

Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands

Manejo de la inoculación micorrízica arbuscular para el establecimiento, mantenimiento y recuperación de pastizales

P. J. González¹, J. F. Ramírez², R. Rivera¹, A. Hernández¹, R. Plana¹, G. Crespo¹ and P. R. Rosales¹

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Gaveta Postal No.1, San José de las Lajas, Mayabeque

²Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Villa Clara. Crucero Digna, Cascajal, Santo Domingo, Villa Clara

Email: pgonzalez@inca.edu.cu

The inclusion of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on fertilization systems for grasses and forage crops may be considered as an effective alternative to improve their productivity and nutritional value and, at the same time, to reduce the use of fertilizers. Starting from this condition, a research program was carried out for implementing an integral technology for the effective management of inoculation with AMF on these crops. This program included the selection of efficient strains of AMF, definition of mineral fertilizer dosages for establishment, maintenance and recovery of inoculated grasses, and determination of doses and frequency of inoculation for maintaining an effective mycorrhizal functioning of these crops. There was a high compatibility between the strain efficiency and type of soil on the response of grasses to inoculation with AMF. Type of soil, as well as grass species and its management, influenced on the permanence of the introduced strain, but, in all cases, inoculated grasses required lower doses of fertilizers than those with no inoculation, in order to reach adequate biomass yield and nutritional values. Inoculation with doses lower than 4×10^5 spores ha^{-1} of the efficient strain of AMF, every one or two years, depending on the duration of the effect of initial inoculation, guaranteed the permanence of an effective mycorrhizal functioning on established grasses. The introduction, at production scale, of fertilization systems, based on the inoculation of an effective strain of AMF and the application of complementary levels of mineral or organic fertilizers, contributed to save up to 50% of fertilizer doses recommended for these crops, without reducing yield or nutritional value of biomass.

Key words: *mycorrhizae, mineral fertilization, organic fertilization, grasses*

The inclusion of AMF on fertilization systems for grasses and forage crops may be considered as an effective alternative to improve their yield and nutritional value and, at the same time, to reduce the use of fertilizers, because the benefits of these microorganisms on grassland agroecosystems are very related to the increase of the absorption surface of roots and, consequently, to the improvement of use efficiency of nutrients by plants (Verbruggen *et al.* 2012).

In Cuba, there has been a progressive advance in researches on the use and management of AMF on a wide range of crops. The results of these researches have led to obtaining high yields through the use of inoculation of efficient strains, substituting between 30 and 50 % of

La inclusión de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en los sistemas de fertilización para los pastos y cultivos forrajeros puede constituir una vía efectiva para mejorar su productividad y valor nutritivo y, a su vez, reducir el uso de fertilizantes. A partir de esta condición, se ejecutó un programa de investigación para disponer de una tecnología integral para el manejo efectivo de la inoculación con HMA en estos cultivos. El programa abarcó la selección de cepas eficientes de HMA, la definición de dosis de fertilizantes minerales y orgánicos para el establecimiento, mantenimiento y recuperación de los pastos inoculados y la determinación de las dosis y frecuencia de inoculación para mantener un funcionamiento micorrízico efectivo en estos cultivos. Se encontró alta compatibilidad entre la eficiencia de la cepa y el tipo de suelo en la respuesta de los pastos a la inoculación con HMA. El tipo de suelo, así como la especie de pasto y su manejo, influyeron en la permanencia del efecto de la cepa introducida, pero en todos los casos los pastos inoculados requirieron dosis menores de fertilizantes que los no inoculados para alcanzar adecuados rendimientos de biomasa y valor nutritivo. La reinoculación con dosis no mayores de 4×10^5 esporas ha^{-1} de la cepa eficiente de HMA, cada uno o dos años, en dependencia de la duración del efecto de la inoculación inicial, garantizó la permanencia de un funcionamiento micorrízico efectivo en los pastos establecidos. La introducción, a escala de producción, de sistemas de fertilización basados en la inoculación de una cepa eficiente de HMA y la aplicación de niveles complementarios de fertilizantes minerales u orgánicos, contribuyó al ahorro de hasta 50% de las dosis de fertilizantes que se recomiendan para estos cultivos, sin reducir el rendimiento ni el valor nutritivo de la biomasa.

Palabras clave: *micorrizas, fertilización mineral, fertilización orgánica, pastos.*

La inclusión de HMA en los sistemas de fertilización para los pastos y cultivos forrajeros puede ser una vía efectiva para mejorar su rendimiento y valor nutritivo y a la vez, reducir el uso de fertilizantes, pues los beneficios de estos microorganismos en los agroecosistemas de pastizales están muy ligados al aumento de la superficie de absorción de las raíces y consecuentemente, a la mejora de la eficiencia de la utilización de los nutrientes por las plantas (Verbruggen *et al.* 2012).

En Cuba se ha logrado un avance progresivo en las investigaciones sobre el uso y manejo de los HMA en una amplia gama de cultivos agrícolas, cuyos resultados han conducido a la obtención de altos rendimientos mediante la inoculación de cepas eficientes, lográndose sustituir entre 30 y 50 % de los fertilizantes minerales u orgánicos,

the organic and mineral fertilizers, depending on crop, soil and availability of nutrients (Rivera and Fernández 2007). However, there is scarce information related to grasses.

Taking into consideration these premises, as well as the need of improving food production for cattle and reducing the use of inputs, a research program was carried out in order to implement an integral technology for the effective management of arbuscular mycorrhizal fungi for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. This paper presents the main results from the implementation of this research program.

Materials and Methods

The program was implemented on cattle agroecosystems from Artemisa, La Habana and Villa Clara. The types of soil were lixiviated red ferrallitic, vertisol pelic gley and ferruginous nodular gley (Anon 1999). This study included the implementation of the following experiments:

Selection of AMF strains, efficient per type of soil and grass species. The inoculation effect of *Glomus cubense*, *Funneliformis mosseae* and *Rhizoglyphus intraradices* AMF strains was evaluated in each soil, as well as a control without inoculation, in *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, *B. híbrido* cv. Mulato II (CIAT 36061) and *Panicum maximum* cv. Likoni grasses. A random block design, with factorial arrangement and four replications, was used in every case. The experiments lasted two years.

Determination of optimal doses of mineral and organic fertilizers for grasses inoculated with efficient strains of AMF. Two experiment groups were implemented. The first was carried out on a lixiviated red ferrallitic and vertisol pelic gley soil, evaluating doses of N (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ year⁻¹), P₂O₅ (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹) and K₂O (0, 50, 100 and 150 kg ha⁻¹), alone and combined with the inoculation of the most efficient HMA strain, according to the results of the experiments from the previous group, for the establishment and maintenance of *Brachiaria* species, cultivated under an intensive cut regime. The second experiment was performed on a lixiviated red ferrallitic and ferruginous nodular gley soils, and doses of cattle manure (0, 15 and 30 t ha⁻¹) were evaluated, alone or together with applications of N, and combined to the inoculation of the most efficient AMF strain, for the establishment and maintenance of *B. híbrido*, under a less intensive cut regime, and for the rehabilitation of *P. maximum*. A random block design, with factorial arrangement, was used in every case, and the experiments lasted from three to six years.

Determination of doses and frequency of application of mycorrhizal inoculation for maintaining an effective

en dependencia del cultivo, el suelo y la disponibilidad de nutrientes (Rivera y Fernández 2007). Sin embargo, en relación con los pastos, la información existente es escasa.

Teniendo en cuenta estas premisas, así como la necesidad de mejorar la producción de alimentos para el ganado y reducir el uso de insumos, se ejecutó un programa de investigación con el objetivo de disponer de una tecnología integral para el manejo efectivo de la inoculación micorrízica arbuscular para el establecimiento, mantenimiento y recuperación de pastizales. En este trabajo se presentan los principales resultados obtenidos a partir de la ejecución del programa.

Materiales y Métodos

El programa se ejecutó en agroecosistemas ganaderos de Artemisa, La Habana y Villa Clara, en suelos de tipo ferralítico rojo lixiviado, vertisol pélico gleyzoso y gley nodular ferruginoso (Anon 1999). El estudio abarcó la realización de los experimentos siguientes:

Selección de cepas de HMA, eficientes por tipos de suelos y especies de pastos. En cada suelo se evaluó el efecto de la inoculación de las cepas de HMA *Glomus cubense*, *Funneliformis mosseae* y *Rhizoglyphus intraradices* más un testigo sin inocular, en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, *B. híbrido* cv. Mulato II (CIAT 36061) y *Panicum maximum* cv. Likoni. En todos los casos se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro réplicas. Los experimentos tuvieron una duración de dos años.

Determinación de dosis óptimas de fertilizantes minerales y orgánicos para pastos inoculados con cepas de HMA eficientes. Se ejecutaron dos grupos de experimentos: el primero en suelos ferralítico rojo lixiviado y vertisol pélico gleyzoso, donde se evaluaron dosis de N (0, 100, 200 y 300 kg ha⁻¹ año⁻¹), P₂O₅ (0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹) y K₂O (0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹), solas y combinadas con la inoculación de la cepa de HMA más eficiente, de acuerdo con los resultados de los experimentos del grupo anterior, para el establecimiento y mantenimiento de especies de *Brachiaria*, cultivadas en un régimen de corte intensivo. El segundo se realizó en los suelos ferralítico rojo lixiviado y gley nodular ferruginoso, y se evaluaron dosis de estiércol vacuno (0, 15 y 30 t ha⁻¹), solas o acompañadas de aplicaciones de N, y combinadas con la inoculación de la cepa de HMA más eficiente, para el establecimiento y mantenimiento de *B. híbrido* en un régimen de corte menos intensivo, y para la rehabilitación de *P. maximum*. En todos los casos se utilizaron diseños de bloques al azar con arreglo factorial y los experimentos tuvieron una duración de tres a seis años.

Determinación de dosis y frecuencia de aplicación de la inoculación micorrízica para mantener un funcionamiento micorrízico efectivo en los pastos. Se evaluaron dosis de inoculante micorrízico, que aportaron desde 0 hasta 10 x 10⁵ esporas ha⁻¹ de la cepa de HMA, eficiente para cada tipo de suelo, en *B. decumbens*

mycorrhizal functioning on grasses. Doses of the mycorrhizal inoculant were evaluated, which provided from 0 to 10×10^5 spores ha^{-1} of AMF strain, efficient for each type of soil, on *B. decumbens* cultivated in a lixiviated red ferrallitic soil and on *P. maximum*, cultivated on ferruginous nodular gley soil. A random block design, with four replications, was used in both cases, and the experiments lasted from two to three years.

Validation of experimental results. Results were validated in production areas of permanent forage from the Empresa Pecuaria Genética (EPG) “Niña Bonita”, in Artemisa, and in areas of degraded grasslands from Empresa Agropecuaria (EA) “Santo Domingo”, Villa Clara. The research program used these two places for implementing the experiments.

General procedure. In the case the grasses were sown, the sowing was performed in furrows separated at 70 cm and at steady flow, with doses of 6-8 kg of total seed ha^{-1} (1 kg ha^{-1} of germinable pure seed). The inoculation of AMF strains was performed in the sowing moment by the method of seed covering, with an amount of inoculant equivalent to 10 % of its weight. For established grasses, a suspension of mycorrhizal inoculant and water was prepared, at a proportion of 1:10. It was applied over the grass surface after a cut and at the beginning of rainy season. The EcoMic® mycorrhizal inoculant, produced in INCA, was used in every case, with a concentration of 30-35 spores g^{-1} of inoculant. Cut frequency depended on availability of inputs from each unit.

Results and Discussion

There was a positive response of grasses to inoculation in every case because AMF strains increased yield, regarding the non inoculated control (table 1). Nevertheless, per each type of soil, there was a strain that produced the highest effects. The strain with the best performance for cultivated grasses in pelic vertisol soil was *R. intraradices*, while *G. cubense* and *F. mosseae* were the best for those cultivated in lixiviated red ferrallitic and ferruginous nodular gley soils, respectively. It was demonstrated the high mycorrhizal dependence of these species and the existence of high degree of compatibility between soil type and strain efficiency in the response of grasses to AMF inoculation.

These results revealed a higher effectiveness of the introduced strains, regarding the resident AMF, to increase grass yield. They indicated that the management of arbuscular mycorrhizal symbiosis, through inoculation, could be assumed as an effective agronomic practice to improve the productivity of forage species, which coincides with the findings of Oliveira *et al.* (2014).

After selecting the most efficient AMF strain for each edaphic condition, the most suitable doses of mineral or organic fertilizers for the establishment, maintenance and recovery of inoculated grasses are defined, as well

cultivada en suelo ferralítico rojo lixiviado y en *P. maximum* cultivado en suelo gley nodular ferruginoso. En ambos se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Los experimentos tuvieron una duración de dos a tres años.

Validación de los resultados experimentales. Los resultados se validaron en áreas de producción de forraje permanente de la Empresa Pecuaria Genética (EPG) “Niña Bonita”, en Artemisa, y en áreas de pastizales degradados de la Empresa Agropecuaria (EA) “Santo Domingo”, Villa Clara, dos de los escenarios donde se ejecutó el programa de investigación.

Procedimiento general. En los casos en que se sembraron los pastos, la siembra se realizó en surcos separados a 70 cm y a chorrillo, con dosis de 6-8 kg de semilla total ha^{-1} (1 kg ha^{-1} de semilla pura germinable). La inoculación de las cepas de HMA se efectuó en el momento de la siembra por el método del recubrimiento de las semillas, con una cantidad de inoculante equivalente al 10 % de su peso. Para los pastos establecidos, se preparó una suspensión de inoculante micorrízico y agua, en relación 1:10. Esta se aplicó sobre la superficie del pasto inmediatamente después de un corte y al inicio de la época de lluvias. En todos los casos, se utilizó el inoculante micorrízico EcoMic®, producido en el INCA, con concentración de 30-35 esporas g^{-1} de inoculante. La frecuencia de corte dependió de la disponibilidad de insumos de cada unidad.

Resultados y Discusión

En todos los casos se encontró una respuesta positiva de los pastos a la inoculación, pues las cepas de HMA incrementaron el rendimiento, en relación con el testigo sin inocular (tabla 1). No obstante, para cada tipo de suelo se encontró una cepa que produjo los mayores efectos. La cepa con mejor comportamiento para los pastos cultivados en el suelo vertisol pélico fue *R. intraradices*, mientras que para los cultivados en los suelos ferralítico rojo lixiviado y gley nodular ferruginoso lo fueron *G. cubense* y *F. mosseae*, respectivamente. Se demostró la alta dependencia micorrízica de estas especies y la existencia de alto grado de compatibilidad entre el tipo de suelo y la eficiencia de las cepas, en la respuesta de los pastos a la inoculación con HMA.

Estos resultados revelaron mayor efectividad de las cepas introducidas con respecto a los HMA residentes para incrementar el rendimiento de los pastos. Indicaron que el manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular, vía inoculación, se podría asumir como una práctica agronómica efectiva para mejorar la productividad de las especies forrajeras, lo que coincide con lo encontrado por Oliveira *et al.* (2014).

Una vez seleccionada la cepa de HMA más eficiente para cada condición edáfica, se definieron las dosis de fertilizantes minerales u orgánicos más adecuadas para el establecimiento, mantenimiento y recuperación de los pastos inoculados, así como las dosis y frecuencia

Tabla 1. Efecto de la inoculación de de cepas de hongos micorrízicos arbusculares en el rendimiento (t MS ha⁻¹) de los pastos cultivados en diferentes tipos de suelos. Datos seleccionados.

Suelo Vertisol Pélico				
Cepa	<i>B. decumbens</i>	<i>B. brizantha</i>	<i>B. híbrido</i>	<i>P. maximum</i>
Testigo	11.30 ^c	11.58 ^c	12.21 ^c	12.31 ^c
<i>G. cubense</i>	12.93 ^b	15.02 ^a	13.65 ^b	13.87 ^b
<i>F. mosseae</i>	12.77 ^b	12.81 ^b	13.72 ^b	13.93 ^b
<i>R. intraradices</i>	14.51 ^a	14.98 ^a	15.67 ^a	15.55 ^a
ES	0.34**	0.32**	0.35**	0.31**
Suelo Ferralítico Rojo Lixiviado				
Testigo	10.93 ^c	11.13 ^c	12.25 ^c	10.14 ^c
<i>G. cubense</i>	14.73 ^a	14.72 ^a	15.98 ^a	14.07 ^a
<i>F. mosseae</i>	12.42 ^b	12.73 ^b	13.86 ^b	12.15 ^b
<i>R. intraradices</i>	12.48 ^b	14.70 ^a	13.65 ^b	12.21 ^b
ES	0.30**	0.32**	0.29**	0.31**
Suelo Gley Nodular Ferruginoso				
Testigo	7.11 ^c	5.93 ^c	8.07 ^c	8.15 ^c
<i>G. cubense</i>	9.22 ^b	7.71 ^b	10.13 ^b	9.97 ^b
<i>F. mosseae</i>	11.03 ^a	9.01 ^a	11.52 ^a	13.81 ^a
<i>R. intraradices</i>	7.89 ^b	7.91 ^b	9.87 ^b	9.82 ^b
ES	0.28**	0.29**	0.27**	0.30**

^{abc}Promedios con letras no comunes en la misma columna y tipo de suelo difieren significativamente, según d^ocima de Duncan (P<0.05).

as the doses and frequency of application of mycorrhizal inoculant, needed to maintain an effective mycorrhizal functioning of these crops. Table 2 shows the obtained results.

Inoculation at the moment of sowing, together with the application of doses of mineral or organic fertilizers, adjusted to the need of the inoculated grass, produced, during the first one or two years, similar yields to those reached with fertilizer doses needed to achieve the highest yields in the absence of inoculation. The permanence of the initial inoculation effect depended on the type of soil, grass species and its management.

In *B. decumbens*, cultivated in lixiviated red ferrallitic soil, under conditions of high inputs (high doses of mineral fertilizers and with irrigation availability), the effect was maintained only during the first year. In *P. maximum*, cultivated in the ferruginous nodular gley soils and under low input conditions (low availability of mineral fertilizers and without irrigation), the effect was maintained during the first two years.

The experiments evaluating doses and frequency of application of the inoculant (not shown data) showed that the application of 4x10⁵ spores ha⁻¹ of the most efficient strain for each edaphic condition, was enough to achieve an effective mycorrhizal functioning cash in grasses grown in lixiviated red ferrallitic soil and ferruginous nodular gley soil. In addition, they demonstrated that the duration of

de aplicación del inoculante micorrízico necesarias para mantener un funcionamiento micorrízico efectivo en estos cultivos. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 2.

La inoculación al momento de la siembra, conjuntamente con la aplicación de dosis de fertilizantes minerales u orgánicos adecuadas a las necesidades del pasto inoculado, produjo durante el primer o los dos primeros años, rendimientos similares a los alcanzados con las dosis de fertilizantes necesarias para alcanzar los mayores rendimientos en ausencia de inoculación. La permanencia del efecto de la inoculación inicial dependió del tipo de suelo, así como de la especie de pasto y su manejo.

En *B. decumbens*, cultivada en suelo ferralítico rojo lixiviado, en condiciones de altos insumos (altas dosis de fertilizantes minerales y con disponibilidad de riego), el efecto se mantuvo solo durante el primer año, mientras que en *P. maximum* cultivado en el suelo gley nodular ferruginoso y en condiciones de bajos insumos (baja disponibilidad de fertilizantes minerales y sin riego), este se mantuvo durante los dos primeros años.

Los experimentos en los que se evaluaron las dosis y frecuencia de aplicación del inoculante (datos no mostrados) revelaron que la aplicación de 4 x 10⁵ esporas ha⁻¹ de la cepa más eficiente para cada condición edáfica, fue suficiente para alcanzar un funcionamiento micorrízico efectivo en los pastos cultivados en los suelos ferralítico rojo lixiviado y gley nodular ferruginoso. Demostraron además, que la duración de la efectividad de la inoculación fue similar a la observada cuando estos se

Tabla 2. Contribución de la inoculación de cepas eficientes de HMA a la reducción de las dosis de fertilizantes para los pastos. Tratamientos seleccionados.

Especie: <i>B. decumbens</i> . Suelo: Ferralítico Rojo Lixiviado. Disponibilidad de insumos: alta											
Variantes de fertilización (t MS ha ⁻¹)											
N	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O	Inoc.	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año	Sexto año		
0	0	0	NI	15.88 ^b	13.03 ^c	12.21 ^b	11.63 ^b	9.88 ^b	8.39 ^b		
300	50	100 ⁻¹ 50	NI	20.97 ^a	20.14 ^a	18.73 ^a	17.73 ^a	17.15 ^a	16.07 ^a		
200	0	50 ⁻¹ 00	I (a)	20.81 ^a	17.95 ^b	18.01 ^a	17.33 ^a	16.92 ^a	15.90 ^a		
	ES ±			0.49**	0.48**	0.47**	0.43**	0.45**	0.42**		
Especie: <i>P. maximum</i> . Suelo: Gley Nodular Ferruginoso. Disponibilidad de insumos: baja											
Estiércol (t ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	Inoc	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto año	Quinto año	Sexto año			
0	0	NI	7.81 ^b	8.52 ^b	7.15 ^c	6.32 ^b	-	-			
30	150	NI	10.72 ^a	11.15 ^a	9.58 ^a	7.62 ^a	-	-			
15	105	I (b)	10.87 ^a	10.93 ^a	8.32 ^b	7.53 ^a	-	-			
	ES ±		0.42**	0.40**	0.41**	0.38**	-	-			

Inoc: inoculación, NI: no inoculado, I (a): inoculado con *G. cubense* al momento de la siembra y a razón de 4×10^5 esporas ha⁻¹ año⁻¹ a partir del tercer año. I (b): inoculado con *F. mosseae* al momento de la siembra y a razón de 4×10^5 esporas ha⁻¹ en el cuarto año. K₂O (kg ha⁻¹): el número menor indica la cantidad anual aplicada durante los cuatro primeros años y el mayor, la aplicada a partir del quinto, según las necesidades del pasto. Promedios con letras no comunes en la misma columna y tipo de suelo difieren significativamente, según dócima de Duncan (P<0.05).

inoculation effectiveness was similar to that observed when they were inoculated using the method of seed covering.

Taking into account these results, *B. decumbens* was annually reinoculated after the third year, and *P. maximum* after the fourth, with mycorrhizal inoculant that provided 4×10^5 spores ha⁻¹ of *G. cubense* and *F. mosseae* strains, respectively. This table also shows that, in both cases, reinoculation allowed to maintain the reduction levels of fertilizer doses, reached with the initial inoculation, without yield decrease.

The positive effect of arbuscular mycorrhizal

inoculation por el método del recubrimiento de la semilla.

Teniendo en cuenta estos resultados, *B. decumbens* se reinoculó anualmente a partir del tercer año, y *P. maximum* en el cuarto, con dosis de inoculante micorrízico que aportó 4×10^5 esporas ha⁻¹ de las cepas *G. cubense* y *F. mosseae*, respectivamente. En la propia tabla se observa que, en ambos casos, la reinoculación permitió mantener los niveles de reducción de las dosis de fertilizantes que se alcanzaron con la inoculación inicial, sin disminuir los rendimientos.

El efecto positivo de la inoculación micorrízica arbuscular en la reducción de las dosis de fertilizantes

inoculation on the reduction of fertilizer doses was related to its contribution to the improvement of use efficiency of nutrients. The fact that with the use of AMF strains, which were more effective in each edaphic condition plus the application of lower doses of fertilizers, similar yield levels to those with higher fertilizer doses were achieved in absence of inoculation, indicates that plants had a better access to soil resources. This contributed to the increase of yield (Castillo *et al.* 2014).

Experimental results were validated at production scale, in 300 ha cultivated with *B. hibrido* cv. Mulato at the EPG "Niña Bonita" and 20 ha of guinea grass (*P. maximum* cv. Likoni), with a high degree of degradation, at the EA "Santo Domingo", which were inoculated with the AMF strain recommended for each edaphic condition and fertilized with doses of mineral and organic fertilizers, respectively, which were more adequate to inoculated grasses. The EPG "Niña Bonita" saved 300 kg ha⁻¹ year⁻¹ of balanced fertilizer (9-13-17 formula) and 132 kg ha⁻¹ year⁻¹ of urea. This meant a saving of 230 Cuban pesos ha⁻¹ year⁻¹. The EA "Santo Domingo" saved 15 t ha⁻¹ year⁻¹ of cattle manure and, consequently, 120 Cuban pesos t ha⁻¹ year⁻¹, due to the reduction of manure doses, traditionally used for grassland rehabilitation.

estuvo relacionado con su contribución a la mejora de la eficiencia del uso de los nutrientes. El hecho de que con las cepas de HMA, que resultaron más efectivas en cada condición edáfica más la aplicación de dosis menores de fertilizantes, se hayan alcanzado niveles de rendimiento similares a los que se lograron con dosis mayores de fertilizantes en ausencia de inoculación, indica que las plantas tuvieron mejor acceso a los recursos del suelo. Ello evidentemente contribuyó al incremento del rendimiento (Castillo *et al.* 2014).

Los resultados experimentales se validaron a escala de producción, en 300 ha cultivadas de *B. hibrido* cv. Mulato en la EPG "Nina Bonita" y 20 ha de pasto guinea (*P. maximum* cv. Likoni), con alto grado de degradación en la EA "Santo Domingo", las cuales fueron inoculadas con la cepa de HMA recomendada para cada condición edáfica y fertilizadas con las dosis de fertilizantes minerales y orgánicos, respectivamente, más adecuadas para los pastos inoculados. En la EPG "Niña Bonita" se ahorraron de 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ de fertilizante balanceado (fórmula 9-13-17) y 132 kg ha⁻¹ año⁻¹ de urea. Ello significó ahorro de 230 CUP ha⁻¹ año⁻¹. En la EA "Santo Domingo" se ahorraron 15 t ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol vacuno y consecuentemente, 120 CUP t ha⁻¹ año⁻¹, debido a la reducción de la dosis de estiércol utilizada tradicionalmente para la rehabilitación del pastizal.

References

- Anon 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. La Habana. p. 45
- Castillo, C. G., Fredericksen, C., Koch, R. & Sieverding, E. 2014. Effect of seed treatment with natural products on early arbuscular mycorrhizal colonization of wheat by *Claroideoglomus claroideum*. *J. Appl. Botany and Food Quality* 87: 117
- Oliveira de, T.B., de Mello, A.H. & Ferreira, L.A. 2014. Influência da inoculação de fungos micorrízicos em amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*) em pastagens no projeto de assentamento Belo Horizonte I em São Domingos do Araguaia-Pa. *Enciclopédia Biosfera* 10 (18): 1988
- Rivera, R., Fernández, F., Fernández, K., Ruiz, L., Sánchez, C. & Riera, M. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. Pages 151-196. In: *Mycorrhizae in Crop Production* (eds.) Chantal Hamel & Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton, N. Y. Hard Cover ISBN: 978-1-56022-306-1; Soft Cover ISBN: 978-1-56022-307-8.
- Verbruggen, E., van der Heijden, M.G.A., Weedon, J.T., Kowalchuk, G. A. & Røling, W.F.M. 2012. Community assembly, species richness and nestedness of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Molecular Ecology*. 21: 2341

Received: