

Uso de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la nutrición de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De wit para la producción de forraje

Use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the nutrition of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De wit for forage production

Lázaro J. Ojeda^{1*}; Ramón A. Rivera²; Juan J. de la Rosa¹

Recibido para publicación: 19 de julio de 2023 - Aceptado para publicación: 23 de octubre de 2023

RESUMEN

En la actualidad el uso de biofertilizantes y plantas proteicas para la nutrición de los pastos y forrajes ha crecido sustancialmente. La investigación se llevó a cabo en un área demostrativa abierta del Centro Universitario Municipal de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, Cuba, con el objetivo de evaluar la producción de forraje de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en un suelo de baja fertilidad. El experimento se condujo en bolsas de polietileno en un diseño de Bloques al azar con tres réplicas, y los siguientes tratamientos: No.1. Suelo (Control, sin inoculación y sin aplicación de NPK), No.2. Suelo + *Funneliformis mosseae*/INCAM-2, No.3. Suelo + *Glomus cubense*/INCAM-4 y No. 4. Suelo + fertilización NPK en la siembra (25, 40 y 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O) + aplicación de nitrógeno en cada corte al 70 % de la dosis inicial. La inoculación con HMA fue simultánea en los tratamientos correspondientes. Se realizó el corte de establecimiento y cinco cortes sucesivos, con 51,33 días promedio entre los mismos. Fue cuantificada la producción de biomasa y el contenido de proteína bruta en cada corte y el acumulado, así como la efectividad micorrízica. *L. leucocephala* respondió favorablemente a la inoculación, con incrementos de biomasa acumulado entre 31,5 % (Tratamiento 2) y 19,40 % (Tratamiento No.3) en relación al Control respectivamente. La inoculación con *F. mosseae*/INCAM-2 mostró mayor efectividad micorrízica. El valor más elevado de proteína bruta se obtuvo en el Tratamiento No.4, mientras que las variantes inoculadas superaron al tratamiento Control, con mejor respuesta del Tratamiento No 2 (Suelo + *Funneliformis mosseae*/INCAM-2)

Palabras clave: Bioinsumos, inoculantes, simbiosis, biomasa, proteína bruta.

ABSTRACT

At present, the use of biofertilizers and protein plants in the nutrition of pastures and forage has increased. The investigation was carried out in the University Center of the municipality of Cumanayagua, county of Cienfuegos, Cuba with the objective of evaluating the response of *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit to the inoculation of different arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) strains. The experiment was carried out in polyethylene bags. The experiment used a random blocks design with three replicates and the following treatments: #1. Soil (Control treatment, without inoculation and NPK application), #2. Soil + inoculation with the AMF strain *F. mosseae*/INCAM-2, #3. Soil + inoculation with the AMF strain *G. cubense*/INCAM-4) and #4. Soil + NPK fertilization at plant establishment application of NPK (25, 40 y 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O) + N at each cut at 70% of the initial dose. The inoculation with AMF was simultaneous for all treatments. A establishment cut and five successive cuts were performed, with 51.33 average days between them. The biomass production, the content of gross protein of *L. leucocephala* in each harvest and the cumulative total, as well as mycorrhizal effectiveness, were quantified. *L. leucocephala* positively responded to *F. mosseae*/INCAM-2 inoculation. Biomass production for cut increased between 31,50 % (Treatment #2) y 19,40 % (Treatment #3) with respect to control treatment. Inoculation with *F. mosseae*/INCAM-2 showed higher mycorrhizal effectiveness. The highest value in gross protein was obtained in the variant with mineral fertilization and the inoculated variants overcame the control treatment, with better performance than treatment # 2 (Soil+ *Funneliformis mosseae*/INCAM-2).

Key words: Bioinputs, inoculants, symbiosis, biomass, gross protein..

Cómo citar

Ojeda, L.J., Ramón, A., Rivera, R.A. y de la Rosa, J.J. 2023. Uso de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la nutrición de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De wit para la producción de forraje. *Temas Agrarios* 28(2): 168-177. <https://doi.org/10.21897/4jqae113>

¹Unidad Científico Tecnológica de Base Suelos, Barajagua, Cienfuegos. Instituto de Suelos, Cuba

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba.

Autor para correspondencia: Lázaro J. Ojeda

Email: lazaroojq@gmail.com



INTRODUCCIÓN

La demanda para alimentos de origen animal continuará en aumento, hasta el año 2050. Se espera un crecimiento adicional del 70 % comparado con el año 2010, necesario para alimentar una población de 9.000 millones (Friedrich, 2015).

La ganadería es la actividad económica, asociada con la producción pecuaria, más extendida en el mundo, con un tercio de la superficie terrestre destinada al cultivo de pasturas y a la alimentación del ganado FAO (2017a). Esto lleva a reconocer la importancia ambiental que tiene el sector ganadero mundial, y donde la producción animal ocupa el 80 % de las tierras agrícolas, utiliza el 8 % del agua dulce y emite el 14,5 % de las emisiones de gases con efecto invernadero (Friedrich, 2015).

El 49 % de los pastizales del mundo afrontan algún grado de degradación (Bardgett *et al.*, 2021), mientras, la ganadería de leche y carne en el trópico, depende fundamentalmente de la producción de pastos, la cual está sometida a condiciones edafoclimáticas diversas que generalmente no son favorables (Murgueitio, *et al.*, 2015), por lo que, según Funes (2016), crear sistemas sustentables constituye una necesidad para realizar una agricultura medioambiental sensible, económicamente factible, socialmente aceptable y, de esta manera, respetar, proteger y ayudar a restaurar los ciclos y procesos naturales.

Dada la importancia de la ganadería en la economía de la región, es prioridad implementar alternativas de manejo que permitan la conservación y/o recuperación de suelos (Martínez *et al.*, 2019), entre ellas, el uso de especies de la familia Fabaceae como complemento alimentario, tanto en pastoreo o forraje.

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit. es una especie leguminosa nativa de México y América Central y actualmente se la puede

encontrar naturalizada en la mayoría de los países de América Latina. En las últimas dos décadas, se llevaron a cabo considerables avances en investigación y promoción de leucaena en Colombia, México, Cuba, Brasil, Paraguay y Argentina. Estas investigaciones se enfocaron fundamentalmente en el manejo agronómico de la especie y su uso como forraje en la alimentación del ganado de carne, leche o doble propósito (Pachas *et al.*, 2019).

Por su parte, el suelo constituyen uno de los mayores reservorios de biodiversidad, y los organismos que conviven en él desempeñan una función clave en la prestación de muchos servicios ecosistémicos (FAO, 2017b). De esta manera, los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) en asociación simbiótica y mutuamente beneficiosa con las plantas forman las micorrizas, las cuales pueden tener una alta incidencia en los sistemas de producción, mayormente donde las condiciones del suelo son extremas o limitantes (Garzón, 2016).

Las micorrizas se destacan por incrementar la capacidad de absorción de los nutrientes y agua presentes en el suelo (Ortas y Rafique, 2017), mejoras en los agregados de este (Lehmann *et al.*, 2017), disminución del daño de algunos fitopatógenos (Jung *et al.*, 2012) entre otros ecoservicios, y a la vez incrementan la resiliencia del agroecosistema (Rillig *et al.*, 2019), con una mayor efectividad donde las condiciones edáficas son extremas (Restrepo *et al.*, 2019). Además, las micorrizas incrementan el funcionamiento de la simbiosis leguminosas-rizobios y mejoran la capacidad de fijación del nitrógeno atmosférico que se obtiene por esta simbiosis (Larimer *et al.*, 2014).

En el país se ha avanzado en el manejo de esta simbiosis vía inoculación de cepas eficientes de HMA, cuya efectividad y correspondientes beneficios dependerán en lo fundamental del pH-H₂O del suelo o sustrato en que se desarrolla el cultivo (Rivera *et al.*, 2023). La aplicación

satisfactoria de estos inoculantes se ha evaluado en un grupo amplio de cultivos (Rivera et al., 2020) con escasos trabajos realizados en *Leucaena*.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la producción de forraje de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit inoculada con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en un suelo de baja fertilidad, como paso previo a su posible inclusión en la tecnología de ese cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La investigación se realizó en un área demostrativa abierta del Centro Universitario Municipal (CUM) Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, Cuba, cuyas coordenadas son 22° 15' de latitud norte y 80° 19' de longitud oeste a 60 msnm.

Diseño y tratamiento experimental

El experimento se condujo en bolsas de polietileno, en un diseño de Bloques al azar con 3 réplicas, y los siguientes tratamientos:

- 1.Suelo (Control)
- 2.Suelo + *Funneliformis mosseae*/INCAM-2
- 3.Suelo + *Glomus cubense*/INCAM-4
- 4.Suelo + fertilización NPK

Procedimiento experimental

Se emplearon bolsas de polietileno horadadas con capacidad para dos kg, en las que se depositó suelo del tipo Sialítico, subtipo Pardo Grisáceo erogénico (Hernández et al., 2015) con pH (H₂O) 5,25, fósforo y potasio asimilable 1,43 y 6,77 mg 100 g suelo⁻¹ respectivamente, 2,06 % de materia orgánica, 49,82 % de agregados estables, densidad aparente de 1,61 g. cm³ y una porosidad total de 41,57 %.

Las semillas de *Leucaena* fueron certificadas por la Empresa Comercializadora de Semillas, con una Pureza física del 94 %.

Se escarificaron mediante un proceso de imbibición de las mismas en agua a 80 °C durante 2-3 minutos previos a la siembra directa. Se introdujeron tres semillas por bolsas, las que se apretaron cuidadosamente de forma uniforme, sin permitir bolsas de aire.

Las cepas aisladas de HMA inoculadas se clasifican taxonómicamente de acuerdo a los siguientes autores: *Funneliformis mosseae*/INCAM-2 (Schüßler y Walker, 2011) y *Glomus cubense*/INCAM-4 (Rodríguez et al., 2011), la primera del género *Funneliforme* y la segunda del *Glomus*, ambas procedentes de la colección de cepas de HMA del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cada inóculo contenía 30 esporas por gramo de sustrato⁻¹ de las cepas evaluadas, así como abundantes cantidades de fragmentos de raicillas e hifas.

La inoculación con los HMA se realizó por el método del recubrimiento (Simó et al., 2016), para lo cual se sumergieron las semillas en una pasta fluida, elaborada mediante la mezcla de una cantidad de inóculo sólido equivalente al 10% del peso de las mismas y agua, en una proporción de 60 ml de agua por cada 100 g de inóculo Las semillas recubiertas se dejaron orear a la sombra por dos a tres horas antes de sembrarlas.

La fertilización mineral con NPK se realizó 15 días después de la siembra, a razón de 25, 40 y 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. Posterior a cada corte se aplicó nitrógeno al 70 % de la dosis inicial, únicamente en el tratamiento con la fertilización mineral.

Las bolsas se rotaron decenalmente entre replicas y tratamientos para contrarrestar el efecto de bordes y cualquier falta de uniformidad en iluminación e igualar efectos del viento que pudo existir en el área del montaje. El corte de establecimiento fue a los 63 días de la germinación de las semillas a 5 cm sobre el suelo, seguidamente se realizaron cinco cortes sucesivos con un promedio

aproximado de 51,33 días entre cortes, y un tiempo de aprovechamiento de las plantas de 318 días.

Mediciones realizadas

Se pesó la masa fresca foliar en cada corte (g). En el laboratorio se determinó la materia seca (%) por gravimetría, y el contenido de nitrógeno en la biomasa (%) por digestión húmeda con H_2SO_4 + Se y colorimetría con el reactivo de Nessler (Paneque *et al.*, 2010). Se calcularon la producción de Biomasa ($g\ bols^{-1}$), efectividad micorrízica y el porcentaje de proteína bruta como sigue:

1. Producción de biomasa ($g\ bols^{-1}$) = (Masa Verde ($g\ bols^{-1}$) x % Materia seca /100
2. Efectividad Micorrízica (EM), según Janos (2007):

$$EM = \frac{\text{Biomasa variante inoculada} - \text{Biomasa variante Testigo}}{\text{Biomasa variante Testigo}} \times 100$$

3. Proteína bruta (%) = nitrógeno en biomasa (%) x el factor de conversión 6,25 (Paneque *et al.*, 2010).

Análisis estadísticos

Todos los caracteres cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad

de varianza por lo cual se procedió a efectuar un ANOVA. Para la discriminación de medias se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$), en los casos en que el ANOVA resultó significativo. Los datos se procesaron con el paquete estadístico "Statistical Package for Social Sciences" (SPSS) para Microsoft Windows®, versión 15.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se refleja la producción de biomasa por bolsas en el corte de establecimiento (corte 0), cortes sucesivos y acumulado. En el análisis de los cortes sucesivos se aprecia como *L. leucocephala* presentó una respuesta diferenciada a la inoculación micorrízica. Las cepas inoculadas superaron estadísticamente al control, que mostró la menor producción de biomasa ($13,71\ g.\ planta^{-1}$), mientras que la variante con la fertilización mineral produjo la mayor cantidad ($28,57\ g.\ planta^{-1}$, con diferencias significativas entre todos los tratamientos ($P < 0,05$). Al comparar la efectividad de las dos cepas, se aprecia que la inoculación de *F. mosseae*/INCAM-2 presentó mejor producción de biomasa acumulada en relación al control (31,50 %) que *G. cubense* (19,40 %) respectivamente, aunque sin diferencias estadísticas entre sí.

Tabla 1. Biomasa ($g.\ planta^{-1}$) en el corte 0, cortes sucesivos y su acumulado

Tratamientos	Corte 0	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Corte 6
Suelo	2,65d	2,92c	2,72d	2,58d	2,73d	2,76d	13,71c
Suelo + <i>F. mosseae</i> / INCAM-2	3,52b	3,39b	3,70b	2,89b	3,99b	4,06b	18,03b
Suelo + <i>G. cubense</i> / INCAM-4	3,20c	3,35b	3,66b	2,76c	3,23c	3,28c	16,37b
Suelo + fertilización NPK	5,12a	5,28a	5,92a	4,54a	6,40a	6,43a	28,57a
ESx±	0,955*	0,934*	1,223*	0,618*	1,469*	1,459*	1,987*

Mundialmente se reconoce la importancia de potenciar la actividad de los microorganismos benéficos e incluirlos en las nuevas tecnologías de producción

agropecuaria por los efectos favorables que pueden llegar a producir en las plantas y el suelo (Le Mire *et al.*, 2016).

Ojeda *et al.*, (2018), evaluaron en un suelo Pardo grisáceo bajo condiciones de campo, el efecto de inocular las cepas de micorrizas *Funneliformis mosseae* (INCAM-2), *Glomus cubense* (INCAM-4) y *Rhizogloium intraradices* (INCAM-11) sobre el rendimiento y la calidad del forraje de *Canavalia ensiformis* en la fase de establecimiento. Concluyeron que las variantes inoculadas superaron al control en la producción de biomasa, también con mejor respuesta con la inoculación de *Funneliformis mosseae*/INCAM-2.

Resulta coincidente la mayor efectividad de *F. mosseae*/INCAM-2 en el mismo tipo de suelo con el cual desarrollamos este trabajo, en este caso, Pardo grisáceo.

Al respecto Rivera *et al.*, (2023) analizando un poco más de 200 resultados de comparación de estos inoculantes en diferentes suelos y cultivos, concluyeron que es el pH $-H_2O$ del suelo la propiedad determinante en explicar los cambios de efectividad con el tipo de suelo que presentan los inoculantes formulados con estas cepas. El rango de pH en que la inoculación de *F. mosseae*/INCAM-2 resulta más efectiva es de 4,7 a 5,8, coincidente con los valores de pH encontrado en nuestro experimento.

En relación con *G. cubense*/INCAM-4 esta presenta su mayor efectividad en el rango de pH de 5,6 a 7,2. Es importante destacar que la inoculación de una cepa fuera de su rango óptimo de pH no significa que deje de ocasionar un efecto positivo en el crecimiento o biomasa, lo que la respuesta será significativamente menor que la obtenida al inocular la cepa eficiente (Rivera *et al.*, 2023), en este caso *F. mosseae*/INCAM-2.

Al respecto, (Sadiqin *et al.*, 2023) consideran que los hongos micorrizicos arbusculares forman una simbiosis de mutualismo con las plantas, donde existe una relación mutuamente beneficiosa entre las dos partes y actúan como un fertilizante

biológico que necesita ser reproducido y cuya propagación está fuertemente influenciada por el suelo, la disponibilidad de nutrientes y la planta hospedera. En este caso *L. leucocephala*, resulta una especie micotrofa con buena respuesta a la micorrización.

La Figura 1 refleja la Efectividad Micorrizica (EM) en el corte 0 y el acumulado de los cortes sucesivos. Se aprecia una mayor EM en la fase de establecimiento, la cual disminuyó en el acumulado de los cinco cortes sucesivos. La mejor efectividad micorrizica se encontró al inocular *Funneliformis mosseae*(INCAM-2), tanto en el corte de establecimiento, como en el acumulado con 32,83 y 31,51 % respectivamente.

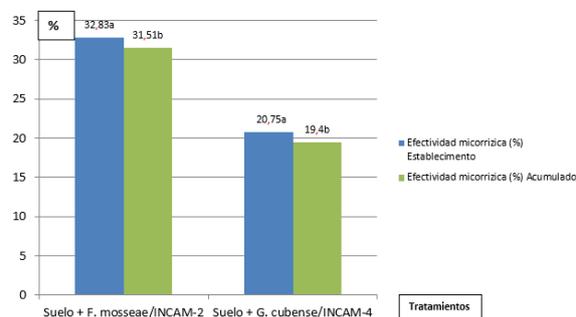


Figura 1. Efectividad micorrizica en el corte 0 (color azul) y acumulado de los cortes sucesivos (color rojo). $ESx \pm: 2,629^*, 3,617^*$ Letras diferentes en las columnas de un mismo momento conllevan a diferencias significativas entre los tratamientos por Test de Tukey ($P \leq 0,05$)

En los resultados que se discuten, las especies de HMA evaluadas son de géneros diferentes, aunque ambas pertenecen a la familia Glomaceae, y sin embargo hubo diferencias de rendimiento y efectividad micorrizica en la respuesta de leucaena, al respecto, Penton, (2013) considera que la efectividad micorrizica arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras, pero se relaciona más con el rendimiento que un determinado cultivo inoculado puede alcan-

zar en relación a una variante sin inocular, aunque las especies que se inoculen pertenezcan a un mismo género o familia.

Ojeda *et al.*, (2014), determinaron la presencia de micorrizas arbusculares asociadas a las raíces de *Leucaena leucocephala* en un suelo Pardo Grisáceo y encontraron una colonización natural del 19 %, por su parte, la prueba de eficiencia de los endófitos nativos aislados, al ser inoculados en un cultivo indicador, no modificó la producción de biomasa. Tales resultados evidencian la necesidad de probar cepas comerciales de HMA en *Leucaena* en este tipo de suelo, similar al del trabajo.

También Ojeda *et al.*, (2015), al evaluar el efecto que ejerce la aplicación de diferentes dosis (250, 500, 750 y 1000 g m lineal⁻¹) del Biofertilizante MicoFert agrícola (constituido por una mezcla de diferentes cepas de HMA, procedentes de la colección cubana de hongos micorrizógenos –CCHMA– (Herrera *et al.*, 2011) sobre el rendimiento de biomasa de *Leucaena leucocephala* cv. Perú en condiciones de campo en un suelo Pardo Grisáceo, y tras realizar ocho cortes en dos años, concluyeron que la aplicación de MicoFert agrícola incrementó el rendimiento de biomasa de la *Leucaena* en las variantes inoculada en relación al control con una EM entre 13 y 40 %, de forma proporcional al aumento de las dosis aplicadas del MicoFert.

Resulta favorable la inoculación de diferentes especies de plantas con un mismo inoculante micorrízico, en un mismo rango de pH del suelo, al respecto, Herrera, *et al.*, (2011) atribuye esto fundamentalmente a la poca especificidad que muestran estas asociaciones, donde las hifas que emergen de raíces micorrizadas vivas son capaces de conectar plantas de iguales o diferentes especies a través de

extensas redes de micelio, lo que puede considerarse fundamental para garantizar una buena eficiencia de la inoculación.

Por su parte, Rivera y Fernández (2003) condicionan al tipo de suelo la respuesta diferenciada a la inoculación de las cepas de HMA, mientras con posterioridad Rivera *et al.*, (2023) enfocan esta especificidad en función de las condiciones edáficas, con énfasis en el pH del suelo.

La Tabla 2 muestra el porcentaje de proteína bruta de la biomasa, tanto en el corte 0, como en los cortes sucesivos. Pudo constatar que la inoculación de ambos inoculantes de HMA superaron en todos los cortes al control, con una respuesta mayor de *F. mosseae*/INCAM-2. La variante con fertilización mineral mostró siempre el mayor contenido, con diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) del resto. A partir del tercer corte, y hasta el quinto, hubo una caída de la proteína bruta en todos los tratamientos, aunque siempre el tratamiento fertilizado mantuvo un mayor contenido.

Este comportamiento pudo estar dado por el tiempo de permanencia de las plántulas en la bolsa (318 días), tanto por el estrés fisiológico que pudiera derivarse de los cortes foliares sucesivos, como por la disminución de la disponibilidad de nutrientes asociadas a los sucesivos ciclos de crecimiento de las plantas y al hecho de que el P y K solo se aplicaron al inicio, e incluso el N se aplicó en los diferentes cortes, pero en una menor cantidad.

Doubková *et al.* (2013), citada por Aguirre *et al.*, (2018), demostraron que la inoculación con HMA, incrementa la nutrición y el crecimiento de la planta, y permite superar situaciones de estrés, lo que pudiera justificar mayor proteína bruta de las variantes micorrizadas en relación al testigo.

Tabla 2. Porcentaje de proteína bruta en el corte de establecimiento (Corte 0) y cortes sucesivos

Tratamientos	Corte 0	Corte I	Corte II	Corte III	Corte IV	Corte V	Corte VI
Suelo	21,48d	15,63d	14,75d	14,31d	14,13d	14,10d	13,71c
Suelo + <i>F. mosseae</i> / INCAN-2	25,10b	16,38b	15,96b	15,54b	15,46b	15,29b	18,03b
Suelo + <i>G. cubense</i> / INCAN-4	24,77c	15,90c	15,44c	15,15c	15,17c	15,13c	16,37b
Suelo + fertilización NPK	26,90a	25,15a	21,38a	20,79a	20,31a	20,25a	28,57a
ESx±	2,077*	3,726*	2,466*	2,632*	2,691*	2,487*	1,987*

Rivera *et al.*, (2017), comprobaron que un suplemento de forraje de *Leucaena* tiene un contenido de proteína superior al 22 %, con un menor contenido de fibra (20-30 %), por su parte Gaviria *et al.* (2015) corroboran que esta especie se reconoce por su alto valor forrajero, debido a su capacidad de rebrote, palatabilidad y características nutricionales superiores, que incluyen un alto contenido de proteína cruda y carbohidratos solubles, además de un bajo contenido de fibra.

Si bien la inoculación con *F. mosseae*/INCAM-2 no permitió obtener la producción de biomasa y contenidos de proteína que se alcanzaron en el tratamiento fertilizado y explicable en los resultados encontrados anteriormente en varios trabajos (González *et al.*, 2015; Rivera *et al.*, 2023) de que la simbiosis también requiere de una determinada disponibilidad de nutrientes para garantizar los requerimientos de las plantas, los resultados encontrados avalan la inclusión de estos inoculantes formando parte de los esquemas de suministro de nutrientes para la *Leucaena*.

La incorporación de *Leucaena* en la alimentación mejora la productividad de empresas ganaderas de bovinos, en comparación con empresas basadas en el aprovechamiento de praderas de gramíneas, dado fundamentalmente por el contenido

adicional de este forraje, que puede alcanzar de 22 a 25 % de proteína cruda (Martínez *et al.*, 2019). Lo anterior corrobora la necesidad de fortalecer la nutrición de esta leguminosa con la aplicación de biofertilizantes vinculados con otras fuentes de nutrientes como los abonos orgánicos y abonos verdes.

CONCLUSIONES

La fertilización mineral de base y nitrogenada por cortes produjo la mayor cantidad de biomasa y el mejor contenido de proteína bruta de *L. leucecephala*.

La respuesta de *L. leucocephala* a la inoculación micorrizica dependió del inoculante aplicado. La inoculación de *F. mosseae*/INCAM-2 presentó la mejor producción de biomasa acumulada (31,50 % de incremento) y mayor contenido de proteína bruta por cortes que la inoculación con *G. cubense*/INCAM-4.

F. mosseae/INCAM-2 mostró mayor efectividad micorrizica, tanto en el establecimiento, como en el acumulado de los cortes, con 32,83 y 31,51 % respectivamente.

AGRADECIIMIENTOS

Al proyecto "Sistema para uso del biofertilizante micorrizico EcoMic® y su

manejo conjunto con otros bioproductos y prácticas culturales en la producción de alimentos" del Programa "Producción de Alimentos y su Agroindustria", CITMA, Cuba por financiar este trabajo."

Conflictos de intereses

La preparación y revisión del presente manuscrito contó con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados

REFERENCIAS

- Aguirre, J. F., Gálvez, A. L. y Ibarra, J. C. 2018.** Growth of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit biofertilized with arbuscular mycorrhizal fungi in the nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1): 49-58.
- Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., Chomel, M., Durigan, G., Fry, E. L., Johnson, D., Lavelle, J. M., Le Provost, G., Luo, S., Png, K., Sankaran, M., Hou, X., Zhou, H., Ma, L., Ren, W. y Shi, H. 2021.** Combatting global grassland degradation. *Perspectives*. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00207-2>
- Friedrich, T. 2015.** Agricultura Climáticamente Inteligente, una estrategia para la sostenibilidad productiva; Memorias SISA 2015, II Seminario Internacional de Sanidad Agropecuaria, 18-22 de Mayo 2015, Varadero, Cuba, Avances y Retos de la Sanidad Agropecuaria en el Siglo XXI, CENSA; pp. 207-210. <https://doczz.es/doc/14220/memorias-sisa-2015>
- Funes, F. R. 2016.** Integración agroecológica y soberanía energética. En: F. Funes-Aguilar y L. L. Vázquez-Moreno, eds. *Avances de la agroecología en Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey. 403-420.
- FAO. 2017a.** Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Italia: 1-26.
- FAO 2017b.** Producción animal. Disponible en: <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- Gaviria, X., Naranjo, J. F. y Barahona, R. 2015.** Nutritional quality and fractionation of carbohydrates and protein in the forage components of an intensive silvopastoral system. *Pastos y Forrajes*. 38 (2):194-201.
- González, P. J., Ramírez, J. F., Rivera, R., Hernández, A., Plana, R. y Crespo, G. 2015.** Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 49 (4): 535-540. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193045908016>
- Garzón, L. P. 2016.** Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonia colombiana. *Revista Luna Azul* (42):1-19. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321744162010>
- Herrera, R. A., Hamel, C., Fernández, F., Ferrer, R. L. y Furrázola, E. 2011.** Soil-strain compatibility: the key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants?. *Mycorrhiza* 21(3): 183-193. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0322-6>
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D. y Castro N. 2015.** Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA.
- Janos, D. P. 2007.** Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. *Mycorrhiza* 17:75–91 Doi: [10.1007/s00572-006-0094-1](https://doi.org/10.1007/s00572-006-0094-1)

- Jung S. C., Martínez-Medina, A., Lopez-Raez, J. A. y Pozo, M. J. 2012.** Mycorrhiza-Induced Resistance and Priming of Plant Defenses. *J Chem Ecol* 38: 651–664
Doi: [10.1007/s10886-012-0134-6](https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6)
- Larimer, A. L., Clay, K. y Bever, J. D. 2014.** Synergism and context dependency of interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia with a prairie legume. *Ecology*. 95:1045–1054.
- Le Mire, G., Nguyen, M.L., Fassotte, B., du Jardin, P., Verheggen, F., Delaplace, P. y Jijakli, M.H. 2016.** Review: Implementing Plant Biostimulants and Biocontrol Strategies in the Agroecological Management of Cultivated Ecosystems. *Biotechnology Agronomy. Society. Environmental*. 20(S):299-313. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12717>
- Lehmann, A., Leifheit, E. F. y Rillig, M. C. 2017.** Mycorrhizas and Soil Aggregation. In C. Johnson, C. Gerhing & J. Jansa (Eds.), *Mycorrhizal Mediation of Soil*. Freie Universität Berlin: 241-262 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00014-0>
- Murgueitio, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C. y Uribe, F. 2015.** Productividad en sistemas silvo-pastoriles intensivos en América Latina. Pp. 59-101 En: *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402*, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.
- Martínez, Y., Osorio, N. y Garrido, J. 2019.** Efectividad de hongos micorrizo-arbusculares nativos en suelos con diferentes usos agropecuarios. *Revista MVZ Córdoba* 24(2): 7256-7261. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1703>
- Ojeda, L., Furrázola, E. y Hernández, C. 2014** Micorrizas arbusculares en leguminosas de la empresa pecuaria El Tablón, Cuba. *Pastos y Forrajes* 37(4): 392-398. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269133842003>
- Ojeda, L., Furrázola, E. y Hernández, C. 2015.** Respuesta de *Leucaena leucocephala* cv. Perú a la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola. *Pastos y Forrajes* 38(3): 176-182. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269141594004>
- Ortas, I. y Rafique, M. 2017.** The Mechanisms of Nutrient Uptake by Arbuscular Mycorrhizae. In A. Varma, R. Prasad & N. Tuteja (Eds.), *Mycorrhiza - Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration* (pp. 1- 20). Springer. Amity Institute of Microbial Technology Amity University Uttar Pradesh Noida, Uttar Pradesh India. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_3
- Ojeda, L., González, P. J., Rivera, R., Furrázola, E., de la Rosa, J. J., Hernández, M. E., Rodríguez, Y.I. y Rodríguez, C. 2018.** Inoculación de *Canavalia ensiformis* con hongos micorrízico arbusculares en la fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes*. 41 (3):189-195. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269158218005/html/>
- Paneque, V. M., Calaña, J. M., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T., Caruncho, M. 2010.** Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicas. San José de las Lajas Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. 157.
- Pentón. G., Oropesa, K. y Peñalver, P.L. 2013.** Multiplicación de propágulos infecciosos HMA en una plantación de morera (*Morus alba* L.). *Pastos y Forrajes* 36(1): 22-27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269127587002>
- Pachas, N., Radrizzani, A., Murgueitio, E., Uribe, F., Zapata, A., Chará, J., Ruiz, T., Escalante, E., Mauricio, R. y Ramírez. 2019.** Establecimiento y manejo de leucaena en América Latina, *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 7(2):127–132. [https://doi.org/10.17138/tgft\(7\)127-132](https://doi.org/10.17138/tgft(7)127-132)

- Rivera, R. y Fernández, K. 2003.** Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: Rivera, R. y Fernández, K. Eds. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. INCA. La Habana, 166.
- Rodríguez, Y., Dalpé, Y., Séguin, S., Fernández, K., Fernández, F. y Rivera, R. 2011.** *Glomus cubense* sp. nov. an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon* 118 (1):337-384. <https://doi.org/10.5248/118.337>
- Rivera Espinosa, R., Martín Alonso, G., Simó González, J., Pentón Fernández, G., Joao, J.P., García Rubido, M., Ramírez Pedroso, J., González, P. J., Ruiz Martínez, L., Hernández Jiménez, A., Tamayo Aguilar, Y., Bustamante González, C., Reyes Rosseaux, R., Roberto Fundora, L., Crespo Flores, G. y Aida Medina Carmona, A. 2017.** Bases y beneficios del manejo conjunto de *Canavalia ensiformis* e inoculantes micorrízicos arbusculares en los sistemas de suministro de nutrientes de diferentes cultivos. San José de las Lajas: Ediciones INCA.
- Rillig, M. C., Aguilar-Trigueros, C. A., Camenzind, T., Cavagnaro, R. T., Degrunne, F., Hohmann, P., Daniel, R., Lammel, D. R., Mansour, I., Roy, J., van der Heijden, M. G. A. y Yang, G. 2019.** Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 222(3), 1171-1175. <https://doi.org/10.1111/nph.15602>
- Restrepo, K. J., Montoya, M. I., Henao, P., Gutiérrez, L. A. y Molina, L. P. 2019.** Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *IDESIA* 37(1): 35-44.
- Rivera, R., Martín, G., Simo, J., Pentón, G., García, M., Ramírez, J., González, P. J., Joao, J. P., Ojeda, L., Tamayo, Y. y Bustamante, C. 2020.** Benefits of Joint Management of Green manure and Mycorrhizal Inoculants in Crop production. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23: #97. file:///Users/unicordoba/Downloads/3294-14798-4-PB.pdf
- Rivera, R., González, P. J., Ruiz-Martínez, L., Martín, G. y Cabrera, A. 2023.** Strategic Combination of Mycorrhizal Inoculants, Fertilizers and Green Manures Improve Crop Productivity. Review of Cuban Research. In Q.S. Wu, Y. N. Zou, Y. J. He & N. Zhou (Eds.), *New Research on Mycorrhizal Fungus* (pp. 55-112). Nova Publishers. Doi:[10.52305/GLXN2905](https://doi.org/10.52305/GLXN2905)
- Schüßler, A. y Walker, C. 2011.** Evolution of the 'Plant-Symbiotic' Fungal Phylum Glomeromycota. Evolution of fungi and fungal-like organisms. In: Pöggeler S, Wöstemeyer J, editors. *The Mycota XIV*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag; p. 163-85.
- Simó, J., Rivera, R., Ruiz, L. A. y Espinosa, E. 2016.** Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante del banano en áreas con precedente de *canavalia* inoculada con HMA. *Centro Agrícola* 43 (2):28-35.
- Sadiqin, A., Tuheteru, FD, Arif, A., Husna, H. y Albasri, A. 2023.** La eficacia de los fertilizantes que promueven el crecimiento hormonal en el aumento de la producción de esporas de hongos micorrízicos arbusculares. *Revista de micorrizas tropicales* 2 (1): 1–10. <https://journal.ami-ri.org/index.php/JTM/article/view/34>