

Inoculación de *Andropogon gayanus* Kunth con *Glomus cubense* y *Azospirillum brasilense* en presencia de estrés por sequía

Inoculation of *Andropogon gayanus* Kunth with *Glomus cubense* and *Azospirillum brasilense* in the presence of drought stress

Carlos José Bécquer-Granados¹ <https://orcid.org/0000-0002-5738-7838>, Rance Rojas-Pérez² <https://orcid.org/0000-0001-6598-0466>, Adelaida Benita Puentes² <https://orcid.org/0000-0002-0341-9718>, Urbano Ávila-Cordoví^{1†}, José Ángel Nápoles-Gómez¹ <https://orcid.org/0000-0002-0408-4024> y Fernando Medinilla-Nápoles³ <https://orcid.org/0000-0002-0379-2475>

¹Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Estación Experimental de Sancti Spiritus, Ministerio de la Agricultura, Grupo Empresarial Ganadero. Cuba. ²Universidad "José Martí Pérez" de Sancti Spiritus, Ministerio de Educación Superior. Cuba. ³Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spiritus, Instituto de Meteorología. Cuba. Autor para la correspondencia: cjbecquer@gmail.com, pastosp@enet.cu, adelaida@uniss.edu.cu, joseangelng500@gmail.com, fernando.medinilla@ssp.insmet.cu

Resumen

Objetivo: Evaluar la respuesta de *Andropogon gayanus* Kunth a la inoculación con *Glomus cubense* y *Azospirillum brasilense*, en presencia de estrés por sequía.

Materiales y Métodos: En un área establecida de *A. gayanus*, se efectuó un corte de establecimiento después de la cosecha de la semilla y se inoculó con EcoMic® (*Glomus cubense*) y con INICA-8. El diseño experimental fue un bloque completamente aleatorizado, con siete tratamientos y ocho réplicas. Los tratamientos consistieron en: EcoMic® inmediatamente después del corte, INICA-8 inmediatamente después del corte, INICA-8 + EcoMic® inmediatamente después del corte, EcoMic® en el corte+ INICA-8 (15 días), INICA-8 en el corte + EcoMic® (15 días), control absoluto y testigo fertilizado (150 kg de N/ha, NH₃NO₄). Se evaluó el peso seco de la parte aérea, la longitud del tallo, la longitud de la sección floreciente del tallo, la longitud de la inflorescencia, el peso seco de los racimos y la floración. Se realizó análisis de varianza. Las diferencias entre medias se determinaron por LSD de Fisher.

Resultados: El peso seco de la parte aérea fue superior ($p < 0,0001$) en el testigo fertilizado con respecto a todos los tratamientos (12 036,1 kg/ha). Los tratamientos EcoMic® (9 612,5 kg/ha), EcoMic®+INICA-8 (8 475,0 kg/ha) y EcoMic®(corte)+INICA-8 (15 días), fueron superiores al control absoluto (6 822,2 kg/ha), así como al resto de los tratamientos inoculados. El tratamiento EcoMic®+INICA-8 mostró superioridad estadística en la longitud del tallo (189,7 cm), en el peso seco de los racimos (0,071 g) y en la floración (0,4462 %). EcoMic® (corte)+INICA-8 (15 días) fue superior en longitud de la inflorescencia (16,39 cm) y en la longitud de la sección floreciente del tallo (56,08 cm), aunque el testigo fertilizado no difirió de estos tratamientos.

Conclusiones: La aplicación simple de INICA-8 no tuvo efecto superior en ninguna de las variables estudiadas. Sin embargo, EcoMic®, en el momento del corte, de forma simple, o combinado con *Azospirillum*, fue determinante en la mayoría de las variables. Estos resultados demuestran la importancia de la aplicación de EcoMic® en este cultivo en condiciones de estrés por sequía, así como la sinergia entre los microorganismos que se inocularon, al combinarse entre sí debido a un efecto superior en la planta.

Palabras clave: Gramíneas, microorganismos, sinergismo

Abstract

Objective: To evaluate the response of *Andropogon gayanus* Kunth to inoculation with *Glomus cubense* and *Azospirillum brasilense*, in the presence of drought stress.

Materials and Methods: In an established area of *A. gayanus*, an establishment cutting was performed after seed harvest and inoculation was done with EcoMic® (*Glomus cubense*) and INICA-8. The experimental design was a complete randomized block, with seven treatments and eight replicas. The treatments consisted of: EcoMic® immediately after cutting, INICA-8 immediately after cutting, INICA-8 + EcoMic® immediately after cutting, EcoMic® at cutting+ INICA-8 (15 days), INICA-8 at cutting + EcoMic® (15 days), absolute control and fertilized control (150 kg N/ha, NH₃NO₄). The dry weight of the aerial part, stem length, length of the flowering section of the stem, length of the inflorescence, dry weight of the racemes and flowering were evaluated. Variance analysis was performed. Differences among means were determined by Fisher's LSD.

Results: Area dry weight was higher ($p < 0,0001$) in the fertilized control than in all treatments (12 036,1 kg/ha). The EcoMic® (9 612,5 kg/ha), EcoMic®+INICA-8 (8 475,0 kg/ha) and EcoMic® (cutting)+INICA-8 (15 days) treatments were superior to the absolute control (6 822,2 kg/ha), as well as to the other inoculated treatments. The EcoMic®+INICA-8 treatment showed statistical superiority in stem length (189,7 cm), raceme dry weight (0,071 g) and flowering (0,4462 %). EcoMic® (cutting)+INICA-8 (15 days) was higher in inflorescence length (16,39 cm) and in length of the flowering section of the stem (56,08 cm), although the fertilized control did not differ from these treatments.

Conclusions: The single application of INICA-8 had no higher effect on any of the studied variables. However, EcoMic®, at the time of cutting, alone or combined with *Azospirillum*, was determinant in most of the variables. These results prove the importance of the application of EcoMic® in this crop under drought stress conditions, as well as the synergy among the microorganisms that were inoculated, when combined with each other due to a higher effect on the plant.

Key words: Gramineae, microorganisms, synergism

Recibido: 21 de julio de 2022

Aceptado: 20 de enero de 2023

Como citar este artículo: Bécquer-Granados, Carlos José; Rojas, R.; Puentes, Adelaida B.; Ávila-Cordoví, Urbano; Nápoles-Gómez, José Ángel & Medinilla-Nápoles, Fernando. Inoculación de *Andropogon gayanus* Kunth con *Glomus cubense* y *Azospirillum brasilense*, en presencia de estrés por sequía. *Pastos y Forrajes*. 46:e06, 2023.

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

El estrés por déficit hídrico (sequía) es uno de los más comunes y con más alto impacto en la agricultura, debido a que genera, junto con otros estreses abióticos, disminuciones cercanas al 50 % en la productividad de diferentes cultivos de interés agroeconómico (Sharma *et al.*, 2019; Ullah *et al.*, 2019). Este factor ambiental estresante puede provocar en las plantas un amplio rango de respuestas morfológicas, anatómicas, bioquímicas y moleculares altamente complicadas, como eficiencia disminuida en el uso del agua por la planta, transpiración y fotosíntesis reducida, producción de especies reactivas del oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés), membranas celulares dañadas y otras más, que conllevan a la caída de los rendimientos en los cultivos (Takahashi *et al.*, 2020). Una de las opciones para garantizar rendimientos aceptables en el pasto durante la temporada seca es la utilización de especies resistentes al estrés ambiental. *Andropogon gayanus* (Kunth) se considera una especie forrajera importante para los trópicos, ya que esta gramínea se cultiva de forma extensiva en ecosistemas áridos y semiáridos en varios países, pues es capaz de desarrollarse y crecer en condiciones de estrés de sequía y en condiciones de humedad (Funes *et al.*, 1998).

Entre las estrategias dirigidas a garantizar una nutrición adecuada de los cultivos está el manejo de la simbiosis micorrízico-arbuscular, por sus potencialidades para mejorar la productividad de los cultivos y, a la vez, reducir la necesidad de fertilizantes, ya que las plantas ceden a los hongos micorrízico-arbusculares (HMA) compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, mientras que estos transfieren a la planta nutrientes minerales, especialmente aquellos menos asequibles (Ezawa y Saito, 2018). Los HMA se consideran los hongos del suelo más abundantes en los sistemas agrícolas, donde pueden representar más del 30 % de su masa microbiana. Debido a esa ubicuidad, la simbiosis micorrízica ha sido considerada la más importante de todas las que involucran a las plantas (Gutjahr y Parniske, 2017). Algunos estudios indican que la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés) puede modular los procesos morfo-

lógicos y bioquímicos fundamentales para mitigar el estrés por sequía en las plantas (Jochum *et al.*, 2019; Yaseen *et al.*, 2020). Está comprobado que *Azospirillum brasilense* posee múltiples propiedades de promoción del crecimiento vegetal, tales como: fijación de N₂, actividad 1-Amino-Ciclopropano-1-Carboxilato (ACC)-desaminasa, solubilización de P y producción de fitohormonas, entre otras (Osman *et al.*, 2020).

Por todo lo antes expuesto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta de *A. gayanus* a la inoculación con *Glomus cubense* y *A. brasilense*, en presencia de estrés por sequía.

Materiales y Métodos

Localización del experimento. El experimento se inició el 29 de abril del 2018 y se evaluó el 24 de septiembre del mismo año (148 días), en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Sancti Spiritus, situada a 21° 53' 00" de latitud Norte y los 79° 21' 25" de longitud Oeste, altura de 40 msnm.

Composición agroquímica básica del suelo experimental. El suelo del área experimental se clasifica como pardo mullido carbonatado (Hernández *et al.*, 2015). El contenido de macronutrientes fue muy bajo en fósforo y potasio y en materia orgánica (tabla 1).

Temperatura y humedad relativa. Las temperaturas promedio más altas en el período experimental ocurrieron entre junio y septiembre (tabla 2), mientras que hubo predominio de una alta humedad relativa, especialmente en los meses de mayo, agosto y septiembre.

Precipitaciones. En la figura 1 se muestran las precipitaciones del año 2018. En el período experimental, se caracterizaron por ser muy bajas en abril (105,2 mm), junio (84,6 mm) y septiembre (102,3 mm). Excepto en abril y mayo, en el resto de los meses estuvo por debajo de la media histórica. En mayo, a pesar de un total alto de precipitaciones, en las dos primeras decenas fueron muy escasas (Centro Meteorológico Provincial, 2019). En esos dos primeros meses (abril, hasta la segunda decena de mayo), acontecieron importantes etapas fenológicas del cultivo experimental (desde la germinación hasta el desarrollo incipiente de la planta), que coincidieron con muy bajas precipitaciones.

Tabla 1. Características básicas del suelo del sitio experimental.

Tipo de suelo	P ₂ O ₅ , mg/100g	K ₂ O, mg/100g	MO, %	pH (KCl)
Pardo mullido carbonatado	2,63	6,0	1,51	5,9

Tabla 2. Valores promedios de temperatura y humedad relativa.

Mes	Temperatura promedio, °C	Humedad promedio, %
Abril	24,3	78
Mayo	24,6	86
Junio	26,4	79
Julio	27,2	77
Agosto	26,7	80
Septiembre	26,3	83

Fuente: Centro Meteorológico Provincial (2019)

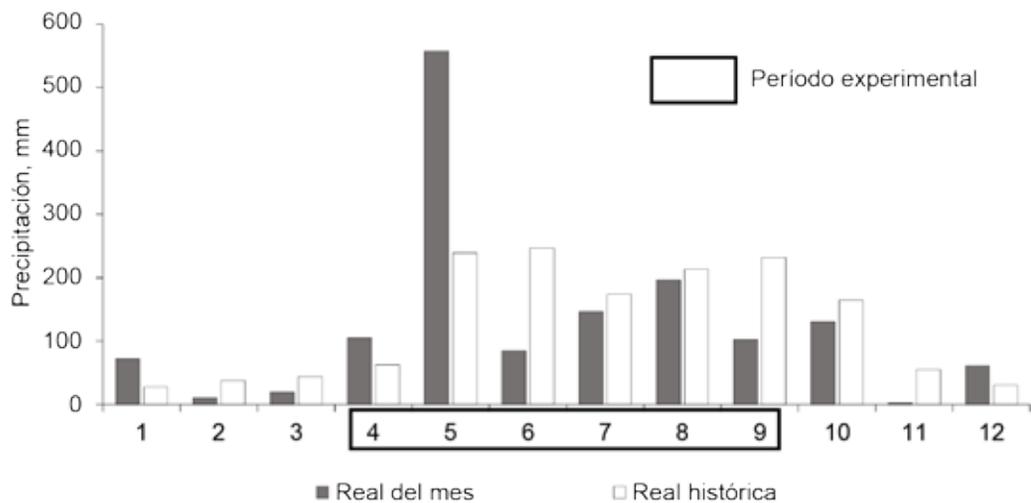


Figura 1. Precipitaciones ocurridas en el 2018.

Fuente: Centro Meteorológico Provincial (2019). Estación Meteorológica Sancti Spiritus, enclavada a 500 m del área experimental.

Estado de la sequía agrícola. La intensidad de la sequía agrícola durante el tiempo que duró el experimento (tabla 3) varió de severa (tercera decena de abril, primera y segunda decena de mayo), moderada (segunda y tercera decena de julio y primera decena de agosto), ligera (tercera decena de mayo, mes de junio, primera decena de julio y segunda decena de agosto), y el resto se consideró muy ligera. Este dato indica que el experimento, en general, transcurrió en condiciones de sequía agrícola, la cual se acentuó en las decenas mencionadas de abril, mayo, julio y agosto (Centro Meteorológico Provincial, 2019).

Las decenas de mayor intensidad de sequía correspondieron al período de montaje del experimento, con el rebrote y el desarrollo inicial de las plantas. Por tanto, se infiere que la gramínea, como los microorganismos que se inocularon, se sometie-

ron a un estrés hídrico considerable durante ese espacio de tiempo.

Material vegetal. Se evaluó *A. gayanus* Kunth (*Poaceae*), procedente del banco de germoplasma de la Estación Experimental Sancti Spíritus.

Diseño experimental. Se aplicó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados (Melo *et al.*, 2020) con siete tratamientos y ocho réplicas (tabla 4). Las parcelas medían 1 x 5 m (5 m²) y la distancia entre parcelas fue de 1 m. El área experimental neta fue de 16 x 42 m (672 m²).

Cepa bacteriana. Se utilizó la cepa INICA-8, de *A. brasilense*, provista por el Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes (IIPF). Según recomendaciones del fabricante, el preparado se diluyó en agua común, en una proporción de 1:10. La inoculación se realizó inmediatamente después del corte de establecimiento (o a los 15 días después

Tabla 3. Categoría de la intensidad de la sequía agrícola en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Sancti Spiritus.

Mes/decena	Categoría de intensidad de la sequía agrícola	Clave
Abril 03	4	Sequía severa
Mayo 01	4	Sequía severa
Mayo 02	4	Sequía severa
mayo 03	2	Sequía ligera
Junio 01	2	Sequía ligera
Junio 02	2	Sequía ligera
Junio 03	2	Sequía ligera
Julio 01	2	Sequía ligera
Julio 02	3	Sequía moderada
Julio 03	3	Sequía moderada
Agosto 01	3	Sequía moderada
Agosto 02	2	Sequía ligera
Agosto 03	1	Sequía muy ligera
Septiembre 01	1	Sequía muy ligera
Septiembre 02	1	Sequía muy ligera
Septiembre 03	1	Sequía muy ligera

Fuente: Centro Meteorológico Provincial (2019)

Tabla 4. Tratamientos que se utilizaron en el experimento.

No.	Tratamiento
T1	EcoMic® (inmediatamente después del corte)
T2	INICA-8 (inmediatamente después del corte)
T3	INICA-8+ EcoMic® (inmediatamente después del corte)
T4	EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte)
T5	INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte)
T6	Control absoluto (CA)
T7	Testigo fertilizado (TF) con 150 kg de N/ha (NH ₃ NO ₄)

del corte, según correspondía), con un inóculo con concentración celular de 10⁹–10¹⁰ UFC/mL. Se utilizó una bureta graduada de 1 L, cuyo contenido se vertió sobre las macollas recién cortadas (o a los 15 días después del corte, de forma que, al regular el surtidor, cada macolla recibió alrededor de 125 mL del inóculo líquido (40 L/ha).

Cepa de hongos micorrízicos arbusculares. Se utilizó el producto EcoMic®, basado en *G. cubense*, provisto por LABIOFAM¹ Sancti Spiritus, que contenía 30 esporas/g de sustrato. Según recomendaciones del fabricante, el preparado se diluyó en agua común, en una proporción de 1:10. Se inoculó al aplicar la dilución acuosa sobre las macollas recién cortadas (o a los 15 días después del corte,

según el tratamiento), a razón de 125 mL/macolla, con dosis equivalente a 50 kg/ha.

Agrotecnia del experimento. El experimento se realizó en un área previamente establecida, de 20 x 46 m (920 m²), destinada a la producción de semilla de *Andropogon*. Se efectuó un corte y un cultivo con bueyes después de la cosecha de la semilla, para proceder inmediatamente a la inoculación, y no se aplicó riego durante el período experimental.

Determinación del estado de sequía agrícola. El estado de sequía agrícola se determinó a través del índice de aridez o índice de sequía agrícola (IE) (Solano y Vázquez, 1999), que se utilizó para comprobar si el experimento se efectuaba en condiciones de estrés hídrico:

¹Grupo Empresarial de Producciones Biofarmacéuticas y Químicas

$$IE = ETR / ETP$$

donde:

ETR-Evapotranspiración real estimada, dependiente del estado de humedad del suelo. ETP- Evapotranspiración potencial estimada, dependiente de las condiciones atmosféricas.

Cuando ETR=ETP, el aprovisionamiento de agua del suelo es adecuado.

Cuando ETR<ETP, hay insuficiencia de agua.

Variables. Peso seco de la parte aérea (PSPA, kg/ha: extrapolado. Se pesó la biomasa aérea, compuesta de hojas, tallos, órganos de reproducción y material senescente. Previamente se secó a 60 °C, durante 48 horas, en estufa. La longitud del tallo (LT, cm) se midió desde la superficie del suelo hasta la inserción de la primera inflorescencia. La longitud de la sección floreciente del tallo (LSFT, cm) se midió desde la inserción de la primera inflorescencia, hasta la inserción de la inflorescencia terminal. Para la longitud de la inflorescencia (LInfl., cm) se midió la longitud del pedúnculo conjuntamente con la de las espiguillas. En lo que respecta al peso seco de los racimos (PSRAC, g), se pesaron los racimos con espiguillas maduras, para lo que se secaron a 60 °C, durante 48 horas, en estufa y floración (flor, %). Se contó el número de tallos con flores y se calculó el por ciento con respecto al total.

Índice de eficiencia de la inoculación (IEI, %), según la fórmula de Santillana *et al.* (2012):

$$IEI: [(tratamiento\ inoculado-control\ absoluto) / control\ absoluto] \times 100$$

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza. Las diferencias entre medias se determinaron por LSD de Fisher. Los datos porcentuales se transformaron por $2arcosen\sqrt{P}$ para garantizar el cumplimiento de los supuestos (López y González, 2016). Se utilizó el programa estadístico *StatGraphics Centurion XV* (STATGRAPHICS Centurion, 2007).

Resultados y Discusión

Peso seco de la parte aérea. Esta variable (fig. 2) se caracterizó por la superioridad ($p < 0,0001$) de los valores del testigo fertilizado sobre todos los tratamientos (12 036,1 kg/ha). Los tratamientos EcoMic® (9 612,5 kg/ha), EcoMic®+INICA-8 (8 475,0 kg/ha) y EcoMic®(corte)+INICA-8 (15 días) fueron superiores al control absoluto (6 822,2 kg/ha), así como al resto de los tratamientos inoculados.

Los valores totales en el PSPA fueron superiores a los que obtuvieron Reyes-Pérez *et al.* (2018), para *A. gyanus* en 75 días de cultivo, pero similares a los de Argel *et al.* (2007), para *Brachiaria híbrido* cv Mulato II, en 105 días de cultivo. De acuerdo con los resultados en dicha variable, por encontrarse el experimento en condiciones de sequía agrícola, no se descarta que uno de los factores que propició la tolerancia de la planta al estrés hídrico, haya sido

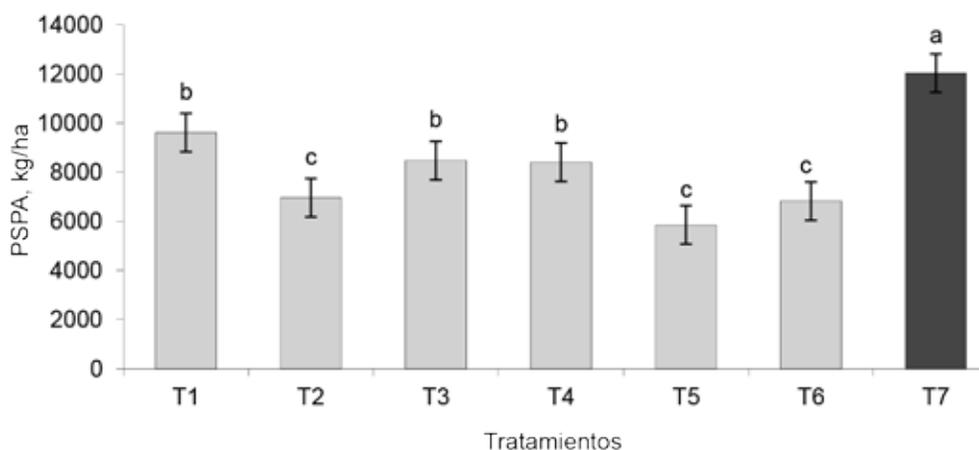


Figura 2. Efecto de los tratamientos en el peso seco de la parte aérea (PSPA) de *A. gyanus*.

Datos de un corte (datos extrapolados)

a, b y c: valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,0001$.

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8+ EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto y T7-Testigo fertilizado con 150 kg N/ha (NII,NO₃).

la utilización de *Azospirillum* en las combinaciones microbianas correspondientes.

Tiwari *et al.* (2018) afirmaron que muchas rizobacterias contienen la enzima 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) desaminasa, que escinde el precursor del etileno, el ACC, en α -cetobutirato y amonio. Por lo tanto, reduce los niveles de etileno en las plantas sometidas a estrés por sequía. Esto permite que el sistema radical se pueda desarrollar sin la inhibición propia de este compuesto, lo que propicia mayor absorción de nutrientes por la planta y, por tanto, su mayor desarrollo.

Hubo efecto superior en la aplicación simple de *G. cubense*, así como en su inoculación inmediatamente después del corte de establecimiento, seguido de la inoculación con *Azospirillum*. Es posible que la formación de micorrizas en las raíces de la planta a través de la inoculación con los hongos micorrizicos arbusculares (HMA) facilitara la entrada posterior de la bacteria en el tejido radical, donde la producción de sus metabolitos tendría mayor efecto en la planta.

Bécquer *et al.* (2019) obtuvieron valores superiores de la biomasa aérea de *Cenchrus ciliaris* L., en comparación con el control absoluto, al inocular la rizobacteria *Bradyrhizobium* sp., y *Funneliformis mosseae*, en condiciones de estrés hídrico. Djonova *et al.* (2016) hallaron que la combinación de HMA y *A. brasilense* conllevó a valores superiores de la

biomasa aérea en las gramíneas *Festuca arundinacea* (Schreber) y *Phleum pretense* L.

Al calcular el IEI sobre la base del PSPA (fig. 3), se observó que el tratamiento inoculado con EcoMic[®], fue el que más eficiencia presentó, seguido de EcoMic[®]+INICA-8 y de EcoMic[®] (corte)+INICA-8(15 días), mientras que fue insignificante en INICA-8, y nulo en INICA-8(corte) + EcoMic[®] (15 días).

Longitud del tallo. El tratamiento inoculado con EcoMic[®] fue superior ($p < 0,001$) al control absoluto, a INICA-8, a EcoMic[®] (corte)+INICA-8(15 días después del corte) y a INICA-8 (corte)+ EcoMic[®] (15 días después del corte), aunque no difirió del testigo fertilizado y con EcoMic[®]+INICA-8 (fig. 4).

Estos resultados concuerdan con los de Díaz-Franco *et al.* (2008), quienes observaron que la aplicación simple de *Glomus intraradices* en sorgo, tuvo un efecto superior a la aplicación de *A. brasilense*, en la altura de la planta.

Castillo-Pacheco *et al.* (2018), en experimentos con tomate, observaron que la longitud del tallo se incrementaba más con la aplicación de *G. cubense*, que con otras especies de dicho género.

Sanclemente-Reyes *et al.* (2018) consideran que a través de la simbiosis que se establece entre los HMA y las plantas, se incrementa la absorción de algunos nutrientes de difícil movilidad en el suelo (P, Fe, entre otros), debido a la acción del micelio externo de los HMA, unido a los sistemas radicales

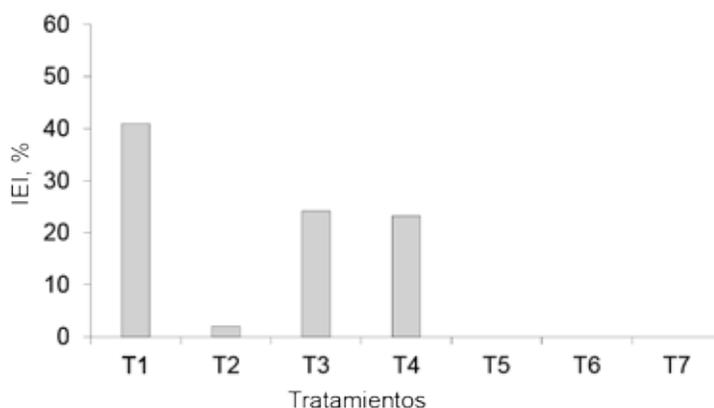


Figura 3. Índice de eficiencia de la inoculación sobre la base del PSPA en *Andropogon gayanus*, en un corte.

T1-EcoMic[®] (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8+ EcoMic[®] (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic[®] (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic[®] (15 días después del corte), T6-Control absoluto y T7-Testigo fertilizado con 150 kg N/ha (NH₄NO₃).

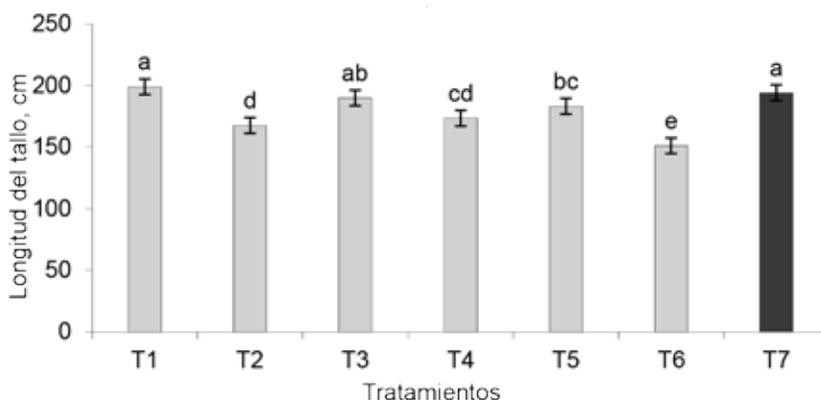


Figura 4. Efecto de la inoculación de *A. gayanus* en la longitud del tallo.

a, b y c: valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,001$.

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8+ EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto y T7-Testigo fertilizado con 150 kg N/ha (NH_3NO_3)

de las plantas, mayor absorción de agua, de N, K y de algunos micronutrientes.

Diversos estudios han mostrado que comunidades de diversas bacterias asociadas a HMA potencian la micorrización y el crecimiento de las plantas (Agnolucci *et al.*, 2015), lo que se aplica también al presente experimento, por ser la combinación de *G. cubense* con *A. brasilense* en el momento del corte, uno de los tratamientos que mostró superioridad estadística.

Mohamed y Massoud (2017), al inocular una combinación de *Azotobacter* y HMA en naranja, observaron un sinergismo que se evidenció en el crecimiento de las plantas, en la extracción de N, P y K en las hojas, y en el rendimiento. Bécquer *et al.* (2021) hallaron que la inoculación combinada de *G. cubense* y *A. brasilense* (cepa INICA-8) ejerció un efecto superior en las variables estudiadas, sobre todo en la longitud del tallo y el número de ramas. No obstante, Sánchez-de-la-Cruz *et al.* (2008) encontraron que, en experimentos de invernadero, la inoculación simple de *G. intraradices*, así como de *A. brasilense*, incrementó la altura de la planta en trigo, pero la combinación de estos microorganismos no tuvo un efecto perceptible en las variables estudiadas.

Longitud de la sección floreciente del tallo. En esta variable se corroboró el efecto en la planta de la aplicación combinada de los biofertilizantes, aunque solo el tratamiento combinado EcoMic® (corte) + INICA-8 (15 días después del corte) fue superior ($p < 0,01$) a la aplicación simple de EcoMic®,

a INICA-8 y al control absoluto. EcoMic® (corte) + INICA-8 (15 días después del corte) no difirió de INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), con EcoMic+INICA-8, así como con el testigo fertilizado. Estos tres últimos tratamientos, a su vez, fueron estadísticamente similares al control absoluto (fig. 5).

La aplicación inicial de los HMA y la aplicación posterior de *Azospirillum* a través del producto INICA-8 influyó en el efecto positivo de ese tratamiento. Se conoce que los HMA son componentes integrales de la rizosfera, cuyas plantas permanecen estrechamente asociadas mediante una red de hifas interconectadas que incrementan el volumen de suelo que exploran las raíces, mejoran su estructura y facilitan la absorción de los nutrientes y el agua, entre otras funciones (Motta *et al.*, 2017; Busso y Fernández, 2018). Omar *et al.* (2017) informaron que *A. brasilense* aumenta la disponibilidad de nutrientes a la planta y modula el nivel de hormonas en las plantas, ya que sintetiza ácido indolacético (AIA), ácido giberélico (GA3) y ácido absísico (ABA). También disminuye la producción de acetileno en las plantas por la vía de la ACC-desaminasa (Renoud *et al.*, 2022). Tiwari *et al.* (2019) aseguran que *Azospirillum* es una rizobacteria capaz de contrarrestar el efecto de la sequía en las plantas a través de sus mecanismos de promoción del crecimiento vegetal.

La interacción entre HMA-bacteria incrementa la colonización de ambos microorganismos en el hospedero. Por una parte, se aumenta la germina-

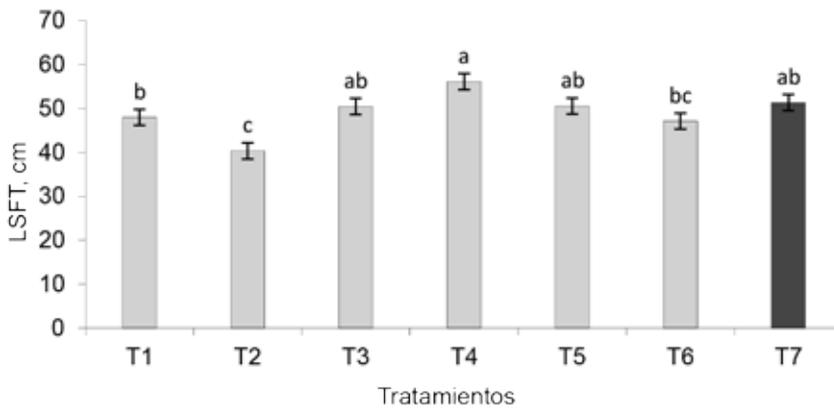


Figura 5. Efecto de la inoculación de *A. gayanus* en la longitud de la sección floreciente del tallo (LSFT).

a, b y c: valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,01$.

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8 + EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto (CA) y T7-Testigo fertilizado (TF) con 150 kg N/ha (NH₄NO₃).

ción y el crecimiento de las hifas de los endófitos y, por otra, se acrecienta la población de bacterias en la rizosfera de las plantas en presencia de los HMA (Long *et al.*, 2017).

Reyes-Rouseaux *et al.* (2020), mediante la inoculación combinada de *Azospirillum* y HMA en *Urochloa* híbrido vc. Mulato II, sin la aplicación de nitrógeno, observaron que los indicadores agropro-

ductivos estudiados alcanzaron valores similares a los registrados con la adición de 100 kg de N/ha.

Longitud de la inflorescencia. Los tratamientos EcoMic® (corte) + INICA-8 (15 días) (16,39 cm) e INICA-8 (corte) + EcoMic® (15 días) fueron superiores ($p < 0,05$) al control absoluto, a EcoMic® y a INICA-8. Además, fueron similares al testigo fertilizado y con EcoMic®+INICA-8 (figura 6).

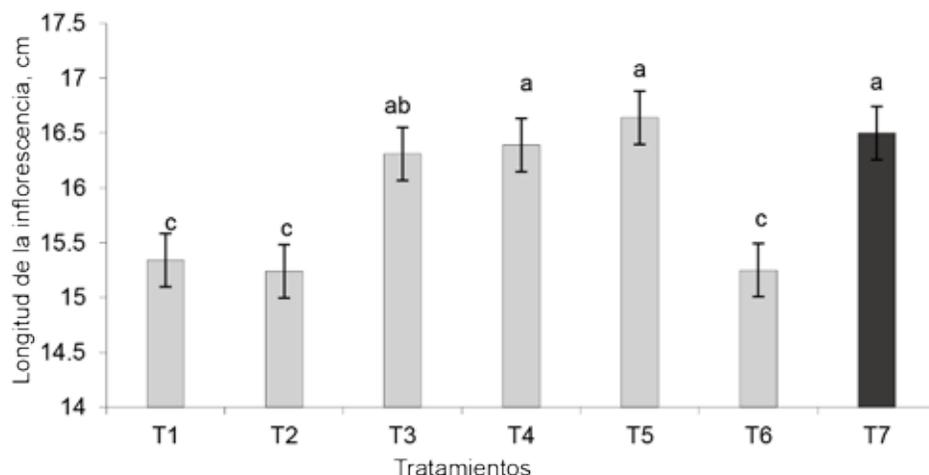


Figura 6. Efecto de la inoculación de *A. gayanus* en la longitud de la inflorescencia.

a, b y c: valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,05$

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8 + EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto (CA) y T7-Testigo fertilizado (TF) con 150 kg N/ha (NH₄NO₃)

El experimento se encontraba en condiciones de sequía agrícola en determinados momentos de su desarrollo, por lo que no se descarta que *Azospirillum* haya influido en la tolerancia de las plantas al estrés hídrico. Según Pereyra *et al.* (2012), las plántulas de trigo, inoculadas con cepas de *Azospirillum*, se benefician con un nivel de agua mejorado durante el estrés salino y estrés osmótico, debido a que los conductos del xilema se ensanchan, así como se mejora la conductancia hídrica coleóptila. *Azospirillum*, al igual que otras rizobacterias, es capaz de inducir la síntesis de enzimas antioxidantes en las plantas, lo que reduce el efecto destructivo de las especies reactivas del oxígeno (Fukami *et al.*, 2018).

Se conoce que la simbiosis micorrízica tiene un efecto marcado en las relaciones hídricas de las plantas y del suelo en condiciones de estrés, pues modifica positivamente la conductancia estomática, la tasa fotosintética, el potencial hídrico foliar, la concentración de osmolitos, la eficiencia en el uso del agua y la asimilación de nutrientes; mientras que los exudados fúngicos promueven la cohesión de las partículas del suelo e incrementan la retención de agua (van der Heijden *et al.*, 2017). También, en esta variable, la combinación de estos dos microorganismos influyó de manera significativa en la planta. Meenakshisundaram *et al.* (2011) encontraron efecto beneficioso en el crecimiento, la biomasa y en el contenido de nitrógeno y de clorofila, al inocular *Delonix regia* con una cepa de

Azospirillum, sola o en diferentes combinaciones con HMA.

Peso seco de los racimos. El tratamiento EcoMic®+INICA-8 (fig. 7) fue superior ($p < 0,05$) al control absoluto, a EcoMic®, a INICA-8 (0,060 g cada uno), así como a INICA-8 (corte)+EcoMic (15d) (0,061 g), pero fue estadísticamente similar al testigo fertilizado (0,074 g) y a EcoMic® (corte)+INICA-8 (15d) (0,065 g). El IEI fue mayor para EcoMic®+INICA-8 (18,3 %). Aunque no se puede considerar alto, fue el de mayor impacto en esta variable (fig. 8).

Al igual que en las variables anteriores, la aplicación simple de INICA-8, no ejerció efecto superior. Esto se pudiera atribuir a que diversos factores bióticos y abióticos afectaron el comportamiento de la bacteria y produjeron respuestas inconsistentes de la biofertilización. Entre estos factores están las condiciones físico-químicas del suelo, el genotipo del hospedante y la capacidad de la bacteria para establecerse y para competir con la microflora nativa (Pecina-Quintero *et al.*, 2005). También se debe añadir a estos factores, el estrés por sequía, que pudo haber afectado a las plantas como a la rizobacteria que se inoculó.

Sin embargo, se observó que la combinación de ambos biofertilizantes en un mismo espacio de tiempo resultó superior en cuanto a su efecto en las plantas con respecto a su aplicación simple. Por ello, se infiere que hubo efecto sinérgico positivo de los microorganismos que componen estos productos.

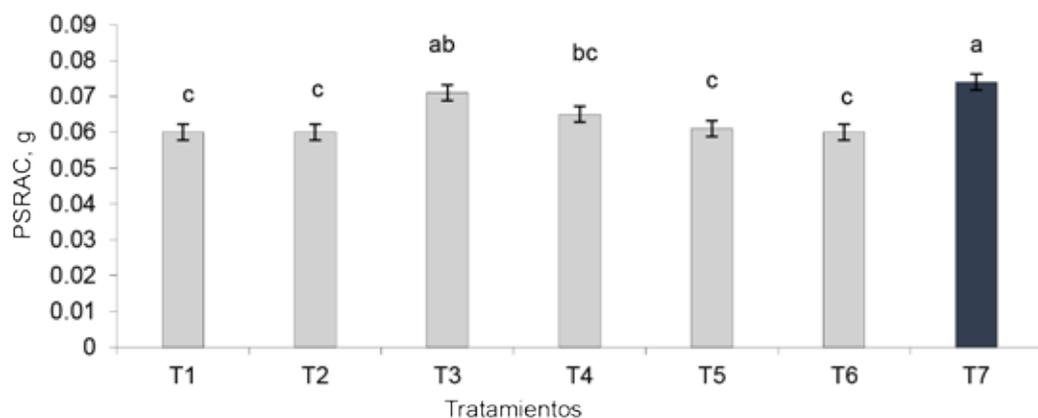


Figura 7. Efecto de los tratamientos en el peso seco de los racimos (PSRA) de *A. gayanus*.

a, b y c: valores con superíndices no comunes difieren a $p < 0,001$. Error Estándar: 0,001

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8 + EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto (CA) y T7-Testigo fertilizado (TF) con 150 kg N/ha (NH₄NO₃).

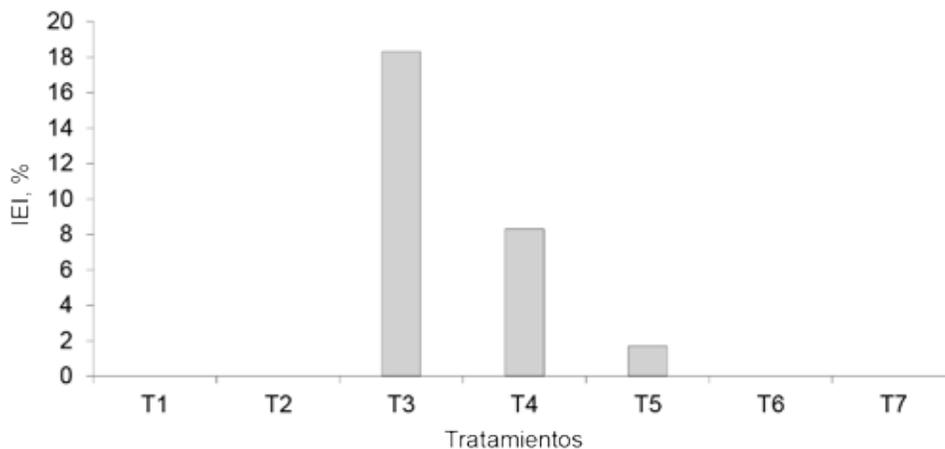


Figura 8. Índice de eficiencia de la inoculación (IEI) en los tratamientos inoculados de *A. gayanus*, sobre la base del peso seco de los racimos

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8+ EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto y T7-Testigo fertilizado con 150 kg N/ha (NH₄NO₃).

Bécquer *et al.* (2019b) informaron de que la combinación de *Bradyrhizobium* sp. con *G. cubense* influyó en los resultados de todas las variables agroproductivas y bioquímicas que se evaluaron en el pasto Mulato II.

Según Olalde-Portugal y Serratos (2008), la combinación simultánea de rizobacterias promotoras del crecimiento y hongos micorrízicos arbusculares induce sinergismo, que se expresa en un incremento del crecimiento, del contenido de fósforo en las plantas y del rendimiento, comparadas con las inoculadas por separado. Bona *et al.* (2017) consideran que el resultado de la simbiosis mutualista tripartita entre HMA-bacteria-hospedero es el incremento en el desarrollo de la planta, ya que se aumenta su capacidad para absorber del suelo más agua y nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos.

Floración. Los tratamientos inoculados con EcoMic®+INICA-8 y EcoMic® (corte)+INICA-8 (115 días después del corte) fueron superiores ($p < 0,05$) al control absoluto. EcoMic®+INICA-8 tuvo también valores superiores a INICA-8 (0,4462), pero no difirió del testigo fertilizado (0,7129), de EcoMic® (corte)+INICA-8 (15 días después del corte), de INICA-8 (corte)+ EcoMic® (15 días después del corte) y de EcoMic® (figura 9). El IEI (fig. 10) fue superior para EcoMic+INICA-8 (84,19 %), seguido por EcoMic® (corte)+INICA-8(15d) (61,97 %).

Aunque en el presente estudio no se cuantificó la cantidad de fósforo en la planta, se conoce que entre las múltiples funciones de este macroelemento está la de influir positivamente en el desarrollo de las flores (Ávila, 2005).

La marcada diferencia en el número de tallos con flores entre los tratamientos micorrizados en el momento del corte y combinados con *Azospirillum* con el control, se pudo deber a la cantidad de P absorbido por las plantas por la acción de los HMA, que se aplicaron desde el primer momento. Esta hipótesis se fundamenta por diferentes autores que corroboran que el P es uno de los nutrientes cuya absorción se favorece por la acción de las micorrizas, pues además de su baja movilidad, sobre todo en las regiones tropicales, entre 95 y 99 % de las cantidades de este elemento se encuentran en formas no disponibles para las plantas (Zhang *et al.*, 2018). Estos beneficios se deben, en parte, a la exploración de las hifas en el suelo en la búsqueda de nutrientes y agua, lo que amplía las capacidades de las raíces por sí solas. También Omar *et al.* (2017) y Osman *et al.* (2020) informaron acerca de la capacidad de *A. brasilense* para solubilizar los fosfatos. Por otra parte, existen evidencias de que la combinación de estos microorganismos puede desempeñar un efecto superior en las plantas (Bona *et al.*, 2017).

En este experimento, no se observó incremento de la floración al inocular el cultivo con *Azospirillum*, o HMA por separado, sino que, de forma similar a

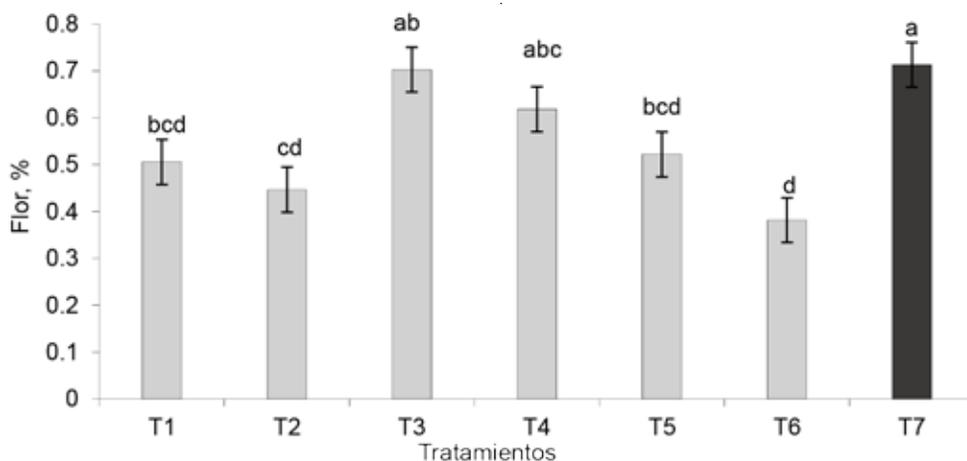


Figura 9. Efecto de la inoculación de *A. gyanus* en la floración. Se muestran valores transformados con $\sqrt{\text{arcsen } \sqrt{P}}$ en el eje Y, y valores originales dentro de las barras.

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8 + EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto (CA) y T7-Testigo fertilizado (TF) con 150 kg N/ha (NH_3NO_3)

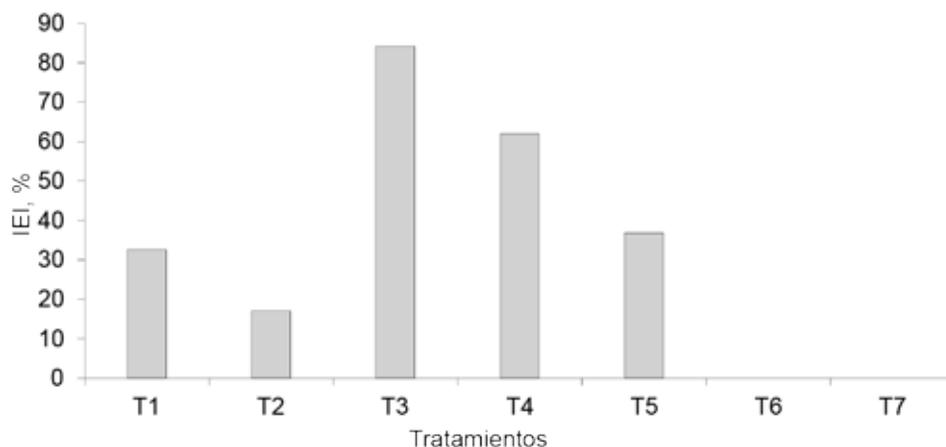


Figura 10. Índice de eficiencia de la inoculación (IEI) en los tratamientos inoculados de *A. gyanus*, sobre la base de la floración

T1-EcoMic® (inmediatamente después del corte), T2-INICA-8 (inmediatamente después del corte), T3-INICA-8 + EcoMic® (inmediatamente después del corte), T4-EcoMic® (inmediatamente después del corte) + INICA-8 (15 días después del corte), T5-INICA-8 (inmediatamente después del corte) + EcoMic® (15 días después del corte), T6-Control absoluto (CA) y T7-Testigo fertilizado (TF) con 150 kg N/ha (NH_3NO_3)

las demás variables estudiadas, solo la combinación de estos microorganismos, en el mismo espacio de tiempo, como de forma fraccionada, influyó de forma eficiente en esta variable. No obstante, Pérez *et al.* (2018) hallaron que la inoculación simple con HMA en *Plukonetia volubilis* favoreció la formación de flores, debido a la influencia de las fitohormonas que producen dichos hongos, que inciden en el crecimiento y floración. Es posible

que la ubicación taxonómica de las plantas influya en su respuesta a dicho estímulo.

Conclusiones

La aplicación simple de INICA-8 no tuvo efecto en ninguna de las variables estudiadas. Sin embargo, el EcoMic® en el momento del corte, de forma simple, o combinada con *Azospirillum*, fue determinante en la mayoría de las variables. Estos

resultados demuestran la importancia de la aplicación de EcoMic® en este cultivo, bajo condiciones de estrés por sequía, así como la sinergia entre los microorganismos que se inocularon, debido a un efecto superior en la planta, al combinarse entre sí.

Recomendaciones

Se recomienda evaluar los tratamientos seleccionados en otros ensayos de campo con *Andropogon*, en diferentes condiciones edafoclimáticas y en varios cortes.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de la Universidad José Martí Pérez de Sancti Spiritus, por acceder a la inserción de alumnos de pregrado y maestría, así como profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en los proyectos de investigación de la Estación Experimental de Sancti Spiritus, lo cual constituye un significativo aporte en recursos humanos calificados.

Conflictos de intereses

No se declaran conflictos de intereses.

Contribución de los autores

- Carlos José Bécquer-Granados. Participó en 30 % del total de tiempo. Responsable de la investigación, elaboró el protocolo, dirigió y participó en el montaje y evaluación del experimento, realizó los análisis estadísticos correspondientes y redactó el manuscrito.
- Rance Rojas Pérez. Estudiante de pregrado (cuarto año de la carrera de Agronomía), de la Universidad José Martí Pérez de Sancti Spiritus. Participó en 20 % del total de tiempo. Contribuyó al montaje, mantenimiento y evaluación del experimento, así como a los análisis estadísticos correspondientes.
- Adelaida Benita Puentes Pérez. 15% de participación. Tomo parte en el montaje y evaluación del experimento.
- Urbano Ávila Cordoví. 15 % de participación en el montaje y evaluación de los experimentos de campo. Contribuyó con sus conocimientos como especialista de suelos y fertilizantes.
- José Antonio Nápoles Gómez. 15 % de participación en la siembra, fertilización y evaluación del experimento. Asesoró en el diseño experimental y análisis estadístico.
- Fernando Medinilla Nápoles. 5 % de participación. Contribuyó con el análisis del estado de la sequía agrícola en la zona experimental y asesoró al equipo de trabajo con sus conocimientos sobre agrometeorología.

Referencias bibliográficas

- Agnolucci, Monica; Battini, F.; Cristani, Caterina & Giovannetti, Manuela. Diverse bacterial communities are recruited on spores of different arbuscular mycorrhizal fungal isolates. *Biol. Fertil. Soils*. 51 (3):379-389, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-014-0989-5>.
- Argel, P. J.; Miles, J. W.; Guiot, J.; Cuadrado, H. & Lascano, C. E. *Cultivar Mulato II (Brachiaria híbrido): Gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente a salinidad y adaptada a suelos tropicales ácidos bien drenados*. Cali, Colombia: CIAT. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19000/Ver_Documento_56236.pdf?sequence=3&isAllowed=y, 2007.
- Ávila, O. L. *Análisis de diferentes dosis de micorrizas (EcoMic) en producción de posturas de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) y su influencia en el rendimiento del cultivo*. Tesis de maestría. San José de las Lajas, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2005.
- Bécquer, C. J.; Puentes, Adelaida B.; Cabrera, Arachely; Hernández, María & Sánchez, Ana. Efecto de la inoculación con microorganismos benéficos en variables agroproductivas de *Morus alba*. *Cuban J. Agric. Sci.* 55 (2). <https://www.redalyc.org/journal/6537/653769345009/html>, 2021.
- Bécquer-Granados, C. J.; González-Cañizares, P. J.; Ávila-Cordoví, U.; Nápoles-Gómez, J. Á.; Galdo-Rodríguez, Yaldreisy; Muir-Rodríguez, Ivón *et al.* Efecto de la inoculación de microorganismos benéficos y Quitomax® en *Cenchrus ciliaris* L., en condiciones de sequía agrícola. *Pastos y Forrajes*. 42 (1):39-47. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000100039&lng=es&tlng=es, 2019a.
- Bécquer-Granados, C. J.; Reyes-Rosseaux, R.; Fernández-Milanés, D.; González-Cañizares, P. J. & Medinilla-Nápoles, F. Rendimiento de pasto Mulato II inoculado con *Bradyrhizobium* sp. y *Glomus cubense*, en condiciones de sequía agrícola. *Cuban J. Agric. Sci.* 53 (3):319-330. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802019000300319&script=sci_arttext&tlng=es, 2019b.
- Bona, Elisa; Cantamessa, Simone; Massa, Nadia; Manassero, Paola; Marsano, F.; Copetta, A. *et al.* Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*. 27 (1):1-11, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0727-y>.
- Busso, C. A. & Fernández, O. A. Arid and semiarid rangelands of Argentina. In: M. K. Gaur and V. R. Squires, eds. *Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands*. New York: Springer. p. 261-291, 2018.

- Castillo-Pacheco, N.; Díaz-Abreu, Dulce M. & García-Bode, O. Efecto de tres cepas de hongos micorrizógenos arbusculares + 50 % de NPK en el rendimiento agrícola del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), municipio Las Tunas. *Tlatemoani Revista Académica de Investigación*. 9 (28). <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/28/cultivo-tomate-cuba.html>, 2018.
- Centro Meteorológico Provincial. *Análisis del comportamiento del clima en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Sancti Spiritus, durante el período de mayo a noviembre de 2018*. Sancti Spiritus, Cuba: Instituto de Meteorología, 2019.
- Díaz-Franco, A.; Jacques-Hernández, C. & Peña-del-Río, M. A. Productividad de sorgo en campo asociada con micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense*. *Universidad y ciencia*. 24 (3):229-237. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000300007&lng=es, 2008.
- Djonova, Efrosina; Petkova, Galina; Stancheva, Ira; Geneva, Maria & Michovsky, T. Response of pasture grasses to inoculation with mycorrhizal fungi and N-fixing bacteria. *Bulg. J. Soil Sci.* 1 (1):64-77. https://www.bsss.bg/issues/Issue1/Paper6_2016_1.pdf, 2016.
- Ezawa, T. & Saito, K. How do arbuscular mycorrhizal fungi handle phosphate? New insight into fine-tuning of phosphate metabolism. *New Phytol.* 220:1116–1121, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15187>.
- Fukami, Josiane; Osa, Clara de la; Ollero, F. J.; Megías, M. & Hungria, Mariangela. Co-inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium tropici* as a strategy to mitigate salinity stress. *Funct. Plant Biol.* 45 (3):328-339, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP17167>.
- Funes, F.; Yañez, S. & Zambrana, Teresita. *Semillas de pastos y forrajes tropicales. Métodos prácticos para su producción sostenible*. La Habana: ACPA, 1998.
- Gutjahr, Caroline & Parniske, Martin. Cell biology. Control of partner lifetime in a plant-fungus relationship. *Curr. Biol.* 27 (11):R420-R423, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.020>.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 2015.
- Jochum, M. D.; McWilliams, K. L.; Pierson, E. A. & Jo, Y. K. Host-mediated microbiome engineering (HMME) of drought tolerance in the wheat rhizosphere. *Plos One*. 14(12):e0225933, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225933>.
- Long, L.; Lin, Q.; Yao, Q. & Zhu, H. Population and function analysis of cultivable bacteria associated with spores of arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *3 Biotech.* 7 (8):1-6, 2017. DOI: <https://10.1007/s13205-017-0612-1>.
- Meenakshisundaram, M.; Santhaguru, K. & Rajenderan, K. Effects of bioinoculants on quality seedlings production of *Delonix regia* in tropical nursery conditions. *AJBPR*. 1 (1):98-107. https://saepub.com/acc.php?journal_name=AJBPR&volume=1&issue=1, 2011.
- Melo, O.; López, L. A. & Melo, Sandra E. *Diseño de experimentos. Métodos y aplicaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79912>, 2020.
- Mohamed, Shaimaa A. & Massoud, O. N. Impact of inoculation with Mycorrhiza and Azotobacter under different N and P rates on growth, nutrient status, yield and some soil characteristics of Washington navel orange trees. *Middle East Journal of Agriculture*. 6 (3):617-638. <https://curesweb.com/mejar/mejar/2017/617-638.pdf>, 2017.
- Motta, P. E. F. da; Siqueira, J. O.; Ribeiro, B. T.; Silva, S. H. G.; Poggere, Giovana C. & Curi, N. *Urochloa decumbens* growth and P uptake as affected by long-term phosphate fertilization, mycorrhizal inoculation and historical land use in contrasting Oxisols of the Brazilian Cerrado. *Ciênc. e Agrotecnologia*. 41 (2):209-219, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017412042516>.
- Olalde-Portugal, V. & Serratos, R. Biofertilizantes: Micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. En: A. Díaz-Franco y N. Mayek-Pérez, eds. *La biofertilización como tecnología sostenible*. México: CONACYT, Plaza y Valdés 2008.
- Omar, M. N.; Osman, M. E.; Kasim, W. A. & Salama, S. Characterization of two drought-tolerant PGPB: *Azospirillum brasilense* NO₄₀ and *Stenotrophomonas maltophilia*. *JOESSES*. 46 (2):121-136. https://www.researchgate.net/publication/336348831_Characterization_of_Two_Drought-Tolerant_PGPB_Azospirillum_brasilense_NO40_and_Stenotrophomonas_maltophilia, 2017.
- Osman, M. E. H.; Kasim, Wedad A.; Salama, Samar E. & Omar, N. A. Using two plant growth promoting bacteria to sustainably thedrought-induced loss in *Triticum aestivum* yield. *Not. Sci. Biol.* 12 (2):433-446, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15835/nsb12210580>.
- Pecina-Quintero, V.; Díaz-Franco, A.; Williams-Alanís, H.; Rosales-Robles, E. & Garza-Cano, Idalia. Influencia de fecha de siembra y de

- biofertilizantes en sorgo. *Rev. Fitotec. Mex.* 28 (4):389-392, 2005. DOI: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.13.1.2>.
- Pereyra, M. A.; García, P.; Colabelli, M. N.; Barassi, C. A. & Creus, C. M. A better water status in wheat seedlings induced by *Azospirillum* under osmotic stress is related to morphological changes in xylem vessels of the coleoptile. *Appl. Soil Ecol.* 53:94-97, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.11.007>.
- Pérez-Caro, L. A.; Oviedo-Zumaqué, L. E. & Barrera-Violeth, J. L. Efecto de la micorrización y el lombriabono sobre el crecimiento y desarrollo del Sacha inchi *Plukenetia volubilis* L. *Temas agrarios.* 23 (1):18-28. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/1140>, 2017.
- Renoud, S.; Abrouk, D.; Prigent-Combaret, Claire; Wisniewski-Dyé, Florence; Legendre, L.; Moëne-Loccoz, Y. *et al.* Effect of inoculation level on the impact of the PGPR *Azospirillum lipoferum* CRT1 on selected microbial functional groups in the rhizosphere of field maize. *Microorganisms.* 10 (2):325, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020325>.
- Reyes-Rouseaux, R.; González-Cañizares, P. J. & Ramírez-Pedroso, J. F. Biofertilización con *Azospirillum brasilense* y *Rhizoglossum irregulare* y reducción de la fertilización nitrogenada en *Urochloa híbrido* cv. Mulato II. *Cuban J. Agric. Sci.* 54 (4):611-620. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802020000400611&lng=es&tlng=es, 2020.
- Sánchez-de-la-Cruz, R.; Díaz-Franco, A.; Pecina-Quintero, V.; Garza-Cano, I. & Loera-Gallardo, J. *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. *Universidad y ciencia.* 24 (3):239-245. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000300008&lng=es, 2008.
- Sanclemente-Reyes, O. E.; Sánchez-de-Prager, Marina & Prager-Mosquera, M. Prácticas agroecológicas, micorrización y productividad del intercultivo maíz-soya (*Zea mays* L. – *Glycine max* L.). *IDESIA.* 36 (2):217-224, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005000301>.
- Sharma, E.; Jain, M. & Khurana, J. P. Differential quantitative regulation of specific gene groups and pathways under drought stress in rice. *Genomics.* 111 (6):1699-1712, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2018.11.024>.
- Solano, O. & Vázquez, R. Modelo agrometeorológico de evaluación de la sequía agrícola. *Convención Trópico'99. Congreso de Meteorología Tropical.* La Habana, 1999.
- STATGRAPHICS Centurion. STATGRAPHICS CENTURION XV. *DYNA.* 82 (1):72, 2007.
- Takahashi, F.; Kuromori, T.; Urano, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K. & Shinozaki, K. Drought stress responses and resistance in plants: from cellular responses to long-distance intercellular communication. *Front. Plant Sci.* 11:556972, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.556972>.
- Tiwari, G.; Duraivadivel, P.; Sharma, S. & Hariprasad, P. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase producing beneficial rhizobacteria ameliorate the biomass characters of *Panicum maximum* Jacq. by mitigating drought and salt stress. *Sci. Rep.* 8:17513, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35565-3>.
- Tiwari, Shalini; Prasad, V. & Lata, Charu. *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: J. S. Singh and D. P. Singh, eds. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering.* Netherlands: Elsevier. p. 43-55, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64191-5.00003-1>.
- Ullah, A.; Nisar, M.; Ali, H.; Hazrat, A.; Hayat, K.; Keerio, A. A. *et al.* Drought tolerance improvement in plants: an endophytic bacterial approach. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 103 (18):7385-7397, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10045-4>.
- van der Heijden, M. G. A.; Dombrowski, Nina & Schlaeppi, K. A. Continuum of root-fungal symbioses for plant nutrition. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA.* 114 (44):11574-11576, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1716329114>.
- Yaseen, R.; Hegab, R.; Kenawey, M. & Eissa, D. Effect of super absorbent polymer and bio fertilization on maize productivity and soil fertility under drought stress conditions. *Egypt. J. Soil. Sci.* 60 (4):377-395, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejss.2020.35386.1372>.
- Zhang, L.; Feng, G. & Declerck, Stéphane. Signal beyond nutrient, fructose, exuded by an arbuscular mycorrhizal fungus triggers phytate mineralization by a phosphate solubilizing bacterium. *ISME J.* 12 (10):2339-2351, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0171-4>.