Estudio de viabilidad de un semillero hortícola: "Semilleros del Duero"*. Tesis de diploma. Facultad De Comercio, Universidad De Valladolid. Valladolid, España.
- Husson, O. (2013). Redox Potential (Eh) and pH as Drivers of Soil/Plant/Microorganism Systems: A Transdisciplinary Overview Pointing to Integrative Opportunities for Agronomy. *Plant Soil*. 362(1): 389-417.
- Jindo, K.; Sánchez, M. A.; Hernández, T.; García, C.; Furukawa, T.; Matsumoto, K. y Bastida, F. (2012). Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes. *Sci. Total Environ*. 416(1): 476-481.
- Kamali, M.; Sweygens, N.; Al, S.; Appels, L.; Aminabhavi, T.M. y Dewil, R. (2022). Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chem. Eng. J*. 428(1): 131-189.
- Martínez, D.M.; Urango, I.; Marrugo, S. y Marrugo, J.L. (2017). *Efecto de la aplicación de enmiendas sobre suelos mineros contaminados con metales pesados en el crecimiento y desarrollo de la especie Cucumis sativus*. Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe, Barranquilla. Pp. 192-194.
- Mascarini, L.; Lorenzo, G.; Svartz, H.; Pesenti, S. y Amado, S. (2012). Tamaño del contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*. 18(1): 71-77.
- Mathers, H.M.; Lowe, S.B.; Scagel, C.; Struve, D.K. y Case, L.T. (2007). Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology*. 17(2): 151-162.
- Melgares, J.; González, D. y Bastida, C. (2020). Abonos verdes: La mejor manera de proteger y fertilizar la tierra-Blog de Biohuerto. <https://www.biohuerto.es/blog/abonos-verdes/> (Consultado 15 septiembre 2022).
- Nakasaki, K.; Hirai, H.; Mimoto, H.; Quyen, T.N.M.; Koyama, M. y Takeda, K. (2019). Succession of microbial community during vigorous organic matter degradation in the primary fermentation stage of food waste composting. *Sci. Total Environ*. 671: 1237-1244.
- Nasri, N.; Saïdi, I.; Kaddour, R. y Lachaâl, M. (2015). Effect of salinity on germination, seedling growth and acid phosphatase activity in lettuce. *Am. J. Plant Sci*. 6(01): 57-63
- Oliet, J.A.; Salazar, J.M.; Villar, R.; Robredo, E. y Valladares, F. (2011). Fall fertilization of Holm oak affects N and P dynamics, root growth potential, and post-planting phenology and growth. *Ann. For. Sci*. 68(3): 647-656.
- Oliverio, M. (2014). *Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (Tabebuia donnell-smithii Rose); Santa Catalina La Tinta, Alta Verapaz*. Tesis de grado. Facultad De Ciencias Ambientales Y Agrícolas, Universidad Rafael Landívar. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala.
- Olmo, E. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal*. Tesis doctoral. Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Universidad De Córdoba. Córdoba, España.
- Palma, J.M. y Milera, M. (2022). Evidencias innovadoras en el manejo sostenible de agroecosistemas ganaderos tropicales en tiempos de COVID-19. *Abanico Agroforestal*. 4: e2021-38.
- Paneque, V.M.P. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. Ediciones INCA. Cuba. 153 p.

- Papathanasiou, F.; Papadopoulos, I.; Tsakiris, I. y Tamoutsidis, E. (2012). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agriculture y Environment*. 10(2): 677-682.
- Pentón, G.; Velázquez, M.; Brea, O.; Milera, M. y Martín, G.J. (2022). El biochar para optimizar el reciclaje de biomasa y su transformación en abonos de alta calidad. *Memorias de la Convención de Producción Animal y Agrodesarrollo "AGROPAT"*, ISBN 978-959-7171-86-7. Pp. 1832-1836.
- Pérez, G.; Hidalgo, C.; Etchevers, J.D.; de Jong, B.; Salgado, S.; Valtierra, E. y López, M. Á. (2021). Evaluación de biocarbón de caña de azúcar en el desarrollo de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en condiciones de vivero. *REVISTA Terra Latinoam*. 39: 1-9.
- Quispe, J.M. (2019). *Evaluación de tres niveles de biochar en el cultivo de canónigo (Valerianella locusta) bajo ambiente atemperado en la Estación Experimental de Patacamaya*. Tesis doctoral.
- Rebolledo, A.; Pérez, G.; Hidalgo, C.; López, J.; Campo, J.; Valtierra, E. y Etchevers, J.D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoam*. 34(3): 367-382.
- Reyes, G. (2018). *Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biochar como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd.* Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- Rienzo di, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Pp. 336.
- Riveros, L. (2017). *Comportamiento agronómico del cultivo de canónigo (Valerianella locusta) bajo tres niveles de humus de lombriz en ambiente atemperado*. Tesis de grado. Facultad De Agronomía, Universidad Mayor De San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Rosa, J.M.; Santa, A.; Fernández, E.; López, R. y Campos, P. (2021). *Aplicación de residuos vegetales transformados para una agricultura sostenible: efectos en la germinación, necesidades hídricas y productividad*. IV Congreso Internacional de Tecnologías Limpias, Bogotá. En: (IRNAS) Comunicaciones congresos. Pp. 6.
- Schaller, M. y Ehlers, T.A. (2021). Vegetation and climate effects on soil production, chemical weathering, and physical erosion rates. *Earth Surf. Dyn.* 2021: 1-26. DOI:10.5194/esurf-2021-22
- Schmidt, H. P. y Wilson, K. (2012). 55 uses of biochar. *Ithaka J.* 1(5): 286-289.
- Tian X.; Li C.; Zhang M.; Wan Y.; Xie Z. y Chen B. (2018). Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PLOS ONE*. 13(1): e0189924.
- Zwieten van, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Downie, A.; Berger, E.; Rust, J. y Scheer, C. (2010). Influence of biochars on flux of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from Ferrosol. *Soil Research*. 48(7): 555-568.
- Zucconi, F. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*. 2(2): 54-57.

Recepción: 26 de enero de 2023

Aceptado: 26 de marzo de 2023