



## Respuesta del pasto Yacaré (*Urochloa híbrido* cv. CIAT BR02/1752) a la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares

### Response of Yacare (*Urochloa hibrido* cv. CIAT BR02/1752) pasture to biofertilization with arbuscular mycorrhizal fungi

✉ Pedro Rafael Rosales-Jenqui\*, ✉ Pedro José González-Cañizares, ✉ Luis R. Fundora-Sánchez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700.

**RESUMEN:** En la Empresa Pecuaria Genética “Niña Bonita” se realizó un experimento con el objetivo de evaluar la efectividad de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares en el pasto Yacaré (*Urochloa híbrido* cv. CIAT BR 02/1752) cultivado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Se evaluaron cuatro tratamientos, tres especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA): *Glomus cubense*, *Funneliformis mosseae* y *Rizopagrus irregularis*, además de un control sin inocular, distribuidos en un diseño cuadrado latino. La inoculación de las diferentes especies de HMA se realizó en el momento de la siembra. Los indicadores evaluados fueron: frecuencia e intensidad de la colonización micorrízica, número de esporas de HMA en la rizosfera, concentraciones de N, P y K en la biomasa, rendimiento de masa seca del pasto y su valor nutritivo, así como el índice de eficiencia y la participación de las cepas de HMA en la nutrición del pasto. Todas las cepas produjeron aumentos significativos en las variables evaluadas; sin embargo, los mayores valores correspondieron a *G. cubense*, cuyo efecto, a diferencia de las otras, se observó hasta el período poco lluvioso. Esta cepa produjo el mayor índice de eficiencia y tuvo la mayor participación en la nutrición del pasto. Se concluye que la biofertilización con *G. cubense* puede constituir una práctica agronómica efectiva para mejorar el rendimiento y valor nutritivo del pasto Yacaré cultivado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.

**Palabras clave:** glomus, rendimiento, rizosfera, valor nutritivo.

**ABSTRACT:** With the aim to evaluate the biofertilization effectiveness with arbuscular mycorrhizal fungi in Yacaré pasture (*Urochloa hybrid*) cultivated in Lixiviated Ferrallitic Red soil, an experiment was carried out at Niña Bonita Genetic Cattle Enterprise. Four treatments were evaluated: three species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Glomus cubense*, *Funneliformis mosseae*, and *Rizopagrus irregularis*, in addition to a control without inoculating, distributed in a Latin square design. Different species inoculation of AMF was carried out at sowing time. The indicators evaluated were the frequency and intensity of mycorrhizal colonization, AMF spore number in the rhizosphere, the NPK biomass concentrations, the dry mass yield of the pasture and its nutritive value, as well as the efficiency index and AMF strains influence in pasture nutrition. All the strains produced significant increases in the evaluated variables; nevertheless, when *G. cubense* was inoculated, increases in the efficiency index and in pasture nutrition were obtained. It is concluded that biofertilization with *G. cubense* can be an effective agronomic practice to improve the yield and nutritive value of the Yacare pasture cultivated in Lixiviated Ferrallitic Red soil.

**Key words:** productivity, rhizosphere, glomus, nutritional value.

\*Autor para correspondencia: [prafael@inca.edu.cu](mailto:prafael@inca.edu.cu)

Recibido: 22/10/2019

Aceptado: 07/12/2020

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## INTRODUCCIÓN

El cultivo de especies y variedades de pastos más productivas, adaptadas a las diferentes condiciones edafoclimáticas en que se desarrolla la actividad pecuaria, es una de las vías para mejorar la base alimentaria del ganado (1) y, en el caso específico de Cuba, adquiere gran importancia, pues solo entre el 15 y el 18 % de la superficie de los suelos que se dedican a la ganadería se encuentra ocupada por pastos mejorados y el resto lo constituyen pastizales naturales de muy baja productividad y escaso valor nutritivo (2).

En los últimos años se han introducido en el país nuevas especies y cultivares pratenses y forrajeros obtenidos fundamentalmente en el Centro Internacional de Agricultura Tropical, entre los que se incluye el pasto Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR 02/1752), resultante del cruzamiento de dos clones de este género, el cual se caracteriza por su elevada resistencia a la humedad, rápida cobertura del suelo y alto potencial productivo y valor nutricional. Para producir altos rendimientos con elevado valor nutritivo, este cultivo requiere un suministro adecuado de nutrientes (3).

Sin embargo, la baja fertilidad de los suelos que se dedican a la ganadería en Cuba y la escasez de fertilizantes en este sector, debido a sus altos precios en el mercado internacional, conduce a la búsqueda de alternativas para lograr su manejo sostenible (4).

En Cuba, durante los últimos años se ha avanzado en las investigaciones sobre el uso y manejo de los biofertilizantes micorrízicos en los pastos, quedando demostradas sus potencialidades para aumentar el rendimiento y el valor nutritivo de la biomasa y, a la vez, disminuir entre 30 y 50 % sus requerimientos de fertilizantes minerales u orgánicos (5-7).

No obstante, en las investigaciones señaladas también se ha podido comprobar que la efectividad de la biofertilización depende de la cepa de HMA inoculada, la especie o cultivar de pasto y las condiciones edáficas donde tiene lugar su cultivo, así como de su manejo. De modo que evaluar la respuesta de las nuevas especies que formarán parte de la estructura varietal de los pastizales del país resulta imprescindible para lograr la respuesta productiva que necesita la ganadería y, a la vez, hacer un uso racional de tales insumos.

Basado en lo antes expuesto se realizó esta investigación con los objetivos de evaluar la influencia de la inoculación con especies de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR 02-1752) cultivado en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado y seleccionar la más efectiva para su uso como biofertilizante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la microestación de Pastos y Forrajes de la Empresa Pecuaria Genética “Niña Bonita”, ubicada en el municipio Bauta, provincia Artemisa, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (8), cuyas principales características químicas se presentan en la Tabla 1.

El suelo poseía un pH ácido, contenido medios de materia orgánica y potasio intercambiable (K), así como una capacidad de intercambio de bases (CIB), de acuerdo con su tipo. El fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) presentó contenidos medios. Para los análisis del suelo se utilizaron los métodos establecidos en el laboratorio de suelos, abonos orgánicos y tejido vegetal del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (9). Durante el período en que se desarrolló el experimento, se observaron dos épocas bien definidas, una lluviosa (mayo-octubre), donde se acumuló el 77 % de la precipitación total y otra poco lluviosa (noviembre-abril), donde sólo se acumuló el 23 %. Entre mayo y octubre se registraron los mayores valores de las temperaturas máxima (32,4-32,9 °C), media (27,5-27,7 °C) y mínima (20,8-3,7 °C) (10).

La siembra se realizó en mayo de 2016 y el experimento tuvo una duración de un año. El primer corte se efectuó a los 90 días después de la siembra y, posteriormente, a intervalos aproximados de 45 y 90 días durante el período lluvioso y poco lluvioso, respectivamente, en dependencia de la producción de biomasa aérea, hasta totalizar cinco cortes.

En el experimento se evaluaron cuatro tratamientos, consistentes en la inoculación de las especies de HMA *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalpé) (11) cepa INCAM-4, *Funneliformis mosseae* (Nicol. & Gerd.) Walker & Schüßler (12) cepa INCAM-2 y *Rizopaghus irregularis* (N. C. Schenck & G. S. Sm.) Sieverd., G. A. Silva & Oehl) cepa INCAM-11 y un testigo sin inocular, los cuales se distribuyeron en un diseño cuadrado latino. Las parcelas tenían una superficie de 28 m<sup>2</sup> y un área de cálculo de 21 m<sup>2</sup>.

El suelo se preparó de forma convencional, con una secuencia de labores de roturación (arado), grada, cruce (arado) y grada, a intervalos aproximados de 20 días entre cada una. El pasto se sembró en surcos separados a 70 cm y a chorillo, a una profundidad de 1,5 cm. Para la siembra se utilizó una dosis entre 10 kg de semilla total ha<sup>-1</sup>, para entregar 1 kg de semilla pura germinable ha<sup>-1</sup>. El experimento se condujo en condiciones de secano y no se aplicaron fertilizantes químicos, ni abonos orgánicos.

La inoculación se realizó al momento de la siembra por el método del recubrimiento de las semillas, para lo cual se sumergieron en una pasta fluida, elaborada mediante la

Tabla 1. Características químicas del suelo (profundidad: 0-20 cm).

pH H <sub>2</sub> O	MO (%)	$P_2O_5$ (mg 100 g <sup>-1</sup> )	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	K <sup>+</sup>	CCB
					(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
6,4	3,34	2,0	8,9	2,1	0,19	0,35	11,54
0,2	0,33	0,6	0,8	0,3	0,02	0,03	0,76

MO: materia orgánica, CIB: capacidad de cambio de bases, IC: intervalo de confianza ( $\alpha = 0,05$ )

mezcla de una cantidad de inóculo sólido equivalente al 10 % del peso de las mismas (1 kg) y 600 mL de agua (13). Una vez recubiertas las semillas y solidificado el inóculo, se procedió a la siembra. Para ello se utilizó el inoculante micorrízico EcoMic®, producido en el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA, con una concentración de 35 esporas de la especie de HMA a evaluar, por gramo de inoculante.

En cada corte se cosechó la masa verde (MV) de la parte aérea de las plantas que se encontraban en el área de cálculo de las parcelas; esta se pesó con una balanza de 0,5 kg de precisión y de ella se tomó una muestra de 200 g, la cual se llevó a una estufa de circulación de aire a 70 °C hasta alcanzar una masa constante, para determinar el porcentaje de masa seca (MS). El rendimiento de MS se calculó a partir del rendimiento de masa verde (MV) y el porcentaje de MS (10). A las muestras secas en la estufa se le determinaron el contenido de proteína bruta (PB) =  $N \times 6,25$  (14), la digestibilidad de la materia orgánica (15). La fibra Neutro Detergente FND (16).

Las concentraciones de N P K se determinaron como porcentaje de la masa seca (9).

En cortes alternos y al momento de la cosecha de la masa verde, de cada parcela se tomaron cinco submuestras de suelo de la rizosfera a una profundidad de 0-20 cm, mediante el empleo de un cilindro metálico de 2,5 cm de diámetro y 20 cm de altura, que se distribuyeron en puntos equidistantes y separados a 10 cm de los surcos, siguiendo el protocolo para la determinación de las estructuras micorrízicas en pastizales (17). Estas se homogenizaron para formar una muestra compuesta por parcela, de las cuales se extrajo 1 g de raicillas para su tinción y clarificación (18). Se estimaron los indicadores de frecuencia e intensidad de la colonización (19) y el número de esporas en la rizosfera (20), modificado por otros autores (21).

Se determinó además el índice de eficiencia (IE) de las cepas de HMA inoculadas y el grado de participación de las mismas en la nutrición de los pastos. El IE se calculó mediante la fórmula (22).

$$\frac{\text{Rend. MS tto inoculado} - \text{Rend. MS testigo}}{\text{Rend. MS testigo}} \times 100$$

donde:

Rend. MS tto inoculado = rendimiento MS ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) del tratamiento inoculado

Rend. MS testigo = rendimiento MS ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) del testigo

Para calcular la participación de las cepas de HMA en la nutrición de los pastos se utilizó la siguiente fórmula (23)

$$\frac{\text{Conc. N, P, K biom. aérea tto inoc.} - \text{Conc. N, P, K biom. aérea testigo}}{\text{Conc. N, P, K biom. aérea testigo}} \times 100$$

donde:

Conc. N, P, K biom. Aérea tto inoc. = concentración de N, P o K (%) de la biomasa aérea del tratamiento inoculado

Conc. N, P, K biom. Aérea tto inoc. = concentración de N, P o K (%) en la biomasa aérea del tratamiento testigo

El procesamiento estadístico de los datos se hizo mediante el análisis de varianza, según el diseño experimental utilizado y cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se compararon las medias (24). A los valores promedio de los análisis del suelo, así como al índice de eficiencia y a la participación de las cepas de HMA en la nutrición del pasto, se le estimó el intervalo de confianza de las medias a  $\alpha=0,05$  (25). Todas las variables cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, por lo que en todos los casos se analizaron los datos originales (26). Para el análisis de datos se utilizó el programa SPSS Statistics 21 (27).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de los tratamientos en las estructuras micorrízicas del pasto se evaluó a través de las variables colonización y densidad visual, las cuales indican, en ese orden, el nivel de ocupación de la raíz de la planta hospedera por el hongo y la intensidad de la colonización, así como por el número de esporas de HMA en 50 g de suelo. Como puede apreciarse en la Tabla 2, durante el período lluvioso, todas las cepas incrementaron los niveles de colonización, densidad visual y el número de esporas en la rizosfera en relación con el testigo sin inocular, el cual reflejó el nivel de ocupación radical de los HMA residentes; sin embargo, los mayores valores de estas variables se alcanzaron con *G. cubense*.

En el período poco lluvioso, solo *G. cubense* produjo incrementos significativos en estas variables, pues los valores alcanzados por el resto de las especies de HMA no difirieron de los observados en el testigo sin inocular. Se constató que *F. mosseae* y *R. irregularis* no solo alcanzaron niveles de ocupación radical menores que *G. cubense*, sino que su efecto tuvo una menor duración en el tiempo, ya que se observó solamente en el período lluvioso. En experimentos realizados en condiciones de campo (28,29), también observaron incrementos en los niveles de colonización, densidad visual y esporas en la rizosfera de plantas forrajeras inoculadas con HMA, aunque no todas las cepas tuvieron el mismo comportamiento.

Al analizar los resultados de los indicadores de las variables fúngicas, resultó evidente que las cepas introducidas fueron más efectivas que los HMA residentes para colonizar las raíces del pasto; sin embargo, no todas lo hicieron con igual intensidad, pues los mayores valores se obtuvieron con *G. cubense*, cuyo efecto, a diferencia de las otras, se extendió hasta el período poco lluvioso. Varios estudios demuestran que las especies de HMA introducidas pueden alcanzar niveles de ocupación radical mayores que las residentes, en los casos en que estas no se encuentren en cantidades adecuadas o no sean lo suficientemente efectivas para colonizar las plantas cultivadas. Pero para alcanzar una adecuada colonización, la especie que se inocula debe ser compatible con el ambiente (cultivo hospedero, tipo de suelo y niveles de nutrientes del mismo), así como poseer mayor capacidad que los HMA residentes para competir y establecerse en el medio. Ello pudiera explicar el mejor comportamiento de *G. cubense* en las estructuras micorrízicas del pasto, en relación con el resto de las cepas inoculadas (30).

**Tabla 2.** Efecto de las cepas de HMA en las estructuras fúngicas del pasto.

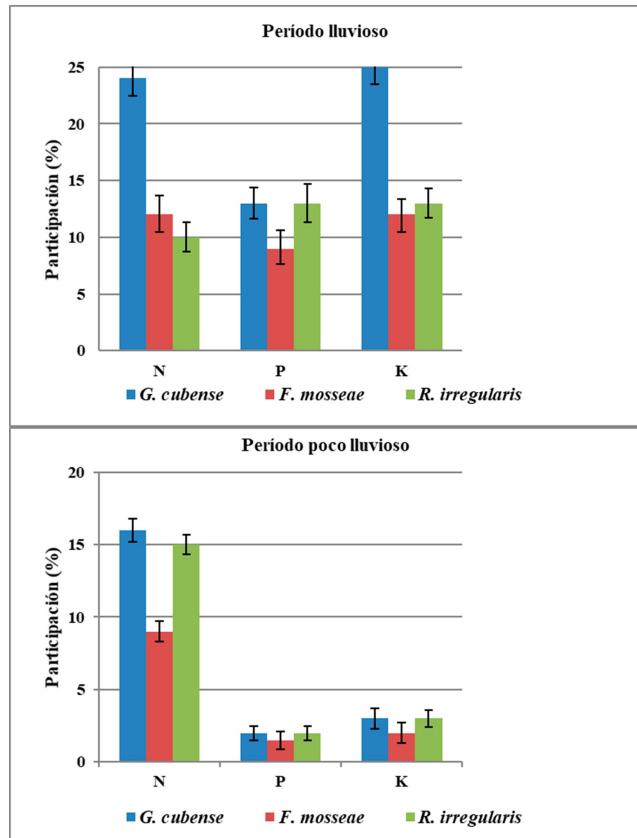
Cepas de HMA	Período lluvioso			Período poco lluvioso		
	Colonización (%)	DV (%)	Esporas 50 g <sup>-1</sup>	Colonización (%)	DV (%)	Esporas 50 g <sup>-1</sup>
Testigo	24,12 c	1,93c	286,8 c	10,93 b	0,73 b	75,3 b
<i>G. cubense</i>	61,86 a	4,17 a	567,5 a	22,45 a	1,83 a	208,5 a
<i>F. mosseae</i>	38,82 b	2,92b	420,8 b	11,15 b	0,76 b	73,3 b
<i>R. irregularis</i>	40,39 b	2,89b	418,0 b	10,89 b	0,72 b	79,5 b
ES	2,15**	0,24**	45,7**	0,57**	0,10**	19,3**

DV: densidad visual. Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a  $p<0,05$ , según dócima de Duncan

Los valores absolutos de los porcentajes de colonización, densidad visual y el número de esporas en la rizosfera fueron mayores en la época de lluvia que en el período poco lluvioso, lo que pudo deberse a la influencia de las condiciones climáticas en la producción de biomasa. El rápido crecimiento de los pastos durante el período en que concurren los mayores niveles de precipitaciones, temperatura y luminosidad, propicia una mayor demanda de nutrientes y consecuentemente, la formación de mayores cantidades de estructuras fúngicas para facilitar el acceso de las plantas micorrizadas a los recursos del suelo (31).

Al igual que en las variables fúngicas, durante el período lluvioso se observó que todas las cepas incrementaron las concentraciones de N, P y K en la biomasa de la parte aérea, en relación con el testigo; sin embargo, los mayores valores de N y K se alcanzaron con *G. cubense* (Tabla 3). Para las concentraciones de P no se encontraron diferencias entre las cepas inoculadas. Estas también tuvieron un comportamiento diferenciado en el tiempo, pues en el período poco lluvioso sólo *G. cubense* logró incrementar las concentraciones de nutrientes en la biomasa aérea.

La influencia de las cepas en la nutrición del pasto, la cual se evaluó a través del incremento porcentual de las concentraciones de los macronutrientes primarios en la biomasa aérea en relación con el tratamiento no inoculado, se muestra en la Figura 1. En el período lluvioso *G. cubense* tuvo una participación mayor que el resto de las cepas, con incrementos alrededor del 25 % de los tenores de N y K. Los aumentos de ambos nutrientes que alcanzaron *F. mosseae* y *R. irregularis* exhibieron valores que no superaron el 13 %. La participación de todas las cepas en la nutrición fosfórica fue similar, con valores alrededor del 12 %. Durante el período poco lluvioso, solo *G. cubense* participó en la nutrición del pasto, con incrementos en las concentraciones de N y K en la biomasa entre 15 y 16 % y del 8 % en las concentraciones de P.



**Figura 1.** Participación de las cepas de HMA en el incremento de las concentraciones de N, P y K en la biomasa de la parte aérea de los pastos.

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, las cuales aumentan la superficie de contacto con el suelo (32).

**Tabla 3.** Concentraciones de nutrientes en la biomasa de la parte aérea (g kg<sup>-1</sup> MS)

Cepas de HMA	Período lluvioso			Período poco lluvioso		
	N	P	K	N	P	K
Testigo	11,9 c	2,0 b	12,2 c	13,5 b	2,1 b	13,9 c
<i>G. cubense</i>	15,7 a	2,3 a	16,3 a	16,1 a	2,4 a	16,7 a
<i>F. mosseae</i>	13,5 b	2,2 a	13,9 b	13,9 b	2,1 b	14,2 b
<i>R. irregularis</i>	13,2 b	2,3 a	14,1 b	14,1 b	2,2 b	13,7 b
ES	0,3**	0,1**	0,3**	0,5**	0,1**	0,4**

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a  $p<0,05$ , según dócima de Duncan.

Sin embargo, el efecto de los HMA en la absorción de nutrientes depende de la efectividad de las cepas, el grado de dependencia micorrízica de la planta hospedera y la fertilidad del suelo, entre otros factores (33).

En poáceas perennes se ha constatado que mayores niveles de colonización micorrízica se asocian, generalmente, con un aumento en la absorción de nutrientes (6,34). Esto pudiera explicar las mayores concentraciones de N y K en la biomasa aérea de los pastos inoculados con *G. cubense*, así como su mayor participación en la nutrición nitrogenada y potásica del pasto, pues sus niveles de ocupación radical fueron significativamente mayores que los alcanzados por el resto de las cepas, tal como se pudo observar en la **Tabla 2**.

El hecho de que aun con *G. cubense* la participación de las cepas de HMA en la nutrición fosfórica haya sido baja, en relación con la nitrogenada y potásica, pudiera ser consecuencia de las características de la planta hospedera, aunque no se descartan otros factores. Las especies pratenses del género *Urochloa* responden a la fertilización nitrogenada y potásica (35,36) y a juzgar por los tenores de materia orgánica y los contenidos de K asimilable del suelo, donde se realizó el experimento, estos no parecen suficientes para garantizar una adecuada nutrición de las plantas. En este sentido, las micorrizas pudieron hacer una contribución importante a la nutrición del pasto, al facilitar la absorción de ambos nutrientes del suelo.

Sin embargo, los pastos de este género tienen la facultad de acceder a formas de P menos móviles en el suelo, de modo que su respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico suele ser baja, aun en suelos con bajos tenores de este elemento (37,38). Ello pudiera explicar la baja participación relativa de *G. cubense* en la nutrición fosfórica del pasto, a pesar de que alcanzó altos niveles de colonización, ya que al parecer, las plantas no sólo dependieron de una inoculación micorrízica efectiva para garantizar una adecuada nutrición fosfórica. De hecho, la participación de *G. cubense* en la nutrición fosfórica no difirió de la alcanzada por *F. mosseae* y *R. irregularis*, las cuales tuvieron una participación menos marcada en la nutrición del pasto.

Según estudios recientes, al evaluar la contribución de las cepas de HMA a la nutrición de diferentes cultivos, se puede observar que la simbiosis, más que favorecer la absorción de uno u otro elemento, se comportó como un mecanismo que permitió a las plantas obtener sus requerimientos nutricionales, en dependencia de sus propias

necesidades y de la disponibilidad de los mismos en el suelo (39).

La **Tabla 4** muestra la influencia de la inoculación en el rendimiento de la biomasa de la parte aérea del pasto, así como el índice de eficiencia de las cepas de HMA, el cual expresa, en términos porcentuales, su efecto en el incremento de la productividad con respecto al tratamiento sin inocular (testigo). Durante el período lluvioso, todas las cepas aumentaron el rendimiento; sin embargo, el mayor efecto se obtuvo con *G. cubense*, el cual difirió significativamente del resto de los tratamientos. Esta cepa también mostró el mayor índice de eficiencia.

En el período poco lluvioso no se encontró efecto de *F. mosseae* ni de *R. irregularis* en el rendimiento, cuyos valores fueron similares al alcanzado en el testigo sin inocular, y ello también se reflejó en los bajos índices de eficiencia que alcanzaron ambas cepas. En esta época, solo *G. cubense* fue capaz de incrementar el rendimiento y, consecuentemente, exhibir el índice de eficiencia más alto, demostrando no solo una mayor efectividad, sino también una mayor permanencia en el tiempo.

Estos resultados indicaron que las cepas introducidas (sobre todo *G. cubense*), fueron más efectivas que los HMA residentes, para promover el rendimiento del pasto; y consecuentemente, que la biofertilización con HMA podría asumirse, al menos en las condiciones en que se realizó este estudio, como una práctica agronómica promisoria para mejorar la productividad del pasto Yacaré. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores al inocular cepas eficientes de HMA, en pastos de los géneros *Megathyrsus* y *Urochloa*, respectivamente (28,40).

En relación con el efecto de la inoculación con HMA, si bien se reconoce que la respuesta de los pastos suele variar en función de muchos factores, debido a que la ecología de estos microorganismos en los agroecosistemas de pastizales es bastante compleja, algunos autores plantean que la introducción de cepas seleccionadas puede ser una opción de manejo deseable e incluso necesaria, en los casos en que los HMA residentes no sean lo suficientemente efectivos para producir una respuesta agronómica importante en los cultivos (34).

Al igual que en las variables fúngicas, se observó que el rendimiento durante el período poco lluvioso se redujo, como promedio, en un 70 % con respecto a la época lluviosa, lo cual es el resultado del carácter estacional de la producción de biomasa de los pastos, dado por el comportamiento de las variables meteorológicas a lo largo del año.

**Tabla 4.** Efecto de las cepas de HMA en el rendimiento (t MS ha<sup>-1</sup>) del pasto.

Cepas de HMA	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Total	IE
Testigo	7,85 c	2,98 b	10,93 c	-
<i>G. cubense</i>	10,98 a	3,85 a	14,83 a	35
<i>F. mosseae</i>	9,45 b	2,97 b	12,42 b	14
<i>R. irregularis</i>	9,58 b	2,90 b	12,48 b	14
ES	0,34**	0,10**	0,38**	

IE: índice de eficiencia de las cepas de HMA. Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a p<0,05, según dócima de Duncan.

En el sitio donde se condujo el experimento, se observaron variaciones notables en los niveles de precipitaciones y temperaturas entre una y otra época, lo que sin dudas pudo haber repercutido en el rendimiento. La producción de biomasa de los pastos tropicales está estrechamente relacionada con el comportamiento de las precipitaciones, la temperatura y la luminosidad, las cuales inciden marcadamente en su crecimiento (41).

Sin embargo, lo más interesante fue constatar que la biofertilización con HMA puede incrementar el rendimiento del pasto, aun en la época poco lluviosa, período durante el cual se deprime notablemente la producción de biomasa y, por lo tanto, se necesita producir una mayor cantidad de alimento para los animales.

La biofertilización con HMA influyó en el valor nutritivo del pasto, aunque su efecto también dependió de la cepa inoculada; pues se pudo observar que todas incrementaron el contenido de proteína bruta y la digestibilidad de la biomasa. *G. cubense*, además, de producir el mayor efecto en ambas variables, disminuyó su contenido de fibra neutro detergente (Tabla 5).

La mejora del valor nutritivo de la biomasa estuvo en correspondencia con el efecto positivo que produjo la biofertilización en el estado nutricional del pasto. Como se pudo apreciar, con la inoculación se obtuvieron concentraciones de N en la biomasa de la parte aérea más altas que en el testigo, lo cual no solo significó un aumento del contenido de proteína bruta, sino que, al parecer, repercutió en el resto de las variables. Precisamente, la cepa con la que se obtuvieron las mayores concentraciones de N, fue la que exhibió los mayores tenores de los indicadores del valor nutritivo evaluados.

Con la estimulación del crecimiento que produce el aumento de la disponibilidad de N en el suelo, ocurre un aumento en la utilización de los carbohidratos disponibles para la formación de células, en vez de incrementar el grosor de la pared celular. De este modo se reducen los tenores de fibra y lignina, aumentando la digestibilidad y el valor nutritivo del pasto (42).

Al analizar de forma integral los resultados obtenidos en este experimento, se observó que la respuesta del pasto a la inoculación de HMA dependió de la efectividad de la cepa, hecho que concuerda con lo observado por otros investigadores al evaluar el efecto de la introducción de especies de HMA en gramíneas forrajeras (6) y que parece estar asociado a la existencia de diferentes grados de compatibilidad entre la planta hospedera y el hongo.

**Tabla 5.** Efecto de los tratamientos en indicadores del valor nutritivo del pasto.

Cepas de HMA	PB (%)	FND (%)	DMO (%)
Testigo	7,94 c	70,8 b	62,2 c
<i>G. cubense</i>	9,94 a	68,1 a	64,9 a
<i>F. mosseae</i>	8,56 b	70,9 b	61,9 b
<i>R. irregularis</i>	8,53 b	71,1 b	62,1 b
ES	0,16**	0,28**	0,34**

PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente, DMO: digestibilidad de la materia orgánica. Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a  $p<0,05$ , según dócima de Duncan.

En otros trabajos realizados se argumenta que, aunque no existe evidencia de una especificidad estricta hongo-planta, no todas las especies de HMA colonizan con la misma intensidad y eficiencia las distintas especies vegetales, quedando demostrada la existencia de distintos grados de compatibilidad en la simbiosis, como resultado de las influencias del ambiente sobre la expresión genotípica de ambos simbiontes (43).

Tampoco puede descartarse la influencia del suelo en la efectividad de la cepa introducida, pues los estudios de inoculación de HMA que se realizan en Cuba en diferentes cultivos, demuestran la existencia de una alta relación entre la eficiencia de la cepa y el ambiente edáfico, en la respuesta de los cultivos a la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares (44).

El efecto de *G. cubense*, que sin dudas resultó la cepa más efectiva, en el incremento del rendimiento del pasto, tiene estrecha relación con la mejora de su estado nutricional. Ello se hizo evidente, tanto por las mayores concentraciones de N, P y K en la biomasa aérea que se alcanzaron como resultado de su inoculación, como por su mayor participación en la nutrición del pasto. Tal comportamiento parece estar estrechamente relacionado con un aumento del aprovechamiento de los nutrientes del suelo, a partir de la formación de cantidades de estructuras micorrízicas que facilitaron el acceso de las plantas a tales recursos (45). De este modo, la biofertilización con *G. cubense* se vislumbra como una alternativa promisoria para mejorar la productividad y el valor nutritivo de la biomasa del pasto Yacaré, al menos en condiciones similares, a las presentes en este estudio.

## CONCLUSIONES

- La biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares mejora el rendimiento de biomasa y el valor nutritivo del pasto Yacaré (*Urochloa* híbrido cv. CIAT BR 02/1752) cultivado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.
- *Glomus cubense* resulta la cepa más efectiva para su inclusión en la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares del pasto Yacaré cultivado en este tipo de suelo.
- El efecto de *Glomus cubense* en el rendimiento y valor nutritivo de la biomasa estuvo relacionado con la mejora del estado nutricional del pasto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hare MD, Pizarro EA, Phengphet S, Songsiri T, Sutin N. Evaluation of new hybrid brachiaria lines in Thailand. 1. Forage production and quality. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2015;3(2):83-93. doi:10.17138/tgft(3)83-93.
- Minag. Programa para la reconstrucción de la masa Ganadera. Ministerio de la Agricultura 'Internet'. Ministerio de la Agricultura República de Cuba. 2005 'cited 11/01/2021'. Available from: <https://www.mnag.gob.cu/node>
- Pizarro EA. Un nuevo híbrido para el mundo tropical-Brachiaria híbrida cv. CIAT BR02/1752" Cayman". *Pasturas de América*. 2012.
- Lok Mejías S. Los suelos dedicados a la ganadería en Cuba: características, manejo, oportunidades y retos. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2016;50(2):279-90.
- Flores GC, Ramírez JF, González PJ, Hernández I. Coinoculación de cepas de rizobios y del hongo micorrízico arbuscular en *Stylosanthes guianensis* vc. CIAT-184. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 2014;48(3):297-300.
- González Cañizares PJ, Ramírez Pedroso JF, 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*. 2015;36(1):135-42.
- Rosales Jenqui PR, González Cañizares PJ, Ramírez Pedroso JF, Arzola Batista J. Selection of arbuscular mycorrhizal fungi efficient strains for guinea grass *Megathyrsus maximus* cv. Likoni). *Cultivos Tropicales*. 2017;38(1):24-30.
- Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. 2015;93.
- Paneque VM, Calaña JM, Calderón M, Borges Y, Hernández T, Caruncho M. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Ediciones INCA. San José de las Lajas, La Habana; 2010. 160 p.
- INSMET. Boletín Agrometeorológico Nacional 'Internet'. yumpu.com. 'cited 11/01/2021'. Available from: <https://www.yumpu.com/es/document/read/37667056/boleta-nagrometeorologico-nacional>
- Rodríguez Y, Dalpé Y, Séguin S, Fernández K, Fernández F, Rivera RA. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. 2011;118(1):5.
- Schußler A, Walker C. 7 Evolution of the 'Plant-Symbiotic'Fungal Phylum, Glomeromycota. In: Evolution of fungi and fungal-like organisms. Springer; 2011. p. 163-85.
- Fernández F, Gómez R, Vanegas LF, Martínez MA, de la Noval BM, Rivera R. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente. 2000;22641.
- AOAC G. Official methods of analysis of AOAC International. Rockville, MD: AOAC International. 2016.
- Kesting J. Über nevaro engobnissen sur verdesserung der in vitro methoden zurshihungder varelanrickeit vortragsteggen dar gasells choft fur krmahrungder. Leipzig: DDR Sektion Tratrenharung. 1977;1:306.
- Van Soest P, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*. 1991;74(10):3583-97.
- Johnson NC, Rowland DL, Corkidi L, Egerton-Warburton LM, Allen EB. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semiarid grasslands. *Ecology*. 2003;84(7):1895-908.
- Rodríguez Yon Y, Arias Pérez L, Medina Carmona A, Mujica Pérez Y, Medina García LR, Fernández Suárez K, et al. Alternative staining technique to determine mycorrhizal colonization. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(2):18-21.
- Trouvelot A, Kough J, Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système radiculaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: I European Symposium on Mycorrhizae: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. Paris, France: Institut National de la Recherche Agronomique (INRA); 1986. p. 217-21.
- Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*. 1963;46(2):235-44.
- Herrera RA, Ferrer RL, Furrazola E, Orozco MO. Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, evolución y procesos sociales. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Subprograma, Diversidad Biológica: Mérida. 1995.
- Siqueira JO, Franco AA. Biotecnología del suelo: fundamentos y perspectivas. Ministerio da Educacao e Cultura; 1988. 235 p.
- Rivera Espinosa R, Fernández Suárez K. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. In: Rivera, R. et al. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana. 2003. p. 49-94.
- Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 1955;11(1):1-42.
- Payton ME, Miller AE, Raun WR. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2000;31(56):547-51.
- Ramiro-Vasquez EA, Caballero-Nunez A. Contribución al tratamiento estadístico de datos con distribución binomial en el modelo de análisis de varianza. 'Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas'. 'Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba'. 2011. 97 p.
- IBM SPSS. Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2012.
- Rosales P. Contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización para la rehabilitación de un pastizal de guinea *Panicum maximum* cv. Likoni. 'Tesis de Maestría'. 'Instituto Nacional de

- Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba"; 2014.
29. Crespo Flores G. Coinoculación de rizobios y hongos micorrízicos arbusculares para el establecimiento de *Stylosanthes guianensis* en asociación con *Brachiaria decumbens*. 'Tesis de Maestría". 'Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba"; 2016.
30. Priyadharsini P, Muthukumar T. Insight into the role of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture. In: Environmental Sustainability. Springer; 2015. p. 3-37.
31. Guadarrama P, Castillo S, Ramos-Zapata JA, Hernández-Cuevas LV, Camargo-Ricalde SL. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in changing environments: The effects of seasonality and anthropogenic disturbance in a seasonal dry forest. *Pedobiologia*. 2014;57(2):87-95.
32. Yang C, Ellouze W, Navarro-Borrell A, Taheri AE, Klabi R, Dai M, et al. Management of the arbuscular mycorrhizal symbiosis in sustainable crop production. In: Mycorrhizal fungi: Use in sustainable agriculture and land restoration. Springer; 2014. p. 89-118.
33. Cañizares PJG, Pedroso JFR, Espinosa RR, Jiménez AH, Flores GC. Effectiveness of inoculation of two forage legumes grown on two soil types with arbuscular mycorrhizal fungi. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2016;4(2):82-90.
34. Bainard LD, Bainard JD, Hamel C, Gan Y. Spatial and temporal structuring of arbuscular mycorrhizal communities is differentially influenced by abiotic factors and host crop in a semi-arid prairie agroecosystem. *FEMS Microbiology Ecology*. 2014;88(2):333-44.
35. Faria BM, Morenz MJF, Paciullo DSC, Lopes FCF, Gomide CA de M. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. *Revista Ciencia Agronómica*. 2018;49(3):529-36.
36. da Silva E de J, Silva PCC, Amorim FF, Brito RBF, Pamponet BM, de Oliveira Rezende J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo distrófico coeso e crescimento radicular de *Brachiaria decumbens* submetido à subsolagem e fertilização. *Comunicata Scientiae*. 2015;6(4):385-95.
37. Rosolem CA, Merlin A, Bull JCL. Soil phosphorus dynamics as affected by Congo grass and P fertilizer. *Scientia Agricola*. 2014;71(4):309-15.
38. Filho A, Lana RMQ, Camargo R, Clemente MA, Queiroz ID. Sources of phosphorus for the establishment of palisade grass (*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) RD Webster). *African Journal of Agricultural Research*. 2016;11(23):2024-31.
39. Sridevi G, Thangavel P. Environmental sustainability: Sole of green technologies. Springer; 2015. 444 p.
40. González P J. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género. *Brachiaria*. 'Tesis de grado científico Doctor en Ciencias Agrícolas". 'Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba"; 2014.
41. Rodrigues RC, Sousa TV, Melo MA, Araújo JS, Lana RP, Costa CS, et al. Agronomic, morphogenic and structural characteristics of tropical forage grasses in northeast Brazil. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2014;2(2):214-22.
42. Machado SLM, de Sales ECJ, Reis ST, Mesquita VG, Carvalho ZG, Monção FP, et al. Forage accumulation, tillering and bromatological characteristics of *Brachiaria* grass under nitrogen fertilization. *Cientifica*. 2017;45(2):197-203.
43. Solaiman ZM, Abbott LK, Varma A. Mycorrhizal fungi: use in sustainable agriculture and land restoration. Springer; 2014. 407 p.
44. Rivera R, González PJ, Hernández A, Martín G, Ruiz L, Fernández K, et al. 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. In: VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba. 2015.
45. Igiehon NO, Babalola OO. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017;101(12):4871-81.