

## Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares nativos y una especie seleccionada en los pastos *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk y *Panicum maximum* vc. Mombaza

G. Crespo Flores<sup>1</sup>, P. J. González<sup>1</sup>, J. Arzola<sup>2</sup> y O. Morgan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana

<sup>2</sup>Microestación de Pastos Niña Bonita, Carretera 43 km 1½, Cangrejeras, Bauta, La Habana

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Ave 101 No.6214 e/ 100 y 62, Loma de Tierra, Cotorro, La Habana  
Correo electrónico: gcflores@inca.edu.cu

En un diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial y cinco repeticiones, se evaluó el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) nativos y de una especie de HMA seleccionada (*Glomus hoi-like*) en las estructuras micorrízicas, los contenidos de NPK en la biomasa aérea, el crecimiento y rendimiento de masa seca (MS) de los pastos *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk y *Panicum maximum* vc. Mombaza. También se determinó el índice de eficiencia (IE) de los HMA y su participación en la nutrición de los pastos. El experimento se condujo en condiciones de macetas, con suelo ferralítico rojo lixiviado, procedente de parcelas cultivadas de ambas especies de pastos durante cinco años, de las cuales se recolectaron los HMA nativos. Se encontraron interacciones ( $P < 0.01$ ) entre los HMA y las especies de pastos para los indicadores estudiados. Con la inoculación de *G. hoi-like*, se obtuvieron los porcentajes más altos de colonización micorrízica (67.22 y 42.76 %) y densidad visual (2.63 y 1.92%), así como la mayor densidad de esporas (108 y 70 esporas/50g de suelo.), altura (24.94 y 21.43 cm.) y rendimiento de los pastos (29.85 y 25.93 g de MS maceta<sup>-1</sup>). Los mayores valores de estas variables se observaron en *B. decumbens*. De igual modo, *G. hoi-like* mostró un IE superior a los HMA nativos y tuvo mayor participación en la nutrición de los pastos. Se concluye que, en las condiciones en que se realizó este experimento, *G. hoi-like* fue más eficiente que los HMA nativos para promover el crecimiento de los pastos. Su efectividad fue mayor en *B. decumbens* y estuvo relacionada con un mayor desarrollo de las estructuras micorrízicas y con su mayor participación en la nutrición de los pastos. Se recomienda comprobar en condiciones de campo el efecto de la inoculación de *Glomus hoi-like* en similares especies de pastos y tipo de suelo, así como evaluar la eficiencia de HMA nativos y nuevas especies seleccionadas de HMA en otras condiciones de pastizales.

Palabras clave: hongos micorrízicos arbusculares, *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum*.

El manejo de las asociaciones micorrízicas puede ser una alternativa efectiva para mejorar la productividad de los pastizales, pues los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en estos agroecosistemas están estrechamente relacionados con un mejor aprovechamiento de los nutrientes y el agua del suelo mediante complejas interacciones que se establecen entre las estructuras de estos microorganismos y las raíces de las plantas hospederas (Leigh *et al.* 2009).

Según Douds *et al.* (2005) y Plenchette *et al.* (2005), el manejo de estas asociaciones se puede lograr con los propios HMA nativos o con la introducción de cepas seleccionadas, en dependencia de su adaptación a las condiciones del sistema suelo-planta y de su eficiencia para producir una respuesta agronómica y económicamente viable. Sin embargo, cuando los pastos poseen bajos niveles de colonización micorrízica o las poblaciones nativas de HMA no son efectivas para producir los beneficios esperados, se puede mejorar el funcionamiento de la simbiosis mediante la inoculación de cepas previamente seleccionadas (Yao *et al.* 2008). Para ello se requiere de estudios dirigidos a evaluar la respuesta de las especies prateras ante una u otra cepa y seleccionar la más eficiente para las condiciones en que tiene lugar su cultivo, como requisito indispensable para lograr su manejo efectivo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación de HMA nativos y de una especie de HMA

seleccionada (*Glomus hoi-like*) en el comportamiento de las estructuras micorrízicas y en el crecimiento, composición química y rendimiento de los pastos *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk y *Panicum maximum* vc. Mombaza, cultivados en un suelo ferralítico rojo.

### Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), en condiciones semicontroladas de casa de cristal, durante el período febrero-abril de 2007. En un diseño experimental completamente aleatorizado, con arreglo factorial (2 x 3) y cinco repeticiones, se evaluaron los pastos (factor A) *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk y *Panicum maximum* vc. Mombaza y su inoculación (factor B) con HMA nativos, con la especie de HMA *Glomus hoi-like* (cepa INCAM 4) y un testigo sin inocular.

Se seleccionaron pastizales de *B. decumbens* cv. Basilisk y *P. maximum* cv. Mombaza, pertenecientes a las áreas experimentales de la Microestación de Pastos y Forrajes de la Empresa Pecuaria Genética «Niña Bonita», ubicada en La Habana, en un suelo ferralítico rojo lixiviado (Hernández *et al.* 1999), cuyas características químicas se muestran en la tabla 1.

Para la caracterización química del suelo se emplearon los siguientes métodos analíticos, establecidos por NRAG (1987 y 1988):

Tabla 1. Características químicas del suelo

Procedencia	pH	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cationes intercambiables (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	H <sub>2</sub> O	(%)	(mg 100 g <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	Na	K
Pastizal de <i>B. decumbens</i>	6.5	3.19	2.2	10.8	3.1	0.15	0.51
DS ±	0.2	0.22	0.2	0.9	0.4	0.03	0.05
Pastizal de <i>P. maximum</i>	6.6	3.23	2.0	11.2	3.0	0.18	0.50
DS ±	0.2	0.24	0.4	1.1	0.5	0.04	0.06

· pH H<sub>2</sub>O y KCl: Potenciometría, relación suelo-disolución 1:2.5.

· Materia orgánica (MO): Walkley y Black.

· P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asimilable: Oniani

· Cationes intercambiables: Extracción con NH<sub>4</sub> Ac 1 mol L<sup>-1</sup> a pH 7 y determinación por complexometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K)

Los suelos de ambos pastizales, con características químicas similares, poseían un pH ligeramente ácido, contenidos medios de MO, bajos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asimilable y altos de K intercambiable (Paneque 2001).

Los pastizales tenían una superficie de una hectárea y un tiempo de establecimiento de cinco años. Durante ese período tuvieron un régimen de pastoreo de uno a tres días de ocupación y de 30 a 55 d de reposo, según la época de año, con carga animal de 2 UGM ha<sup>-1</sup>. Se explotaron en condiciones de secano, y no recibieron aplicaciones de fertilizantes.

Para el llenado de las macetas se marcaron 10 puntos equidistantes a lo largo y ancho de cada pastizal, de los cuales se tomaron 10 kg de suelo de la capa arable (0-20 cm). Previo al llenado de las macetas, el suelo de los pastizales se homogenizó separadamente, se tamizó con malla de 2 mm y se esterilizó en autoclave a 1.5 atm de presión durante una hora, por tres días consecutivos. En cada maceta, de 6 L de capacidad, se depositaron 5 kg de suelo esterilizado, procedente del pastizal donde se cultivó cada especie.

Los pastos se sembraron el 1 de febrero de 2007. Se depositaron 20 semillas de cada especie de pasto por maceta, a una profundidad de 2-3 mm, y se inocularon en el momento de la siembra. Debajo de las semillas se colocaron 200 esporas de HMA nativos o de la especie de HMA *G. hoi-like*, cepa INCAM 4, según el tratamiento. Las cepas de HMA nativos procedían de los respectivos pastizales, y las de HMA *G. hoi-like*, del cepario del INCA. En el primer caso, se utilizó el suelo como inoculante, y en el segundo un inoculante micorrízico certificado, producido en el Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del INCA. Se seleccionó la especie de HMA *G. hoi-like*, cepa INCAM 4, por su alta eficiencia, según informes de experimentos con varias especies de pastos en la zona donde se encontraban ubicados los pastizales (Calderón y González 2007 y González *et al.* 2008).

Para equilibrar las poblaciones microbianas de los tratamientos, se prepararon sendas suspensiones con 5 kg de suelo sin esterilizar, procedentes de cada pasti-

zal y 3 L de agua. Estas se filtraron a través de una malla de 0.5 mm y papel de filtro para eliminar los propágulos de HMA. Al momento de la siembra, según el pasto, se aplicaron 250 mL del filtrado a las macetas no inoculadas y a las inoculadas con *G. hoi-like*, siguiendo la metodología de Kanno *et al.* (2006).

Las macetas se mantuvieron con seis plantas y recibieron riegos periódicos para mantener la humedad del suelo a 80 % de la capacidad del campo. No se aplicaron fertilizantes.

Se realizaron dos cortes a cada pasto, el primero a los 45 d a partir de la germinación de las semillas, y el segundo 45 d después. En cada corte se pesó la masa verde (MV) de la parte aérea de las plantas de cada maceta y se secó en estufa a 70 °C durante 72 h para determinar el porcentaje de masa seca (MS) y sus contenidos de N, P y K (AOAC 1990). El rendimiento de MS (g maceta<sup>-1</sup>) se estimó a partir del rendimiento de MV y el porcentaje de MS. La altura de los pastos se midió al momento de cada corte.

En el último corte, se tomaron muestras de raicillas. Posteriormente, se lavaron y se secaron en estufa a 70 °C. Después se tiñeron, según la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970), para evaluar el porcentaje de colonización micorrízica (Giovannetti y Mosse 1980) y la densidad visual o intensidad de la colonización (Trouvelot *et al.* 1986). También se tomaron muestras de suelo de la rizosfera para determinar la densidad de esporas (Gerdemann y Nicholson 1963).

Se utilizó el índice de eficiencia (IE), expresado en por ciento, para evaluar la efectividad de la inoculación de los HMA en el rendimiento de MS de los pastos. Este se calculó, según Siquiera y Franco (1988), mediante la fórmula siguiente:

IE (%) = [(Rendimiento MS (g maceta<sup>-1</sup>) del tratamiento inoculado - rendimiento MS (g maceta<sup>-1</sup>) del testigo]/rendimiento de MS (g maceta<sup>-1</sup>) del testigo] x 100. También se determinó la participación (%) de la micorrización en la nutrición, a través de la extracción de nutrientes (N, P y K) de la biomasa aérea de los pastos. Se calculó según Rivera *et al.* (2003) mediante la fórmula:

Participación (%) = [(Extracción de NPK (g maceta<sup>-1</sup>) en el tratamiento inoculado - extracción de NPK (g maceta<sup>-1</sup>) en el tratamiento testigo]/extracción de NPK (g maceta<sup>-1</sup>) en el tratamiento inoculado] x 100

Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza factorial, de acuerdo con el diseño experimen-

tal utilizado. Los datos de porcentaje de colonización y número de esporas 50 g<sup>-1</sup> de suelo se transformaron previamente mediante las funciones  $\arcsen \sqrt{x/100}$  y  $\log(x+1)$ , respectivamente. Para establecer las diferencias significativas entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey, con  $P < 0.05$ . A las variables relacionadas con la participación de la micorrización en la nutrición e índice de eficiencia se les estimó el intervalo de confianza ( $P < 0.05$ ). Se utilizó el programa estadístico SPSS 11.5.1 para Windows (SPSS 2002).

### Resultados y Discusión

Se encontraron interacciones ( $P < 0.01$ ) entre los HMA y las especies de pastos, para las estructuras micorrízicas (tabla 2). *G. hoi-like* produjo en ambos pastos porcentajes de colonización, densidad visual y densidad de esporas significativamente mayores a los obtenidos con los HMA nativos. No obstante, la magnitud de la respuesta fue diferente en cada pasto, pues estas variables alcanzaron los mayores valores en *B. decumbens*. En los tratamientos no inoculados, las plantas no desarrollaron estructuras micorrízicas, debido a que la esterilización previa del suelo eliminó las poblaciones nativas de HMA.

Tabla 2. Efecto de los HMA y las especies de pastos en las estructuras micorrízicas

Colonización (%)		
Pastos	HMA	
	Nativos	<i>G. hoi-like</i>
<i>B. decumbens</i>	0.64 <sup>c</sup> (35.93)	0.96 <sup>a</sup> (67.22)
<i>P. maximum</i>	0.49 <sup>d</sup> (21.74)	0.71 <sup>b</sup> (42.76)
EE ±	0.08**	
Densidad visual (%)		
<i>B. decumbens</i>	0.98 <sup>c</sup>	2.63 <sup>a</sup>
<i>P. maximum</i>	0.62 <sup>d</sup>	1.92 <sup>b</sup>
EE ±	0.07 **	
No. esporas 50 g <sup>-1</sup>		
<i>B. decumbens</i>	1.73 <sup>c</sup> (53)	2.04 <sup>a</sup> (108)
<i>P. maximum</i>	1.51 <sup>d</sup> (31)	1.85 <sup>b</sup> (70)
EE ±	0.18 **	

Promedios con letras no comunes en cada variable difieren significativamente, según prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). ( ) Datos originales. \*\* $P < 0.01$

Estos resultados coinciden con los encontrados por Calderón (2006) y González *et al.* (2008), quienes al evaluar en condiciones de campo el efecto de la inoculación de HMA en pastos cultivados en suelo ferralítico rojo lixiviado observaron que *G. hoi-like* produjo niveles de colonización micorrízica y densidad visual significativamente mayores a lo obtenido en los tratamientos no inoculados, cuyas estructuras micorrízicas procedían de los HMA nativos, presen-

tes en los suelos donde se condujeron los experimentos.

Otros estudios relacionados con la inoculación de *G. hoi-like* en trigo (*Triticum durum*) y maíz (*Zea mays*), cultivados en suelos ferralíticos rojos, también demostraron la efectividad de esta cepa de HMA para colonizar las raíces de las plantas, aun en presencia de un alto número de propágulos micorrízicos nativos o procedentes de inoculaciones previas (Plana *et al.* 2008 y Martín 2009).

El menor efecto de los HMA nativos en las estructuras micorrízicas de los pastos, con respecto a *G. hoi-like*, también pudiera atribuirse a las condiciones del agroecosistema donde fueron recolectados. Los HMA nativos que se utilizaron en este estudio procedían de pastizales establecidos durante cinco años y sometidos a defoliaciones periódicas por los animales. Además, tuvieron como antecedentes a otras especies de pastos en monocultivo, probablemente con un manejo más intensivo, debido a que en estas áreas se aplicó, hasta hace pocos años, un modelo de ganadería de altos insumos.

Esto pudo haber reducido la diversidad de especies de HMA en los agroecosistemas, donde prevalecieron las especies que mejor se adaptaron a las condiciones actuales de los pastizales, pero que fueron menos efectivas (Bingham y Biondini 2009). Al respecto, algunos autores han señalado el efecto negativo de la reducción de la diversidad de las comunidades vegetales y del manejo intensivo de los pastizales cultivados en la composición y estructura de las comunidades de HMA (Egerton *et al.* 2007 y Ling *et al.* 2007).

La menor cantidad de estructuras micorrízicas en *Panicum maximum* puede estar relacionada con una menor dependencia micorrízica de esta especie, con respecto a otras del género *Brachiaria*, tal como lo demuestran estudios de Saif (1987) y Kanno *et al.* (2006).

En la tabla 3 se presenta el efecto de los tratamientos en los contenidos de N, P y K en la biomasa aérea de los pastos (promedios de dos cortes). No se encontraron interacciones significativas entre los HMA y las especies de pastos para ninguno de los tres macronutrientes, aunque ambos factores influyeron significativamente en estas variables.

Tabla 3. Efecto de los HMA y las especies de pastos en el contenido de N, P y K en la biomasa (% MS)

HMA	Pastos		
	N	P	K
Testigo	1.79 <sup>c</sup>	0.17 <sup>c</sup>	2.29
Nativos	2.13 <sup>b</sup>	0.20 <sup>b</sup>	2.31
<i>G. hoi-like</i>	2.29 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>	2.27
EE ±	0.03**		
Pastos			
<i>B. decumbens</i>	2.05 <sup>a</sup>	0.19	2.39 <sup>a</sup>
<i>P. maximum</i>	1.44 <sup>b</sup>	0.20	1.94 <sup>b</sup>
EE ±	0.02**		

Promedios con letras no comunes en cada columna difieren significativamente, según prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ) \*\* $P < 0.01$

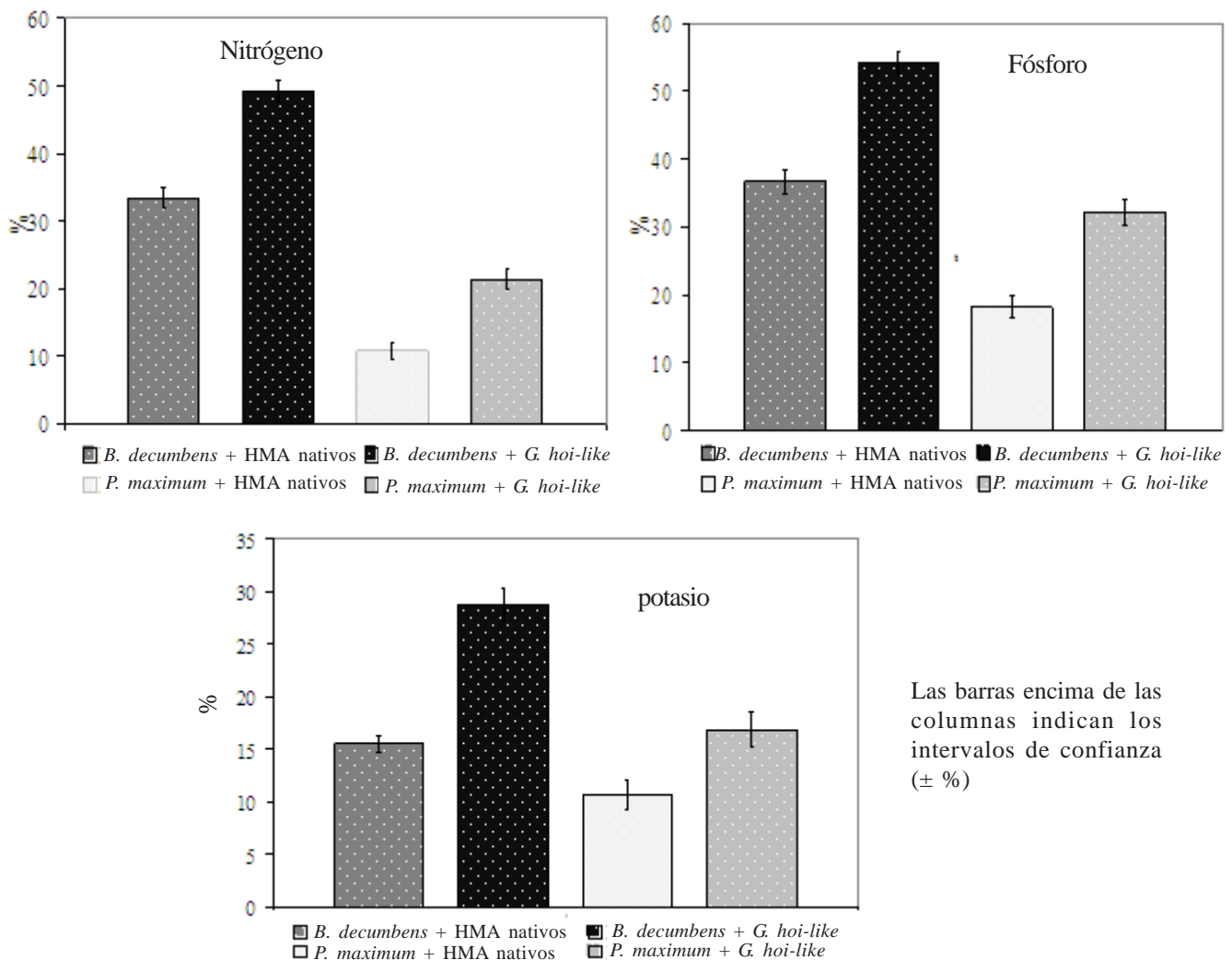
Con la inoculación de los HMA, los contenidos de N y P fueron significativamente mayores que el testigo sin inocular, pero *G. hoi-like* produjo contenidos más altos de ambos nutrientes que las especies nativas. Para el K no se encontraron diferencias significativas entre el testigo y los HMA. En relación con las especies de pastos, se observó que los contenidos de N y K fueron mayores en *B. decumbens* con respecto a *P. maximum*.

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 y su capacidad para acceder a aquellos elementos que se encuentran menos disponibles para las plantas (Kavanova *et al.* 2006). Sin embargo, el efecto de los HMA en la absorción de nutrientes depende del grado de dependencia micorrízica de la planta hospedera, la eficiencia de las cepas y la fertilidad del suelo, entre otros factores (Fujiyoshi *et al.* 2006). En gramíneas perennes se ha constatado que mayores niveles de colonización micorrízica se asocian, generalmente, con un aumento en la adquisición de nutrientes (Ivana 2006). Esto también pudiera explicar las mayores concentraciones de N y P en la biomasa aérea de los pastos inoculados con *G. hoi-like*.

El hecho de que ninguna de las especies de HMA incrementara los contenidos de K en la biomasa sugiere una escasa participación de las micorrizas en la absorción de este elemento, debido a su alto contenido en el suelo, que al parecer es suficiente para satisfacer los requerimientos de los pastos. Atul *et al.* (2009) y Khade y Rodríguez (2009) señalan que las micorrizas incrementan la absorción de nutrientes en función, no solo de su disponibilidad en el suelo, sino de las necesidades de las plantas.

Las especies y variedades de pastos pueden diferir en sus contenidos de nutrientes en la biomasa, aún cuando se cultiven en suelos con niveles semejantes de fertilidad, debido a factores genéticos relacionados con la morfología de las raíces, la tasa de absorción de nutrientes, el hábito de crecimiento y la influencia de los factores abióticos (Ferreira *et al.* 2003).

La figura 1 muestra la participación de los HMA en la extracción de nutrientes (N, P y K) de la biomasa aérea de los pastos. *G. hoi-like* tuvo mayor participación que los HMA nativos en la extracción de N, P y K de los pastos, con índices que oscilaron, según el elemento, entre 29 y 54 % para *B. decumbens*, y entre 17 y 32 % para *P. maximum*. Estos índices también reflejaron la respuesta diferenciada de los pastos a la inoculación de las cepas de HMA.



Las barras encima de las columnas indican los intervalos de confianza ( $\pm$  %)

Figura 1. Participación de los HMA en la extracción de N, P y K de los pastos

La micorrización tuvo un efecto importante en la nutrición nitrogenada y fosfórica. Fue menos notable en la nutrición potásica, pues en ambos pastos la participación de los HMA en la extracción de este elemento disminuyó hasta en 40 %, con respecto al N y el P. Este comportamiento, que también se reflejó en las concentraciones de nutrientes en la biomasa, parece ser consecuencia de los contenidos de esos elementos en el suelo. Al contrario de lo planteado con respecto al K, los tenores de P en el suelo fueron bajos. A juzgar por el contenido de MO, la disponibilidad de N también fue baja. Esto confirma criterios de Atul *et al.* (2009) y Khade y Rodrigues (2009), con respecto a la función de las micorrizas como reguladoras de las necesidades nutricionales de las plantas.

En la tabla 3 se muestra el efecto de los tratamientos en el crecimiento y el rendimiento de MS de los pastos (acumulado de los dos cortes). Tanto la altura como el rendimiento de MS presentaron interacciones altamente significativas entre los tratamientos, y ambas variables tuvieron un comportamiento similar.

Tabla 4. Efecto de los tratamientos en el crecimiento y el rendimiento de MS de los pastos

Altura (cm)		HMA	
Pastos	Testigo	Nativos	<i>G. hoi-like</i>
<i>B. decumbens</i>	17.59 <sup>d</sup>	21.83 <sup>b</sup>	24.94 <sup>c</sup>
<i>P. maximum</i>	17.92 <sup>d</sup>	19.78 <sup>c</sup>	21.43 <sup>b</sup>
EE ± 0.27**			
MS (g maceta <sup>-1</sup> )		HMA	
Pastos	Testigo	Nativos	<i>G. hoi-like</i>
<i>B. decumbens</i>	21.20 <sup>d</sup>	25.02 <sup>b</sup>	29.85 <sup>a</sup>
<i>P. maximum</i>	21.36 <sup>d</sup>	23.68 <sup>c</sup>	25.93 <sup>b</sup>
EE ± 0.45 **			

Promedios con letras no comunes en cada variable difieren significativamente, según prueba de Tukey (P < 0.05).

\*\*P < 0.01

Las dos especies de pastos alcanzaron mayor altura y rendimiento de MS con la inoculación de *G. hoi-like*. Los HMA nativos, si bien incrementaron los valores de estas variables en relación con los tratamientos no inoculados, mostraron resultados significativamente menores a los obtenidos con *G. hoi-like*. Con la inoculación de los HMA, el crecimiento y rendimiento de *B. decumbens* fueron significativamente superiores a *P. maximum*.

El efecto de los HMA en el rendimiento de los pastos estuvo relacionado con los niveles de colonización micorrízica y los contenidos de N y P de la biomasa. Esto quedó demostrado en las ecuaciones de regresión, con altos valores de R<sup>2</sup> que se obtuvieron al correlacionar estas variables (tabla 5).

Donde:

x<sub>1</sub> = Colonización micorrízica (%).

y<sub>1</sub> = Contenido de N en la biomasa (%).

y<sub>2</sub> = Contenido de P en la biomasa (%).

Tabla 5. Relaciones entre los porcentajes de colonización, los contenidos de nutrientes en la biomasa y los rendimientos de MS de los pastos

<i>B. decumbens</i>			
Ecuaciones	ES	R <sup>2</sup>	
y <sub>1</sub> = 1.706 (±0.031) + 0.011 (±0.001) x <sub>1</sub>	±0.067	0.95**	
y <sub>2</sub> = 0.152 (±0.004) + 0.001 (±0.000) x <sub>1</sub>	±0.009	0.93**	
y <sub>3</sub> = 17.433 (0.842) + 0.186 (0.021) x <sub>1</sub>	±1.794	0.88**	
<i>P. maximum</i>			
y <sub>1</sub> = 1.886 (±0.015) + 0.006 (±0.000) x <sub>1</sub>	±0.031	0.96**	
y <sub>2</sub> = 0.184 (±0.003) + 0.001 (±0.000) x <sub>1</sub>	±0.007	0.85**	
y <sub>3</sub> = 18.188 (±0.666) + 0.144 (±0.018) x <sub>1</sub>	±1.373	0.85**	

Valores entre paréntesis indican el error estándar de los términos de las ecuaciones. \*\*P < 0.01

y<sub>3</sub> = rendimiento de MS (g maceta<sup>-1</sup>).

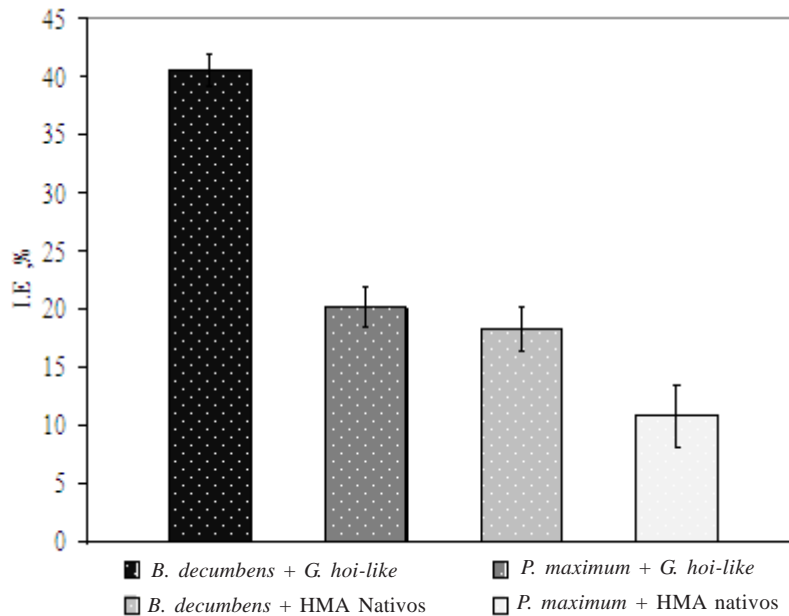
De acuerdo con las ecuaciones obtenidas, se pudiera inferir, al menos durante el período experimental, que a medida que aumentaron los niveles de colonización micorrízica, se incrementaron los contenidos de N y P en la biomasa. Esto repercutió favorablemente en los rendimientos de masa seca de los pastos.

Rivera y Fernández (2003) y García y Mendoza (2008) observaron que la respuesta positiva de las plantas a la inoculación de cepas eficientes de HMA quedó expresada en incrementos de los niveles de colonización micorrízica, contenidos de nutrientes y rendimientos de los cultivos micorrizados. Díaz y Garza (2006) y Carneiro *et al.* (2007) también encontraron resultados similares con la inoculación de HMA en los pastos *Cenchrus ciliaris* y *Andropogon gayanus*, respectivamente.

Los HMA también mostraron diferentes índices de eficiencia y su efecto dependió de la especie de pasto (figura 2). *G. hoi-like* prácticamente duplicó el índice de eficiencia de los HMA nativos en ambos pastos y, a la vez, fue más efectiva en *B. decumbens* que en *P. maximum*. Esto último corrobora, en las condiciones en que se realizó este estudio, la mayor dependencia micorrízica de *B. decumbens* en comparación con *P. maximum*, y concuerda con los resultados de Saif (1987) y Kanno *et al.* (2006).

Van der Heijden (2002) definió la dependencia micorrízica como el grado de relación existente entre la planta y su cosimbionte para obtener la máxima productividad a un nivel determinado de fertilidad del suelo, y el mismo puede estar influido por la especie e incluso, por las variedades de una misma especie.

En relación con el comportamiento diferenciado de los HMA, Cornejo (2006) argumenta que aunque no existe evidencia de una especificidad estricta hongoplasma, se ha evidenciado que no todas las especies de HMA colonizan con la misma intensidad y eficiencia las distintas especies vegetales. De hecho, se ha demostrado la existencia de distintos grados de compatibilidad funcional en la simbiosis, como resultado de las influencias del ambiente en la expresión genotípica de ambos simbiontes. Esto se refleja en un distinto nivel de eficacia



Las barras encima de las columnas indican los intervalos de confianza ( $\pm$  %).

Figura 2. Índice de eficiencia (IE, %) de las cepas de HMA

de la asociación formada entre una planta y diversos HMA presentes en el medio.

El hecho de que *G. hoi-like* haya mostrado índices de eficiencia mayores a los HMA nativos sugiere la posibilidad de establecer, mediante la inoculación de esta especie, un manejo agronómico efectivo de la simbiosis micorrízica en ambos pastos, al menos en condiciones similares a las de este estudio.

El análisis integral de los resultados permite concluir que, en las condiciones que se realizó el experimento, *G. hoi-like* fue más eficiente para promover el crecimiento de *B. decumbens* cv. Basilisk y *P. maximum* cv. Mombaza, con respecto a los HMA nativos procedentes de pastizales donde se cultivaron ambas especies. Su efectividad fue mayor en *Brachiaria decumbens* y estuvo relacionada con un mayor desarrollo de las estructuras micorrízicas y con su mayor participación en la nutrición de los pastos.

Se recomienda evaluar, en condiciones de campo y a más largo plazo, el efecto de la inoculación de *Glomus hoi-like* en similares especies de pastos y tipo de suelo. Además de valorar, en otras condiciones de pastizales, la eficiencia de HMA nativos y nuevas especies seleccionadas de HMA.

### Referencias

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Ass. Off. Anal. Chem. 15<sup>th</sup> Ed. Vol. 1. Virginia. 648 pp.

Atul-Nayyar, A., Hamel, C., Hanson, K. & Germida, J. 2009. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. *Mycorrhiza* 19:239

Bingham, M. A. & Biondini, M. 2009. Mycorrhizal hyphal length as a function of plant community richness and composition in restored northern tallgrass prairies (USA). *Rangeland Ecol. Manag.* 62:60

Calderón, M. 2006. Efecto de la aplicación de estiércol vacuno y hongos micorrizógenos arbusculares en pasto guinea (*Panicum maximum*, cv. Likoni) cultivado en suelo

Ferralítico Rojo Lixiviado. Tesis de Maestría. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba

Calderón, M. & González, P. J. 2007. Respuesta del pasto guinea (*Panicum maximum*) cultivado en suelo Ferralítico Rojo lixiviado a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares. *Cultivos tropicales.* 28:33

Carneiro, R. F. V., Martins, M. A., Freitas, M., Detmann, E. & Vasquez, H. M. 2007. Inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo na produção do capim- andropogon, em substrato não estéril. *Rev. Bras. Cienc. Agr.* 2:212

Cornejo, P. E. 2006. Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrízicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Granada. 266 pp.

Díaz, A. & Garza, I. 2006. Colonización micorrízica arbuscular y crecimiento de genotipos de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 29:203

Douds, D. D., Nagahashi, G., Pfeffer, P. E., Kayser, W. M. & Reider, C. 2005. On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. *Can. J. Plant Sci.* 85:21

Egerton, L., Collins, N. & Allen Edith, B. 2007. Mycorrhizal community dynamics following nitrogen fertilization: a cross-site test in five grasslands. *Ecol. Monographs.* 77:527

Ferreira, M. V., Batista, J. C., Silva, M. C., Dos Santos, S. F., Caraciolo, R. L., de Mello, A. C., Farias, I. & Viana, R. 2003. Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na zona da Mata de Pernambuco. *R. Bras. Zootec.* 32:821

Fujiyochi, M., Kagawa, A., Nakatsubo, T. & Musuzawa, T. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and soil developmental stipes on herbaceous plants growing in the early stage of primary succession on Mount Fuji. *Ecol. Res.* 21:278

García, I. V. & Mendoza, R. E. 2008. 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.* 63:359

- Gerdemann, J. W. & Nicolson, T. H. 1963 Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46:235
- Giovanetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84:489
- González, P. J., Arzola, J., Morgan, O., Rivera, R., Plana, R. & Fernández, F. 2008. Manejo de las asociaciones micorrízicas en pastos del género *Brachiaria*, cultivados en suelos Ferralítico Rojo y Pardo Mullido. XVI Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciências Agrícolas. CD – ROM. La Habana
- Hernández, A., Pérez, J. M., Bosch, D., Rivero, L., Camacho, E., Ruiz, J., Salgado, E. J., Marsán, R., Obregón, A., Torres, J. M., González de la Torre, J. E., Orellana, R., Paneque, J., Nápoles, P., Fuentes, E., Durán, J. L., Peña, J., Cid, G., Ponce de León, D., Hernández, M., Frómata, E., Fernández, L., Garcés, N., Morales, M., Suárez, E., Martínez, E. & Ruiz, J. M. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana. p. 45
- Ivana, A. 2006. Micorrización en gramíneas perennes expuestas a distintos regímenes hídricos del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina
- Kanno, T., Saito, M., Ando, Y., Macedo, M.C. & Miranda, C. H. B. 2006. Importance of indigenous arbuscular mycorrhiza for growth and phosphorus uptake in tropical forage grasses growing on an acid, infertile soil from the Brazilian savannas. *Trop. Grass.* 40:94
- Kavanova, M., Grimoldi, A.A., Lattanzi, F. A. & Schnyder, H. 2006. Phosphorus nutrition and mycorrhiza effects on grass leaf growth. P status- and size-mediated effects on growth zone kinematics. *Plant Cell and Environment* 29:511
- Khade, S. & Rodrigues, B. F. 2009. Applications of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Trop. and Subtrop. Agroec.* 10: 337
- Leigh, J., Hodge, A. & Fitter, A. H. 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phyt.* 181:199
- Ling, F., Zhang, Y. & Zhi, W. Z. 2007. Arbuscular mycorrhizal colonization and spore density across different land-use types in a hot and arid ecosystem, Southwest China. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* 170: 419
- Martín, G. 2009. Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular, la *Canavalia ensiformis* y la fertilización nitrogenada en plantas de maíz (*Zea mays*) cultivadas sobre suelos ferralíticos rojos de La Habana. Tesis Doctor. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas. La Habana. Cuba
- NRAG 1987. Suelos. Análisis químico. Reglas generales. Ciudad de La Habana. Ministerio de la Agricultura. Cuba
- NRAG. 1988. Suelos. Análisis químico. Reglas generales. Ciudad de La Habana. Ministerio de la Agricultura. Cuba
- Paneque, V.M. 2001. La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. INCA. La Habana. 27 pp.
- Phillips, D. M. & Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158
- Plana, R., González, P. J., Dell' Amico, J. M., Fernández, F., Calderón, A. & Marrero, Y. 2008. Efecto de dos inoculantes micorrízicos arbusculares (base líquida y sólida) en el cultivo del trigo duro (*Triticum durum*). *Cult. Trop.* 29:35
- Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J. M. & Fortin, J. A. 2005. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Can. J. Plant Sci.* 85:31
- Rivera, R. & Fernández, K. 2003. Bases científico- técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados. En: «El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe». Eds. R. Rivera, K. Fernández, F. Fernandez, A. Hernandez, J.R. Martín. La Habana. pp. 49-94
- Saif, S. R. 1987 Growth responses of tropical plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. *Plant and Soil* 97:25
- Siqueira, J.O. & Franco, A. A. 1988. Biotecnología do solo. Fundamento e perspectivas. Brasilia. MEC-Ministerio de Educação. 236 pp.
- SPSS. 2002. Statistical software, version 11.5.1. SPSS Institute. Chicago, Illinois, USA
- Trouvelot, A., Kough, J. & Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. Proc. 1<sup>st</sup> Eur. Symp. Mycorrhizae. Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. Dijón. INRA, París
- Van der Heijden & van Der, M.G. A. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. En: *Mycorrhizal Ecology*. Eds. Heijden, van Der & Sanders. I. Ecological Studies. Vol. 57. Springer-Verlag. Berlin
- Yao, Q., Zhu, H.H., Hu, Y. L. & Li, L.Q. 2008. Differential influence of native and introduced arbuscular mycorrhizal fungi on growth of dominant and subordinate plants. *Plant Ecol.* 196:261

**Recibido: 22 de febrero de 2010**