

**Producción de biomasa de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, asociado con *Canavalia ensiformis* (L.), coinoculado con micorrizas y rhizobium y combinado con nitrógeno mineral**  
**Biomass production of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, associated with *Canavalia ensiformis* (L.), co-inoculated with mycorrhizae and rhizobium and combined with mineral nitrogen**

Lazaro Jesús Ojeda-Quintana<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8629-5695>, Ramón Antonio Rivera-Espinosa<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6621-7446>, Enrique Casanovas-Cosío<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5884-3922>, Juan José de la Rosa-Capote<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6860-7296>, Consuelo Hernández-Rodríguez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8281-3376> y Yanoris Bernal-Carrazana<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8706-2946>

<sup>1</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Suelos. Cumanayagua, Cienfuegos, Cuba. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Carretera a Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. <sup>3</sup>Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Carretera a Rodas km. 4.5 Cuatro Caminos, CP. 59430 Cienfuegos, Cuba. \*Correo electrónico: [lojeda@ucf.edu.cu](mailto:lojeda@ucf.edu.cu)

## Resumen

**Objetivo:** Evaluar los beneficios de la inoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) con hongos micorrizicos arbusculares y rizobios en la producción de biomasa de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone cv. Cuba CT-169, fertilizado con dosis medias de nitrógeno mineral.

**Materiales y Métodos:** La investigación se desarrolló en un suelo de baja fertilidad de la Unidad Científico Técnica de Base Suelos, Barajagua, Cienfuegos, Cuba. Se aplicó un diseño de bloques al azar, con seis tratamientos y tres réplicas: T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* CT-169, T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* CT-169 50 % N, T3) *C. ensiformis* + HMA + rizobios + *C. purpureus* CT-169 +50 % N, T4) *C. purpureus* CT-169 50 % N, T5) *C. purpureus* CT-169 100 % N y T6) *C. purpureus* CT-169. La *C. ensiformis* se sembró intercalada 20 días después del corte de emparejamiento del CT-169. A los 60 días, recibió un primer corte y se depositó entre los surcos para su descomposición. El rebrote de *C. ensiformis* se dejó crecer durante 65 días, hasta coincidir con los 145 días del CT-169. En este momento se realizó el corte final a ambas especies. Se calculó la producción de biomasa total en los tratamientos que combinan el CT-169 y la canavalia, para lo cual se pesaron de forma independiente ambas especies y se determinó el porcentaje que correspondió al aporte de la canavalia. En el resto de los tratamientos se calculó únicamente la biomasa del CT-169. En el momento del corte, se midió la altura del CT-169, así como el largo y ancho de la cuarta hoja. Posteriormente, se calculó el área foliar y la producción de biomasa total.

**Resultados:** Los indicadores morfofisiológicos de los tratamientos T5 y T6 difirieron del resto, con valores extremos (alto y bajo), respectivamente. Entre los tratamientos T3 y T4, no hubo diferencias en el grosor del tallo, longitud y ancho de la cuarta hoja y área foliar. En cuanto a la producción de biomasa, el tratamiento T5 alcanzó la mayor producción con diferencias significativas con respecto al resto, seguido del tratamiento T3. En los tratamientos donde el *C. purpureus* CT-169 estuvo asociado con *C. ensiformis*, la leguminosa constituyó entre 14,7 y 18,1 % de la producción total de biomasa, respectivamente.

**Conclusiones:** Con la aplicación de 100 % de nitrógeno mineral a *C. purpureus* CT-169, se logró mejor rendimiento en términos de los indicadores morfofisiológicos como de producción de biomasa. Además, la inclusión de *C. ensiformis* mejoró la calidad del forraje, debido al aporte proteico de la leguminosa.

**Palabras clave:** abonos, leguminosas, rendimiento

## Abstract

**Objective:** To evaluate the benefits of inoculation of *Canavalia ensiformis* (L.) with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia in biomass production of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone cv. Cuba CT-169, fertilized with medium doses of mineral nitrogen.

**Materials and Methods:** The research was carried out in a low-fertility soil of the Technical Scientific Basic Unit Soils, Barajagua, Cienfuegos, Cuba. A randomized block design was applied, with six treatments and three replicas: T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* CT-169, T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* CT-169 50 % N, T3) *C. ensiformis* + AMF + *C. purpureus* CT-169 50 % N, T4) *C. ensiformis* + AMF + rhizobia + *C. purpureus* CT-169 +50 % N, T5) *C. purpureus* CT-169 100 % N and T6) *C. purpureus* CT-169. *C. ensiformis* was intercropped 20 days after the CT-169 leveling cut. At 60 days, it received a first cut and was deposited between the furrows for decomposition. The regrowth of *C. ensiformis* was allowed to grow for 65 days, to coincide with the 145 days of CT-169. At this time, the final cut was made to both species. Total biomass production was calculated in the treatments combining CT-169 and canavalia, for which both species were weighed independently and the percentage corresponding to the contribution of canavalia was determined. In the rest of the treatments, only the biomass of CT-169 was calculated. At the time of cutting, the height of CT-169 was measured, as well as the length and width of the fourth leaf. Subsequently, leaf area and total biomass production were calculated.

**Results:** The morpho-physiological indicators of treatments T5 and T6 differed from the others, with extreme values (high and low), respectively. Between treatments T3 and T4, there were no differences in stem diameter, length and width of the fourth leaf and leaf area. Regarding biomass production, treatment T5 reached the highest production with significant differences compared with the others, followed by treatment T3. In the treatments where *C. purpureus* CT-169 was associated with *C. ensiformis*, the legume constituted between 14,7 and 18,1 % of the total biomass production, respectively.

**Conclusions:** With the application of 100 % mineral nitrogen to *C. purpureus* CT-169, better yield was achieved in terms of the morphophysiological indicators as well as biomass production. In addition, the inclusion of *C. ensiformis* improved the forage quality, due to the protein contribution of the legume.

**Keywords:** fertilizers, legumes, yield

Recibido: 25 de marzo de 2024  
Aceptado: 20 de julio de 2024

Como citar este artículo: Ojeda-Quintana, Lázaro Jesús; Rivera-Espinosa, Ramón Antonio; Casanovas-Cosío, Enrique; Rosa-Capote Juan José de la; Hernández-Rodríguez, Consuelo & Bernal-Carrazana, Yanoris. Producción de biomasa de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone asociado con *Canavalia ensiformis* (L.), coinoculado con micorrizas y rhizobium y combinado con nitrógeno mineral. *Pastos y Forrajes*, 47: e10, 2024.

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 adopción de prácticas agroecológicas favorece la intensificación sostenible de la agricultura, ya que aborda problemas relacionados con el impacto ambiental negativo y la baja productividad y eficiencia en sistemas agrícolas especializados (Bover-Felices y Suárez-Hernández, 2020). Los agroecosistemas de pastizales, que cubren más de un cuarto de la superficie terrestre, son cruciales para la producción de leche y carne (Martínez-Sáez *et al.*, 2018). Entre las estrategias agroecológicas destacan el uso de coberturas vegetales, que protegen el suelo contra la erosión, controlan las malas hierbas, aumentan la materia orgánica y mejoran las propiedades del suelo (Alonso-Ayuso *et al.*, 2020). Las leguminosas, como las fabáceas, son particularmente valiosas, pues además de estos beneficios, enriquecen el suelo con nitrógeno a través de su simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico que actúan como abonos verdes (People *et al.*, 2019).

*Canavalia ensiformis* (L.) es una planta que se destaca por su resistencia, adaptabilidad a diversas condiciones del suelo, capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico y respuesta positiva a la inoculación micorrízica, lo que la convierte en un abono verde ideal para diversos cultivos en Cuba (Rivera *et al.*, 2020). Su biomasa se descompone rápidamente, liberando nitrógeno y otros nutrientes que mejoran la nutrición de los cultivos asociados y aumentan la eficiencia de los fertilizantes aplicados (Simó *et al.*, 2020).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son fundamentales para la nutrición de los cultivos y la resiliencia de los agroecosistemas, mejoran la absorción de nutrientes y agua por las plantas y las protegen de los patógenos (Ortas, 2019; Rillig *et al.*, 2019; Schaefer *et al.*, 2021). En las leguminosas, la simbiosis tripartita entre las plantas, los rizobios y los HMA potencia aún más estos beneficios (Calderon y Dangi, 2024). La inoculación de *C. ensiformis* con cepas eficientes de estas micorrizas mejora la nutrición de los cultivos asociados, reduce la necesidad de fertilizantes y facilita la micorrización efectiva, sin requerir inoculaciones directas en otros cultivos (Rivera *et al.*, 2020; 2023).

Existen diversos inóculos comerciales basados en cepas de HMA, disponibles para la agricultura, cuya efectividad ha sido evaluada en varios estudios (Elliott *et al.*, 2021; Frew, 2021). En Cuba, las investigaciones han demostrado la eficacia de *C. ensiformis*, inoculada con cepas generalistas de estas micorrizas en diferentes cultivos y sue-

los (Rivera *et al.*, 2020). Sin embargo, se requiere más investigaciones sobre el uso de *C. ensiformis*, inoculada con HMA y rizobios en plantaciones de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone en suelos Pardos grisáceos dísticos, comunes en las áreas ganaderas del país.

El objetivo de este estudio fue evaluar los beneficios de la inoculación de *C. ensiformis* con HMA y rizobios en la producción de biomasa de *C. purpureus* cv. Cuba CT-169, fertilizado con dosis media de nitrógeno mineral.

## Materiales y Métodos

**Ubicación del área de estudio.** La investigación se realizó en la Unidad Científico Técnica de Base Suelos, Barajagua, 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 Cumanayagua, provincia Cienfuegos, región centro sur de Cuba.

**Características generales del suelo.** El suelo se clasifica como Pardo grisáceo dístico (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). Los valores de algunos componentes de su fertilidad en el momento de conformar las parcelas experimentales fueron: pH (KCl) 5,15; materia orgánica 1,84 %; fósforo y potasio asimilable 3,01 y 5,72 mg kg<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente.

**Diseño y tratamiento experimental.** El experimento se condujo en un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y tres repeticiones que se describen a continuación:

- T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169
- T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N
- T3) HMA *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N
- T4) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N
- T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 -100 % N
- T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169

**Procedimiento experimental.** El experimento se condujo en un área establecida por cuatro años de *C. purpureus* cv. Cuba CT-169. Se conformaron parcelas de 8,4 m<sup>2</sup>, con cuatro surcos de 3,0 m de largo por 0,7 m de ancho y separación entre sí de 0,5 m. Como unidad de evaluación se tomaron los dos surcos centrales con descarte de bordes, para un área de 2,1 m<sup>2</sup>.

Previo a la conformación de las parcelas, se realizó un corte de homogenización al cenchrus en toda el área experimental, a altura de 15 cm sobre

el suelo. Después de 20 d, en las parcelas que correspondía, se intercaló un surco de *C. ensiformis* a 35 cm de cada surco de *C. purpureus*, no solo en las calles (entre surcos de *C. purpureus*) sino a 35 cm de los bordes externos, para un total de cinco surcos de *C. ensiformis* en cada parcela. *C. ensiformis* se sembró con distancia entre plantas de 0,25 m para un total de 60 plantas por parcelas.

La cepa de micorriza inoculada fue *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson y Gerd.; C. Walker y A. Schüßler) INCAM-2, procedente de la colección de cepas de HMA del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). El inoculante se formuló en estado sólido en un sustrato arcilloso, que contenía 30 esporas por gramo de inoculante, así como cantidades no cuantificadas de fragmentos de raicillas e hifas.

La inoculación con los HMA se realizó por el método del recubrimiento, para lo que se sumergieron las semillas de *C. ensiformis* en una pasta fluida, elaborada mediante la mezcla de una cantidad de inóculo equivalente al 10 % del peso de las semillas y agua, en proporción de 50 ml de agua por cada 100 g de inóculo (Simó *et al.*, 2020).

La cepa de rhizobium empleada fue Can 2 del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del INCA, en concentración de  $1 \times 10^8$  UFC ml<sup>-1</sup>. La dosis recomendada para la cepa de rhizobium fue de 250 mL por cada 50 kg de semilla en imbibición. Primero se realizó la aplicación de rhizobium y posteriormente la inoculación con la cepa de micorriza.

A los 60 d, en la etapa de floración y con las primeras vainas en formación, *C. ensiformis* recibió un primer corte a 15 cm sobre el suelo. Todo el follaje se depositó entre los surcos para su descomposición. En ese momento, CT-169 tenía 80 d. El rebrote de *C. ensiformis* se dejó crecer durante 65 días, que coincidieron con los 145 días del CT-169, momento en el que se realizó el corte final a ambas especies.

**Mediciones.** En el momento del corte, se midió la altura del CT-169 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 resultante de la multiplicación del largo por el ancho de la hoja.

La producción de biomasa se determinó de acuerdo con la ecuación que sigue:

La producción de biomasa total comprendió los tratamientos que combinaron CT-169 y *C. ensiformis*, para lo que se pesaron de forma independiente ambas especies y se determinó el porcentaje que correspondió al aporte de *C. ensiformis*. El resto contempló únicamente la biomasa de los tratamientos con CT-169. En cada parcela, se tomaron 200 g de muestra foliar de las especies presentes para determinar la materia seca total (Paneque *et al.*, 2010).

**Análisis estadístico.** El procesamiento estadístico de los datos se hizo mediante el análisis de varianza. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se compararon las medias por Duncan (1955). Previamente se realizaron las pruebas correspondientes para la normalidad (*Shapiro-Wilks*) y homogeneidad de varianza (*Levene*). Para el análisis de datos se utilizó el programa IBM, Statistical Package for Social Sciences (SPSS) para Microsoft Windows®, versión 15.0 (2012).

## Resultados y Discusión

El comportamiento de algunos indicadores morfofisiológicos de *C. purpureus* Cuba CT-169 en el momento del corte de establecimiento se muestra en la tabla 1. Los tratamientos T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 -100 % N y T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 difirieron del resto, con los valores más altos y bajos de las variables morfofisiológicas, respectivamente. Se constató el efecto favorable de la fertilización mineral nitrogenada al 100 %, sin adición de abono verde ni biofertilizantes respecto al testigo absoluto y al resto de las variantes. Entre los tratamientos, T3) *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N y T4) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169-50 % N no hubo diferencias en los indicadores grosor del tallo, largo y ancho de la cuarta hoja y el área foliar (tabla 1).

Se encontró efecto favorable del abono verde T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 con relación al testigo absoluto, T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 y al T3) *C. ensiformis*-*Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N con respecto al T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N. Esto parece indicar el beneficio de la inoculación conjunta de las micorrizas y el rizobio

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

Tabla 1. Indicadores morfofisiológicos de *C. purpureus* en el corte de establecimiento.

Tratamiento	Grosor, cm	Largo cuarta hoja, cm	Ancho cuarta hoja, cm	Altura, m	Área foliar, cm <sup>2</sup>
T1	1,71 <sup>d</sup>	80,3 <sup>c</sup>	2,6 <sup>c</sup>	2,1 <sup>c</sup>	211,6 <sup>c</sup>
T2	1,78 <sup>c</sup>	80,0 <sup>d</sup>	2,7 <sup>c</sup>	2,3 <sup>c</sup>	221,5 <sup>c</sup>
T3	1,88 <sup>b</sup>	82,2 <sup>b</sup>	2,8 <sup>b</sup>	2,3 <sup>c</sup>	230,3 <sup>bc</sup>
T4	1,84 <sup>b</sup>	82,7 <sup>b</sup>	3,0 <sup>b</sup>	2,4 <sup>b</sup>	245,3 <sup>b</sup>
T5	1,94 <sup>a</sup>	87,0 <sup>a</sup>	3,5 <sup>a</sup>	3,0 <sup>a</sup>	301,6 <sup>a</sup>
T6	1,64 <sup>c</sup>	78,8 <sup>c</sup>	2,4 <sup>d</sup>	1,9 <sup>d</sup>	189,1 <sup>d</sup>
EE ±		2,65 <sup>***</sup>	0,36 <sup>***</sup>	0,38 <sup>***</sup>	37,34 <sup>***</sup>

a, b, c, d y e: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para  $p \leq 0,001$ .

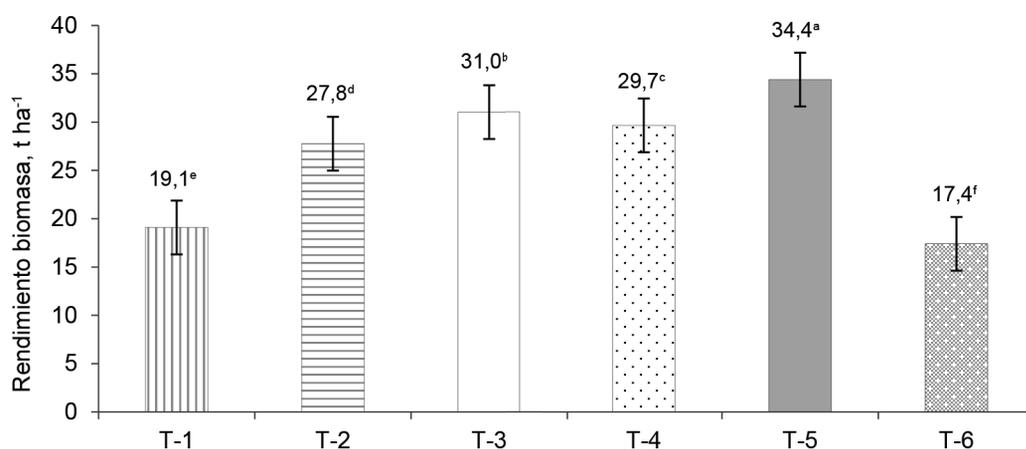
T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169, T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T3) *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T4) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 %, T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 -100 % N, T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169

combinado con dosis al 50 % de nitrógeno. En las variantes donde estuvo intercalada *C. ensiformis*, independientemente de estar inoculada o no con los biofertilizantes, la altura del CT-169 fue menor en relación con CT-169 con fertilización mineral nitrogenada. Ello pudiera indicar un efecto discreto de competencia.

Este comportamiento parece estar relacionado con el aumento del aprovechamiento de los nutrientes del suelo a partir de la formación de cantidades de estructuras micorrízicas que pueden facilitar el acceso de las plantas a tales recursos desde el suelo (Ighion y Babalola, 2017) y, además, a la inoculación de *C. ensiformis* con el rhizobium y el aporte al suelo después de su descomposición, una vez depositada.

Ojeda-Quintana *et al.* (2019) estudiaron en condiciones de campo, similares a las del presente trabajo, el efecto del abono verde de *C. ensiformis*, inoculada con HMA y utilizada como cultivo precedente e incorporada al suelo, en el rendimiento y la calidad de la biomasa de *C. purpureus* Cuba CT-169 (cultivo sucesor) en su fase de establecimiento. No se encontraron diferencias en altura, largo de la cuarta hoja, área foliar y grosor del tallo del CT-169, pero sí en el ancho de la cuarta hoja, así como en la producción de biomasa

En la figura 1 se muestra la producción de biomasa obtenida en el corte de establecimiento del CT-169 y de *C. ensiformis* (biomasa total y únicamente del CT-169). Todos los tratamientos difirieron



a, b, c, d y e: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para  $p \leq 0,001$

T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169, T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T3) *C. ensiformis*- *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T4) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 %, T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 -100 % N, T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169.

Figura 1. Producción de biomasa por tratamiento.

ron estadísticamente entre sí. El tratamiento T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 -100 % N alcanzó el mayor rendimiento de biomasa. Sin embargo, lo más interesante fue la respuesta del tratamiento T3) *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, que superó al resto, excepto al 100 % de la fertilización nitrogenada, lo que indica una respuesta favorable de la inoculación de *C. ensiformis* con los biofertilizantes en presencia de la fertilización nitrogenada. Los resultados indican que la utilización de *C. ensiformis* inoculada, aunque con un efecto favorable, no logró sustituir 50 % de la fertilización. Sugieren que en experimentos posteriores se trabaje con mayores porcentajes de fertilizantes, aunque siempre menores que 100 % de la fertilización o combinados con abonos orgánicos para alcanzar mayores producciones de biomasa y equivalentes o superiores a la obtenida en el tratamiento con 100 % de fertilización (Rivera *et al.*, 2023).

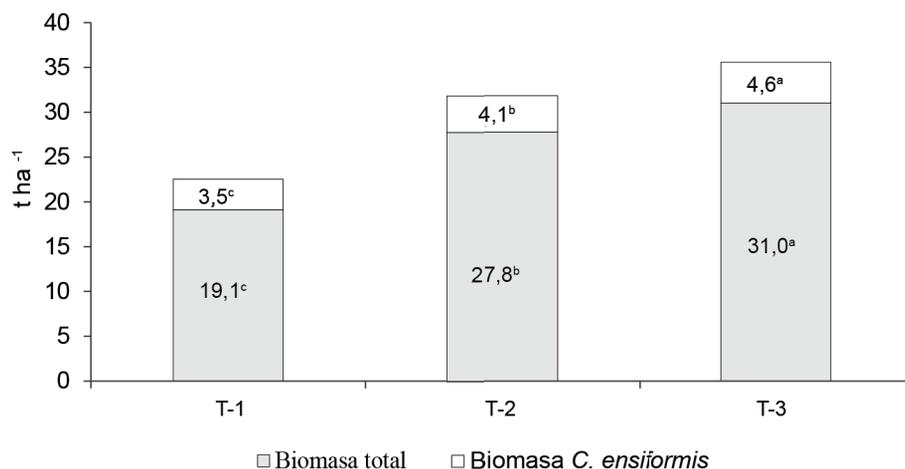
Resultó destacable la combinación de *C. ensiformis* sin inoculación (T-1) con *C. purpureus*, que superó al testigo absoluto (CT-169), lo que muestra el efecto favorable del abono verde en el crecimiento del CT-169 y el incremento de su biomasa.

Se conoce que los HMA incrementan la absorción y traslocación de los nutrientes a partir de las modificaciones morfológicas y fisiológicas que

producen en las raíces de la planta hospedera, que aumentan la superficie de contacto con el suelo (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

Martín *et al.* (2015) evaluaron la respuesta de *C. ensiformis* a la coinoculación de rhizobium y HMA en suelos gley nodular ferruginoso y Ferralítico rojo. Los resultados en esos trabajos mostraron que *C. ensiformis* respondió positivamente a la coinoculación rhizobium/HMA en ambos tipos de suelos, con mejoría del rendimiento de biomasa de *C. ensiformis*.

En la figura 2 se muestra la estructura de la producción de biomasa total en los tratamientos que intercalaron *C. ensiformis*. El aporte de la leguminosa intercalada con CT-169 constituyó entre 14,7; 14,7 y 18,1 % a la contabilización de la biomasa total obtenida, lo que indica que la producción del CT-169 fue menor, aspecto que se puede atribuir al efecto de la competencia entre ambas especies. No obstante, la producción de biomasa total se favoreció por la inclusión de *C. ensiformis* inoculada con los biofertilizantes, ya que no solo fue mayor ( $p \leq 0,05$ ) que la obtenida con el tratamiento que recibió 50 % de la fertilización, sino que el forraje mejoró su calidad proteica al incluir 18,0 % de *C. ensiformis*, que presenta una concentración de nitrógeno próxima al 3 %, superior a las del CT-169, que se halla comúnmente en el orden de 1,5 % (Simo *et al.*, 2020).



a, b y c: Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para  $p \leq 0,001$ \*\*\*

T1) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169, T2) *C. ensiformis* + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T-3) *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 % N, T4) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 50 %, T5) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169 - 100 % N, T6) *C. purpureus* cv. Cuba CT-169.

Figura 2. Estructura de la producción de biomasa en los tratamientos asociados con *C. ensiformis*.

La información experimental ha establecido que *C. ensiformis* presenta mayor crecimiento, producción de biomasa, contenido de nutrientes y número de nódulos en presencia de la coinoculación de las cepas eficientes de HMA y de rizobios (Tamayo *et al.*, 2015). Ello se pudo observar en la respuesta del tratamiento T3) *C. ensiformis* - *Funneliformis mosseae*/ INCAM-2 - Azofert-Can 2 + *C. purpureus* cv: Cuba CT-169 - 50 % N con relación a la producción de biomasa. Esta idea coincide, además, con lo planteado por Tamayo-Aguilar *et al.* (2021), en cuanto al incremento de la producción de biomasa de *C. ensiformis* con la inoculación con rizobios y cepas de HMA y a través de sus interacciones simbióticas que proporcionan beneficios en el rendimiento y la calidad de las cosechas de los cultivos económicos asociados.

Se debe considerar lo planteado por Bakshi *et al.* (2020), quienes señalan que para lograr una nutrición más eficiente de los cultivos, la integración de fertilizantes y fuentes orgánicas es una necesidad actual. En estas circunstancias, el manejo integrado de nutrientes se ha convertido en la mejor tecnología, al enriquecer los cultivos agrícolas con nutrientes esenciales, aumentar la producción y sostener la productividad y la fertilidad del suelo a partir del uso integrado de abonos orgánicos, fertilizantes químicos y biofertilizantes, que abarca también la rotación de cultivos, la introducción de leguminosas y el manejo eficiente del agua.

### Conclusiones

La aplicación de 100 % de nitrógeno mineral a *C. purpureus* CT-169 resultó en el mejor rendimiento en los indicadores morfofisiológicos como en la producción de biomasa. Además, la inclusión de *C. ensiformis* mejoró la calidad del forraje, debido al aporte proteico de la leguminosa.

### Agradecimientos

Se agradece al proyecto nacional Sistema para uso del biofertilizante micorrízico EcoMic® y su manejo conjunto con otros bioproductos y prácticas culturales en la producción de alimentos (Código: P131LH001.036) por el financiamiento para la ejecución de esta investigación. Se reconoce al Departamento de Biofertilizantes del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas por suministrar las cepas de biofertilizantes evaluadas y al Laboratorio de Suelos, Barajagua en Cienfuegos por el procesamiento y análisis de las muestras foliares y de suelo.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

### Contribución de los autores

- Lázaro Jesús Ojeda-Quintana. Conceptualizó, formuló y diseñó la investigación. 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. Mantuvo una secuencia de imágenes fotográficas de todas las actividades durante la duración del experimento.
- Ramón Antonio Rivera-Espinosa. Dirigió el proyecto del que deriva la investigación. Participó en el diseño de la investigación, así como en la interpretación de los resultados alcanzados. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones que enriquecieron el manuscrito.
- Enrique Casanovas-Cosío. Aportó a la concepción del experimento, realizó los análisis estadísticos y las propuestas de tablas y figuras del artículo. Intervino en la revisión del borrador y recomendó modificaciones.
- Juan José de la Rosa-Capote. Responsable de la planificación de las actividades de campo, además de proveer los materiales y recursos necesarios para la ejecución de la investigación, así como la conservación de los datos y anotaciones registradas en el transcurso de la investigación. Sugirió ideas durante todo el proceso de ejecución del experimento y en la elaboración del artículo.
- Consuelo Hernández-Rodríguez. Intervino en las actividades y evaluaciones en campo, así como en la revisión del manuscrito original.
- Yanoris Bernal-Carrazana. Intervino en las actividades y evaluaciones en campo, así como en la revisión del manuscrito original.

### Referencias bibliográficas

- Alonso-Ayuso, María; Gabriel, J. L.; Hontoria, C.; Ibáñez, M. Á. & Quemada, M. The cover crop termination choice to designing sustainable cropping systems. *Eur. J. Agron.* 114:126000, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126000>.
- Bakshi, Deepali; Kalia, Sonika & Kalia, Monika. A review on integrated nutrient management in agriculture. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9 (6):2067-2070, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.253>.
- Bover-Felices, Katia & Suárez-Hernández, J. Contribución del enfoque de la agroecología en el funcionamiento y estructura de los agroecosistemas integrados. *Pastos y Forrajes.* 43 (2):102-111. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942020000200102&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000200102&lng=es&tlng=es), 2020. DOI:

- Calderon, Rosalie B. & Dangi, Sadikshya R. Arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium improve nutrient uptake and microbial diversity relative to dryland site-specific soil conditions. *Microorganisms*. 12 (4):6672024. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040667>.
- Carrillo-Saucedo, Silvia M.; Puente-Rivera, J.; Montes-Recinas, Saraí & Cruz-Ortega, Rocío. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Act. Bot. Mex.* (129), 2022. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>.
- Duncan, D. B. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11 (1):1-42, 1955. DOI: <https://psycnet.apa.org/doi/10.2307/3001478>.
- Elliott, A. J.; Daniell, T. J.; Cameron, D. D. & Field, Katie J. A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza-acquired nutrients. *New Phytol.* 3 (5):588-599, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10094>.
- Frew, A. Contrasting effects of commercial and native arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on plant biomass allocation, nutrients, and phenolics. *Plants, People, Planet*. 3 (5):536-540, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10128>.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Ediciones INCA, 2015.
- Herrera, R. S. & Ramos, N. Factores que influyen en la producción de biomasa y calidad. En: R. S. Herrera, G. Febles y G. Crespo, eds. *Pennisetum purpureum para la ganadería tropical*. La Habana: EDICA. p. 25-30, 2006.
- Igiehon, N. O. & Babalola, O. O. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 101 (12):4871-4881, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8344-z>.
- Martín, Gloria M.; Reyes, R. & Ramírez, J. F. Coinoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. con Rhizobium y hongos micorrízicos arbusculares en dos tipos de suelos de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 36 (2):22-29. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000200004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000200004&lng=es&tlng=es), 2015.
- Martínez Sáez, S. J.; Deribew, H. & Entele, T. Contenidos minerales de algunos macro y microelementos en forrajes producidos en Finca Modelo, de la región de Asela, Etiopía. *Rev. prod. anim.* 30 (2):72-74. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-79202018000200010&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202018000200010&lng=es&tlng=es)2018.
- Ojeda-Quintana, L. J.; 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. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942019000400277&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000400277&lng=es&tlng=es), 2019.
- Ortaş, I. Role of microorganisms (Mycorrhizae) in organic farming. En: Sarath Chandran, M. R. Unni and Sabu Thomas, eds. *Organic farming*. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing. p. 181-211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128132722000069>, 2019.
- 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: Ediciones INCA, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2010.
- Peoples, M. B.; Hauggaard-Nielsen, H.; Huguenin-Elie, O.; Jensen, E. S.; Justes, E. & Williams, M. The contributions of legumes to reducing the environmental risk of agricultural production. In: G. Lemaire, P. C. de F. Carvalho, S. Kronberg and Sylvie Recous, eds. *Agroecosystem diversity*: Academic Press. p. 123-143. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012811050800008X>, 2019.
- Rillig, M. C.; Aguilar-Trigueros, C. A.; Camenzind, Tessa; Cavagnaro, T. R.; Degrune, Florine; Hohmann, P. *et al.* Why farmers should manage the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* 222 (3):1171-1175, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15602>.
- Rivera, R.; Fernandez, F.; Ruiz-Martinez, L.; González-Cañizares, P. J.; Rodríguez, Yakelín; Pérez-Ortega, E. *et al.* *Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrízico EcoMic® en la producción agrícola*. Ed. R. Rivera. San José de las Lajas, Cuba: Ediciones INCA, 2020.
- Rivera, R.; González-Cañizares, P. J.; Ruiz, L. A.; Martín-Alonso, Gloria M. & Cabrera, A. Strategic combination of mycorrhizal inoculants, fertilizers and green manures improve crop productivity. Review of Cuban research. In: *New research on mycorrhizal fungus*. New York: Nova Science Publishers, Inc. p. 55-112, 2023.
- Schaefer, D. A.; Gui, H.; Mortimer, P. E. & Xu, J. Arbuscular mycorrhiza and sustainable agriculture. *Circular Agricultural Systems*. 1:6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48130/CAS-2021-0006>.
- Simó-González, J.; Rivera-Espinosa, R.; Ruiz-Martínez, L. & Martín-Alonso, Gloria. The integration of AMF inoculants, green manure and organo-mineral fertilization, in banana plantations on calcic haplic phaeozems. *Trop. Subtrop.*

- Agroecosyst.* 23 (1), 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2882>.
- Tamayo, Y.; Martín, G.; Corona, Y. & Barraza, F. V. Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L) D.C. ante la coinoculación de *Rhizobium* y hongos micorrizicos arbusculares. *Hombre, Ciencia y Tecnología.* 19 (1):100-108, 2015.
- Tamayo-Aguilar, Y.; Martín-Alonso, Gloria; Herrera-Altuve, J. A.; Abad-Michael, M.; Nápoles-García, María C.; Rivera-Espinosa, R. & Juárez-López, P. Biofertilizantes en la sucesión *Canavalia ensiformis-Solanum lycopersicum*: rendimiento y calidad en frutos de tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 44 (3):341-347, 2021. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.341>.