

Joan Arzola¹, Pedro J. González², Ramón Rivera², Osvaldo Morgan³ y Rodolfo Plana²

pH	MO	P ₂ O ₅	Ca	Mg	Na	K	CCB
H ₂ O	(%)	(mg 100 g ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)				
5.7	2.81	2.1	7.7	2.8	0.35	0.22	11.07
± 0.5	± 0.21	± 0.9	± 1.2	± 0.5	± 0.12	± 0.15	± 1.87
± DS							

El forraje que se cosecha en estos campos se utiliza para el consumo directo por los animales en las naves, el ensilaje y la producción de heno.

Los campos se sembraron en junio de 2007 (100 ha) y junio de 2008 (200 ha) a 50 cm entre surcos y a chorrillo, con una dosis de 7 kg de semilla total ha^{-1} . El pasto Mulato II se inoculó con la cepa de HMA *G. hoi-like* y se fertilizó con dosis de 97, 38 y 50 $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, las cuales resultaron adecuadas para el cultivo inoculado, de acuerdo con los resultados de los experimentos de campo que se realizaron en esta condición edáfica. El fertilizante nitrogenado se aplicó de forma fraccionada al momento de la siembra y después de cada corte; el fósforo y el potasio, una vez al año. Se utilizó el inoculante micorrízico EcoMic[®] con una concentración de 20 esporas g^{-1} de inoculante. Este se aplicó al momento de la siembra por el método del recubrimiento de la semilla, mediante una máquina peletizadora de la firma Bandeirante, procedente de Brasil.

Los campos se mantuvieron bajo riego y se cortaron tres veces por año (dos cortes durante el período lluvioso y uno durante el período menos lluvioso). En áreas contiguas a cada campo se establecieron dos parcelas control con una superficie de 30 ha cada una, en las cuales se aplicaron dos tratamientos: un testigo absoluto (sin inoculación de HMA ni aplicaciones de fertilizantes) y otro donde se aplicaron las dosis de fertilizantes que se utilizan en la Empresa para los bancos de producción de forraje permanente (163, 90 y 117 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente). Las parcelas control constituyeron áreas demostrativas para los productores y fuentes de datos para evaluar el impacto de la introducción de la tecnología de fertilización en las áreas de producción.

Los campos de forraje tuvieron un período de establecimiento de cuatro meses y se cortaron en las frecuencias señaladas, a 10 cm de la superficie del suelo. En cada corte se pesó la masa verde (MV) del área ocupada por cada variante de fertilización y en cortes alternos, de cada hectárea se tomó una muestra compuesta de 200 g para determinar el porcentaje de masa seca (MS) y los contenidos de proteína bruta (PB), P y K del forraje (AOAC 1995). El rendimiento de MS se calculó a partir del rendimiento de MV y el % de MS. En cortes alternos, de cada hectárea se tomó una muestra compuesta de raicillas de las plantas y de suelo de la rizosfera a una profundidad de 0-20cm, para determinar el porcentaje de colonización micorrízica u ocupación radical de los HMA (Giovanetti y Mosse 1980), la densidad visual o intensidad de la colonización (Trouvelot *et al.* 1986) y la densidad de esporas (Gerdemann y Nicholson, 1963).

Para evaluar el impacto económico de la introducción del sistema de fertilización con la inclusión de los HMA en los campos de forraje permanente, se compararon sus costos con los del sistema de fertilización que se utiliza en la producción, basado solamente en la aplicación de fertilizantes minerales. Para ello se tuvieron en cuenta los precios de los fertilizantes químicos y del inoculante micorrízico:

- Precio del fertilizante balanceado (fórmula 14-20-26): 395.35 pesos t^{-1}
- Precio del fertilizante nitrogenado (urea): 370.00 pesos t^{-1}
- Precio del inoculante micorrízico EcoMic[®]: 2.50 pesos kg^{-1}

Resultados y discusión

Efecto de la inoculación de *G. hoi-like* en las estructuras micorrízicas del pasto Mulato II.

La figura No. 1 muestra la influencia de la inoculación de la cepa de HMA *G. hoi-like* en los porcentajes de colonización, densidad visual y densidad de esporas en la rizosfera del pasto Mulato II. Se presentan los datos del campo 1, sembrado en 2007, ya que en ambos esta variable tuvo un comportamiento muy similar.

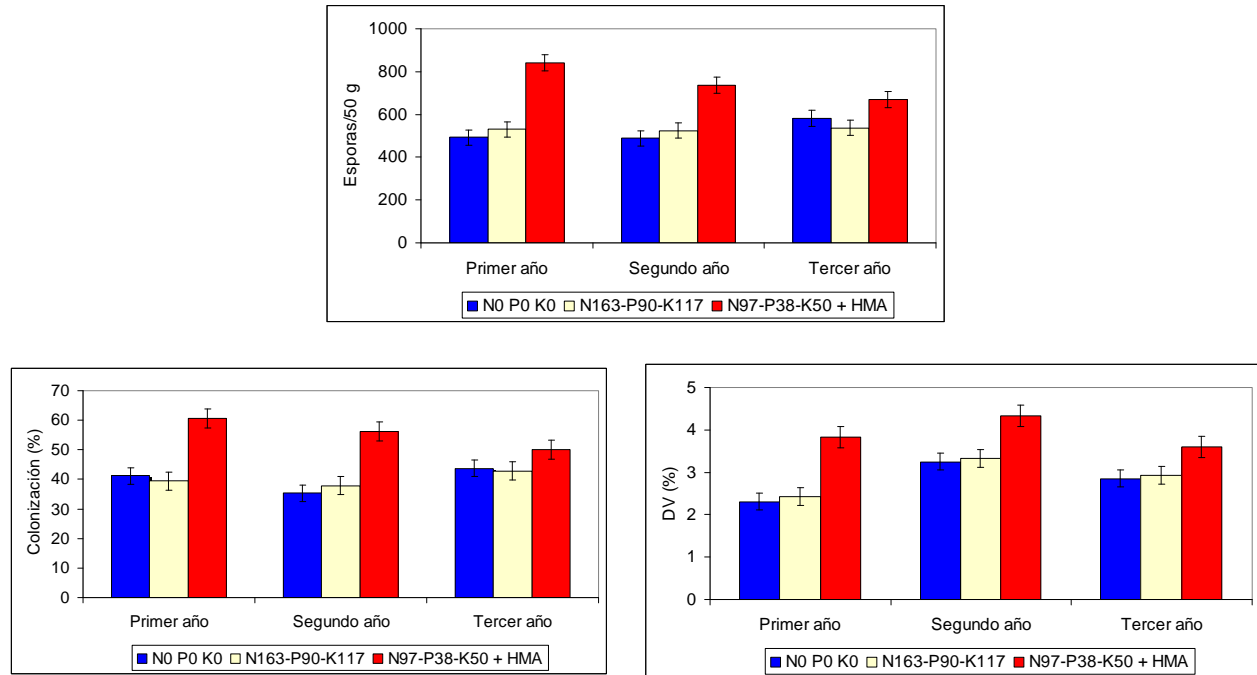


Fig. 1. Efecto de la inoculación de *G. hoi-like* en las estructuras micorrízicas del pasto Mulato II.

La cepa de HMA introducida alcanzó niveles de colonización, densidad visual y densidad de esporas significativamente superiores a los observados en las variantes sin inoculación, las cuales reflejaron el nivel de ocupación radical de micorizas nativas. Este efecto se observó durante los tres años de aplicados los sistemas de fertilización e indicó un adecuado establecimiento y permanencia de la cepa en ambos suelos.

En el muestreo realizado a los tres años de la inoculación de la cepa *G. hoi-like*, si bien se observó una disminución de las estructuras micorrízicas del pasto en relación con los años anteriores, los valores de estas variables superaron a los de los HMA nativos. Ello corroboró los resultados de los experimentos de campo, acerca de la influencia de un suministro adecuado de nutrientes procedentes de fuentes minerales u orgánicas, en la prolongación del efecto de la inoculación de las cepas de HMA.

Resultados similares fueron encontrados por Calderón (2006), Plana *et al.* (2008) y Martín (2009), quienes en estudios relacionados con el manejo de las asociaciones micorrízicas de diferentes cultivos en suelos Ferralíticos de Cuba, sobre la base de la inoculación de HMA, demostraron la efectividad de *G. hoi-like* para colonizar las raíces de las plantas, aun en presencia de un alto número de propágulos micorrízicos nativos.

Efecto de la inoculación de las cepas de HMA en los rendimientos y el valor nutritivo del pasto Mulato II.

En las tablas 3 y 4 se presentan los rendimientos de los campos de forrajes de la EPG Niña Bonita. En ambos campos, con las aplicaciones de 97, 38 y 50 kg de N, P₂O₅ y K₂O ha⁻¹ combinadas con la inoculación de la cepa de HMA *Glomus G. hoi-like*, se obtuvieron rendimientos similares a los alcanzados con las dosis de fertilizantes que se aplican a las áreas de producción de forraje permanente de la Empresa (163, 90 y 117 kg de N, P₂O₅ y K₂O ha⁻¹). La influencia de la inoculación de la cepa de HMA combinada con la aplicación de dosis adecuadas de fertilizantes permaneció durante tres y dos años en los campos 1 y 2, respectivamente.

Tabla 2. Rendimientos (t MS ha⁻¹) de los campos de producción de forraje de la EPG Niña Bonita.

Campo 1.						
Superficie: 100 ha. Fecha de siembra: junio 2007						
Variantes de fertilización				Primer año	Segundo año	Tercer año
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	HMA			
(kg ha ⁻¹)						
0	0	0	No	13.20 b	10.12 b	7.36 b
163	90	117	No	17.93 a	16.36 a	13.71 a
97	38	50	Sí	18.63 a	15.91 a	12.66 a
ES ±				0.59**	0.52**	0.47**
Campo 2.						
Superficie: 200 ha. Fecha de siembra: junio 2008						
0	0	0	No	10.24 b	8.51 b	-
163	90	117	No	15.92 a	14.87 a	-
97	38	50	Sí	16.13 a	14.52 a	-
ES ±				0.52**	0.49**	

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

En relación con el valor nutritivo del forraje, la tabla 3 muestra el efecto de los sistemas de fertilización en los contenidos promedio de proteína bruta (PB), fósforo (P) y potasio (K) del Pasto Mulato II. El forraje que se cosechó en las áreas donde se aplicó el inoculante micorrízico combinado con dosis menores de NPK, tuvo contenidos de proteína bruta, P y K similares a los observados con la aplicación de las dosis de fertilizantes que se utilizan en la producción, lo evidenció un mayor aprovechamiento de los nutrientes de los fertilizantes por las plantas, a partir del efecto de la inoculación de los HMA.

El efecto positivo de la inoculación de HMA, combinada con la aplicación de fertilizantes en los rendimientos y el valor nutritivo de las gramíneas forrajeras ha sido señalado por Fassio *et al.* (2008), Ahmad *et al.* (2008) y Mishra *et al.* (2009). Estos autores coinciden al plantear que el incremento de las estructuras micorrízicas a partir de la inoculación de cepas de HMA eficientes, contribuye a un mejor aprovechamiento de los nutrientes de los fertilizantes y del suelo, y ello redunda en un aumento de la productividad y la calidad de estas especies.

Tabla 3. Contenidos de nutrientes (% MS) del forraje.
EPG Niña Bonita

Campo 1						
Variantes de fertilización				PB	P	K
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	HMA			
(kg ha ⁻¹ año ⁻¹)						
0	0	0	No	7.73 b	0.21 b	1.37 b
163	90	117	No	9.57 a	0.25 a	1.65 a
97	38	50	Sí	9.60 a	0.24 a	1.62 a
ES				0.22**	0.01**	0.04
Campo 2						
0	0	0	No	7.05 b	0.20 b	1.27 b
163	90	117	No	8.46 a	0.24 a	1.45 a
97	38	50	Sí	8.50 a	0.23 a	1.42 a
ES				0.22**	0.01**	0.03**

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

Beneficios económicos, sociales y ambientales de la introducción de los sistemas de fertilización con la inclusión de HMA en los campos para la producción de forraje.

Impacto económico:

La introducción de sistemas de suministro de nutrientes para los campos de producción de forraje, basados en la inoculación de cepas eficientes de HMA y la aplicación de dosis adecuadas de fertilizantes minerales, tuvo un impacto económico muy favorable para la Empresa (tabla 4). Con la introducción de estos sistemas de fertilización en los dos campos cultivados de *B. híbrido* cv. Mulato II con una superficie total de 300 ha, durante el período 2007-2010 se dejaron de aplicar 103 t de fertilizante balanceado (fórmula 14-20-26) y 46.2 t de urea, sin afectar los rendimientos ni el valor nutritivo de la biomasa destinada al consumo del ganado. La reducción de las cantidades de fertilizantes a aplicar a ambos campos durante ese período, implicó una disminución de los costos de la fertilización y en consecuencia, un ahorro de 88 mil pesos.

A partir de los resultados obtenidos y de la necesidad de hacer un uso más racional de los fertilizantes debido a la no disponibilidad en determinados momentos de los volúmenes que demanda su sistema productivo, en el Plan Director de la EPG Niña Bonita se incluyeron los sistemas de fertilización basados en el uso de los HMA para los campos de producción de forraje permanente y de hecho, se redujeron las cantidades de fertilizantes asignadas a los mismos.

Impacto ambiental

Si bien no se evaluaron directamente los beneficios ambientales que se lograron con la introducción de esta tecnología, la reducción de las dosis de fertilizantes químicos debido a un mayor aprovechamiento de estos por los cultivos forrajeros inoculados con HMA, sugirió una disminución de los riesgos de contaminación asociados al uso de dosis de fertilizantes que pudieran exceder las necesidades de los cultivos. Por otra parte, el establecimiento de una simbiosis micorrízica efectiva a partir de la inoculación de cepas de HMA eficientes, así como su participación en el incremento de la productividad y calidad de las gramíneas forrajeras, constituyó un reflejo de la mejora de las propiedades biológicas del suelo.

Tabla 4. Fertilizantes aplicados y costos de la fertilización de los cultivos forrajeros en la EPG Niña Bonita

Campo 1. (período: junio 2007- mayo 2010)								
Variantes de fertilización	Cantidades aplicadas en 100 ha			Costos de la fertilización (MP) de las 100 ha				Costo de la Fertilización / t de forraje (pesos)
	Fórmula 14-20-26 (t)	Urea (t)	EcoMic® (kg)	Fórmula 14-20-26	Urea	EcoMic®	Total	
Producción	135.0	65.4	-	53.4	24.2	-	77.6	16.16
Introducida	57.6	45.6	70	22.8	16.9	0.2	39.9	8.44
Ahorro (1)	77.4	19.8	-	30.6	7.3	-	37.7	7.72
Campo 2. (período: junio 2008- mayo 2010)								
	Cantidades aplicadas en 200 ha (t)			Costos de la fertilización de las 200 ha				
Producción	180	87.2	-	71.2	32.3	-	103.5	16.80
Introducida	76.8	60.8	140	30.4	22.5	0.4	53.3	8.68
Ahorro (2)	103.2	26.4	-	40.8	9.8	-	50.2	8.12
Ahorro total (1+2)	180.6	46.2		71.4	17.1		87.8	-

Impacto social

Desde el punto de vista social, la inclusión de los HMA como parte de los sistemas de fertilización para las especies forrajeras contribuyó a aumentar el sentido de pertenencia de los productores, al disponer de una tecnología que reduce las dosis de fertilizantes a aplicar a los cultivos forrajeros, sin afectar los rendimientos ni la calidad del forraje. La introducción de los sistemas de fertilización garantizó el acceso de los productores a nuevos conocimientos sobre la fertilización de los cultivos forrajeros y con este propósito se diseñaron y ejecutaron planes de capacitación para los directivos, técnicos y obreros de ambas Empresas.

Los planes de capacitación incluyeron conversatorios sobre los HMA y las ventajas de su uso en la agricultura, clases prácticas para adquirir habilidades para el recubrimiento de la semilla con el inoculante micorrízico y para la toma de muestras de suelo y tejido vegetal en los campos de forraje, así como reuniones-taller semestrales para la discusión de los resultados parciales del trabajo y la concertación de los planes de acción para el seguimiento y evaluación de los sistemas de fertilización introducidos.

Referencias:

Ahmad, I., K., Mirza, S. N., Moazzam, S. M. & Hayat R. 2008. Yield and nutrient uptake of *Cenchrus ciliaris* as affected by VA mycorrhizal inoculation. Sarhad J. Agric. 24 (2): 289-292.

AOAC. 1990. Association of Official Agricultural Chemist. Official Methods of Analysis. 15 ed. Vol. 1. Virginia. 648 p.

Calderón, Maida & González, P. J. 2007. Respuesta el pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Likoni) cultivado en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. Cultivos Tropicales. 28 (3): 33-37.

- Fassio, P. O., Duarte, N. F., Melo, P. F., Pinto, D. M. & Oliveira, J. R. 2008. Recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* cv Marandu sob diferentes adubações associadas à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí, MG.
- Gerdemann J. W. & Nicolson, T. H. 1963 Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46:235–244.
- Giovanetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular- arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 84: 489-500.
- 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., Frómeta, 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, Andrea. 2006. Micorrización en gramíneas perennes expuestas a distintos regímenes hídricos del suelo. Tesis de Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Martín, Gloria. 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 Doctoral. Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, La Habana, Cuba.
- Mishra, S; Sharma, S. & Vasudevan, P. 2008. Comparative effect of biofertilizers on fodder production and quality in guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). J. of the Sci. of Food and Agric. 88 (9):1667-1673.
- 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 (4): 35-40.
- Trouvelot, A.; Kough, J. & Gianinazzi-Pearson, V. 1986. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. Proc. 1st Eur. Symp. on Mycorrhizae: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, Dijón. INRA, París.