

PERMANENCIA DE LA EFECTIVIDAD DE LA INOCULACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN AGROECOSISTEMAS DE PASTIZALES

Pedro J. González¹, Joan Arzola², Juan F. Ramírez³, Ramón Rivera¹ y Osvaldo Morgan³

1. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Cuba. E-mail: pgonzalez@inca.edu.cu

2. Microestación de Pastos y Forrajes Niña Bonita. Cuba.

3. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. Cuba

Introducción

El manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas en los cultivos agrícolas -vía inoculación- lleva implícito el conocimiento de los factores que determinan la permanencia de la cepa introducida y la adopción de prácticas agronómicas dirigidas a prolongar su efecto en el sistema suelo-planta. Este aspecto ha sido abordado en cultivos de ciclo corto y secuencias de cultivos, y algunos estudios realizados en este sentido (Rivera y Fernández, 2003; Vestberg *et al*, 2005; Marrero *et al*, 2008) coinciden al señalar la influencia de la especie de planta y su manejo, el suelo, las condiciones climáticas y la capacidad infectiva de la cepa introducida, entre otros, en la permanencia del efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). En los pastos, si bien se reconoce la posibilidad de manejar las asociaciones micorrízicas a través de la inoculación de cepas de HMA compatibles con la planta hospedera y adaptadas a las condiciones ambientales en que se desarrollan estos cultivos (Kanno *et al*, 2006; Carneiro *et al*, 2007; de Miranda, 2008), pocos estudios abordan la influencia de las propias condiciones ambientales y del régimen de explotación de las especies pratenses en la permanencia del efecto de la inoculación de HMA. Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, se realizó este trabajo con el objetivo de evaluar la permanencia de la inoculación de cepas de HMA eficientes en especies de pastos fertilizadas con diferentes dosis de N y cultivadas en suelos Ferralítico Rojo Lixiviado, Pardo Mullido Cálcico y Gley Nodular Ferruginoso.

Materiales y métodos

En áreas de la Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita, en la provincia de La Habana, se realizaron dos experimentos en suelo Ferralítico Rojo y dos en suelo Pardo Mullido (Hernández *et al*, 1999), en los que se evaluaron ocho tratamientos (aplicaciones de 0, 100, 200 y 300 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, solas y combinadas con la inoculación de una cepa de HMA eficiente), en los pastos *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk y *B.* híbrido CIAT 36087 (cv. Mulato II).

En el suelo Ferralítico Rojo, los pastos se inocularon con la cepa de HMA *Glomus hoi-like* y en el Pardo Mullido, con la cepa *G. intraradices*, seleccionadas previamente por su alta eficiencia en cada condición edáfica. Los experimentos se condujeron bajo condiciones de riego y se evaluaron durante tres años (2005-2008). El primer corte se realizó a los 120 días después de la siembra y posteriormente a intervalos de 42 y 90 días durante el período lluvioso y poco lluvioso, respectivamente, para un total de seis cortes al año. Se condujo otro experimento en la Empresa Agropecuaria Santo Domingo, en la provincia de Villa Clara, sobre un suelo Gley Nodular Ferruginoso (Hernández *et al*, 1999). En este se evaluaron ocho tratamientos conformados por dosis de 0, 50, 100 y 150 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, solas y combinadas con la inoculación de la cepa de HMA *G. mosseae*, en *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. La cepa de HMA fue previamente seleccionada por su alta eficiencia en esta condición edáfica. El experimento se realizó en condiciones de secano y se evaluó durante dos años (2008-2009). El primer corte de los pastos se realizó a los 120 días después de la siembra y posteriormente a intervalos de 60 días, sólo durante el período lluvioso, para un total de tres cortes al año. Las principales características químicas de los suelos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Características químicas de los suelos.

Tipo de suelo	pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	Ca	Mg	Na (cmol _c kg ⁻¹)	K	CIB
FRL	6.5	3.25	2.8	9.7	2.2	0.15	0.21	12.3
PMC	7.3	4.13	5.9	37.2	6.9	0.85	0.39	45.3
GP	4.7	2.43	2.2	3.5	1.2	0.10	0.11	4.9

FRL: Ferralítico Rojo Lixiviado, PMC: Pardo Mullido Cálcico, GNF: Gley Nodular Ferruginoso.

Para la caracterización química de los suelos se emplearon los siguientes métodos analíticos, establecidos por las Normas Cubanas 32, 38, 51, 52 y 10390 (1999) y 65 (2000), para la determinación de la calidad del suelo:

- pH H₂O y KCl: Potenciometría: relación suelo-disolución 1:2.5.
- Materia orgánica (MO): Walkley y Black.
- P₂O₅ asimilable: Oniani en los suelos FRL y GNF; Machiguin en el suelo PMC.
- Cationes intercambiables: Extracción con NH₄ Ac 1 mol L⁻¹ a pH 7 y determinación por complexometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K).
- CIB: suma de bases intercambiables.

En todos los experimentos, los tratamientos se distribuyeron en diseños de bloques al azar con cuatro réplicas. El fertilizante nitrogenado se aplicó de forma fraccionada, al momento de la siembra y después de cada corte, y anualmente se realizó una fertilización de fondo, con 50 y 100 kg de P₂O₅ y K₂O ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Las cepas de HMA procedían del cepario del Laboratorio de Micorrizas el INCA y se inocularon al momento de la siembra por el método del recubrimiento de la semilla, mediante inoculante micorrízico EcoMic®, formulado con la cepa que se utilizó en cada experimento, con una concentración de 20 esporas g⁻¹ de sustrato. Los pastos 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 de cálculo de cada parcela, y de esta se tomaron muestras de 200 g de para determinar el porcentaje de masa seca (MS). El rendimiento de MS se calculó a partir del rendimiento de MV y el % de MS. En cortes alternos se tomaron muestras de raicillas y de suelo de la rizosfera. Las raicillas fueron secadas en estufa a 70°C y teñidas mediante la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970). El porcentaje de colonización radical se evaluó según el método de los interceptos descrito por Giovannetti y Mosse (1980) y la densidad de esporas, siguiendo la metodología descrita por Gerderman y Nicholson (1963) modificada por Herrera *et al*, (1995).

Los datos de los rendimientos de MS de los pastos se procesaron mediante el análisis de varianza y en los casos en que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos se aplicó la dócima de Duncan. Los correspondientes a la colonización radical y densidad de esporas se compararon a través de sus intervalos de confianza (P≤ 0.05%). Se utilizó el programa estadístico SPSS 11.5 para Windows.

Resultados y discusión

Permanencia de la efectividad de la inoculación de *G. hoi-like* en *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Ferralítico Rojo.

La figura 1 muestra la influencia de la fertilización nitrogenada en las estructuras micorrizicas de *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Ferralítico Rojo. En *B. decumbens*, la inoculación de la cepa de HMA *G. hoi-like* incrementó significativamente los porcentajes de colonización micorrízica y la densidad de esporas durante el primer año de su establecimiento, tanto en el período lluvioso como en el poco lluvioso, pero en ambas épocas los mayores valores de estas variables se alcanzaron con la dosis de 100 y 200 kg de N ha⁻¹.

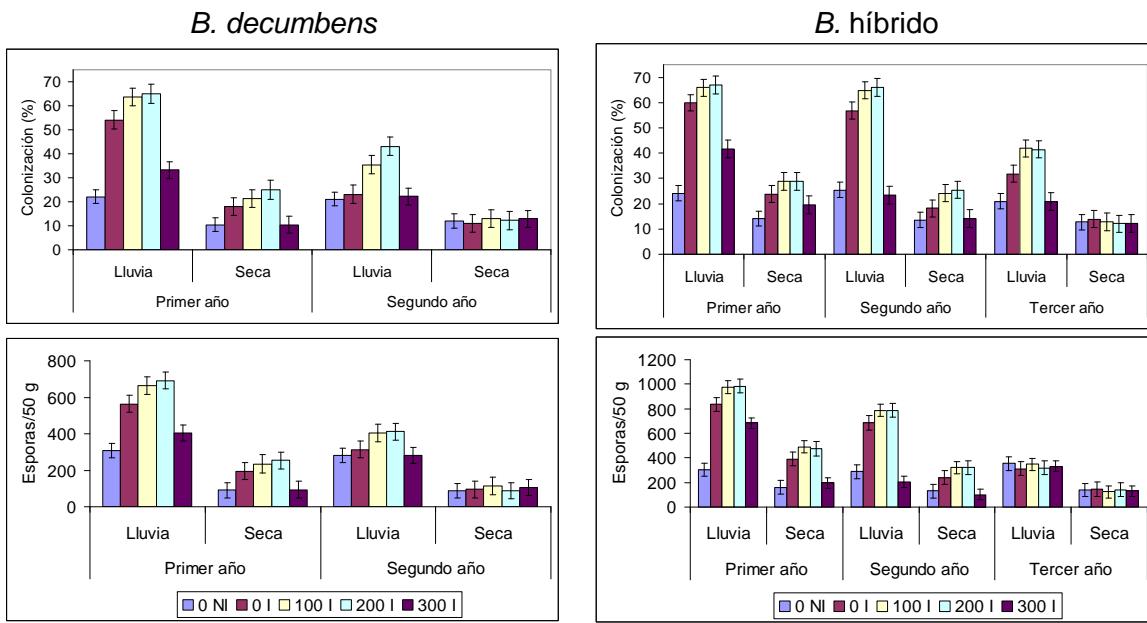


Fig. 1. Estructuras micorrizicas de *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Ferralítico Rojo.

0 NI: 0 kg de N ha^{-1} sin inoculación; 0 I: 0 kg de N ha^{-1} inoculado, 100 I: 100 kg de N ha^{-1} Inoculado; 200 I: 200 kg de N ha^{-1} inoculado; 300 I: 300 kg de N ha^{-1} inoculado.

Con la aplicación de 300 kg de N ha^{-1} , durante el período lluvioso del primer año se observaron porcentajes de colonización micorrízica y densidad de esporas significativamente menores que con las dosis de 100 y 200 kg de N ha^{-1} , y en el período poco lluvioso se obtuvieron valores similares al tratamiento no inoculado, el cual reflejó el nivel de ocupación de las micorrizas nativas. Las adiciones de 100 y 200 kg de N ha^{-1} contribuyeron a prolongar hasta el segundo año, pero sólo durante la época de lluvia, el efecto de la cepa de HMA en el porcentaje de colonización micorrízica y la densidad de esporas, cuyos valores superaron al resto de los tratamientos, aunque fueron significativamente menores que los alcanzados con esas mismas dosis de N durante la época de lluvia del primer año. En *B. híbrido* se observó una mayor permanencia del efecto de la inoculación en las estructuras micorrízicas del pasto, en relación con *B. decumbens*. *G. hoi-like* también incrementó los porcentajes de colonización radical y la densidad de esporas, pero a diferencia de *B. decumbens*, este efecto se mantuvo hasta la época de lluvia del tercer año para la colonización y hasta la época de seca del segundo año para la densidad de esporas, aunque los valores fueron significativamente menores que los alcanzados en esas mismas épocas durante los dos primeros años. De igual modo, los mayores porcentajes de colonización radical y densidad de esporas en cada una de las épocas donde estuvo presente el efecto de la inoculación, se obtuvieron con las aplicaciones de 100 y 200 kg de N ha^{-1} . La aplicación de 300 kg de N ha^{-1} sólo incrementó los niveles de colonización y la densidad de esporas durante el período lluvioso del primer año, pero estos fueron significativamente menores que los alcanzados con las dosis anteriores. Los rendimientos de los pastos tuvieron un comportamiento muy similar a las estructuras micorrízicas. En *B. decumbens* (tabla 2), con las aplicaciones de 0, 100 y 200 kg de N ha^{-1} combinadas con la inoculación de *G. hoi-like*, durante el primer año se obtuvieron rendimientos significativamente mayores que los alcanzados con esas mismas dosis de N en ausencia de inoculación. La aplicación de 200 kg de N ha^{-1} más la inoculación de esta cepa produjo rendimientos similares a los obtenidos con la dosis de 300 kg de N ha^{-1} sin inocular. Tabla 2. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. hoi-like* en los rendimientos (t de MS ha^{-1}) de *B. decumbens* cultivado en suelo Ferralítico Rojo.

N (kg ha ⁻¹)	Tratamientos	Primer año		Segundo año	
		Inoc.	Lluvia	Seca	Lluvia
0	NI	7.71 d	3.10 d	5.74 f	2.96 d
100	NI	9.78 c	4.24 c	7.78 e	4.04 c
200	NI	12.81 b	5.31 b	10.74 c	4.82 b
300	NI	15.06 a	6.36 a	13.88 a	6.08 a
0	I	9.69 c	4.32 c	5.77 f	3.04 d
100	I	12.55 b	5.40 b	9.13 d	4.08 c
200	I	15.04 a	6.35 a	12.08 b	4.83 b
300	I	15.18 a	6.35 a	13.75 a	6.06 a
ES		0.36**	0.22**	0.32**	0.16**

NI: no inoculado NI: inoculado con *G. hoi-like*

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P< 0.05, según dócima de Duncan.

En el segundo año, el efecto de la inoculación se observó hasta el período lluvioso, pero sólo en los tratamientos donde se aplicaron 100 y 200 kg de N ha⁻¹ combinados con *G. hoi-like*. Ambos tratamientos produjeron rendimientos significativamente mayores que los obtenidos con estas mismas dosis sin inoculación; sin embargo, a diferencia del primer año, con la adición de 200 kg de N ha⁻¹ más *G. hoi-like* se obtuvieron rendimientos significativamente menores que con la aplicación de 300 kg de N ha⁻¹ sin inocular, lo que sin dudas reflejó una disminución de la efectividad de la inoculación durante este período. El comportamiento de los rendimientos y las estructuras micorrízicas de pasto indicaron que la permanencia del efecto de la inoculación de *G. hoi-like* en *B. decumbens* cultivado en el suelo Ferralítico Rojo se prolongó hasta el período lluvioso del segundo año, pero sólo cuando se aplicaron 100 y 200 kg de N ha⁻¹. La efectividad de la inoculación durante el segundo año fue menor que durante el primero. En *B. híbrido* (tabla 3), con las aplicaciones de 0, 100 y 200 kg de N ha⁻¹ combinadas con la inoculación de *G. hoi-like*, también se obtuvieron rendimientos significativamente mayores que con esas mismas dosis de N sin inocular, pero a diferencia de *B. decumbens*, esta respuesta se observó con la misma efectividad tanto en el primero como en el segundo año. En ambos, la fertilización nitrogenada a razón de 200 kg de N ha⁻¹ combinada con la inoculación de *G. hoi-like* produjo rendimientos similares a los alcanzados con la aplicación de 300 kg de N ha⁻¹ en ausencia de inoculación. La influencia de la cepa introducida en esta especie de pasto se mantuvo hasta el período lluvioso del tercer año, aunque la efectividad de la inoculación en el rendimiento de los pastos, al igual que en las estructuras micorrízicas, fue menor que en los dos primeros años.

Tabla 3. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. hoi-like* en los rendimientos (t de MS ha⁻¹) de *B. híbrido* cultivado en suelo Ferralítico Rojo.

N (kg ha ⁻¹)	Tratamientos	Primer año		Segundo año		Tercer año	
		Inoc.	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia
0	NI	11.14 d	4.53 d	10.39 d	4.31 d	8.39 f	3.51 d
100	NI	13.20 c	6.20 c	12.45 c	5.42 c	11.96 d	4.65 c
200	NI	15.23 b	6.84 bc	14.34 b	6.48 b	14.36 c	5.84 b
300	NI	17.55 a	8.45 a	16.54 a	7.54 a	17.29 a	6.95 a

0	I	13.08 c	6.17 c	12.40 c	5.42 c	8.45 f	3.56 d
100	I	15.05 b	6.93 b	14.57 b	6.51 b	13.51 c	4.72 c
200	I	17.32 a	8.52 a	16.61 a	7.61 a	15.68 b	5.88 b
300	I	17.67 a	8.47 a	16.56 a	7.58 a	17.35 a	7.02 a
ES		0.27**	0.15**	0.33**	0.14**	0.30**	0.19**

NI: no inoculado NI: inoculado con *G. hoi-like*

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a $P < 0.05$, según díctima de Duncan.

Permanencia de la efectividad de la inoculación de *G. intraradices* en *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Pardo Mullido.

En los experimentos que se realizaron en el suelo Pardo Mullido con los pastos *B. decumbens* y *B. híbrido*, la inoculación de la cepa eficiente (*G. intraradices*) incrementó los niveles de colonización micorrízica y la densidad de esporas durante primer año, en los tratamientos donde se aplicaron 0, 100 y 200 kg de N ha^{-1} ; los mayores valores de ambas variables, tanto en el período lluvioso como en el poco lluvioso, también se obtuvieron con las dosis de 100 y 200 kg de N ha^{-1} (figura 2). Con la aplicación de 300 kg de N ha^{-1} combinada con la inoculación de esta cepa se observaron porcentajes de colonización y densidad de esporas similares al tratamiento sin inocular. En ambas especies de pastos, el efecto de la inoculación de *G. intraradices* en las estructuras micorrízicas se observó solamente durante el primer año.

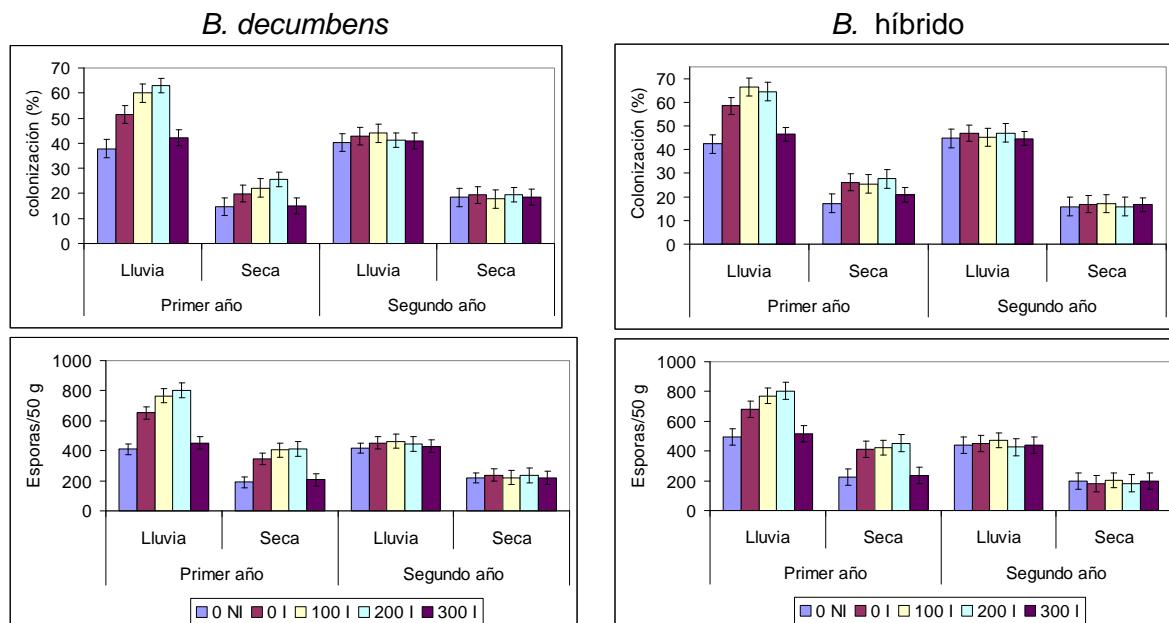


Fig. 2. Estructuras micorrízicas de *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Pardo Mullido.

0 NI: 0 kg de N ha^{-1} sin inoculación; 0 I: 0 kg de N ha^{-1} inoculado, 100 I: 100 kg de N ha^{-1} Inoculado; 200 I: 200 kg de N ha^{-1} inoculado; 300 I: 300 kg de N ha^{-1} inoculado.

Los rendimientos también tuvieron un comportamiento similar a la colonización micorrízica (tablas 4 y 5); es decir, con la inoculación de *G. intraradices*, sola o combinada con la aplicación de 100 y 200 kg de N ha^{-1} , la producción de MS de ambos pastos en el primer año fue

significativamente mayor que la obtenida con estos mismos tratamientos sin la presencia de la cepa de HMA.

Tabla 4. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. intraradices* en los rendimientos (t de MS ha⁻¹) de *B. decumbens* cultivado en suelo Pardo Mullido.

Tratamientos N (kg ha ⁻¹)	Primer año		Segundo año		
	Inoc.	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
0	NI	8.87 d	3.66 d	7.89 d	3.26 d
100	NI	10.69 c	4.79 c	10.89 c	4.30 c
200	NI	13.98 b	5.88 b	12.89 b	5.03 b
300	NI	16.21 a	6.92 a	14.95 a	6.65 a
0	I	10.86 c	4.89 c	7.97 d	3.17 d
100	I	13.72 b	5.97 b	10.90 c	4.08 c
200	I	16.29 a	6.90 a	12.94 b	5.02 b
300	I	16.25 a	6.93 a	15.08 a	6.68 a
ES		0.32**	0.22**	0.33**	0.21**

NI: no inoculado NI: inoculado con *G. intraradices*

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P< 0.05, según dócima de Duncan.

Durante el primer año, tanto en la época lluviosa como en la poco lluviosa, con la aplicación de 200 kg de N ha⁻¹ más la inoculación de *G. intraradices* se obtuvieron rendimientos similares a los alcanzados con 300 kg de N ha⁻¹ sin inocular. En el segundo año la cepa inoculada no tuvo efectos en los rendimientos de los pastos.

Tabla 5. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. intraradices* en los rendimientos (t de MS ha⁻¹) de *B. híbrido* cultivado en suelo Pardo Mullido.

Tratamientos N (kg ha ⁻¹)	Primer año		Segundo año		
	Inoc.	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
0	NI	9.99 d	3.76 d	9.03 d	3.31 d
100	NI	11.99 c	4.96 c	10.94 c	4.59 c
200	NI	13.96 d	6.08 b	13.01 b	5.70 b
300	NI	16.10 a	7.03 a	14.90 a	6.83 a
0	I	12.21 c	5.15 c	9.11 c	3.33 c
100	I	14.09 b	6.21 b	11.03 b	4.54 b
200	I	16.03 a	7.01 a	13.00 a	5.67 a
300	I	16.27 a	6.97 a	15.01 a	6.80 a
ES		0.37**	0.20**	0.31**	0.18**

NI: no inoculado NI: inoculado con *G. intraradices*

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P< 0.05, según dócima de Duncan.

El comportamiento de las estructuras micorrizicas y los rendimientos indicaron que el efecto de *G. intraradices* en *B. decumbens* y *B. híbrido* cultivados en suelo Pardo Mullido se mantuvo sólo durante el primer año, aunque la efectividad de la inoculación de esta cepa en ambas especies de pastos fue mayor cuando estos se fertilizaron con 200 kg de N ha⁻¹.

En la figura 3 se presenta el efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de la cepa de HMA *G. mosseae* en las estructuras micorrízicas de *B. decumbens* cultivado en suelo Gley Nodular Ferruginoso. Las dosis de N fueron menores que las aplicadas en los experimentos anteriores debido a que este se realizó en condiciones de secano y el pasto se cortó y fertilizó con N solamente tres veces al año durante el período lluvioso.

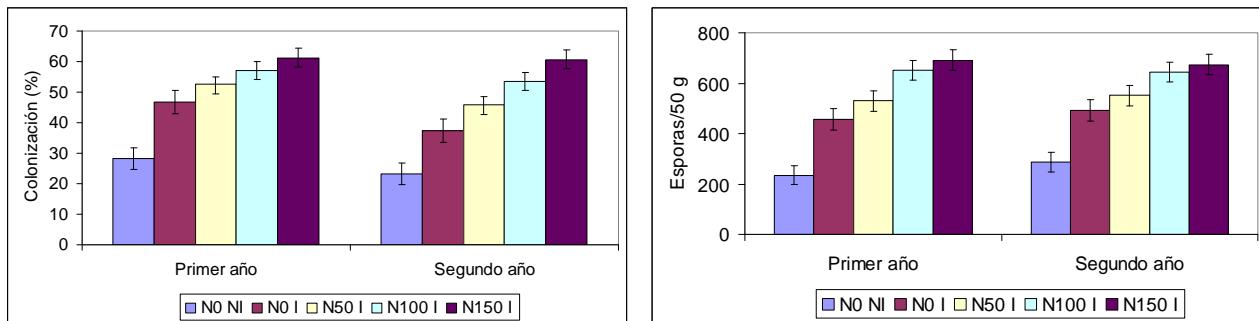


Fig. 3. Estructuras micorrízicas de *B. decumbens* cultivado en suelo Gley Nodular Ferruginoso.
 NO NI: 0 kg de N ha⁻¹ sin inoculación; NO I: 0 kg de N ha⁻¹ inoculado, N50 I: 50 kg de N ha⁻¹ inoculado; N100 I: 100 kg de N ha⁻¹ inoculado; 150 I: 150 kg de N ha⁻¹ inoculado.

Se observó un efecto significativo de la inoculación de la cepa de HMA en los porcentajes de colonización micorrízica y la densidad de esporas, los cuales fueron aumentando a medida que se incrementaron las dosis de N, hasta alcanzar los valores más altos con la aplicación de 150 kg de N ha⁻¹. Estas variables tuvieron un comportamiento muy similar durante el segundo año.

Los rendimientos (tabla 5) siguieron el mismo patrón de respuesta de la colonización micorrízica; o sea, durante los dos años las dosis de 0, 50, 100 y 150 kg de N ha⁻¹ combinadas con la inoculación de *G. mosseae* produjeron rendimientos significativamente mayores que los obtenidos con estas mismas dosis de N sin inocular. En este experimento los rendimientos más altos se obtuvieron con la aplicación de 150 kg de N ha⁻¹ más la inoculación de *G. mosseae*.

Tabla 5. Efecto de la fertilización nitrogenada y la inoculación de *G. mosseae* en los rendimientos (t de MS ha⁻¹) de *B. decumbens* cultivado en suelo Gley Nodular Ferruginoso.

Tratamientos N (kg ha ⁻¹)	Inoc.	Primer	Segundo
		año	año
0	NI	7.25 f	5.43 g
50	NI	8.42 ef	6.71 f
100	NI	9.58 de	7.95 de
150	NI	10.72 cd	9.19 c
0	I	9.51 de	7.05 ef
50	I	10.89 c	8.39 cd
100	I	12.35 b	10.61 b
150	I	13.59 a	12.22 a
ES		0.43**	0.42**

NI: no inoculado NI: inoculado con *G. mosseae*

Promedios con letras no comunes en la misma columna difieren significativamente a P< 0.05, según dócima de Duncan.

De este modo, la permanencia de la inoculación de *G. mosseae*, tanto en las estructuras micorrízicas como en los rendimientos de *B. decumbens* cultivado en suelo Gley Nodular Ferruginoso, se mantuvo durante los dos años y con similares índices de efectividad.

Varios aspectos deben resaltarse, a partir del análisis integral de los resultados de los experimentos donde se combinaron dosis de N con la inoculación de cepas de HMA eficientes para cada condición edáfica. En primer lugar, la influencia de la fertilización nitrogenada en la permanencia del efecto de la inoculación en los pastos. En los experimentos que se condujeron en los suelos Ferralítico Rojo y Pardo Mullido, los mayores porcentajes de colonización radical y densidades de esporas en la rizosfera, así como la mayor permanencia del efecto de la inoculación en estas variables, se alcanzaron cuando se aplicó 200 kg de N $ha^{-1} año^{-1}$. Esta dosis, de acuerdo con los rendimientos obtenidos en cada suelo, resultó la más adecuada para los pastos inoculados. Niveles menores o mayores de N promovieron un menor desarrollo de las estructuras micorrízicas y limitaron en el espacio y el tiempo el efecto de la inoculación en los rendimientos de los pastos.

En el suelo Gley Nodular Ferruginoso, debido a las condiciones en que se condujo el experimento, las dosis de N aplicadas fueron más bajas que las que comúnmente demanda *B. decumbens* para producir altos rendimientos de biomasa (Fagundes *et al.*, 2005). Ello pudiera explicar el hecho de que con la dosis más alta de N (150 kg ha^{-1}) combinada con la inoculación de la cepa de HMA eficiente, se obtuviera un mayor desarrollo de las estructuras micorrízicas y el mayor rendimiento del pasto. No obstante, la permanencia de la inoculación con similares índices de efectividad durante los dos años también pudiera atribuirse a la baja frecuencia de corte que tuvo este experimento (3 cortes por año, solo durante el período lluvioso). Se ha demostrado que con un régimen moderado de corte o pastoreo, la planta hospedera puede disponer de mayores cantidades de C y fotosintatos para la formación de estructuras micorrízicas y en consecuencia, incrementar sus niveles de colonización y la densidad de esporas en la rizosfera (Lugo *et al.*, 2003).

No hay dudas de que la inoculación de cepas de HMA eficientes acompañada de un suministro óptimo de nutrientes para los cultivos inoculados, incrementa los niveles de colonización radical y los rendimientos de los cultivos inoculados. En este caso, un suministro óptimo de nutrientes se obtiene con la aplicación de dosis de fertilizantes más bajas que las que demandan esos cultivos cuando no son inoculados (Rivera y Fernández, 2003).

Por otra parte, Egerton *et al.* (2007) y Cornejo *et al.* (2008) demostraron el efecto positivo de la fertilización nitrogenada en la formación estructuras micorrízicas en las gramíneas forrajeras. Estos últimos autores también señalaron que las aplicaciones de cantidades de N que exceden los requerimientos de los pastos suelen reducir los niveles de colonización micorrízica y la densidad de esporas en la rizosfera, ya que las plantas dependen menos de las micorrizas para acceder a este nutriente.

Otro aspecto importante lo fue la influencia de la especie de pasto en la permanencia del efecto de la inoculación de las cepas de HMA. En los experimentos que se realizaron en el suelo Ferralítico Rojo, aun cuando los pastos fueron inoculados con la misma cepa de HMA y se cultivaron bajo las mismas condiciones, la mayor permanencia de la inoculación se observó en *B. híbrido*, lo cual evidenció una mayor habilidad de esta especie, en relación con *B. decumbens*, para prolongar el efecto de la cepa introducida, al menos en las condiciones en que se condujeron estos experimentos.

En este sentido, Cornejo (2006) planteó que aunque no existe evidencia de una especificidad estricta hongo-planta, se ha puesto en evidencia 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 sobre la expresión genotípica de ambos simbiontes, lo que se refleja en un distinto nivel de eficacia de la asociación formada entre una planta y los HMA presentes en el medio.

El tipo de suelo y probablemente la cepa de HMA introducida, también influyeron en la permanencia de la efectividad de la inoculación. A diferencia de lo observado en el suelo Ferralítico Rojo, donde el efecto de *G. hoi-like* se observó hasta el segundo año en *B. decumbens* y hasta el tercero en *B. híbrido*, el efecto de la inoculación de *G. intraradices* en ambas especies de pastos cultivadas en el suelo Pardo Mullido se observó solamente durante el primer año.

Teniendo en cuenta el mayor contenido de propagulos micorrízicos nativos que presentó el suelo Pardo con respecto al suelo Ferralítico (lo cual se pudo observar a través de los niveles de colonización radical y las densidades de esporas que alcanzaron en ambos suelos los tratamientos no inoculados), se puede presumir que en este suelo se estableció una mayor competencia entre *G. intraradices* y los HMA nativos para ocupar los sitios de colonización de las raíces de los pastos, y ello pudo limitar la permanencia de la cepa en el sistema suelo-planta (de Miranda et al, 2008). Tampoco puede descartarse la influencia de las características genotípicas de las cepas introducidas y su capacidad para colonizar las raíces de los pastos bajo las condiciones de cada suelo, en la permanencia del efecto de su inoculación (Herrera et al, 2010).

No menos interesantes resultaron las variaciones estacionales que presentaron las estructuras micorrízicas de los pastos, ya que durante el período lluvioso de cada año, en todos los tratamientos se observaron niveles de colonización radical y densidades de esporas significativamente mayores que durante el período de menores precipitaciones, lo que coincidió con la distribución de la producción de biomasa de los pastos a lo largo del año, donde los mayores rendimientos también se obtuvieron durante la época de lluvia.

Según García y Mendoza (2008), el rápido crecimiento de los pastos durante el período en que concurren los mayores niveles de precipitaciones, temperatura y luminosidad, propicia una mayor demanda de nutrientes y de hecho, la síntesis de sustancias carbonadas y otros fotosintatos que intervienen en la simbiosis, lo cual se expresa en la formación de mayores cantidades de estructuras fúngicas.

Los resultados obtenidos en este trabajo indicaron que, en las condiciones en que se realizaron los experimentos, la mayor efectividad y permanencia de la inoculación de cepas HMA eficientes se obtuvo cuando los pastos recibieron un suministro adecuado de nitrógeno. De igual modo, la especie de pasto y su manejo, la cepa introducida y las condiciones del suelo, influyeron en la permanencia del efecto de la inoculación en estos cultivos.

Referencias:

- Carneiro, R. F. V., Martins, M. A., Freitas, Marta, S. 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 (3): 212.218.
- 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. Facultas de Ciencias. 2006. ISBN 978-84-338-4026-4. Estación Experimental del Zaidín. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Granada. 266 p.
- Cornejo, P. E., Rubio. R. & Borie. F. 2008. Effect of nitrogen source on some rhizospheric properties and persistence of mycorrhizal fungal propagules in an Andisol. Chilean J. of Agric. Res. 68: 119-127.
- Egerton, Louise, M., Collins, Nancy & Allen Edith, B. 2007. Mycorrhizal community dynamics following nitrogen fertilization: a cross-site test in five grasslands. Ecol. Monographs. 77 (4): 527-544.
- Fagundes, J. L., Miranda, D., Gomide, J. A., do Nascimento, D., Teixeira, V., Vieira, R., Mistura, C., da Cunha, G., Azevedo, J. 2005. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. Pesq. Agropec. Bras. 40 (4): 397-403. 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.* 46:235–244.
- Giovanetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.* 84: 489.
- 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.
- Herrera R.A., Ferrer R.L., Furrazola E. y Orozco M.O. 1995. Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales. (Eds. Maximina Monasterio) programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida.
- Herrera, R. Hamel, C., Fernández, F., Ferrer, R. & Furrazola, E. 2010. Soil-strain compatibility: the key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants? *Mycorrhiza*. DOI 10.1007/s00572-010-0322-6
- Johnson, N. C., Rowland, D. L., Corkidi, L., Egerton, L. M. & Allen, E. B. 2003. Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semi-arid grasslands. *Ecology*. 84: 1895.
- Kanno, T., Saito, M., Ando, Y., Macedo, M. C. M., Nakamura, T. & 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. *Tropical Grasslands*. 40: 94.
- Lugo, M. A., González, M. E. & Cabello, M. N. 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi in a mountain grassland II: Seasonal variation of colonization studied, along with its relation to grazing and metabolic host type. *Mycologia*, 95: 407.
- Marrero, Y.. Simó, J., Ruiz. L., Rivera, R. & Plana, R. 2008. Influencia del laboreo sobre el manejo de la simbiosis micorrízica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un suelo Pardo con Carbonatos. *Cultivos Tropicales*. 29 (2): 11-15
- NC. 32, 51, 52, ISO 10390. 1999. Calidad del suelo. Determinación de pH y la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, Determinación del porcentaje de materia orgánica, Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. Ciudad de La Habana. MINAG, Cuba.
- NC 65. 2000. Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo. Ciudad de La Habana. MINAG, Cuba.
- 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. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- 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. Ed. Rivera, R. & Fernández, K. Ed. INCA, p. 111- 131.
- Vestberg, M., Saari, K., Kukkonen, S. & Hurme, T. 2005. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil. *Mycorrhiza*. 15: 447.