

Recubrimiento en forma de bola con barro, biochar y nutrientes a semillas de *Moringa oleifera* Lam 1783 - efecto sobre su emergencia

Ball Coating with Mud, Biochar and Nutrients to *Moringa oleifera* Lam 1783 Seeds - Effect on their Emergence

Esther Beatriz Norda Castro¹ <https://orcid.org/0000-0002-9011-9544>

Gertrudis Pentón Fernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-4253-9317>

Lina María Melgarejo Florez² <https://orcid.org/0000-0003-1798-0765>

José Manuel Palma García^{2,3} <https://orcid.org/0000-0001-6061-546X>

¹Estación Experimental de Pastos y Forraje Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba.

²MIPPE-FMVZ, Universidad de Colima, México.

³Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima, México.

Autor de correspondencia: palma@uacol.mx

Resumen

Objetivo. Evaluar la emergencia de semillas de *Moringa oleifera* recubiertas con barro, biochar y enriquecidos con diferentes nutrientes.

Materiales y métodos. Se utilizaron dos semillas *M. oleifera* por bola. El biochar (B) provenía de podas de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*). Se utilizó un diseño completamente al azar con siete tratamientos: T₁ siembra directa (SD), el resto contenían barro asociados a T₂ Vermicomposta (Vc), T₃ Mantillo (M), T₄ Biochar molienda manual [Bmma] + microorganismos nativos [MO] (BmmaMO), T₅ Bmma + lixiviados de lombriz [L] (BmmaL), T₆ Biochar molienda mecánica (Bmme) + microorganismos nativos (BmmeMO) y T₇ Bmme + lixiviados (BmmeL) en bolsas como macetas con 15 repeticiones por tratamiento. **Resultados.** El tratamiento de BmmaMO mostró la más

Abstract

Objective. To evaluate the emergence of *Moringa oleifera* seeds coated with mud, and biochar, and enriched with different nutrients.

Materials and methods. Two *M. oleifera* seeds per ball were used. The biochar (B) came from prunings of Mexican lemon (*Citrus aurantifolia*). A completely randomized design with seven treatments was used: T₁ direct seeding (DS), the rest contained mud associated with T₂ Vermicompost Vc, T₃ Mulch (M), T₄ Biochar manual milling [Bmam] + native microorganisms [MO] (BmamMO), T₅ Bmam + earthworm leachates [L] (BmamL), T₆ Biochar mechanical milling (Bmem) + native microorganisms (BmemMO) and T₇ Bmem + earthworm leachates (BmemL) in bags as pots with 15 replicates per treatment.

Results. The BmamMO treatment showed the fastest seeding emergence with 46.7% at

rápida emergencia de plántulas con 46.7% a los tres días, sin emergencia en el resto de los tratamientos y al quinto día este tratamiento tuvo 93.3% de plántulas emergidas, superior estadísticamente al resto, excepto con BmmaL. La siembra directa y el mantillo tuvieron a los seis días valores de emergencia de 26.7 y 13.3%, respectivamente. La mayor emergencia se logró en vermicomposta con 83.5% y la menor con BmmeL con 36.5% a los 15 días, el resto compartieron similitud estadística. **Conclusión.** El uso de biochar con molienda manual enriquecido con microorganismos nativos potencializa la emergencia a través de las bolas de semillas de *Moringa oleifera* y el biochar con molienda mecánica afecta negativamente este proceso. Las bolas con vermicomposta también son una opción por su alta emergencia.

Palabras clave

Arbórea, forraje, nutrientes, suelo.

3 days, while no emergence in the rest of the treatments, and by the fifth day of this treatment had 93.3% of seedlings emerged, statistically superior to the rest, except with BmmaL. Direct seeding and mulch emerged for up to 6 days at 26.7 and 13.3%, respectively. The highest emergence was achieved in vermicompost with 83.5% and the lowest with BmmeL with 36.5% at 15 days, the rest shared statistical similarity. **Conclusion.** The use of biochar with manual grinding enriched with native microorganisms potentiates the emergence through *Moringa oleifera* seed balls and biochar with mechanical grinding negatively affects this process. Vermicompost pellets are also a recommended option due to their high emergence.

Keywords

Tree, forage, nutrients, soil.

Introducción

Las bolas de semillas, bombas de semillas o *nendo dango*, que en japonés significa bola de arcilla, son semillas recubiertas con arcilla y diferentes sustratos orgánicos (mantillo, estiércol, composta, entre otros), que permiten mayor permanencia y capacidad de emergencia de simientes gámicas, depositadas en terrenos con condiciones de suelos degradados, factores de estrés abióticos prolongados y protección de depredadores (Kannan *et al.*, 2021).

Es una tecnología social pues tiene características de simplicidad, fácil aplicación, bajo costo, replicabilidad, múltiples beneficiarios, impacto social probado y enfoque sustentable (Palma y Zorrilla, 2021).

Una experiencia exitosa del uso de carbón como ingrediente de las bolas de semillas es la desarrollada en Kenya, a través de una empresa social que utiliza equipo de fabricación de briquetas, aplican polvo de carbón, nutrientes y aglutinantes en su elaboración, con mezcla de especies locales, entre ellas, leguminosas de árboles forrajeros, en donde sobresale el género *Acacia* y se dispersan mediante catapultas o drones (Wanjira *et al.*, 2020).

Las cualidades de las bombas de semillas dependen de los materiales utilizados en su confección y constituyen una necesidad de explorar nuevas formulaciones que aporten posibilidades de optimización de los recursos. Una de ellas puede ser el uso del biochar, producto que se puede obtener de la reutilización o reciclaje de biomasa, el cual, puede situarse como un bioabono potencial debido a su alta porosidad, capacidad de retención de agua y nutrientes.

Sin embargo, resultan escasos los estudios que aborden el efecto del recubrimiento de semillas con biochar sobre la germinación, emergencia y crecimiento de plántulas y que utilicen al biochar enriquecido con microorganismos nativos para inducir la interacción planta-microbio-suelo (Zhang *et al.*, 2022).

La elección de la moringa para ser utilizada en la elaboración de bolas de semillas se debe a que es un árbol multipropósito, de rápido crecimiento, cultivado en tierras marginales y en condiciones limitadas de agua, tiene características nutricionales importantes; es empleado en humanos como alimento, medicina y también como forraje para el ganado (Nouman *et al.*, 2014).

Por lo anteriormente planteado, este trabajo tiene por objetivo evaluar la influencia del recubrimiento de semillas de *Moringa oleifera* con barro, biochar y enriquecidos con diferentes nutrientes en su emergencia.

Materiales y métodos

Ubicación

El estudio se realizó entre los meses octubre y noviembre de 2022 en el área experimental de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FCBA) de la Universidad de Colima, campus de Tecomán, Colima, México (18° 56' 59" latitud N y 103° 53' 43" longitud O), con una altitud de 56 msnm, precipitación pluvial de 350 mm, temperatura máxima promedio de 32 °C y mínima de 25 °C, con humedad relativa de 74% (Google Earth, 2022).

Procedimiento experimental

Se utilizaron siete tratamientos con 15 repeticiones cada uno, cada bola contenía una relación de 3:1 barro con biochar y nutrientes (cuadro 1). El ensayo se llevó a cabo a plena exposición solar, se utilizaron bolsas con sustrato proveniente de suelo de tipo franco arenoso, en donde se depositaron las bolas de semillas en bolsas como macetas.

El lixiviado de lombriz y la vermicomposta se obtuvieron del área correspondiente de la FCBA, los cuales estuvieron dentro del rango adecuado de contenido de materia orgánica para los fertilizantes orgánicos.

La arcilla se coló para obtener un tamaño de partícula de 0.3 mm mediante tamices (Standard Test SIEVE, WS. Tyler, USA), el mantillo se obtuvo de la descomposición de hojarasca y los microorganismos nativos se desarrollaron en la finca del área agropecuaria, basado en los principios de la agricultura biodinámica (Endelman *et al.*, 2014) con un tiempo de almacenamiento de dos años basado en su fecha de elaboración, y para la bioaumentación de los microorganismos nativos se empleó el enfoque propuesto por Cho (2019). El biochar provenía de biomasa leñosa de podas de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) mediante el método Kon-tiki, basado en la sugerencia de Pentón *et al.* (2021), la molienda manual se realizó con piedra a semejanza de un metate, el tamaño de partícula se ubicó entre 2.00 a 0.15 mm y para la molienda mecánica se utilizó una criba de 1 mm con molino de la marca Wiley.

Cuadro 1

Componentes para la elaboración de bolas de semillas con *Moringa oleífera*

Componente	Tratamientos						
	1	2	3	4	5	6	7
	SD	Vc	M	BmmaMO	BmmaL	BMmeMO	BMmeL
Arcilla*		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Biochar**				✓	✓		
Biochar***						✓	✓
MO				✓		✓	
Lixiviado					✓		✓
Vermicomposta		✓					
Mantillo			✓				
Siembra directa	✓						

*Arcilla 30 g, Lixiviado de lombriz (L), Vermicomposta (Vc) 10 g, Mantillo (M) 10 g, Microorganismos nativos de finca (MO), **Biochar molienda manual (Bmma) 10 g (tamaño 2.00 a 0.15 mm), ***Biochar molienda mecánica (Bmme) 10 g (tamaño 1 mm).

Los equipos de laboratorio empleados fueron:

- Balanza técnica para pesar los biomateriales seleccionados en la confección de las bolas con precisión de 0.01 kg.
- Pipeta, se utilizó para la toma de 5 mL de H₂O y lograr una consistencia homogénea de la mezcla.
- pH-metro digital marca Scientific Instruments IQ150, para medir el pH de los biomateriales.
- Molienda mecánica con molino marca Wiley, para disminuir el tamaño de partícula del biochar a 1 mm.
- La conductividad eléctrica se midió con ECTest 11+ de la marca Waterproof.

El procedimiento experimental para la elaboración de las bolas de semillas fue primero tamizar la arcilla para posteriormente mezclar con la vermicomposta, mantillo o la mezcla de biochar molido manual o mecánicamente con microorganismos nativos o lixiviados de lombriz embebido por 24 horas hasta saturación, en donde se introdujeron por bola dos semillas de *M. oleífera* recién cosechadas, las cuales presentaron 90% de germinación. El tamaño de las bolas fue de $30.6 \pm 2.5 \times 35.3 \pm 2.8$ y el tamaño de las semillas fue de $12.5 \pm 1.5 \times 10.7 \pm 0.9$.

Se presentan los valores de pH y de conductividad eléctrica de los materiales utilizados en la elaboración de bolas de semillas y, además, la capacidad de retención de agua del biochar molido manual o mecánicamente (cuadro 2).

Cuadro 2

Valores de pH y conductividad eléctrica (CE) de los componentes para la elaboración de bolas de semillas

Componente	pH	CE (mS/cm)	CR
Arcilla	6.8	0.70	-
Lixiviado	7.2	14.80	-
Mantillo	5.8	0.13	-
Vermicomposta	7.3	1.98	-
Microorganismos nativos de finca	3.7	1.17	-
Biochar	7.0	0.35	-
Arcilla + vermicompost	7.2	2.62	-
Arcilla + lixiviado	7.0	3.80	-
Arcilla + mantillo	6.9	0.11	-
Biochar molienda manual + lixiviado	8.3	8.75	2.17
Biochar molienda manual + microorganismos	6.7	1.82	2.14
Biochar molienda mecánica + lixiviado	4.5	4.49	1.40
Biochar molienda mecánica + microorganismos	9.4	3.39	1.43

CE= Conductividad eléctrica, CR= Capacidad de retención.

Una vez obtenidas las bolas de semillas se pusieron a secar al sol por ocho horas hasta lograr una consistencia fuerte, y se completó el tiempo de exposición al ambiente hasta cumplidas las 24 horas.

El depósito de las bolas de semillas fue superficial, se utilizaron como macetas bolsas de nylon de polietileno negro con capacidad de 4 kg de suelo como macetas y que estaban horadas en el fondo, el riego se estableció con un régimen de cada tres días con 400 mL de agua, expuestas a pleno sol.

Durante 15 días de manera diaria se evaluó la presencia de plántulas de *M. oleifera* por bola/bolsa, sin importar si las dos semillas habían emergido, para este caso se consideraron 15 bolas por tratamiento:

$$\text{Plántulas en bola de semillas/bolsa} = \frac{\text{Número de bolas con plántulas}}{\text{Total de bolas sembradas}} * 100$$

En el caso de la emergencia de las semillas/bola/bolsa se consideró el mismo procedimiento, pero en este caso se tomó el total de semillas, equivalente a dos semillas por bola y 15 repeticiones para un total de 30 semillas por tratamiento, se les aplicó la fórmula (Ede *et al.*, 2015):

$$\text{Emergencia de semillas/tratamiento} = \frac{\text{Número de semillas emergidas}}{\text{Total de semillas sembradas}} * 100$$

El índice de velocidad de emergencia (número de plántulas/día) se cuantificó como día inicial cuando apareció la primera plántula y hasta el séptimo día post emergencia, en que todos los tratamientos mostraron emergencia de plántulas, para ello se utilizó la fórmula propuesta por Maguire (1962).

$$\text{Índice de vvelocidad de emergencia} = \sum \frac{NP}{D} + \frac{NP}{D} + \frac{NP}{D} + \dots \frac{NP}{D}$$

Donde: IVE= Índice de velocidad de emergencia, NP= número de plántulas emergidas, y D= días después de la siembra.

El diseño fue completamente al azar, para lo cual se utilizó un ANOVA y en caso de diferencia de medias se utilizó la prueba múltiple de Tukey ($P < 0.05$), con el apoyo del paquete estadístico (Statistix versión 8.0, 2003).

Resultados

El análisis por día de emergencia de al menos una plántula por bola/bolsa a través del tiempo se muestra en el cuadro 3. Existió diferencia estadística entre tratamientos, en donde la emergencia más rápida se presentó en el tratamiento bolas de semillas con biochar molido manual con microorganismos nativos a los tres días y sobresale este tratamiento hasta los cinco días, en donde tuvo 93.3% de emergencia a través de presentar al menos una plántula comparada con el resto. Mientras el caso de bolas de semillas en siembra directa y con vermicomposta se registró las primeras emergencias hasta el sexto día. El tratamiento que contenía biochar molido mecánicamente con lixiviados fue el tratamiento que menor emergencia presentó en todo el ensayo.

Cuadro 3

Bolas de semillas con plántulas de *Moringa oleifera* emergidas (%) por bolsa a través del tiempo con diferentes fuentes de nutrientes

Días	SD	Vc	M	Biochar				EEM	P
				BmmaMO	BmmaL	BmmeMO	BmmeL		
3	0.0 b	0.0 b	0.0 b	46.7 a	0.0 b	0.0 b	0.0 b	7.13	0.001
4	0.0 b	0.0 b	13.3 b	60.0 a	0.0 b	13.3 b	0.0 b	9.81	0.001
5	0.0 c	0.0 c	33.3 bc	93.3 a	53.3b	26.7 bc	13.3 c	13.13	0.001
6	26.7 c	13.3 c	40.0 bc	93.3 a	73.3ab	33.3 bc	13.3 c	15.30	0.001
7	66.7 ab	66.7 ab	53.3 abc	93.3 a	86.7a	33.3 bc	13.3 c	15.71	0.001
8	86.7 a	86.7 a	53.3 ab	93.3 a	93.3a	33.3 b	13.3 b	13.88	0.001
9	86.7 a	86.7 a	53.3 ab	93.3 a	93.3a	33.3 b	13.3 b	13.87	0.001
10	86.7 a	93.3 a	53.3 ab	93.3 a	93.3a	40.0 b	26.7 b	14.19	0.001

Continúa en página siguiente...

Viene de página anterior...

Días	SD	Vc	M	Biochar					
				BmmaMO	BmmaL	BmmeMO	BmmeL	EEM	P
11	86.7 a	93.3 a	53.3 ab	93.3 a	93.3a	40.0 b	26.7 b	14.19	0.001
12	86.7 ab	100.0 a	53.3 bc	100.0 a	93.3 ab	40.0 c	26.7 c	13.27	0.001
13	86.7 a	100.0 a	66.7 ab	100.0 a	100.0 a	46.7 b	40.0 b	12.99	0.001
14	86.7 a	100.0 a	73.3 ab	100.0 a	100.0 a	46.7 b	40.0 b	12.78	0.001
15	86.7 ab	100.0 a	73.3 abc	100.0 a	100.0 a	53.3 bc	40.0 c	12.78	0.001

n= 15, SD= Siembra directa, Vc= Vermicomposta, M= Mantillo, BmmaMO= Biochar molienda manual con microorganismos nativos de finca, BmmaL= Biochar molienda manual con lixiviados, BmmeMO= Biochar molienda mecánica con microorganismos nativos de finca, BmmeL= Biochar molienda mecánica con lixiviado.

a,b,c: distinta letra en reglón significa diferencia estadística (Tukey P<0.05).

En el cuadro 4 se indica, para cada tratamiento, el día inicial de emergencia y el índice de velocidad de emergencia; destaca la rapidez y mayor velocidad de emergencia para la bola de semilla del tratamiento biochar molienda manual con microorganismos nativos de finca, que resultó mejor comparada con el resto de los tratamientos.

Cuadro 4

Días inicial de emergencia e índice de velocidad de emergencia en bolas de semilla de *Moringa oleifera*

	Día inicial de emergencia	Índice de velocidad emergencia (número plántulas/día)
BmmaMO	3	2.34 a
BmmaL	5	1.05 b
Mantillo	4	0.73 b
BmmeMO	4	0.56 b
Siembra directa	6	0.42 b
Vermicomposta	6	0.35 b
BmmeL	5	0.20 b
EEM		0.34
P		0.001

BmmaMO= Biochar molienda manual con microorganismos nativos de finca, BmmaL= Biochar molienda manual con lixiviados, BmmeMO= Biochar molienda mecánica con microorganismos nativos de finca, BmmeL= Biochar molienda mecánica con lixiviado.

Las bolas de semillas con mayor número de semillas emergidas fueron las que se combinaron con vermicomposta, comparadas con aquellas que tuvieron biochar molido mecánicamente con lixiviado, ambas compartieron similitud estadística con el resto de los tratamientos (cuadro 5).

Cuadro 5
Emergencia de *Moringa oleifera* por semillas en bola/maceta

Tratamientos	2 semillas en bola/maceta	Emergencia (%)
Vermicomposta	1.67a	83.5
Siembra directa	1.47ab	73.5
BmmaL	1.47ab	73.5
BmmaMO	1.27ab	63.5
Mantillo	1.20ab	60.0
BmmeMO	0.93ab	46.5
BmmeL	0.73b	36.5
EEM	0.77	
P	0.006	

BmmaMO= Biochar molienda manual con microorganismos nativos de finca, BmmaL= Biochar molienda manual con lixiviados, BmmeMO= Biochar molienda mecánica con microorganismos nativos de finca, BmmeL= Biochar molienda mecánica con lixiviado.

Discusión

Previamente, Fagbenro *et al.* (2015) incorporaron biochar de *Gliricidia sepium* más fertilizante inorgánico como enmienda en el desarrollo plantas de moringa en vivero, niveles de 0, 22, 44, 88 y 176 g de biochar en combinación de NPK 15:15:15 en cinco proporciones de 0, 0.3, 0.6, 1.2 y 2.4 g a 10 kg en suelo arenoso, tuvo un efecto comparable entre la aplicación de biochar de gliricidia con el fertilizante inorgánico en el desarrollo de plantas de moringa, pero no en su interacción. Esto abre la posibilidad de utilizar biochar en sustitución de fertilizantes inorgánicos por precios altos o inexistencia.

Asimismo, Soares *et al.* (2019) indicaron que la aplicación de biochar de diferentes fuentes mejoran las propiedades físicas y químicas del sustrato, aunque este efecto no siempre es significativo; existe un mejor crecimiento de moringa cuando se usa biochar. Los resultados obtenidos en este trabajo con el uso de bolas de semillas asociadas a biochar concuerdan con Fagbenro (2015) y Soares *et al.* (2019), quienes concluyen que la incorporación de biochar permite mejorar el desarrollo de las plántulas de moringa, pero contrastan con el uso de biochar con molienda mecánica a 1 mm de partícula, pues existió un efecto detrimental sobre la emergencia de *M. oleifera*.

La elaboración de bolas de semilla es un procedimiento fácil, del cual, en forma tradicional es necesario tener los materiales disponibles y tiempo para invertir en el proceso. En el presente ensayo, un aspecto relevante es que se utilizó una proporción de 3:1 de arcilla con otro de los materiales como biochar, mantillo o vermicomposta, diferente a lo señalado por Kannan *et al.* (2021), quien recomendó una proporción de cinco partes de arcilla por tres partes de composta. Es conocido que, mientras más arcilla se incorpore,

la bola tenderá a ser más dura; sin embargo, a través del ensayo se observó que no existió limitante para la emergencia por este tipo de relación.

Se sugiere que en la realización de las bolas de semillas de especies arbóreas se utilicen de una hasta cuatro semillas, en el presente caso se utilizaron dos, con un valor máximo de porcentaje de emergencia en aquellas donde se utilizó vermicomposta de 83.5%, superior a lo reportado por Anguiano *et al.* (2017), quienes indicaron 67.0% de emergencia con el empleo de bacterias lácticas e inclusive Dao *et al.* (2017) encontraron valores de hasta 90.0% pero lo relacionaron con el tamaño de la semilla y con su vigor. Al respecto, se puede considerar incrementar a tres semillas de moringa en las bolas, para aumentar la cantidad de semillas emergidas por maceta o en el campo cuando se realicen aplicaciones productivas. Por lo tanto, esta tecnología, que es eficaz con diferentes especies de plantas y propósitos, puede ser una opción en el establecimiento de sistemas silvopastoriles al emplear moringa como forraje en condiciones de trópico seco y con el ahorro de preparación de terreno a través de evitar el uso de combustible fósil y maquinaria.

La moringa tiene un alto valor de germinación y emergencia de forma directa, aunque en este caso destacan los valores asociados a vermicomposta, los cuales mejoraron la emergencia de las plántulas de moringa, ello puede estar asociado al aporte de nutrientes y microorganismos benéficos que estimulen la emergencia de las plántulas; asimismo, la incorporación de sustancias orgánicas y microorganismos benéficos aportan nutrientes asimilables, además de mejorar las condiciones de humedad, conductividad eléctrica, potencial redox y pH, lo cual explica los presentes resultados (Pentón *et al.*, 2020).

El uso de biochar con molienda manual permitió mejorar la rapidez de germinación de la semilla de moringa cuando se asoció a microorganismos nativos de finca, ello complementa esta tecnología, puesto que incorpora materiales que están al alcance de los productores y que son obtenidos en sus parcelas, fincas o ranchos, lo cual promueve tecnologías sociales, como lo indican Palma y Zorrilla (2021), así como tecnologías de ultra bajo costo, como lo propone Cho (2019). Además, resulta en una estrategia que aporta microorganismos que incrementa el desempeño de los vegetales al favorecer la germinación, emergencia y crecimiento de la planta (Rocha *et al.*, 2019), como se pudo obtener en la presente propuesta, aunque no existe una especificidad de los microorganismos utilizados, sino que se considera un consorcio. Diferente al planteamiento de Głodowska *et al.* (2017), quienes recubrieron semillas de soya con diferentes fuentes de biochar de madera dura o blanda, combinada con *peat moss* e inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* cepa 532C, sin efecto en la germinación, pero sí en el peso fresco en favor del biochar de madera blanda y *peat moss* asociados a *B. japonicum*, efecto diferente al del presente ensayo, en donde se logró una respuesta positiva en la emergencia cuando se utilizó un consorcio microbiano inespecífico.

Asimismo, en la elaboración de bolas de semillas se consideran tres tipos de recubrimientos, entre ellos están los aglutinantes, los rellenos y los ingredientes activos, en esta investigación se basa en la incorporación de ingredientes activos que permitan, como en el

caso del biochar, acarrear microorganismos y nutrientes para mejorar la supervivencia de las semillas, aumentar la resistencia al estrés abiótico y biótico, favorecer la germinación, emergencia y crecimiento, como lo propone Zhang *et al.* (2022) en su revisión.

Cabe señalar que cuando se utiliza biochar como sustrato o enmienda de los suelos, enriquecido con microorganismos eficientes IHPLUS®BF, y se ajusta el potencial redox a valores óptimos, como los recomendados por Husson (2012) de 400mV, disminuye el pH hasta valores cercanos a la neutralidad, como el obtenido en el presente estudio, a la vez que aumenta el contenido de sólidos en comparación con el biochar embebido en agua, lo que favorece mayor presencia de poblaciones microbianas benéficas que consumen y retienen agua al interior del biochar (Pérez-Reyes *et al.*, 2022).

Según Guo *et al.* (2012), el biochar se caracteriza por un contenido de carbono total entre 29.0 a 46.1 g/100 y la densidad aparente es óptima de 0.3g/cm³; lo que se explica por la naturaleza porosa del biochar, con un amplio rango de tamaño de los poros y una elevada área superficial que favorece la retención de nutrientes y microorganismos, semejante a la aportación de Hagemann *et al.* (2017), quienes además indican la viabilidad del biochar de mantener sus propiedades a través del tiempo, todo ello lo ubica como un bioabono de alta calidad (Pentón *et al.*, 2021).

Respecto a los problemas de baja emergencia con biochar con molienda mecánica, se asocia una reducción potencial de los poros disponibles en la superficie debido a la interacción con el molino (Marrero, 2020), lo que produjo una menor capacidad de retención de líquidos, pero con una elevada densidad aparente al obtener un biochar con un tamaño menor y homogéneo de partícula, lo cual favoreció la aglutinación y compactación en las bolas, con un menor acceso al agua y al oxígeno por parte de las semillas en el proceso de germinación y emergencia.

Cabe mencionar que es conocido que el encharcamiento es un factor adverso para el desarrollo de las plántulas de moringa (Nouman *et al.*, 2014; Pérez, 2010). En ese sentido, Anguiano *et al.* (2017) indicaron que el exceso de agua a través del riego en la fase de vivero afectó la emergencia con valores de 34.0%, similares a 36.5% con bolas de semillas asociadas a biochar molido mecánicamente con lixiviado del presente ensayo. También se asemejó a los resultados de Barraza (2017), quien utilizó tratamientos germinativos con imbibición de agua y disminuyó el porcentaje de germinación de 66.0% sin agua, de 37.0 a 28.0% con 48 y 72 horas de imbibición, respectivamente.

Conclusiones

El empleo de biochar con molienda manual asociado a microorganismo nativos de finca en la elaboración de bolas de semillas aceleró la emergencia y la posibilidad de tener la mayor cantidad de plántulas emergidas/maceta con relación a las otras estrategias utilizadas.

La vermicomposta en la composición de las bolas de semillas se destacaron como una opción de mejorar emergencia de plántulas de moringa.

En 15 días de prueba, los tratamientos que utilizaron biochar molido mecánicamente enriquecido con lixiviados o microorganismos nativos de finca tuvieron los menores valores e índice de velocidad de emergencia.

Agradecimientos

Al Instituto ITHACA por el apoyo económico recibido a través de una beca para la realización de una estancia de investigación de la primera autora en la Universidad de Colima, México. A la pasante de ingeniera agrónoma Ximena Godínez Maciel por el apoyo en el laboratorio.

Literatura citada

- Anguiano, J.M.; Anguiano, J.M. y Palma, J.M. (2017). Inoculation of substrate with lactic acid bacteria for the development of *Moringa oleifera* Lam plantlets. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 51(2): 241- 247.
- Barraza, F. (2017). Germinación de semillas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en diferentes tiempos de imbibición en agua. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. 20(1): 71-77.
- Cho, Y. (2019). *JADAM Agricultura ecológica*. Ed. Bonijjae. Daejeon, Corea. 383 p.
- Dao, M.C.E.; Taita, P. y Walsh, D. (2017). Germination and seed traits variations among West African provenances of *Moringa oleifera* Lam. (Burkina Faso). *African Journal of Agricultural Research*. 12(9): 730-739. DOI: <http://doi.org/10.5897/AJAR2016.11882>.
- Google Earth. (2022). <https://earth.google.com/web/@18.95249068,-103.89462933,56.27154024a,22.759714197d,35y,0h,0t,0r> (Consultado 10 octubre 2022).
- Ede, A.E.; Ndubuaku, U.M. y Baiyeri, K.P. (2015). Media effects on emergence and growth of *Moringa oleifera* Lam seedlings in the nursery. *American Journal of Experimental Agriculture*. 7(3): 182-189.
- Endelman, J.; Gardner, M.; Brinkley, J.; Courtney, H.; Via, W. and Wickert, B. (2014). Nitrogen dynamics of biodynamic horn manure. *Biodynamics*. Spring: 38-43.
- Fagbenro, J.; Oshunsanya, S. y Oyeleye, B. (2015). Effects of gliricidia biochar and inorganic fertilizer on moringa plant grown in an oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 46(5): 619-626. DOI: <http://doi.org/10.1080/00103624.2015.1005222>
- Glódowska, M.; Schwinghamer, T.; Husk, B. y Smith, D. (2017). Biochar based inoculants improve soybean growth and nodulation. *Agric. Sci*. 8: 1048-1064. DOI: <http://doi.org/10.4236/as.2017.89076>.
- Guo, M.; Shen, Y. y He, Z. (2012). *Poultry litter-based biochar: preparation, characterization and utilization*. In: Applied research of animal manure: Challenges and opportunities beyond the adverse environmental concerns. Editor Zhongqi He. Nova Science Publishers, Inc. New York. USA. Pp. 173-202.
- Hagemann, N.; Joseph, S.; Schmidt, H.P.; Kammann, C.I.; Harter, J.; Borch, T.; Young, R.; Varga, K.; Taherymoosavi, S.; Elliott, W.; McKenna, A.; Albu, M.; Mayrhofer, C.; Obst, M.; Conte, P.; Dieguez-Alonso, A.; Orsetti, S.; Subdiaga, E.; Behrens, S. y Kappler, A. (2017). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature communications*. 8(1): 1-11. DOI: [10.1038/s41467-017-01123-0](https://doi.org/10.1038/s41467-017-01123-0)
- Husson, O. (2012). Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a trans-disciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil*. 362: 389-417. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1429-7>
- Kannan, R.; Dhivya, V. y Janani, T.S.K. (2021). Future perspective of seed ball technology for creating new ecosystem. *International Journal of Plant and Environment*. 7(4): 293-296.
- Maguire, J.D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2: 176-177.
- Marrero, T. (2020). *El impacto del tamaño de las partículas en biochar y su porosidad*. <https://www.wakefieldbiochar.com/es/impact-of-particle-size-on-biochar-porosity/> (Consultado 20 diciembre 2022).
- Nouman, W.; Basra, S.M.A.; Siddiqui, M.T.; Yasmeen, A.; Gull, T. y Cervantes, M.A. (2014). Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 38(1): 1. DOI: <https://doi.org/10.3906/tar-1211-66>
- Pérez, R. (2010). *Moringa oleifera, Una alternativa forrajera para sinaloa*. Fundación PRODUCE Sinaloa, México. 16 p. (Consultado 1 marzo 2017).

- Pérez-Reyes, M.; Pentón-Fernández, G.; Rivero-Cáceres, J.; Norda-Castro, E.; Urgüellez, J. y Oropesa, Y. (2022). *Caracterización de biochar de bagazo de caña y de morera enriquecido con el bioproducto IH-PLUS® BF*. Memorias de la Convención de Producción Animal y Agrodesarrollo "AGROPAT". Matanzas, Cuba. ISBN 978-959-7171-86-7. Pp. 2060-2064.
- Palma, J.M. y Zorrilla, J.M. (2021). *Las tecnologías sociales racionales en el contexto productivo pecuario*. En *Tecnologías sociales para la producción pecuaria de América Latina y el Caribe*. Editores José Manuel Palma y Jaime Fabián Cruz Uribe. Editorial Universidad de Colima. Colima, México. Pp. 11-20.
- Pentón, G.; Martín-Martín, G.J.; Brea-Maure, O.; Hernández-Santovenia, O. y Schmidt, H.P. (2020). Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes*. 43(2): 159-168.
- Pentón, G.; Milera, M. de la C. y Schmid, H.P. (2021). *Manual para la elaboración de biochar y microorganismos eficientes ihplus®bf*. Estación Experimental Indio Hatuey, Matanzas, Cuba. 26 p.
- Rocha, I.; Ma, Y.; Souza-Alonso, P.; Vosátka, M.; Freitas, H.; Oliveira, R.S. (2019). Seed coating: A tool for delivering beneficial microbes to agricultural crops. *Front. Plant Sci*. 10: 1357. DOI: <http://doi.org/10.3389/fpls.2019.01357>
- Statistix. (2003). *Manual del usuario del software analítico*. Versión 8.0
- Soares, T.F.; Lima, I.D.; Almeida, A.Q.; Gonzaga, M.I.; Fialho, C.A.; Gomes, I.L. y Massaranduba, W.D. (2019). Substrates formulated with biochar for seedling production of *Moringa oleifera* Lam. *Journal of Agricultural Science*. 11(4): 515-524.
- Wanjira, E.O.; Muriuki, J. y Ojuok, I. (2020). *Farmer managed natural regeneration in Kenya*. World Agroforestry. Nairobi, Kenya. 119 p.
- Zhang, K.; Khan, Z.; Yu, Q.; Qu, Z.; Liu, J.; Luo, T.; Zhu, K.; Bi, J.; Hu, L.; Luo, L. (2022). Biochar coating is a sustainable and economical approach to promote seed coating technology, seed germination, plant performance, and soil health. *Plants*. 11: 2864. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11212864>

Recepción: 14 de enero de 2023

Arbitraje: 14 de febrero de 2023

Dictamen: 21 de diciembre 2022

Aceptado: 25 de febrero 2023