

Efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169**Effect of green manure from mycorrhized *Canavalia ensiformis* (L.) on the successor crop *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169**

Lázaro Jesús Ojeda-Quintana¹ <https://orcid.org/0000-0001-8629-5695>, Ramón Rivera-Espinosa² <http://orcid.org/0000-0001-6621-7446>, Pedro José González-Cañizares² <https://orcid.org/0000-0003-3206-0609>, Juan José de la Rosa-Capote¹ <https://orcid.org/0000-0001-6860-7296>, Osvaldo Arteaga-Rodríguez³ <https://orcid.org/0000-0001-8749-6026> y Consuelo Hernández-Rodríguez³ <https://orcid.org/0000-0002-8281-3376>

¹Centro Universitario Municipal (CUM) Cumanayagua, Universidad de Cienfuegos Carlos R. Rodríguez, Calle Los Filtros No. 18, Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba. ²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba. ³Unidad Científica Tecnológica de Base (UCTB) Suelos Cienfuegos, Carretera a Manicaragua, km 13½, Barajagua, Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba. *Correspondencia: joberverde@azurina.cult.cu

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el rendimiento y calidad de biomasa del cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169.

Materiales y Métodos: Se desarrolló una investigación en un suelo de baja fertilidad natural de la Unidad Científica Tecnológica de Base Suelos, Barajagua, Cienfuegos, Cuba. Se empleó un diseño de bloques al azar, con tres réplicas y cuatro tratamientos: inoculación de canavalia con las especies de hongos micorrízicos arbusculares *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense* y *Rhizoglyphus irregularis* y un tratamiento sin inoculación (testigo). A los 69 días, se incorporó la canavalia al suelo y 70 días después se plantó *C. purpureus* vc Cuba CT-169. Se evaluaron indicadores morfológicos, el rendimiento de biomasa y el contenido de proteína bruta de *C. purpureus*, además de la colonización micorrízica de las raíces y su densidad visual.

Resultados: No hubo diferencias estadísticas en la altura, el largo de la cuarta hoja, el área foliar y el grosor del tallo. En cuanto al ancho de la cuarta hoja, la mejor respuesta fue con el abono verde de *C. ensiformis*, micorrizada con la cepa *R. irregularis*, sin diferir del resto de las variantes inoculadas, aunque sí del testigo ($p \leq 0,05$). La producción de biomasa mostró diferencias significativas en las variantes inoculadas con *G. cubense* y *F. mosseae* con relación al testigo. *R. irregularis* no difirió de las dos cepas anteriores ni del testigo. En el contenido de proteína bruta no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos inoculados, pero sí difirieron del testigo.

Conclusiones: Los resultados sugieren una combinación favorable del abono verde de *C. ensiformis* micorrizada y *C. purpureus* vc Cuba CT-169. La inoculación de la canavalia con las cepas de micorrizas incrementó el rendimiento de biomasa y proteína bruta de *C. purpureus* vc Cuba CT-169.

Palabras clave: inoculación, biomasa, rendimiento

Abstract

Objective: To evaluate the effect of green manure from mycorrhized *Canavalia ensiformis* (L.) on the biomass yield and quality of the successor crop *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169.

Materials and Methods: A study was conducted on a soil of low natural fertility of the Base Soil Scientific Technological Unit, Barajagua, Cienfuegos, Cuba. A randomized block design was used, with three replicas and four treatments: inoculation of jack bean with the arbuscular mycorrhizal fungi species *Funneliformis mosseae*, *Glomus cubense* and *Rhizoglyphus irregularis* and a treatment without inoculation (control). After 69 days, jack bean was incorporated to the soil and 70 days later *C. purpureus* cv Cuba CT-169 was planted. Morphological indicators, biomass yield and crude protein content of *C. purpureus* were evaluated, in addition to mycorrhizal colonization of the roots and their visual density.

Results: There were no statistical differences in height, length of the fourth leaf, leaf area and stem diameter. Regarding the width of the fourth leaf, the best response was obtained with the green manure of *C. ensiformis*, mycorrhized with the strain *R. irregularis*, without differing from the other inoculated variants, although it differed from the control ($p \leq 0,05$). The biomass production showed significant differences in the variants inoculated with *G. cubense* and *F. mosseae* with regards to the control. *R. irregularis* did not differ from the two above-mentioned strains or from the control. In the crude protein content no statistical differences were found among the inoculated treatments, but they differed from the control.

Conclusions: The results suggest a favorable combination of green manure from mycorrhized *C. ensiformis* and *C. purpureus* cv Cuba CT-169. The inoculation of jack bean with the mycorrhizal strains increased the biomass and crude protein yield of *C. purpureus* cv Cuba CT-169.

Keywords: inoculation, biomass, yield

Recibido: 23 de julio de 2019

Aceptado: 07 de diciembre de 2019

Como citar este artículo: Ojeda-Quintana, L.; Rivera-Espinosa, R.; González-Cañizares, P. J.; Rosa-Capote, J. J. de la; Arteaga-Rodríguez, O. & Hernández-Rodríguez, Consuelo. Efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169. *Pastos y Forrajes*. 42 (4):277-284, 2019.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

La demanda de alimentos de origen animal se podrá satisfacer, en gran medida, mediante los sistemas de producción de los países tropicales, ya que tienen las mejores condiciones para aumentar de forma significativa la producción de alimentos, a partir de su capacidad para generar biomasa (Chará *et al.*, 2015).

Las gramíneas de pastoreo constituyen la base alimentaria principal de los bovinos. En general, la ganadería vacuna enfrenta limitaciones en la disponibilidad, la calidad y la productividad de las praderas; además, se presentan prolongados períodos, secos o muy lluviosos, que afectan la oferta de forraje para suplir los requerimientos nutricionales de los animales en términos de mantenimiento, crecimiento y producción, lo que hace necesario complementar la alimentación para mantener niveles aceptables de producción de carne y leche (Bueno-Guzmán *et al.*, 2015).

Los abonos verdes son una práctica agronómica, que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas, con la finalidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del suelo. Otros de sus beneficios se asocian con el incremento de la actividad y diversidad de los microorganismos del suelo (Martín-Alonso y Rivera-Espinosa, 2015).

En general, las especies de pastos son micótrofas. Establecen en sus raíces una simbiosis con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), que resulta mutuamente beneficiosa. Las micorrizas reciben fuentes carbonadas provenientes de la planta, mientras que a través de las estructuras fúngicas se amplía la capacidad de exploración del suelo, que conlleva a incrementos en la absorción de nutrientes, agua, mayor crecimiento y desarrollo de las plantas (Jung *et al.*, 2012), mejora en los agregados del suelo (Lehmann *et al.*, 2017) y mayor resiliencia del agrosistema (van der Heijden *et al.*, 2015).

En Cuba, se ha logrado un avance progresivo en el estudio sobre el uso y manejo de los HMA en una variada gama de cultivos agrícolas, que han aportado altos rendimientos mediante la inoculación de cepas eficientes (Rivera *et al.*, 2015). Con ello, se ha sustituido entre 30 y 50 % de los fertilizantes minerales u orgánicos, en dependencia del cultivo, el suelo y la disponibilidad de nutrientes (Ruiz *et al.*, 2011).

El manejo de los HMA se vislumbra como una alternativa económica y ecológicamente viable

para disminuir los costos de la fertilización de los pastos y los riesgos de contaminación ambiental (González-Cañizares *et al.*, 2015).

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto del abono verde de *Canavalia ensiformis* (L.) micorrizada en el rendimiento y calidad de la biomasa del cultivo sucesor *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone Cuba CT-169.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio. La investigación se realizó en la Unidad Científico Técnica de Base Suelos, perteneciente al Ministerio de la Agricultura, ubicada en las coordenadas 22° 09' de latitud norte y 80° 12' de longitud oeste, a 60 msnm, en el poblado de Barajagua, municipio de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, región centro sur de Cuba.

Características generales del suelo y variables sinópticas en el período. El suelo se clasifica como Pardo grisáceo (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). Después de transcurrido el período de incorporación de *C. ensiformis* (canavalia), y previo a la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169 (Pennisetum), los valores de algunos componentes de la fertilidad del suelo fueron: pH (KCl) 5,16; materia orgánica 1,77 %; fósforo y potasio asimilable 5,41 y 16,72 mg kg⁻¹ de suelo, respectivamente.

El comportamiento de las variables sinópticas (precipitación y temperatura) durante el período en que se desarrolló el trabajo se muestra en la figura 1.

Diseño y tratamiento experimental. Para la investigación se aplicó un diseño de bloques al azar con tres réplicas, y los siguientes tratamientos:

- T1-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Funneliformis mosseae*, incorporado al suelo previo a la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169.
- T2-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Glomus cubense*, incorporado al suelo previo a la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169.
- T3-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Rhizoglosum irregulare* incorporado al suelo, previo a la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169.
- T4-Abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar, incorporado al suelo previo a la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169 (testigo).

Procedimiento experimental

Las especies de micorrizas que se inocularon fueron: *Funneliformis mosseae*/INCAM-2 (Nicol. y Gerd. Walker y Schüßler (Schüßler y Walker,

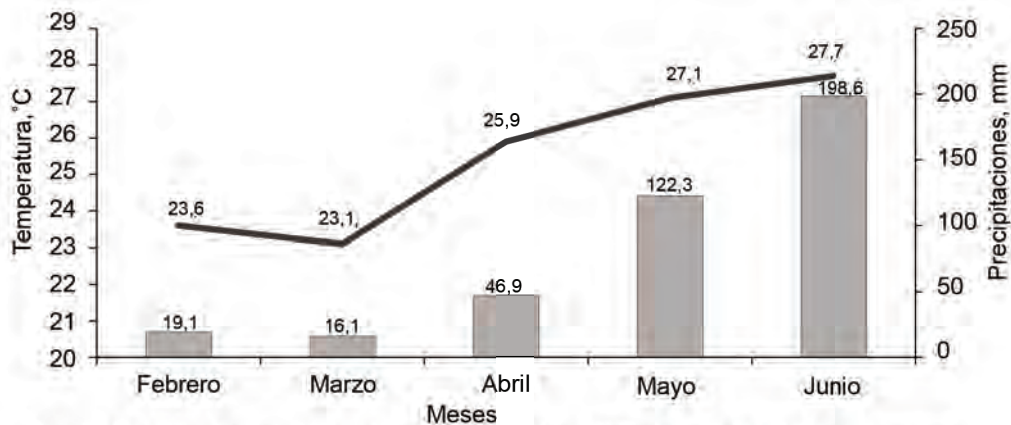


Figura 1. Precipitación (mm) y temperatura media mensual (°C) durante el período experimental.

2011), *Glomus cubense*/ INCAM-4 Y. Rodr. y Dalpé (Rodríguez *et al.*, 2011) y *Rhizoglosum irregulare*/ INCAM-11 N.C. Schenck & G.S. Sm. Sieverd., G.A. Silva y Oehl (Sieverding *et al.*, 2014). Todas pertenecen a la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba. Los inoculantes presentaron concentración de 30 esporas/g, para cada una de las cepas.

La inoculación con las especies de HMA se realizó vía recubrimiento de las semillas y se aplicó 10 kg ha⁻¹ de inoculante (Martín-Alonso *et al.*, 2012).

Se montaron parcelas de 8,40 m², con separación entre sí de 0,5 m. Como unidad de evaluación se tomaron los dos surcos centrales, descartando los bordes, para un área de 2,10 m²/ parcela. La canalía precedente se sembró el 28 de septiembre del 2016, con marco de siembra de 0,25 m entre plantas y 0,70 m entre surcos, lo que originó 32 plantas evaluables, incorporadas al suelo a los 69 días en todos los tratamientos.

La plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169 se realizó el 16 de febrero 2017 en las mismas parcelas del cultivo antecesor. Se colocaron las estacas (25 cm de largo) en el fondo del surco, con un traslape de 0,10 m en las puntas. Una vez ubicado el material vegetativo, se procedió a tapar con la tierra de los entresurcos. Hasta la plantación de *C. purpureus* Cuba CT-169, transcurrió un período de 70 días.

A los 133 días, se realizó el corte de establecimiento de *C. purpureus* Cuba CT-169 (29 de junio 2017), momento en el que se midió la altura con una regla graduada desde el suelo hasta el punto de crecimiento, así como el largo y ancho de la cuarta hoja, completamente abierta del ápice hacia abajo, de acuerdo con la metodología de Herrera y Ramos (2006). Posteriormente, se calculó el área foliar.

En cada parcela, se pesó la masa verde, correspondiente a los dos surcos centrales, y se tomaron 200 g de material vegetal para calcular la materia seca total (MST) y el porcentaje de nitrógeno mediante la digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y colorimetría con el reactivo de Nessler (Paneque *et al.*, 2010). Ambos cultivos no se fertilizaron ni recibieron riego. No se presentaron plagas ni enfermedades durante el ciclo fenológico.

El rendimiento de biomasa y la proteína bruta se calcularon de acuerdo con las fórmulas siguientes:

$$\text{Biomasa} = \frac{\text{Masa verde (kg parcela}^{-1}) \times \text{Materia seca (g kg}^{-1})}{\text{Área de cálculo (m}^2) \times 100}, \text{ t ha}^{-1}$$

$$\text{Proteína bruta} = \text{Nitrógeno foliar (\%)} \times 6,25, \%$$

Posterior al corte de establecimiento, se muestrearon las raíces en cada parcela. Para la colecta se utilizó un cilindro metálico de 5 cm de diámetro y 20 cm de altura, el cual se introdujo en el suelo y se procedió a la toma de la muestra.

Las raíces se clarificaron por la técnica de tinción de Rodríguez *et al.* (2015). Se cuantificó la colonización micorrízica (porcentaje de CM), según la metodología de Giovannetti y Mosse (1980), y la densidad visual de la colonización (% DV). Esta última expresa con mayor claridad la intensidad de la colonización micorrízica en la raíz. Las categorías para valorar el porcentaje de densidad visual (DV) fueron las siguientes: 0-ausencia de HMA; 1-1 %; 2-2,5 %; 3-15,5 %; 4-35,5 % y 5-47,5 % (Herrera-Peraza *et al.*, 2004).

Para la determinación de las diferencias entre los tratamientos, se utilizó la dódcima de comparación de rangos múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$. Todos

los datos se procesaron con el paquete estadístico *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) para Microsoft Windows®, versión 15.0.

Resultados y Discusión

El comportamiento de algunos indicadores morfológicos de *C. purpureus* Cuba CT-169 en su fase de establecimiento se muestra en la tabla 1. No se apreciaron diferencias estadísticas en la altura, el largo de la cuarta hoja, el área foliar y el grosor del tallo. En cuanto al ancho de la cuarta hoja, la mejor respuesta fue con el abono verde de *C. ensiformis*, micorrizada con la cepa *R. irregulare*, sin diferir del resto de las variantes inoculadas, pero sí del testigo ($p \leq 0,05$).

Las variables altura, largo y ancho de la cuarta hoja completamente abierta desde el ápice, así como el largo del cuarto entrenudo a partir del nivel del suelo y el rendimiento de masa verde, resultaron indicadores clave para explicar, con mayor grado de precisión, el comportamiento del clon *C. purpureus* (Herrera *et al.*, 2013).

La producción de biomasa mostró diferencias significativas en las variantes inoculadas con *G. cubense* y *F. mosseae* con relación al testigo. Sin embargo, el abono verde de *C. ensiformis*, micorrizada con la cepa *R. irregulare*, no difirió de las dos cepas anteriores ni tampoco del testigo. Este comportamiento indica que el período de sincronía entre la incorporación de la canavalia inoculada y la plantación del cultivo sucesor originó incremento del rendimiento de biomasa con relación al testigo y las dos primeras cepas de HMA.

El rendimiento se obtuvo en condiciones de secano y las precipitaciones hasta el corte de establecimiento estuvieron por debajo de la media histórica de la localidad (47,0; 60,2; 64,5; 176,0 y 243,4 mm en febrero, marzo, abril, mayo y junio, respectivamente), según informes de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (2018). Esto

pudo influir en el crecimiento y desarrollo de *C. purpureus* CT-169.

El uso de la canavalia micorrizada como abono verde (cepas *F. mosseae* y *G. cubense*) también fue evaluado por (García-Rubido *et al.*, 2017) en un suelo ferralítico amarillento rojizo lixiviado con pH (KCL) de 5,5 y 1,38 % de materia orgánica.

Hubo incremento del rendimiento de biomasa del cultivo sucesor en las variantes donde canavalia se inoculó con los HMA. Aunque no se obtuvieron diferencias estadísticas entre las diferentes cepas (figura 2).

Las precipitaciones, según Nava *et al.* (2013), influyen en la producción de forraje y el problema fundamental de la ganadería tropical radica en la alimentación de los animales en la época poco lluviosa. En este estudio, a pesar de las bajas precipitaciones, en todos los tratamientos el rendimiento superó la media para este cultivar, estimada en rendimientos mayores que 12 t ha⁻¹ en condiciones de secano.

En todos los tratamientos con inoculación se obtuvieron valores muy bajos de colonización micorrízica y de densidad visual, sin diferencias estadísticas con T4-abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar (tabla 2).

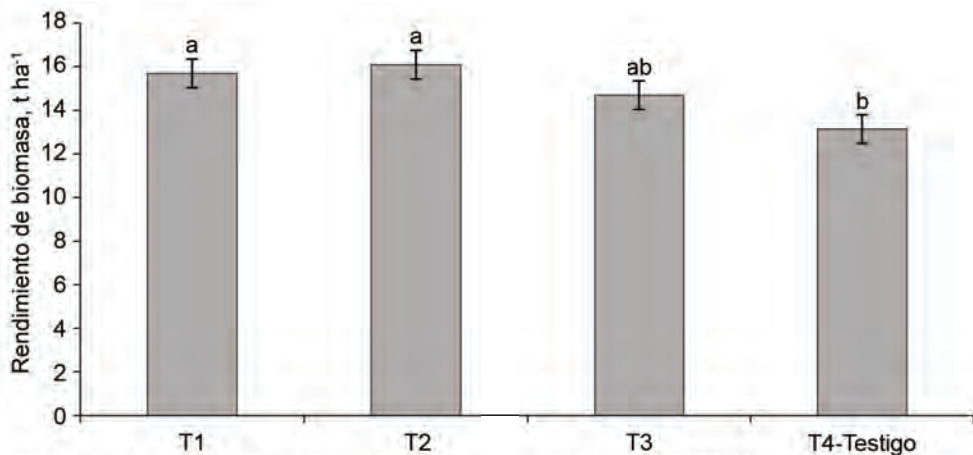
La colonización con las micorrizas fue menor que 5 % (muy baja). Sin embargo, las especies *F. mosseae* y *G. cubense* incrementaron el rendimiento de biomasa con relación al testigo (tabla 1). Martín-Alonso *et al.* (2018) consideraron que el tipo de suelo, su disponibilidad de nutrientes y el pH, están muy relacionados con la respuesta en el cultivo de la canavalia ante la inoculación con los HMA. La micorrización de *C. purpureus* CT-169 (tabla 2) pudo estar relacionada con el comportamiento de los propágulos en el complejo del suelo y el período de sincronía entre la incorporación del abono verde y la plantación del cultivo sucesor.

Tabla 1. Indicadores morfológicos en el momento del corte de establecimiento del CT-169.

Tratamiento	Altura, cm	Ancho cuarta hoja, cm	Largo cuarta hoja, cm	Área foliar, cm ²	Grosor del tallo, cm
T1	2,3	3,0 ^{ab}	84,0	251,1	1,6
T2	2,1	3,1 ^{ab}	81,3	248,9	1,7
T3	2,1	3,6 ^a	80,6	288,3	1,6
T4 (testigo)	2,0	2,8 ^c	80,8	228,2	1,5
EE ±	0,319	0,315*	0,940	0,863	0,722

T1-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Funneliformis mosseae*, T2-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Glomus cubense*, T3-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Rhizoglosum irregulare* y T4-Abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar (Testigo)

a, b, c: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$, * $p < 0,05$



T1-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Funnelformis mosseae*, T2-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Glomus cubense*, T3-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Rhizogloium irregulare* y T4-Abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar (Testigo)

a, b: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$, * $p < 0,05$

Figura 2. Rendimiento de biomasa de *C. purpureus* Cuba CT-169

Tabla 2. Indicadores biológicos de la micorrización.

Tratamiento	Colonización, %	Densidad visual, %
T1	1	0,01
T2	1	0,01
T3	2	0,02
T4 (testigo)	5	0,05

T1-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Funnelformis mosseae*, T2-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Glomus cubense*, T3-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Rhizogloium irregulare* y T4-Abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar (Testigo)

Ojeda-Quintana *et al.* (2018a) informaron que la colonización fúngica de raicillas en *C. ensiformis* previo a la incorporación al suelo, alcanzó porcentajes de 59,4 % en *F. mosseae*, seguida de *G. cubense* (55,4 %) y *Rhizogloium intraradices* (50,9 %), lo que demuestra una respuesta favorable a la inoculación con HMA en las condiciones edáficas donde los autores citados desarrollaron la investigación.

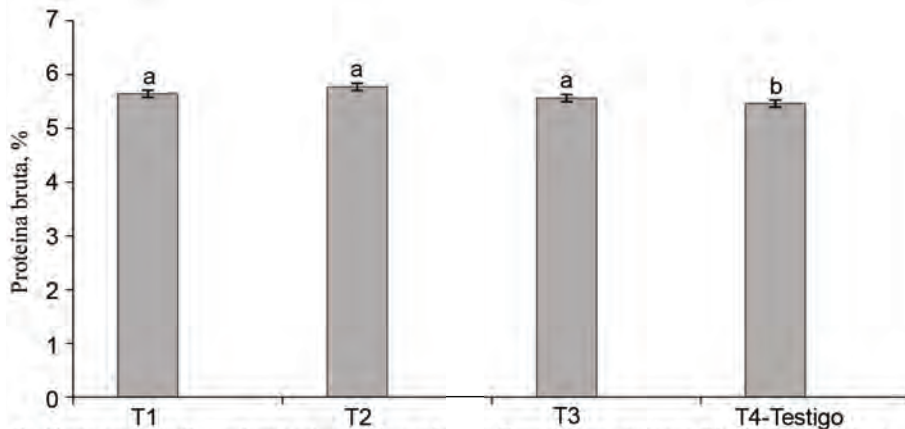
En el presente estudio, la colonización fúngica de las raicillas disminuyó en el tiempo, hasta porcentajes muy bajos (tabla 2). Esto se pudo deber a los días transcurridos entre la incorporación de canavalia al suelo y la plantación de *C. purpureus* CT-169, período que tal vez no favoreció la permanencia de los propágulos micorrízicos inoculados al cultivo antecesor, y disminuyó la colonización del cultivo sucesor.

En trabajos realizados en Cuba, al utilizar canavalia inoculada con cepas eficientes de HMA,

se obtuvo efecto positivo de la permanencia, con períodos no mayores de 30 días entre el corte e incorporación de canavalia y la plantación del cultivo sucesor, sin tener que inocular este último para que alcanzara una micorrización efectiva (Simó-González *et al.*, 2016; João *et al.*, 2017).

Oliveira *et al.* (2014) informaron mayor efectividad de las cepas introducidas con relación a las micorrizas residentes. Estos autores indicaron que el manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, vía inoculación, se podría asumir como una práctica agronómica efectiva para mejorar la productividad de las especies forrajeras.

En la figura 3 se muestra el contenido de proteína bruta. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos 1, 2 y 3, mientras que el testigo (T4) difirió del resto. La calidad del pasto es de vital importancia para la evaluación de cualquier especie forrajera que se utilice en una tecnología destinada



T1-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Fumelisformis mosseae*, T2-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Glomus cubense*, T3-Abono verde de *C. ensiformis* micorrizada con la cepa *Rhizogloium irregulare* y T4-Abono verde de *C. ensiformis* sin micorrizar (Testigo)

a, b: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para $p < 0,05$, * $p < 0,05$

Figura 3. Contenido de proteína bruta de *C. purpureus* Cuba CT-169.

a la producción animal. Además, complementa los indicadores agronómicos y morfofisiológicos, por lo que ofrece respuestas ante la influencia de factores ambientales y de manejo (Fortes *et al.*, 2012).

Las especies de pastos del género *Cenchrus* son promisorias para la ganadería. Suárez (2016) planteó que el contenido de proteína cruda de *C. purpureus* se encuentra, por lo general, entre 3 y 20 % e incluso más, en plantas más jóvenes. En este rango se incluyen los valores del presente estudio.

Ojeda-Quintana *et al.* (2018b), en similares condiciones de suelo, inocularon las especies *F. mosseae*, *G. cubense* y *R. irregulare*, directamente en el momento de la plantación de *C. purpureus* vc: Taiwán morado. Estos autores lograron una respuesta significativa a la inoculación con estas especies micorrízicas. Los porcentajes de proteína bruta informados en el corte de establecimiento fueron de 5,25; 4,31 y 5,87 % respectivamente, mientras que en el tratamiento testigo fueron de 5,12 %.

La inclusión de los abonos verdes inoculados con HMA en los sistemas de fertilización para los pastos y cultivos forrajeros resulta una vía para mejorar el rendimiento y el valor nutricional. Zhang *et al.* (2016) observaron que los beneficios de estos microorganismos en los agroecosistemas de pastizales están muy ligados al aumento de la superficie de absorción de las raíces y, consecuentemente, a la mejora en la eficiencia de utilización de los nutrientes por las plantas

La inoculación de la canavalia con las cepas de micorrizas incrementó el rendimiento de biomasa y la proteína bruta de *C. purpureus* vc Cuba CT-169.

Agradecimientos

Al Proyecto no asociado a Programa "Manejo integrado de tecnologías para el desarrollo sostenible de Unidades lecheras en la Región Central de Cuba" (Código: 2409), por el financiamiento para ejecutar las investigaciones que amparan el estudio. Al Departamento de Biofertilizantes del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas por suministrar las especies de micorrizas evaluadas en el trabajo y al Laboratorio de Suelos, Barajagua, Cienfuegos por el procesamiento y análisis de las muestras.

Contribución de los autores

- Lázaro J. Ojeda-Quintana. Conceptualizó, formuló y diseñó la investigación. También condujo la investigación en campo, evaluó y recopiló los datos en las pruebas de los experimentos, interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito. Rectificó los señalamientos realizados al mismo por los árbitros.
- Ramón Rivera-Espinosa. Colaboró en la interpretación de los resultados del análisis estadístico. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el manuscrito.
- Pedro J. González-Cañizares. Realizó la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el documento.

- Juan J de la Rosa-Capote. Responsable de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, además de la conservación de los datos y anotaciones tomadas en el transcurso de la investigación.
- Osvaldo Arteaga Rodríguez. Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación.
- Consuelo Hernández-Rodríguez. Fue la responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Referencias bibliográficas

- Bueno-Guzmán, G. A.; Pardo-Barbosa, O.; Pérez-López, O.; Cerinza-Murcia, Ó. J. & Pabón-Leal, D. M. *Bancos forrajeros en sistemas agrosilvopastoriles para la alimentación animal en el piedemonte del Meta*. Villavicencio, Colombia: Corpoica, 2015.
- Chará, J.; Murgueitio, E.; Uribe, F. & Montoya, S. *Carne sostenible con bienestar animal. Sistemas de carne*. Cali, Colombia: Fundación CIPAV. p. 16-20, 2015.
- Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. *Informe sobre las precipitaciones en la provincia de Cienfuegos, acumulados y media histórica*. Cienfuegos, Cuba: Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, 2018.
- Fortes, Dayleni; Herrera, R. S.; García, M.; Cruz, Ana M. & Romero, Aida. Composición química de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 46 (3):321-329, 2012.
- García-Rubido, Milagros; Rivera-Espinosa, R.; Cruz-Hernandez, Yoanna; Acosta-Aguiar, Yensi & Ramón-Cabrera, J. Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrízico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*. 38 (1):7-12, 2017.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84:489-500, 1980. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- González-Cañizares, P. J.; Ramírez-Pedroso, J. F.; Morgan-Rosemond, O.; Rivera-Espinosa, R. & Plana-Llerena, R. Contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales*. 36 (1):135-142, 2015.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- Herrera-Peraza, R. A.; Furrázola, E.; Ferrer, R. L.; Fernández-Valle, R. & Torres-Arias, Y. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in evergreen tropical forests, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 35 (2):113-123, 2004.
- Herrera, R. S.; García, M.; Fortes, Daylene; Cruz, Ana M. & Romero, Aida. Determinación de indicadores, en base húmeda, para explicar la variabilidad entre clones de *Pennisetum purpureum*. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 47 (2):195-199, 2013.
- Herrera, R. S. & Ramos, N. Factores que influyen en la producción de biomasa y calidad. En: R. S. Herrera, G. Crespo y G. Febles, eds. *Pennisetum purpureum para la ganadería tropical*. La Habana: EDICA. p. 25-30, 2006.
- João, J. P.; Rivera-Espinosa, R.; Martín-Alonso, Gloria M.; Riera-Nelson, M. & Simó-González, J. Sistema integral de nutrición con HMA, abonos verdes y fertilizantes minerales en *Manihot esculenta* Crantz. *Cultivos Tropicales*. 38 (3):117-128, 2017.
- Jung, S. C.; Martinez-Medina, A.; Lopez-Raez, J. A. & Pozo, M. J. Mycorrhiza induced resistance and priming of plant defenses. *J. Chem. Ecol.* 38 (6):651-664, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6>.
- Lehmann, A.; Leifheit, E. F. & Rillig, M. C. Mycorrhizas and soil aggregation. In: *Mycorrhizal mediation of soil: fertility, structure, and carbon storage*. New York: Elsevier. p. 241-262, 2017.
- Martín-Alonso, Gloria M. & Rivera-Espinosa, R. Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales*. 36 (supl. 1):34-50, 2015.
- Martín-Alonso, Gloria M.; Rivera-Espinosa, R.; Arias-Pérez, Lianne & Pérez-Díaz, A. Respuesta de *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. 33 (2):20-28, 2012.
- Martín-Alonso, Gloria M.; Tamayo, Y.; Ramírez-Pedroso, J. F.; Varea, M. & Rivera-Espinosa, R. Relación entre la respuesta de *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica y algunas propiedades químicas del suelo. *Cultivos Tropicales*. 38 (3):24-29, 2018.
- Nava, J. J.; Gutiérrez, E.; Zavala, F.; Olivares, E.; Elías, J.; Bernal, H. et al. Establecimiento del pasto CT-115 (*Pennisetum purpureum*) en una zona semiárida del noreste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:239, 2013.

- Ojeda-Quintana, L.; González-Cañizares, P. J.; Rivera-Espinosa, R.; Furrázola, E.; Rosa-Capote, J. J. de la; Hernández, M. E. *et al.* Inoculación de *Canavalia ensiformis* con hongos micorrízico arbusculares en la fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes*. 41 (3):189-195, 2018a.
- Ojeda-Quintana, L. O.; Rodríguez-González, Y.; Frómeta, C. & J., Portero, J. Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares y humus de lombriz en el establecimiento de un banco forrajero de *Pennisetum purpureum* vc. Taiwán morado. *Revista Científica Agroecosistemas*. 6 (2):84-91, 2018b.
- Oliveira, T. B. de; de Mello, A. H. & Ferreira, L. A. Influência da inoculação de fungos micorrízicos em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) em pastagens no projeto de assentamento Belo Horizonte I em São Domingos do Araguaia-Pa. *Enciclopédia Biosfera*. 10 (18):1988-1999, 2014.
- Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. & Caruncho, M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2010.
- Rivera-Espinosa, R.; González-Cañizares, P. J.; Hernández-Jiménez A. & Martín-Alonso, Gloria M. La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos. *VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*. La Habana: Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, 2015.
- Rodríguez, Y.; Arias, L.; Medina, A.; Mujica, Y.; Medina, L. R.; Fernández, K. *et al.* Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. *Cultivos Tropicales*. 36 (2):18-21, 2015.
- Rodríguez, Yesenia; Dalpé, Yolande; Séguin, Sylvie; Fernández, Kalyanne; Fernández, F. & Rivera, R. *Glomus cubense* sp. nov. an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 118 (1):337-384, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5248/118.337>.
- Ruiz, P. O.; Rojas, K. C. & Sieverding, E. La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*. 23:47-63, 2011.
- Schüßler, A. & Walker, C. Evolution of the 'plant-symbiotic' fungal Phylum, Glomeromycota. Evolution of fungi and fungal-like organisms. In: S. Pöggeler and J. Wöstemeyer, eds. *The Mycota XIV*. Berlin Heidelberg: SpringerVerlag. p. 163-185, 2011.
- Sieverding, E.; Silva, G. A. da; Berndt, R. & Oehl, F. Rhizoglosum, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*. 129 (2):373-386, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5248/129.373>.
- Simó-González, J.; Rivera-Espinosa, R.; Ruiz-Martínez, L. A. & Espinosa-Cuellar, E. Necesidad de reinoculación micorrízica en el trasplante del banano en áreas con precedente de canavalia inoculada con HMA. *Ctro. Agr.* 43 (2):28-35, 2016.
- Suárez, C. *Evaluación agronómica y nutricional del pasto elefante (Pennisetum purpureum) a partir de diferentes biofertilizantes en la finca los robles de la fundación universitaria de Popayán*. Tesis en opción a la Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Colombia: Universidad de Manizales, 2016.
- van der Heijden, M. G. A.; Martin, F. M.; Selosse, M. A. & Sanders, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol.* 205 (4):1406-1423, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13288>.
- Zhang, L.; Xu, M.; Liu, Y.; Zhang, F.; Hodge, Angela & Feng, G. Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium. *New Phytol.* 210 (3):1022-1032, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13838>.