



CONTRIBUCIÓN DE LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA ARBUSCULAR A LA REDUCCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN FOSFÓRICA EN *Brachiaria decumbens*

Contribution of arbuscular mycorrhizal inoculation to the reduction of phosphorus fertilization in *Brachiaria decumbens*

Pedro J. González Cañizares¹✉, Juan F. Ramírez Pedroso²,
Osvaldo Morgan Rosemond², Ramón Rivera Espinosa¹
y Rodolfo Plana Llerena¹

ABSTRACT. An experiment was conducted on a Red Ferralitic Lixiviaded soil in order to assess the contribution of arbuscular mycorrhizal inoculation to reduce phosphorus fertilization in *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Doses of 0, 30, 60 and 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ year⁻¹, alone and combined with the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungal strain *Glomus cubense*, previously selected for its high efficiency, were distributed in a randomized block design with 4x2 factorial arrangement and four replications. The experiment was conducted under irrigated conditions and lasted two years. *G. cubense* significantly increased mycorrhizal colonization percentages, visual density and spore number in the rhizosphere, although the values of those variables decreased with the highest doses of P₂O₅. In non inoculated treatments, the highest yields and P extractions in the aerial biomass were obtained with doses of 30-90 kg of P₂O₅ ha⁻¹, with no significant differences between them, but only with the inoculation of *G. cubense*, during the first year of the establishment of grass both indicators reached values similar to those obtained with phosphoric fertilizer applications without inoculation. The influence of *G. cubense* was observed until the rainy season of the second year, although fungal variable values, yields and P exports with the aerial biomass indicated a decrease in the effectiveness of inoculation, in relation to the first year.

Key words: *Glomus*, nutrition, fertilization, forage grasses

RESUMEN. Se realizó un experimento en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, con el objetivo de evaluar la contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Se estudiaron dosis de 0, 30, 60 y 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ año⁻¹, solas y combinadas con la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus cubense*, seleccionada previamente por su alta eficiencia, en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 4x2 y cuatro réplicas. El experimento se condujo bajo condiciones de riego y tuvo una duración de dos años. La inoculación de *G. cubense* incrementó significativamente los porcentajes de colonización micorrízica, la densidad visual y el número de esporas en la rizosfera, aunque los valores de estas variables disminuyeron con la dosis más alta de P₂O₅. En los tratamientos no inoculados, los mayores rendimientos y extracciones de P en biomasa aérea del pasto se obtuvieron con las dosis de 30 a 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹, sin diferencias significativas entre ellas; sin embargo, solo con la inoculación de *G. cubense*, durante el primer año del establecimiento del pasto ambos indicadores alcanzaron valores similares a los obtenidos con las aplicaciones de fertilizante fosfórico sin inocular. La influencia de *G. cubense* se observó hasta el período lluvioso del segundo año, aunque los valores de las variables fúngicas, los rendimientos y las exportaciones de P en la biomasa de la parte aérea indicaron una disminución de la efectividad de la inoculación, en relación con el primero.

Palabras clave: *Glomus*, nutrición, fertilización, gramíneas forrajeras

INTRODUCCIÓN

La fertilización de los pastos mejorados constituye una herramienta para incrementar la oferta de forraje por unidad de superficie y tiempo y, consecuentemente, la producción animal. Por esta vía, no solo se restituyen los nutrientes que se extraen del suelo con la biomasa

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700.

² Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, avenida Independencia, km 8½ Boyeros, La Habana, Cuba.

✉ pgonzalez@inca.edu.cu

que consume el ganado, sino también se mejora el valor nutritivo y la persistencia de los pastos (1).

Hasta hace pocos años, los estudios sobre la fertilización de los pastos se enfocaban, principalmente, en el incremento de la producción de biomasa por unidad de superficie y la evaluación del impacto económico del uso de los fertilizantes. Actualmente, sin perder de vista el aspecto económico dado el aumento creciente de los precios de los fertilizantes, se le concede gran importancia a la preservación del ambiente; de modo que se ha acrecentado la necesidad de diseñar estrategias de fertilización que garanticen una nutrición adecuada de los pastos y a la vez, aseguren la protección de los recursos naturales (2, 3).

Dentro de esas estrategias se puede considerar el manejo de la simbiosis micorrízica, ya que los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en los agroecosistemas de pastizales están estrechamente relacionados con el aumento de la absorción de elementos minerales, agua y otras sustancias, a través de una red de hifas interconectadas que incrementan el volumen de suelo que exploran las raíces y facilitan el acceso de las plantas a los nutrientes que se encuentran en formas menos asimilables (4, 5). Así, podrían disminuirse las dosis de fertilizantes a aplicar a los pastos en función de un mayor aprovechamiento y eficiencia del uso de los nutrientes del suelo y de los propios fertilizantes.

Entre los nutrientes cuya absorción se favorece por la acción de los HMA, el P es uno de los más importantes, pues entre un 95 y un 99 % de las cantidades de este elemento presentes en el suelo se encuentran en formas no disponibles para las plantas (6). En el caso específico de los agroecosistemas ganaderos de las regiones tropicales, donde el bajo aprovechamiento del P por muchas especies de gramíneas forrajeras está indisolublemente ligado a la compleja dinámica de este elemento en los suelos (7, 8), el manejo de las asociaciones micorrízicas puede constituir una opción válida para mejorar la eficiencia de la fertilización fosfórica.

Basado en estos aspectos se realizó este trabajo, cuyo objetivo fue evaluar la contribución de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de campo, en la Microestación de Pastos y Forrajes de la Empresa Pecuaria Genética "Niña Bonita", ubicada en el municipio de Bauta, provincia de Artemisa, sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (9) cuyas principales características químicas (Tabla I), reflejaron un pH ligeramente ácido, un contenido medio de materia orgánica y bajos tenores de P_2O_5 asimilable y K intercambiable (10).

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

pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹)			
			Ca	Mg	Na	K
6,4	3,23	2,1	9,51	2,52	0,17	0,26

Para los análisis del suelo se utilizaron los métodos establecidos en el laboratorio de suelos y tejido vegetal del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) (11).

En un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial 4x2 y cuatro réplicas, se evaluaron cuatro dosis de fertilizante fosfórico (0, 30, 60 y 90 kg de P₂O₅ ha año⁻¹) en dos condiciones de inoculación micorrízica (sin inocular e inoculado con la cepa de HMA *Glomus cubense*). Los tratamientos se distribuyeron en parcelas, que constituyeron la unidad experimental, que tenían una superficie total de 28 m² y un área de cálculo de 21 m².

El suelo se preparó mediante labores de roturación (arado), grada, cruce (arado) y grada, a intervalos aproximados de 20 días entre cada una. La siembra del pasto se realizó el 15 de marzo de 2005, en surcos separados a 70 cm y a chorrillo, con una dosis de 6 kg de semilla total ha⁻¹ (1 kg de semilla pura germinable ha⁻¹) y a una profundidad de 1,5 cm. El fertilizante fosfórico se aplicó en las dosis indicadas para cada tratamiento, al momento de la siembra y a los 12 meses posteriores. A todos los tratamientos se les aplicó un fondo fijo de 210 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, fraccionado en dosis de 35 kg ha⁻¹ al momento de la siembra y después de cada corte y 100 kg de K₂O ha⁻¹ año⁻¹, en una dosis única distribuida también en la siembra y a los 12 meses. Como portadores se utilizaron el superfosfato triple, la urea y el cloruro de potasio.

Para la selección de las dosis y frecuencias de aplicación del fertilizante fosfórico, así como de los fondos fijos de N y K₂O, se tuvieron en cuenta los requerimientos del cultivo y los tenores de estos nutrientes en el suelo, el número de cortes por año y el rendimiento esperado. Se utilizó la cepa de HMA INCAM-4 de la especie *Glomus cubense* (12), nombrada antes de su clasificación como *Glomus hoi-like*, debido al alto índice de eficiencia que mostró en ensayos realizados en condiciones similares a las que se condujo este experimento (13). Para su aplicación se empleó un inoculante sólido certificado que contenía 25 esporas g⁻¹ de sustrato, producido por el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA. El pasto se inoculó al momento de la siembra por el método del recubrimiento de la semilla (14).

El primer corte se realizó a los 120 días después de la siembra y posteriormente a intervalos de 45 y 90 días durante los períodos lluviosos y poco lluviosos, respectivamente, para un total de seis cortes por año. Estos se realizaron a una altura de 10 cm de la superficie

del suelo y en cada uno se pesó la masa verde (MV) de la parte aérea de las plantas ubicadas dentro del área de cálculo de las parcelas, y se tomaron muestras de 200 g para determinar el porcentaje de masa seca (MS) y las concentraciones de P de la biomasa aérea (11). El rendimiento de MS y la extracción de P en la biomasa aérea se calcularon, en el primer caso, a partir del rendimiento de MV y el porcentaje de MS, y en el segundo, a partir del rendimiento de MS y las concentraciones de P en la biomasa aérea, respectivamente.

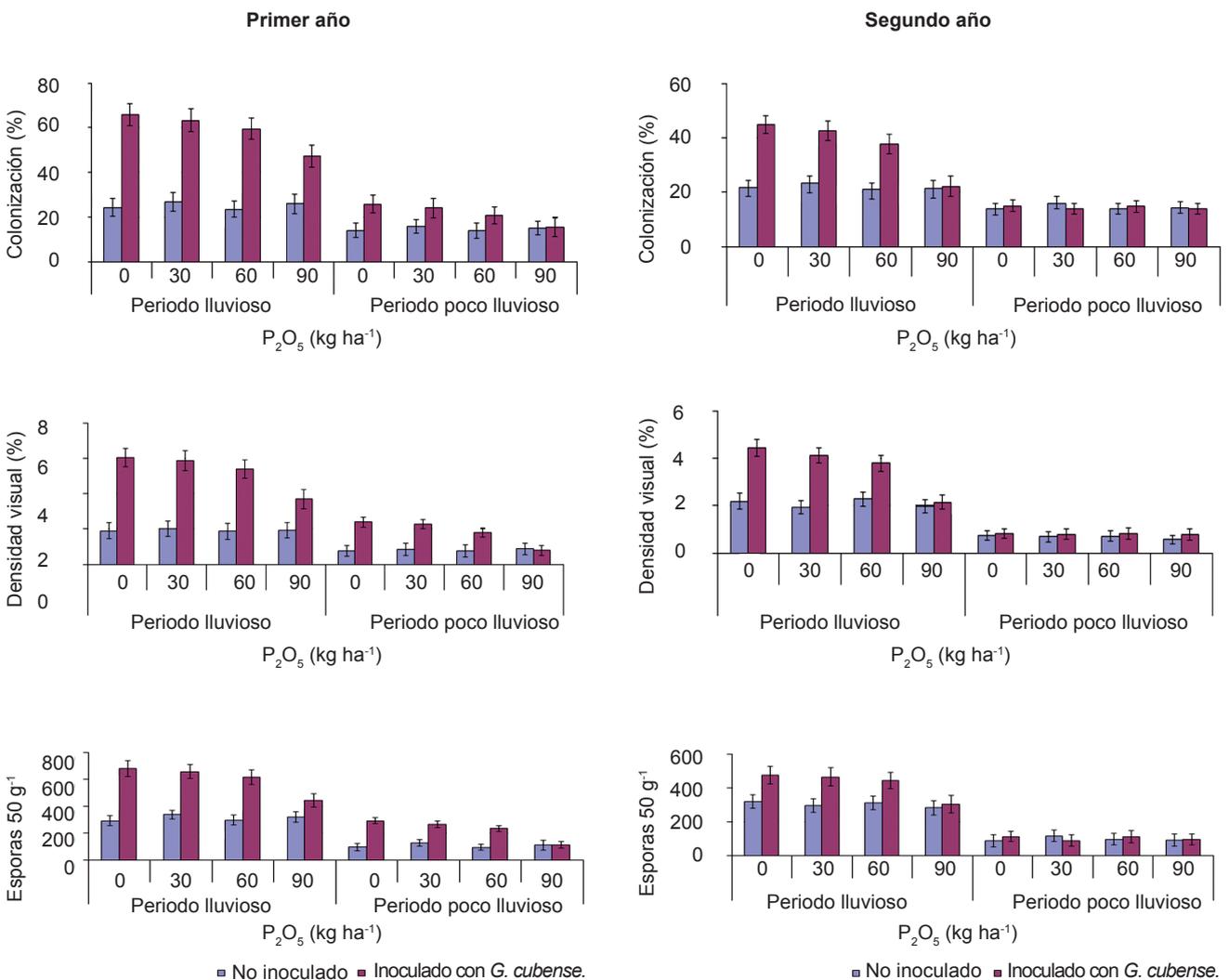
En cortes alternos, de cada parcela se tomaron 10 submuestras de raíces y de suelo de la rizosfera a una profundidad de 0-20 cm, mediante el empleo de un cilindro metálico de 5 cm de diámetro y 20 cm de altura. Los puntos de muestreo se distribuyeron equidistantes y separados a 10 cm de los surcos (4). Estas se homogenizaron para formar una muestra compuesta por parcela, de las cuales se extrajo 1 g de

raicillas para su tinción y clarificación (15). Se evaluaron la colonización micorrízica (16), la densidad visual o intensidad de la colonización (17) y el número de esporas en la rizosfera (18).

Los datos se procesaron mediante el análisis de varianza bifactorial, según el diseño experimental utilizado, y la dócima de Duncan a $p < 0,05$ (19) o el intervalo de confianza a $\alpha = 0,05$ (20), para establecer las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos. Se utilizó el programa estadístico SPSS 11.5 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura muestra el efecto de la inoculación de *G. cubense*, sola o combinada con las aplicaciones de dosis crecientes de fertilizante fosfórico, en las variables micorrízicas del pasto.



Las barras verticales muestran el intervalo de confianza ($\alpha = 0,05$).

Efectos de la fertilización fosfórica y la inoculación de *G. cubense* en el comportamiento de las variables micorrízicas del pasto.

Se presentan los valores medios de cada variable durante los períodos lluvioso y poco lluvioso de cada año. *G. cubense* incrementó el porcentaje de colonización, la densidad visual y la densidad de esporas en la rizosfera, en relación con los tratamientos no inoculados, los cuales exhibieron el nivel de ocupación radical de los HMA residentes o nativos. La fertilización fosfórica no influyó en estas variables; excepto en el tratamiento donde *G. cubense* se combinó con la dosis más alta de P_2O_5 , el cual presentó niveles de colonización y densidad visual, así como cantidades de esporas significativamente más bajas que el resto de los tratamientos inoculados.

El efecto de la inoculación de *G. cubense* permaneció hasta el período lluvioso del segundo año, salvo en el tratamiento donde se aplicó la dosis más alta de P_2O_5 ; no obstante, los valores absolutos de las variables fúngicas fueron más bajos que durante el mismo período del año anterior. Los porcentajes de colonización, densidad visual y la densidad de esporas en la rizosfera fueron significativamente más altos en la época de lluvias que en la época de seca de cada año.

Se encontró interacción significativa entre la fertilización fosfórica y la inoculación o no de *G. cubense* para el rendimiento de MS del pasto (Tabla II). En los tratamientos no inoculados, los mayores rendimientos se obtuvieron con las dosis de 30 a 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ año⁻¹, sin diferencias significativas entre ellas; sin embargo, sólo con la inoculación de *G. cubense*, durante el primer año se obtuvieron valores similares a los alcanzados con el fertilizante fosfórico sin inocular, de modo que las aplicaciones de este nutriente resultaron innecesarias.

En el segundo año, la influencia de *G. cubense* en el rendimiento del pasto fue menor que en el primero, pues solo se extendió hasta la época de lluvias y si bien

durante este período produjo valores significativamente mayores que los alcanzados en el testigo sin P_2O_5 ni inoculación, su efecto en la reducción de la respuesta del pasto al fertilizante fosfórico no se mantuvo, de modo que fue necesario aplicar este nutriente para alcanzar los mayores rendimientos.

Ni las aplicaciones de P_2O_5 ni la inoculación de *G. cubense* influyeron en las concentraciones de P en la biomasa de la parte aérea (Tabla III), pero entre ambos factores se observó interacción significativa para la extracción que de este elemento realizó la propia biomasa aérea del pasto (Tabla IV).

Como la extracción de P fue una función del rendimiento de MS del pasto, ambas variables tuvieron un comportamiento muy similar; es decir, las mayores extracciones de P se alcanzaron con las aplicaciones de 30 a 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ año⁻¹ en los tratamientos no inoculados, sin diferencias significativas con la producida durante el primer año sólo con la inoculación de *G. cubense*. Durante el segundo año, el efecto de la cepa se mantuvo únicamente hasta el período lluvioso, pero no alcanzó los niveles de extracción de P que se obtuvieron con las aplicaciones del fertilizante fosfórico.

Varios aspectos deben resaltarse, a partir del análisis integral de los resultados de este experimento. En primer lugar se demostró, en las condiciones en que se realizó el presente estudio, la posibilidad de mejorar la nutrición fosfórica y la productividad del pasto mediante la introducción de una cepa de HMA eficiente, coincidiendo con los resultados de otros autores (21, 22), acerca de la contribución de la inoculación de cepas de HMA eficientes al aumento de los rendimientos y a la reducción los requerimientos de fertilizante fosfórico en especies forrajeras.

Tabla II. Efecto de la fertilización fosfórica y la inoculación de *G. cubense* en el rendimiento de MS (t ha⁻¹) del pasto.

Tratamientos		Primer año			Segundo año		
P_2O_5 (kg ha ⁻¹)	Inoculación	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Total	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Total
0	NI	11,82 b	5,23 b	17,05 b	9,01 c	4,24 b	13,25 c
30	NI	15,24 a	6,10 a	21,34 a	12,10 a	5,12 a	17,22 a
60	NI	15,11 a	5,70 a	20,81 a	11,84 a	4,93 a	16,77 a
90	NI	15,24 a	6,07 a	21,32 a	12,25 a	4,82 a	17,07 a
0	I	14,89 a	5,97 a	20,86 a	10,40 b	4,31 b	14,71 b
30	I	15,06 a	6,08 a	21,13 a	11,92 a	4,98 a	16,90 a
60	I	14,94 a	5,98 a	20,92 a	12,11 a	4,93 a	17,04 a
90	I	15,28 a	5,95 a	21,24 a	11,80 a	5,00 a	16,80 a
	ES	0,40**	0,21**	0,43**	0,37**	0,19**	0,41**

NI: no inoculado I: inoculado con *G. cubense*.

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

Tabla III. Efecto de los tratamientos en las concentraciones de P (% MS) en la biomasa del pasto.

Tratamientos		Primer año		Segundo año	
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Inoculación	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Período lluvioso	Período poco lluvioso
0	NI	0,18	0,22	0,20	0,23
30	NI	0,19	0,24	0,20	0,22
60	NI	0,20	0,23	0,22	0,24
90	NI	0,19	0,22	0,21	0,22
0	I	0,20	0,23	0,20	0,23
30	I	0,19	0,22	0,21	0,24
60	I	0,18	0,24	0,21	0,22
90	I	0,20	0,22	0,20	0,23
ES		0,01	0,01	0,01	0,01

NI: no inoculado I: inoculado con *G. cubense*.

Tabla IV. Extracción de P (kg ha⁻¹) con la biomasa aérea.

Tratamientos		Primer año			Segundo año		
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Inoculación	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Total	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Total
0	NI	21,28 b	10,98 b	32,26 b	18,02 c	9,75 b	27,77 c
30	NI	28,96 a	14,03 a	42,99 a	24,20 a	11,26 a	35,46 a
60	NI	30,22 a	13,57 a	43,79 a	26,05 a	11,34 a	37,39 a
90	NI	28,96 a	13,96 a	42,92 a	25,73 a	10,60 a	36,33 a
0	I	29,78 a	13,13 a	42,91 a	20,80 b	9,91 b	30,71 b
30	I	30,12 a	13,38 a	43,50 a	25,03 a	10,96 a	35,99 a
60	I	28,39 a	13,75 a	42,14 a	25,43 a	10,85 a	36,28 a
90	I	30,56 a	13,09 a	43,65 a	26,18 a	11,50 a	37,68 a
ES		1,3**	0,6**	1,4**	1,2**	0,5**	1,3**

NI: no inoculado I: inoculado con *G. cubense*.

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a p<0,05, según d²cima de Duncan.

También se corroboró la efectividad de *G. cubense* para producir un funcionamiento micorrízico adecuado y en consecuencia, una respuesta agronómica efectiva en el pasto, aspectos comprobados anteriormente (12) en gramíneas forrajeras del género *Brachiaria* y en otras plantas cultivadas en agroecosistemas con un tipo de suelo similar al que se utilizó para experimento (23, 24).

En relación con el efecto de la inoculación de los HMA, aunque se reconoce que la respuesta de los pastos suele variar en función de muchos factores debido a que la ecofisiología de estos microorganismos en los agroecosistemas de pastizales es bastante compleja (25), varios autores coinciden al plantear que la introducción de cepas seleccionadas, adaptadas a las condiciones ambientales y con un alto nivel de compatibilidad funcional y ecológica para el sistema suelo-planta, puede ser una opción de manejo deseable e incluso necesaria, en los casos en que las cepas residentes no sean lo suficientemente efectivas para producir una respuesta agronómica deseada en estos cultivos (26).

La contribución de *G. cubense* a la nutrición fosfórica del pasto puede atribuirse al aumento del coeficiente de aprovechamiento de este nutriente en virtud del mayor volumen de suelo que pudieron explorar las raíces (27); ello se infiere a partir de su efecto en las variables micorrízicas, cuyos incrementos, tanto para la época lluviosa como para la poca lluviosa del primer año, parecen haber contribuido decisivamente a la reducción de la necesidad de fertilizante fosfórico durante ese período. De igual modo, la disminución que se observó en dichas variables durante el segundo año debido a la reducción de la efectividad de la cepa introducida, así como la necesidad de aplicar fertilizante fosfórico para alcanzar los mayores rendimientos durante esa época, refuerzan esta hipótesis.

Además del efecto físico de *G. cubense* en la extensión del sistema radical, otros mecanismos relacionados con la capacidad de los HMA para acceder incluso a fuentes de P menos disponibles y facilitar su absorción por las plantas, también pudieran explicar su influencia en la nutrición fosfórica del pasto (28, 29, 30).

Por otra parte, cuando la inoculación de *G. cubense* se combinó con la dosis más alta de P_2O_5 se observó una reducción espacial y temporal de las variables fúngicas, lo que parece ser una consecuencia fisiológica de la disminución del papel de las micorrizas en la absorción de este elemento, debido a la aplicación de una cantidad de fertilizante fosfórico que evidentemente resultó mucho mayor que la requerida por el pasto. En tal sentido, algunos autores plantean que la disponibilidad de nutrientes controla el crecimiento de las estructuras micorrízicas y que la distribución de arbusculos e hifas extrarradicales se reduce cuando los pastos han sido suficientemente fertilizados, ya que la entrega de los recursos del suelo a la planta hospedera a través de los HMA pierde importancia (31, 32).

Llama la atención el hecho de que la aplicación de una dosis baja de fósforo ($30 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) haya sido suficiente para obtener el máximo rendimiento del pasto no inoculado, a pesar del bajo contenido inicial de P_2O_5 asimilable del suelo (9). Asimismo, el hecho de que ni la fertilización fosfórica ni la inoculación de *G. cubense* hayan incrementado los tenores de P en la biomasa, también parece corroborar el bajo requerimiento externo de P del pasto. En este sentido, se ha podido comprobar que las raíces de *B. decumbens* pueden acceder a formas menos disponibles de P en el suelo (33, 34).

El hecho de que con la inoculación de una cepa de HMA eficiente se haya podido prescindir de la fertilización fosfórica para mejorar el rendimiento del pasto, al menos durante el primer año de su establecimiento, indica que además de las características morfológicas de la raíz y los mecanismos bioquímicos que pueden estar involucrados en la baja respuesta de esta especie a las aplicaciones de P, *G. cubense* jugó un papel decisivo en el mejoramiento de la nutrición fosfórica de este cultivo y de hecho en la reducción de los requerimientos externos de este elemento.

No menos interesantes resultaron las variaciones estacionales que presentaron las variables micorrízicas, pues durante los dos años en todos los tratamientos se observaron niveles de colonización, densidad visual y densidad de esporas significativamente mayores en el período lluvioso que en el poco lluvioso y ello coincidió con la distribución de la producción de biomasa del pasto en una y otra épocas.

En este sentido, algunos autores plantean que el crecimiento acelerado de los pastos durante el período en que concurren los mayores niveles de precipitaciones, temperatura y luminosidad, demanda una mayor cantidad de nutrientes y agua y por lo tanto, mayores cantidades de estructuras micorrízicas para acceder a tales recursos (35, 36). Además, como el costo de la colonización micorrízica suele ser alto (se plantea que hasta un 20 % del C fijado puede ser

entregado al simbionte microbiano), durante la época de mayor crecimiento las plantas estarían en mejores condiciones de destinar recursos para la formación y el mantenimiento de dichas estructuras (37).

CONCLUSIONES

A partir de estos resultados se puede concluir que la inoculación de una cepa de HMA eficiente incrementa las estructuras micorrízicas y reduce la necesidad de aplicar fertilizante fosfórico al pasto *B. decumbens*, cv. Basilisk, al menos durante el primer año de su establecimiento. De este modo, el manejo de los HMA se vislumbra como una alternativa económica y ecológicamente viable para disminuir los costos de la fertilización de los pastos y los riesgos de contaminación ambiental que conlleva su aplicación extensiva y sistemática a estos cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Santos, M. E. R.; da Fonseca, D. M.; Balbino, E. M.; Monnerat, J. P. I. S. y da Silva, S. P. Capim-braquiária diferido e adubado com nitrogênio: produção e características da forragem. *R. Bras. Zootec.*, 2009, vol. 38, no. 4, pp. 650-656. ISSN 1806-9290.
2. G. B., Martha, Jr.; Corsi, M.; Trivelin, P. C. O. y Vilela, L. R. Recuperação de ^{15}N -ureia no sistema solo-planta de pastagem de capim-tanzânia. *R. Bras. Ci. Solo.*, 2009, vol. 33, pp. 95-101. ISSN 0100-0683.
3. Richardson, A. E.; Lynch, J. P.; Ryan, P. R.; Delhaize, E.; Smith, F. A.; Smith S. E.; Harvey, P. R.; Ryan, M. H.; Veneklaas, E. J.; Lambers, H.; Oberson, A.; Culvenor, R. A. y Simpson, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant and Soil.*, 2009, vol. 349, pp. 121-156. ISSN 0032-079X.
4. Johnson, N. C.; Rowland, D. L.; Corkidi, L.; Egerton, L. M. y Allen, E. B. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semi-arid grasslands. *Ecology.*, 2003, vol. 84, no. 7, pp. 1895-1908. ISSN 0012-9658.
5. Leigh, J.; Hodge, A. y Fitter, A. H. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytologist.*, 2009, no. 181, pp. 199-207. ISSN 1469-8137.
6. Hu, J.; Lin, X.; Wang, J.; Dai, J.; Cui, X.; Chen, R. y Zhang, J. Arbuscular mycorrhizal fungus enhances crop yield and P-uptake of maize (*Zea mays* L.): A field case study on a sandy loam soil as affected by long-term P-deficiency fertilization. *Soil Biology & Biochem.*, 2009, vol. 41, pp. 2460-2465. ISSN 0038-0717.
7. Costa, K. A.; Severiano, E. C.; Simon, G. A. y Carrizo, M. S. Extração de nutrientes do capim-marandu sob doses e fontes de nitrogênio. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, 2009, vol. 10, no. 4, pp. 801-812. ISSN 1519-9940.

8. Ramos, S. J.; Faquin, V.; Rodrigues, C. R.; Silva, C. A. y Boldrin, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. *R. Bras. Ci. Solo.*, 2009, vol. 33, pp. 335-343. ISSN 0100-0683.
9. Hernández, A.; Pérez, J. M.; Bosch, D. y Rivero, L. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: AGRINFOR. 1999. 64 pp. ISBN 959-246-022.
10. Paneque, V. M. y Calaña, J. M. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico prácticos para su recomendación. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. La Habana: INCA. 2001. 29 pp.
11. Paneque, V. M.; Calaña, J. M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. y Caruncho, M. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2010, 160 pp. [Consultado: 21 may 2011]. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu/files/folleto/folleto_suelos.pdf>. ISBN 978-959-7023-51-7.
12. Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R. A. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Micotaxon*, 2011, vol. 118, pp. 337-347. ISSN 0187-3180.
13. González, P. J.; Arzola, J.; Morgan, O.; Rivera, R.; Plana, R. y Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas en pastos del género *Brachiaria* cultivados en suelos Ferralítico Rojo y Pardo Mullido. En: Congreso Científico del INCA (16:2008, nov 24 - 28, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-16-0953-3.
14. Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; Martínez, M. A.; de la Noval, B. M. y Rivera, R. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente No. 22641, 2000.
15. Phillips, D. M. y Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, pp. 158-161. ISSN 0007-1536.
16. Giovanetti, M. y Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 1980, vol. 84, pp. 489-500. ISSN 1469-8137.
17. Trouvelot, A.; Kough, J. y Gianinazzi-Pearson, V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un systeme radicaulaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. En: Proc. 1st European. Symposium on Mycorrhizae: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, (1986, jul. 1-5: Dijón), 1986. pp. 217-222.
18. Gerdemann, J. W. y Nicolson, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1963, vol. 46, pp. 235-244. ISSN 0007-1536.
19. Duncan, D. B. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 1955, vol. 11, pp. 1-42. ISSN 1541-0420.
20. Payton, M. E.; Miller, A. E. y Raun, W. R. Testing statistical hypotheses using standard error bars and confidence intervals. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 2000, vol. 31, pp. 547-551. ISSN 1532-2416.
21. Carneiro, R. F. V.; Martins, M. A.; Vásquez, H. M. y Detmann, E. Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. *Arch. Zootec.*, 2010, vol. 59, no. 227, pp. 415-426. ISSN 0004-0592.
22. Carneiro, R. F. V.; Martins, M. A.; Freitas Marta, S. M.; Detmann, E. y Vasquez, H. M. Inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo na produção do capim-andropogon, em substrato não estéril. *Rev. Bras. Cienc. Agr.*, 2007, vol. 2, no. 3, pp. 212-218. ISSN 1981-0997.
23. Plana, R.; González, P. J.; Dell'Amico, J. M.; Fernández, F.; Calderón, A. y Marrero, Y. Efecto de dos inoculantes micorrizicos arbusculares (base líquida y sólida) en el cultivo del trigo duro (*Triticum durum*). *Cultivos Tropicales*, 2008, vol. 29, no. 4, pp. 35-40. ISSN 1819-4087.
24. Martín, G.; Arias, L. y Rivera, R. Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 1, pp. 27-31. ISSN 1819-4087.
25. Bingham, M. A. y Biondini, M. Mycorrhizal hyphal length as a function of plant community richness and composition in restored northern tallgrass prairies (USA). *Rangeland Ecol. Manag.*, 2009, vol. 62, pp. 60-67. ISSN 1551-5028.
26. Melo de Miranda, Elias; Saggin Júnior, Orivaldo José y Ribeiro da Silva, Eliane Maria. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para o amendoim forrageiro consorciado com braquiária. *Pesq. Agropec. Bras.* 2008, vol. 43, no. 9, pp. 1185-1191. ISSN 1678-3921.
27. Richardson, A. E.; Hocking, P. J.; Simpson, R. J. y George, T. S. Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. *Crop & Pasture Science.*, 2009, vol. 60, pp. 124-143. ISSN 1836-0947.
28. Yao, Q.; Zhu, H. H.; Hu, Y. L. y Li, L. Q. Differential influence of native and introduced arbuscular mycorrhizal fungi on growth of dominant and subordinate plants. *Plant Ecol.*, 2008, vol. 196, pp. 261-268. ISSN 1573-5052.
29. Balota, E. L.; Machineski, O. y Stenzel, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. *Bragantia*, 2011, vol. 70, no. 1, pp. 166-175. ISSN 1678-4499.
30. Almagrabi, O. A. y Abdelmoneim, T. S. Using of arbuscular mycorrhizal fungi to reduce the deficiency effect of phosphorous fertilization on maize plants (*Zea mays* L.). *Life Science Journal*, 2012, vol. 9, pp. 1649-654. ISSN 1097-8135.
31. Rai, A.; Rai, S. y Rakshit, A. Mycorrhiza-mediated phosphorus use efficiency in plants. *Environm. Exp. Biol.*, 2013, vol. 11, pp. 107-117. ISSN 2255-9582.

32. Netu, N.; Aggarwal, A.; Tanwar, A. y Alpa, A. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* at different superphosphate levels on linseed (*Linum usitatissimum* L.) Growth response. *Chilean J. of Agric. Res.*, 2012, vol. 72, pp. 237-243. ISSN 0718-5839.
33. Magalhaes, A. F.; Pires, A. J. V.; Carvalho, G. G. P.; Silva, F. F.; Sousa, R. S. y Veloso, C. M. Influência do nitrogênio e do fósforo na produção do capim-braquiária. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2007, vol. 36, no. 5, pp. 1240-1246. ISSN 1806-9290.
34. Low-Gaume, A. E. Morphological, physiological and biochemical adaptation of *Brachiaria* grasses to low phosphorus. Federal Institute of Technology (ETH). Swiss Centre for International Agriculture, Disert. No. 18131. ETH, Zürich, 2009.
35. García, I. V. y Mendoza, R. E. Relationships among soil properties, plant nutrition and arbuscular mycorrhizal fungi-plant symbioses in a temperate grassland along hydrologic, saline and sodic gradients. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, vol. 63, pp. 359. ISSN 1574-6941.
36. Mandyam, K. y Jumpponen, A. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. *Mycorrhiza*, 2008, vol. 18, pp. 145-155. ISSN 1432-1890.
37. Siddiqui, Z. A.; Sayeed, M. y Futai, K. *Mycorrhizae: sustainable agriculture and forestry*. Ed: Springer Science + Business Media B. V., 2008, 359 pp. ISBN 978-1-4020-8769-1.

Recibido: 4 de octubre de 2013

Aceptado: 11 de diciembre de 2014

¿Cómo citar?

González Cañizares, Pedro J.; Ramírez Pedroso, Juan F.; Morgan Rosemond, Osvaldo; Rivera Espinosa, Ramón Plana Llerena, Rodolfo. Contribución de la inoculación micorrizica a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 1, pp. 135-142. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.