

## Efecto de la *Canavalia ensiformis* y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz

Gloria M. Martín, R. Rivera, Lianne Arias y M. Rentería

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Gaveta Postal No 1, San José de las Lajas,  
La Habana CP 32700

Correo electrónico: glori@m@inca.edu.cu.

Se evaluó el crecimiento y desarrollo de la canavalia (*Canavalia ensiformis*) y se determinó su influencia en conjunto con fertilización mineral y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), cepa *Glomus hoi like* (Berch & Trappe), en el funcionamiento micorrízico, el suministro de nutrientes y el rendimiento del maíz (*Zea mays*). El suelo empleado fue un nitisol ródico éutrico. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro réplicas. Se evaluaron cuatro tipos de rotaciones: canavalia o barbecho precedentes del maíz y la inoculación de este cultivo con HMA. En cada rotación se compararon cinco dosis de fertilizante mineral nitrogenado (0, 50, 100, 150 y 200 kg de N/ha). Con respecto al barbecho, canavalia incorporó una cantidad mucho mayor de masa seca y nutrientes, debido al aporte por fijación biológica del nitrógeno (FBN). El número de esporas de HMA aumentó con la incorporación de canavalia al suelo. Se obtuvieron rendimientos significativamente mayores en las rotaciones donde se incorporó canavalia y se inocularon cepas efectivas de HMA. La presencia del abono verde hizo que disminuyera la dosis mínima de nutrientes, de 129 kg de N/ha a 100 kg de N/ha, necesaria para lograr el rendimiento máximo estable. Esta dosis disminuye aún más (50 kg de N/ha) en presencia de cepas efectivas de HMA.

Palabras clave: abonos verdes, maíz, micorrizas, respuesta al fertilizante

El maíz (*Zea mays*) es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, pues constituye un componente básico en la nutrición humana y animal. Para alcanzar rendimientos elevados en este cultivo es necesario el manejo eficiente de la nutrición nitrogenada, que conlleva a resultados económicos positivos (Melgar y Torres 2006).

La inserción de abonos verdes en la rotación de cultivos incrementa las entradas de nitrógeno (N) al sistema por vía de la fijación biológica (FBN), garantiza el balance positivo del N y reduce las necesidades de aplicar este nutriente al cultivo sucesor (Alves *et al.* 2006, Guerra y de Almeida 2008 y Nieto *et al.* 2008). La canavalia (*Canavalia ensiformis*) es una leguminosa muy utilizada como abono verde y también tiene aplicación como forraje en la alimentación animal.

La simbiosis micorrízica en los cultivos incrementa la absorción de nutrientes y agua, aumentando los rendimientos al integrarse su manejo con dosis bajas y medias de fertilizantes que se obtienen mediante la inoculación de cepas eficientes, según el tipo de suelo (Rivera y Fernández 2006 y Rivera *et al.* 2008).

A partir de la importancia que tiene el empleo de abonos verdes y hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en la agricultura, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de la canavalia que

se utiliza como abono verde en rotación y su influencia en algunas de las propiedades biológicas del suelo; además de determinar su efecto, y el de la fertilización mineral y la inoculación con HMA en el funcionamiento micorrízico, el suministro de nutrientes y el rendimiento del maíz.

### Materiales y Métodos

En el Departamento de Servicios Agrícolas del INCA, ubicado a 138 msnm, se realizó un experimento en condiciones de campo en suelo Nitisol Ródico Éutrico (WRB 2003), para determinar la influencia de la canavalia en rotación y el efecto de cinco dosis de fertilización mineral y de la inoculación con HMA en el funcionamiento micorrízico, la absorción de N y el rendimiento del maíz. En la tabla 1 se muestran algunas propiedades químicas iniciales del suelo durante el período mayo-octubre de 2003 y 2006.

Durante el primer año (2003) del experimento se establecieron las siguientes rotaciones: 1) barbecho por dos meses y siembra posterior de maíz, 2) canavalia como abono verde precedente al cultivo de maíz y 3) canavalia como precedente. El maíz se inoculó con la cepa de HMA *Glomus hoi like* (Berch & Trappe), cepa INCAM 4, procedente del cepario del INCA por aplicación de recubrimiento de semillas. En las rotaciones 1 y 2, el

Tabla 1. Caracterización inicial del suelo utilizado en el experimento (prof. 0–20 cm)

Año	pH	M.O (%)	P (mg.kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Na	# Esporas HMA . 50 g suelo <sup>-1</sup>
				(cmol . kg <sup>-1</sup> )				
2003	7.00	1.80	419.40	12.50	3.18	0.81	0.12	225.5
2006	7.25	1.34	430.75	12.03	3.60	0.64	0.05	307.75

pH potenciómetro (relación suelo:solución: 2:5); M.O. (Materia orgánica del suelo) Walkley Black; P por Oniani (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1N) y cationes intercambiables (NH<sub>4</sub>Ac pH 7), # esporas HMA Sieverding (1991).

maíz se sembró sin inoculación con HMA. Se utilizó la variedad mejorada de maíz Francisco. El diseño experimental empleado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Durante el 2006 se estudiaron las mismas rotaciones descritas para el año 2003, añadiéndose una rotación más consistente en barbecho durante dos meses y siembra posterior de maíz inoculado con la misma cepa de HMA. El biofertilizante micorrizógeno presentó concentración de 20 esporas por gramo de inóculo y se aplicó en dosis equivalentes a 2 kg EcoMic/ha. Durante dos meses, el barbecho consistió en mantener el suelo en descanso, dejando crecer libremente las arvenses en las parcelas antes de la siembra de maíz.

En los dos años estudiados, la canavalia precedente al maíz se sembró de forma manual, en mayo, inmediatamente después de las primeras precipitaciones. Se utilizó como marco de plantación con distancia de 0.45 m por 0.30 m y dos semillas por nido.

En cada tipo de rotación se evaluaron cinco dosis crecientes de fertilizante mineral nitrogenado (0, 50, 100, 150 y 200 kg de N/ha). Se utilizó nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) como portador, fraccionado a 50 % de la dosis en el momento de la siembra y a 50 % a los 30 d después de la germinación del maíz (tabla 2). La siembra del maíz se realizó manualmente, en agosto, 20 d después de la incorporación del abono verde. Se empleó como marco de plantación la distancia de 0.90 m x 0.30 m.

A los 60 días después de la germinación, se procedió a la extracción de las plantas de canavalia, comprendidas en 0.45 m<sup>2</sup> por parcela, también se tomaron muestras de las arvenses crecidas en las parcelas que se dejaron en

barbecho para determinar masa seca, contenido de nutrientes y evaluación del funcionamiento fúngico. En este momento también se hizo muestreo de suelos para evaluar el número de esporas de HMA. De todos estos muestreos, se tomó una muestra compuesta por cuatro repeticiones.

La tabla 3 muestra el comportamiento de algunas variables meteorológicas durante el período experimental.

*Evaluaciones realizadas.* A los 60 d después de la germinación e inmediatamente antes de la incorporación del abono verde, se procedió al muestreo por cuadruplicado de 0.45 m<sup>2</sup> de canavalia. También se tomaron muestras de las arvenses crecidas en las parcelas que se dejaron en barbecho natural. El muestreo de las plantas de maíz se realizó a los 60 d después de la germinación.

*Masa seca.* Se determinó secando las plantas extraídas en una estufa, a 70° C, hasta alcanzar valores de peso constante. Los tallos se separaron de las hojas. En el caso de la vegetación natural, se evaluó como parte aérea completa.

*Análisis foliar.* La determinación del contenido de N, P, K (%) y la extracción de N, P, K (mg/planta<sup>-1</sup>) se realizaron a partir de muestras de diferentes órganos de las plantas y se determinaron como porcentaje de masa seca. En el maíz solo se determinó el contenido y extracción de N (AOAC 1995).

- *Nitrógeno (N):* Digestión húmeda con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler.

- *Fósforo (P):* Digestión húmeda con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + Se y determinación colorimétrica con el método del molibdato de amonio

Tabla 2. Tratamientos estudiados en el experimento

	Rotaciones			
	Barbecho - maíz	Abono verde - maíz	Abono verde - maíz + HMA	Barbecho - maíz + HMA <sup>1</sup>
Dosis de fertilizante mineral	0 kg N.ha <sup>-1</sup>			
	50 kg N.ha <sup>-1</sup>			
	100 kg N.ha <sup>-1</sup>			
	150 kg N.ha <sup>-1</sup>			
	200 kg N.ha <sup>-1</sup>			

Barbecho: suelo en descanso por dos meses. Abono verde: *Canavalia ensiformis*. Fertilizante mineral:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Inoculación con HMA: EcoMic® a base de *Glomus hoi like*. <sup>1</sup> Sólo en 2006.

Tabla 3. Comportamiento de las principales variables meteorológicas temperatura (media, mínima y máxima) y precipitaciones durante el período experimental. Estación Meteorológica de Tapaste

Mes	Precipitaciones (mm)	Temperaturas (°C)			Precipitaciones (mm)	Temperaturas (°C)		
		Media	Máxima	Mínima		Media	Máxima	Mínima
		2003				2006		
Mayo	159.5	25.7	31.3	21.6	184.1	24.8	31.3	18.7
Junio	168.2	25.9	31.3	21.7	237.1	25.9	30.8	20.9
Julio	162.4	26.4	31.8	22.4	279.1	26.2	31.7	21.3
Agosto	187.4	25.9	31.5	22.2	110.5	26.1	32.0	21.2
Septiembre	245.1	25.5	31.5	21.7	73.5	26.1	32.5	20.6
Octubre	32.8	24.9	30.6	20.1	101.5	25.3	30.7	20.1

- *Potasio (K)*: Digestión húmeda con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + Se y determinación con fotometría de llama.

La extracción se calculó a partir de los datos de la masa seca de cada órgano y la correspondiente concentración de cada elemento (% N, P, K), utilizándose la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido N,P,K (kg.ha}^{-1}\text{)} = [\text{masa seca (kg.ha}^{-1}\text{)} \times \text{\% elemento}] / 100$$

En el momento de la cosecha de maíz se determinó el rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>). Para ello se tomaron todas las mazorcas comprendidas en el área de cálculo de cada parcela experimental y se pesaron en una balanza técnica. El área de cálculo comprendió los cuatro surcos centrales de cada parcela, sin contar el metro inicial y final de cada surco.

*Colonización micorrízica.* Las raíces de las plantas muestreadas se motearon y se lavaron con agua corriente para eliminar todo el suelo. Posteriormente se secaron al aire. Se tomaron las raicillas más finas y se desmenuzaron. Para las determinaciones se tomaron aproximadamente 200 mg de raicillas por tratamiento. Se secaron a 70°C, para teñirlas según la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970). La evaluación se realizó por el método de los interceptos, desarrollado por Giovanetti y Mosse (1980).

*Conteo de esporas de HMA.* Se realizó por extracción de 50 g suelo, según el método descrito por Gerdeman y Nicolson (1963), basado en el tamizado y decantado por vía húmeda de los propágulos del hongo. Se recolectaron esporas sobre una malla de 40 µm de apertura y se separaron por centrifugación con un gradiente de sacarosa y Tween 80. Se observaron posteriormente en un microscopio óptico (20 – 40 x).

*Procedimiento estadístico.* Se compararon los tratamientos de cada tipo de rotación por separado. Se realizó un análisis de varianza de los datos obtenidos y se comprobó previamente la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza. La colonización radical, al ser una variable de origen binomial, se transformó por el método de arcosen  $\sqrt{x}$ . En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se compararon por la prueba de rango múltiple de Duncan (1955).

Para la interpretación de los datos de la respuesta al fertilizante de cada una de las rotaciones, se realizó el ajuste de datos según el modelo discontinuo rectilíneo, descrito por Waugh *et al.* (1973). Según estos autores, el propósito de la evaluación de los rendimientos en función de la fertilidad del suelo, y la aplicada por diferentes fuentes de nutrientes, es el de predecir la respuesta relativa a los nutrientes del cultivo evaluado, que en este caso es el maíz.

Se desarrolló un programa de evaluación que incluyó el muestreo y evaluación de la fertilidad del suelo, y el montaje del experimento de respuesta a los nutrientes. Posteriormente, se procedió a la evaluación e interpretación de la respuesta y a la aplicación de modelos estadístico-matemáticos que predicen la respuesta del cultivo en evaluación ante las condiciones de crecimiento y desarrollo presentes.

Los modelos discontinuos tienen un punto inicial de respuesta al nutriente, con este al mínimo (factor limitante) y un punto final, que es el rendimiento máximo estable. Una vez obtenidos los datos experimentales, se ordenaron en función de las dosis crecientes de nutrientes. Se estableció la significación estadística del rendimiento entre los niveles de los tratamientos. Se estableció el rendimiento máximo estable, la pendiente de la respuesta y el punto de inflexión del rendimiento.

Al final se realizó la interpretación matemática de respuesta al nutriente, según el modelo discontinuo rectilíneo.

La interpretación mediante el modelo discontinuo ofrece estimaciones lógicas de los requerimientos de los nutrientes. La interpretación curvilínea de esos mismos datos da predicciones del rendimiento máximo estable, muy por encima de cualquier observación realizada en los experimentos. Como resultado se obtienen predicciones irrazonables del requerimiento de nutrientes.

En este trabajo se utilizó el software desarrollado por el INCA, que realiza el ajuste de datos según el modelo discontinuo rectilíneo propuesto por Waugh *et al.* (1973). El modelo que se ajusta es el siguiente:

$$y = \{ a x + b , 0 \leq x \leq \text{rec } x ; y_{\text{max}} , x \geq \text{rec } x$$

### Resultados y Discusión

*Crecimiento y desarrollo de la canavalia empleada como abono verde precedente al maíz.* La tabla 4 muestra los resultados del análisis del material vegetal

Tabla 4. Masa seca y contenido de nutrientes de *Canavalia ensiformis* y barbecho natural en las parcelas principales del experimento. Plantas con 60 d de edad

Años	Tratamientos	Masa seca (Mg.ha <sup>-1</sup> )	Contenido de nutrientes (kg.ha <sup>-1</sup> )		
			N	P	K
2003	Barbecho	3.67 <sup>b</sup>	89.59 <sup>b</sup>	12.57 <sup>b</sup>	98.50 <sup>b</sup>
	<i>Canavalia ensiformis</i>	9.76 <sup>a</sup>	291.25 <sup>a</sup>	31.53 <sup>a</sup>	241.67 <sup>a</sup>
	EE ±	1.67*	56.96*	4.06*	39.42*
2006	Barbecho	3.62 <sup>b</sup>	32.44 <sup>b</sup>	6.22 <sup>b</sup>	81.56
	<i>Canavalia ensiformis</i>	8.52 <sup>a</sup>	130.13 <sup>a</sup>	17.52 <sup>a</sup>	124.94
	EE ±	1.03 *	0.14 *	0.14 *	0.15 N.S.

<sup>a,b</sup> Medias con letras distintas en la misma columna dentro de cada año, difieren a P < 0.05 (Duncan 1955). Barbecho: suelo en descanso por dos meses. \*P < 0.05

incorporado, la canavalia y la vegetación natural del barbecho en las rotaciones estudiadas.

Los contenidos de masa seca y nutrientes entre los tratamientos de barbecho y canavalia tuvieron diferencias en los dos años estudiados. En cualquiera de estos, el crecimiento en masa seca y la acumulación de nutrientes por la canavalia fue muy superior a la vegetación natural del barbecho.

Al comparar el contenido de N, P y K en los tejidos foliares de la canavalia se observaron diferencias en los dos años estudiados. En este experimento hubo diferencias en el comportamiento de las temperaturas durante los dos años en estudio (tabla 3). Las temperaturas mínima y máxima durante el 2003 fueron superiores a informadas en el 2006. Durante el período de crecimiento de la canavalia, las precipitaciones resultaron superiores durante el 2006, con respecto al 2003.

Es posible que las diferencias en el contenido de nutrientes entre los dos años se deban a una disminución de la eficiencia de las cepas de *Rhizobium* nativo del suelo durante el segundo año, debido a las incidencias climáticas.

Jiménez y Peña (2000) plantearon que la eficiencia de las cepas de *Rhizobium* que realizan el proceso de FBN puede afectarse por la temperatura o por la cantidad de agua en el suelo. De esta manera disminuye el proceso simbiótico, y al haber menor cantidad de N en las plantas también se hace menor la absorción de otros elementos como P y K.

Al evaluar los nutrientes contenidos en abonos verdes y vegetación natural, Espíndola *et al.* (2004) informaron que especies como canavalia acumulan mucho más N que otras especies de plantas no leguminosas del barbecho. Estos autores sugirieron que una posible explicación se deba a la mayor fitomasa aérea producida por las leguminosas y a la FBN, además de que también presentaron cantidades más elevadas de P y K en sus tejidos.

Al analizar el funcionamiento fúngico (tabla 5), se encontró el mismo tipo de respuesta. En los dos años evaluados, el tratamiento con canavalia aumentó el número de esporas con respecto al inicial (de 225.5 a 314 para 2003 y de 307.75 a 322 para 2006), mientras que el barbecho disminuyó el número de esporas en el suelo. El porcentaje de colonización radical fue

significativamente superior en la canavalia con respecto a las especies que componían el barbecho.

En esta disminución del número esporas de HMA en el suelo en barbecho pudo influir que el número de esporas inicial era alto y las especies crecidas en el barbecho no fueron lo suficientemente dependientes y eficientes como para mantener y multiplicar el número de propágulos micorrízicos en el suelo.

Algunas prácticas como el abonado verde pueden aumentar la presencia de los propágulos infectivos de HMA en el suelo (Espíndola *et al.* 1998 y Rivera *et al.* 2007). Además, la canavalia es una especie de alta respuesta micorrízica. El cultivo de este tipo de plantas puede aumentar el potencial de inóculo de HMA en el suelo.

Duponnois *et al.* (2001), entre otros autores, indicaron que si bien en barbecho la micorrización natural disminuye, diferentes especies de abonos verdes incrementaron los propágulos nativos de HMA en el suelo, en relación directa con la producción de masa seca de estas plantas.

En las figuras 1 y 2 se presenta el ajuste de respuesta de los rendimientos de maíz al fertilizante nitrogenado en los diferentes tipos de rotaciones en estudio, según el modelo discontinuo rectilíneo propuesto por Waugh *et al.* (1972). Se obtuvo una respuesta positiva a la incorporación de canavalia a la inoculación del maíz con una cepa eficiente de HMA y a la aplicación de dosis de fertilizante mineral. Esto se reflejó en el incremento de los rendimientos del cultivo en los dos años de estudio. Además, se obtuvieron los mayores valores en las rotaciones con abono verde, inoculación de HMA y dosis intermedias de fertilizantes minerales.

Durante el primer año evaluado, también se obtuvieron altos rendimientos en la rotación de barbecho y altas dosis de fertilización mineral. Esto se corresponde con lo informado como dosis óptima para el cultivo del maíz en este tipo de suelo (150 kg de N/ha).

Al analizar el ajuste de respuesta al fertilizante durante el primer año de estudio, se encontró que la cantidad del nutriente requerida es de 129.03 kg de N/ha, para obtener un rendimiento máximo estable de 6.70 Mg/ha en la rotación con el barbecho y de 100 kg de N/ha, para rendimientos de 7.06 Mg/ha en la rotación con abono

Tabla 5. Comportamiento de algunas variables de funcionamiento fúngico en la *Canavalia ensiformis* y el barbecho. Plantas con 60 días de edad.

Años	Tratamientos	% Colonización	# esporas en 50 g suelo seco (0 - 15 cm)
2003	Barbecho	39.88 <sup>b</sup>	204.5 <sup>b</sup>
	<i>Canavalia ensiformis</i>	62.69 <sup>a</sup>	314.0 <sup>a</sup>
	EE ±	1.04*	20.05*
2006	Barbecho	34.38 <sup>b</sup>	164.38 <sup>b</sup>
	<i>Canavalia ensiformis</i>	43.13 <sup>a</sup>	322.75 <sup>a</sup>
	EE ±	0.91 *	17.64 *

<sup>a</sup><sup>b</sup> Medias con letras distintas en la misma columna dentro de cada año, difieren a P < 0.05 (Duncan 1955). Barbecho: suelo en descanso por dos meses. \*P < 0.05

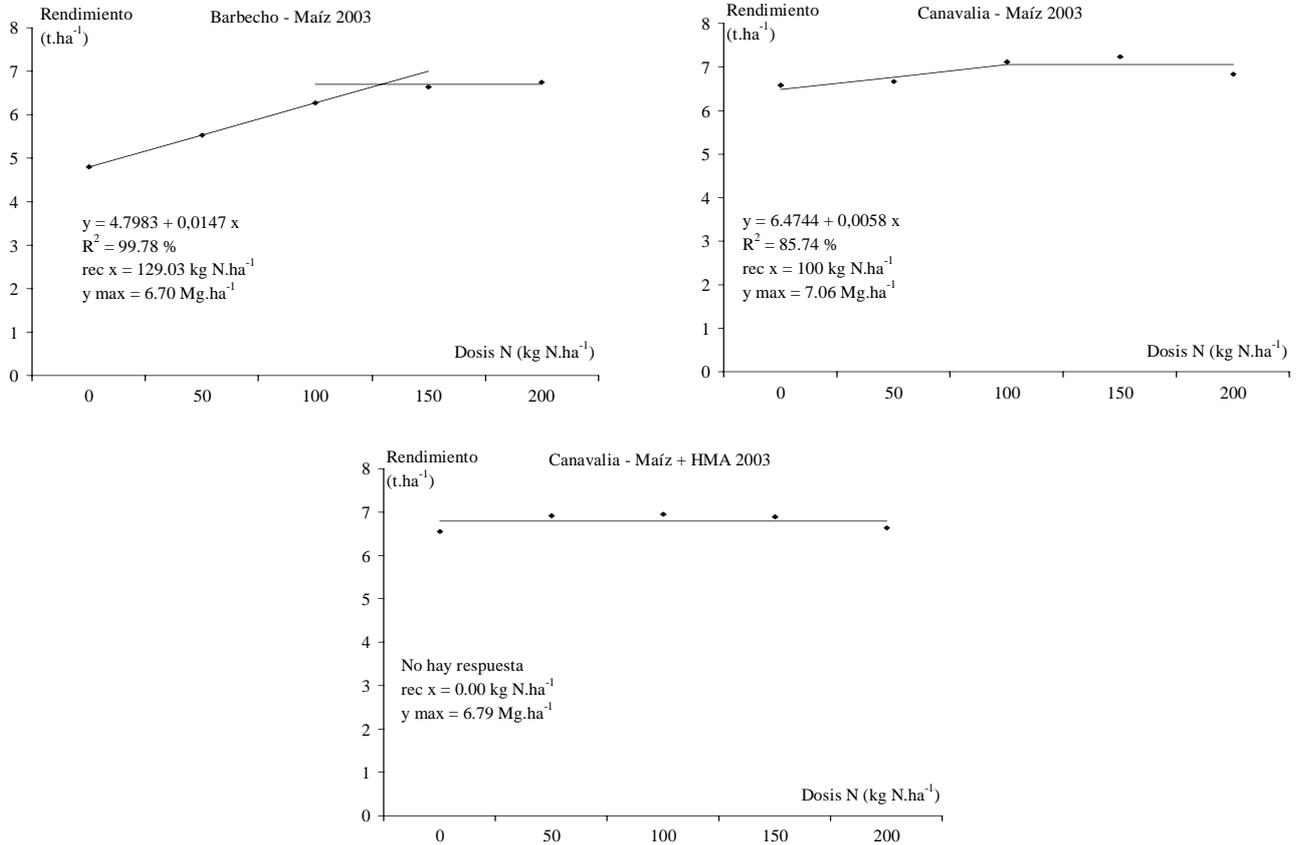


Figura 1. Modelo discontinuo rectilíneo de respuesta al fertilizante de los tratamientos estudiados. 2003. HMA: EcoMic® a base de *Glomus hoi like*. Fertilizante mineral NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Barbecho: suelo en descanso por dos meses.

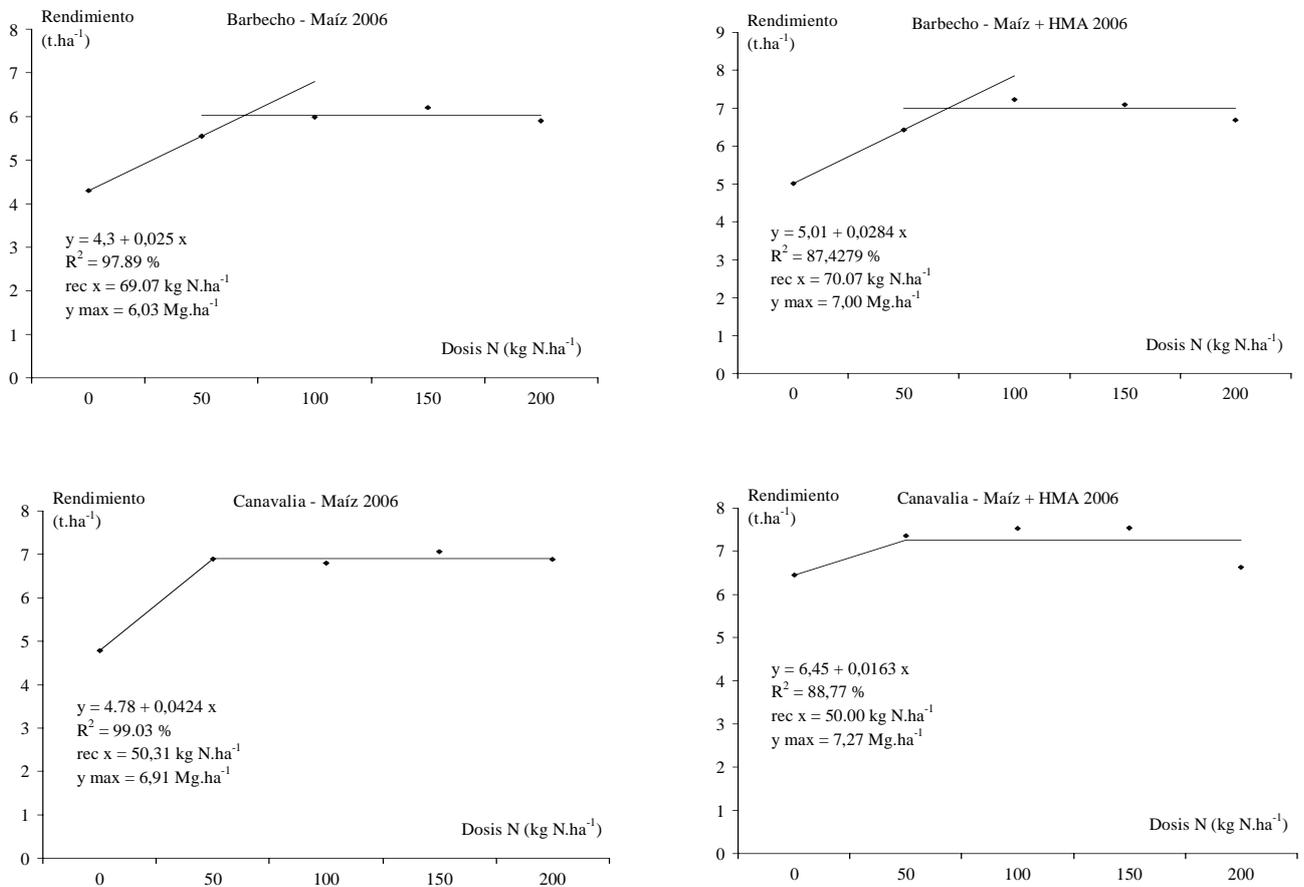


Figura 2. Modelo discontinuo rectilíneo de respuesta al fertilizante de los tratamientos estudiados. 2006. HMA: EcoMic® a base de *Glomus hoi like*. Fertilizante mineral NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Barbecho: suelo en descanso por dos meses.

verde. En la rotación de incorporación de canavalia e inoculación micorrízica del maíz no se obtuvo respuesta al fertilizante mineral, al no haber diferencias en los rendimientos obtenidos con las diferentes dosis de fertilizante que se aplicaron.

En este primer año se constató el efecto de sustitución del fertilizante nitrogenado por el abono verde, al disminuir, en casi 30 kg de N/ha, las necesidades complementarias de fertilizante mineral y aumentar al mismo tiempo los rendimientos del maíz. Lo mismo sucedió con el uso combinado de abono verde e inoculación micorrízica del maíz, donde no hubo respuesta al fertilizante, al obtener un rendimiento máximo estable (6.79 Mg/ha) sin aplicación de fertilización química, superior al alcanzado con la rotación del barbecho y la dosis de fertilizante recomendada.

La interpretación gráfica de los datos de la respuesta durante el segundo año evidenció que la cantidad del nutriente requerida es de 69.07 kg de N/ha para alcanzar un rendimiento máximo estable de 6.03 Mg/ha en la rotación con el barbecho, 70.07 kg de N/ha para obtener 7.00 Mg/ha con el barbecho + HMA, 50.31 kg de N/ha para 6.91 Mg/ha con el abono verde y 50 kg de N/ha para 7.27 Mg/ha con el abono verde + HMA.

Durante este segundo año, se obtuvieron dosis óptimas de fertilización mineral menores, con respecto a las de 2003. Lo más notable fue que con la inoculación micorrízica del maíz en rotación con el barbecho, aunque se mantuvieron casi iguales las dosis de recomendación de fertilizante mineral, la inoculación de una cepa efectiva de HMA aumentó los rendimientos del maíz en casi

1 Mg/ha. Este mismo efecto se observó en las rotaciones con canavalia, donde la presencia del abono verde disminuyó aún más las dosis de fertilizante mineral, y la inoculación micorrízica incrementó el rendimiento máximo estable hasta los más altos valores.

Cuando las condiciones son favorables para el crecimiento del maíz, si se aplican abonos verdes, debido a su alta incorporación de N al sistema, los rendimientos que se obtienen son superiores a sistemas en barbecho, los cuales incorporan plantas con bajos contenidos de nutrientes (Robertson *et al.* 2005).

La disminución de las dosis de fertilizantes en las rotaciones que emplean canavalia como abono verde está asociada no solo por el aporte considerable de N realizado por esta leguminosa y su mineralización paulatina (Alves *et al.* 2006), sino también por la elevación del potencial de inóculo micorrízico del suelo y por ende, por un mayor aprovechamiento de los nutrientes y el agua por las plantas micorrizadas.

Jackson *et al.* (2004) y Guerra *et al.* (2007) plantean que el empleo de leguminosas como abonos verdes en las rotaciones de cultivos es de gran impacto, ya que este tipo de plantas promueven el aporte de N al suelo gracias a la FBN. Esto reduce, e incluso, puede eliminar la necesidad de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Esta disminución depende del tipo de suelo, de la disponibilidad de los nutrientes de los cultivos y de su nivel productivo (Rivera *et al.* 2007). Este tipo de resultado puede aplicarse al cálculo más exacto de las dosis mínimas necesarias para obtener el rendimiento máximo estable (Ruffo 2006). En la tabla 6 se muestra el comportamiento del funcionamiento fúngico

Tabla 6. Comportamiento del funcionamiento micorrízico del maíz en rotación con Canavalia y barbecho, ante dosis de fertilizante mineral nitrogenado e inoculación micorrízica del maíz

Dosis N	% Colonización por HMA 2003			
	B - M	C - M	C - M + HMA	
0 kg N.ha <sup>-1</sup>	35.50	54.25	39.50 <sup>b</sup>	
50 kg N.ha <sup>-1</sup>	36.50	49.00	46.00 <sup>ab</sup>	
100 kg N.ha <sup>-1</sup>	43.50	52.75	46.33 <sup>ab</sup>	
150 kg N.ha <sup>-1</sup>	40.50	44.00	50.00 <sup>ab</sup>	
200 kg N.ha <sup>-1</sup>	47.33	42.67	55.67 <sup>a</sup>	
EE ±	3.80 NS	4.32 NS	2.51 *	
Dosis N	% Colonización por HMA 2006			
	B - M	B-M+HMA	C - M	C-M+HMA
0 kg N.ha <sup>-1</sup>	36.25	49.75 <sup>b</sup>	44.50 <sup>ab</sup>	46.50 <sup>b</sup>
50 kg N.ha <sup>-1</sup>	37.50	60.25 <sup>a</sup>	51.00 <sup>a</sup>	46.75 <sup>b</sup>
100 kg N.ha <sup>-1</sup>	39.25	60.00 <sup>a</sup>	52.00 <sup>a</sup>	59.25 <sup>a</sup>
150 kg N.ha <sup>-1</sup>	45.50	58.25 <sup>ab</sup>	45.00 <sup>ab</sup>	55.50 <sup>a</sup>
200 kg N.ha <sup>-1</sup>	38.50	56.25 <sup>ab</sup>	41.50 <sup>b</sup>	48.50 <sup>b</sup>
EE ±	2.86 NS	3.25 *	3.94 *	3.36*

<sup>ab</sup> Medias con letras distintas en la misma columna dentro de cada año, difieren a P < 0.05 (Duncan 1955).

B - M: rotación barbecho - maíz; B - M + HMA: rotación barbecho - maíz con inoculación de HMA; C - M: rotación canavalia - maíz; C - M + HMA: rotación canavalia - maíz con inoculación de HMA. Barbecho: suelo en descanso por dos meses. HMA: EcoMic® a base de *Glomus hoi like*. Fertilizante mineral NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. \*P < 0.05

del maíz. En los dos años se observó un alto porcentaje de colonización en las rotaciones con canavalia y en las que se inoculó una cepa eficiente de HMA, en comparación a la rotación con el barbecho sin inocular.

Es necesario señalar que en la rotación con canavalia, aunque el maíz se micorrizó, los valores fueron más bajos que en la rotación con canavalia e inoculación del maíz. Esta micorrización del maíz en rotación con canavalia indicó un funcionamiento efectivo de la simbiosis y parece que se debió a un efecto residual de la población de HMA establecida en el suelo. Esta se multiplicó en presencia del crecimiento intenso y a altas densidades del abono verde, lo que favoreció la colonización del cultivo posterior.

Al analizar el comportamiento de la colonización radical en los tratamientos de rotación barbecho- maíz, se observó que la aplicación de nutrientes (fertilización nitrogenada) mejoró el funcionamiento de la simbiosis micorrízica.

Rivera *et al.* (2007) plantearon que un factor fundamental para el manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas es la disponibilidad de nutrientes en el agroecosistema, derivado del tipo de suelo y de los suministros de nutrientes (fertilización), en forma orgánica o mineral, que son necesarios para complementar los requerimientos de las plantas.

En Cuba se han obtenido resultados en posturas de cafeto, hortalizas, pastos, raíces y tubérculos que indican que los menores efectos de la inoculación se obtienen tanto con dosis muy altas de nutrientes como con dosis muy bajas. La mayor efectividad de la inoculación se consiguió con dosis intermedias, que son más bajas que las dosis de nutrientes comúnmente empleadas en plantas no micorrizadas (González *et al.* 2008).

Kabir y Koide (2000) plantearon que las especies de abonos verdes micotróficas (como la canavalia) pueden aumentar el potencial de inóculo de HMA de suelo y, al mismo tiempo, hacer un mayor aporte y reciclaje de nutrientes. Esto trae por consecuencia mayor absorción de nutrientes y elevación de los rendimientos del cultivo sucesor, en comparación con sistemas en barbecho, que hacen bajos aportes de nutrientes y no favorecen la multiplicación de inóculos nativos de HMA en el suelo.

En la tabla 7 se presenta la extracción total de N realizada por el maíz a los 60 d después de la germinación. Al aumentar las dosis de N, se elevó la extracción del nutriente. Esta fue mayor en las rotaciones con canavalia y donde se inoculó HMA, y fueron similares al barbecho sin inocular y con altas dosis de N.

Se constató correspondencia entre el funcionamiento micorrízico de las plantas (tabla 6) y la absorción de N, al encontrarse las mayores extracciones en los tratamientos de mayor colonización radical. Esto demuestra la alta eficiencia de la cepa inoculada y también la alta competitividad de las cepas establecidas

Tabla 7. Extracción total de N del maíz en rotación con Canavalia y barbecho, ante dosis de fertilizante mineral nitrogenado e inoculación micorrízica del maíz.

Dosis N	Extracción total de nitrógeno 2003 (kg. ha-1)			
	B - M	C - M	C - M + HMA	
0 kg N.ha <sup>-1</sup>	75.32 <sup>d</sup>	210.06 <sup>b</sup>	230.64	
50 kg N.ha <sup>-1</sup>	129.31 <sup>cd</sup>	228.69 <sup>ab</sup>	248.69	
100 kg N.ha <sup>-1</sup>	163.13 <sup>bc</sup>	253.45 <sup>ab</sup>	259.50	
150 kg N.ha <sup>-1</sup>	195.77 <sup>b</sup>	282.62 <sup>ab</sup>	315.14	
200 kg N.ha <sup>-1</sup>	260.70 <sup>a</sup>	332.42 <sup>a</sup>	348.72	
EE ±	19.10 *	34.87 *	0.19 NS	
Dosis N	Extracción total de nitrógeno 2006 (kg. ha-1)			
	B - M	B-M+HMA	C-M	C-M+HMA
0 kg N.ha <sup>-1</sup>	96.12 <sup>b</sup>	181.85 <sup>b</sup>	265.51	196.64 <sup>b</sup>
50 kg N.ha <sup>-1</sup>	181.95 <sup>a</sup>	283.80 <sup>ab</sup>	234.00	409.58 <sup>a</sup>
100 kg N.ha <sup>-1</sup>	180.56 <sup>a</sup>	269.49 <sup>ab</sup>	287.10	302.26 <sup>ab</sup>
150 kg N.ha <sup>-1</sup>	182.57 <sup>a</sup>	212.65 <sup>ab</sup>	241.64	312.06 <sup>ab</sup>
200 kg N.ha <sup>-1</sup>	217.69 <sup>a</sup>	294.03 <sup>a</sup>	249.80	362.52 <sup>a</sup>
EE ±	0.15 *	33.35 *	34.87 NS	39.16 *

<sup>abcd</sup> Medias con letras distintas en la misma columna dentro de cada año, difieren a P < 0.05 (Duncan 1955).

B - M: rotación barbecho - maíz; B - M + HMA: rotación barbecho - maíz con inoculación de HMA; C - M: rotación canavalia - maíz; C - M + HMA: rotación canavalia - maíz con inoculación de HMA. Barbecho: suelo en descanso por dos meses. HMA: EcoMic® a base de *Glomus hoi like*. Fertilizante mineral NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. \*P < 0.05

en el suelo. Esto último se ha ratificado en el buen funcionamiento fúngico, absorción de N y rendimientos encontrados en aquellos tratamientos de la rotación con incorporación de abono verde y sin inoculación micorrízica.

El aporte y reciclaje de nutrientes (NPK) que realizó la canavalia en el sistema promovió la absorción de N por el cultivo del maíz (Cherr *et al.* 2006). Su uso combinado con dosis bajas de fertilizantes minerales tuvo un efecto benéfico en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Al analizar el efecto integral de los abonos verdes y los HMA en el cultivo del maíz se encontraron resultados positivo en cuanto al incremento de los rendimientos, absorción de nutrientes y comportamiento de la colonización micorrízica en las plantas de maíz.

La canavalia multiplicó la población de HMA establecida en estos suelos y este efecto se extendió hasta el cultivo que le sucedió en la rotación (maíz). Estos resultados sugieren que la cepa *Glomus hoi like*, presente en el biofertilizante EcoMic, tiende a permanecer en el suelo después de varias inoculaciones sucesivas a los cultivos en este tipo de suelo, al encontrar una alta y efectiva colonización radical de las plantas, aún sin la presencia de nuevas inoculaciones.

Con el manejo conciente de la micorrización se plantea el modelo biológico planta-micorrizada con cepas efectivas, que absorben más eficientemente los nutrientes, y con el empleo de los abonos verdes disminuyen aún más las necesidades de fertilizantes para este tipo de planta. Esto permite sustituir, total o parcialmente, los requerimientos de N por parte de los cultivos y constituye una alternativa viable para el manejo de la nutrición vegetal.

### Agradecimientos

Se agradece a la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), por el apoyo brindado con el otorgamiento de la beca CUB/05032; al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), por las facilidades brindadas para la ejecución del trabajo, y a los técnicos Reinerio Reyes, Dayné Horta y Tomás Hernández, por el trabajo de campo y de laboratorio.

### Referencias

- Alves, B.J.R., Zotarelli, L., Fernandes, F.M., Heckler, J.C., de Macedo, R.A.T., Boddey, R.M., Jantalia, C.P. & Urquiaga, S. 2006. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. *Pesq. Agropec. Bras.* 41: 449
- AOAC. 1995 Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> Ed. Assoc. Off. Anal. Chem. Washington, DC.
- Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S. & Sorley, M. 2006. Green manures as nitrogen source for sweet corn in a warm – temperate environment. *Agron. J.* 98: 1173
- Duncan, D. S. 1955. Multiple range and multiple. *F. Test. Biometrics* 11:1
- Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 43, Número 2, 2009.
- Duponnois, R., Pleuchette, L., Thioulouse, L. & radet, P. 2001. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different ages follow in Senegal. *Applied Soil Ecol.* 17: 239
- Espíndola, J.A., de Almeida, D.L. & Guerra, J.G.M. 2004. Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. *Embrapa Agrobiologia.* 24 p.
- Espíndola, J. A. A., de Almeida, D.L. & Guerra, J.G.M. da Silva, E. M. R. & de Souza, F. A. 1998. Influência da incubação verde na colonização micorrizica ena produção da batata-doís. *pesq. Agrop. Bras.* 33: 339
- Gerdemann, J.W. & Nicholson, T.H. 1963. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235
- Giovannetti, 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. Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana. CD- ROM.
- Guerra, J.G.M. & de Almeida, D.L. 2008. Adubação verde com leguminosas para o cultivo de hortaliças. Congreso Científico del INCA. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana. CD- ROM.
- Guerra, J.G.M., Ndiaye, A., de Assis, R.L. & Espíndola, J.A.A. 2007. Cultivos de cobertura como indicadores de procesos ecológicos. *LEISA Revista de Agroecología.* 22:20
- Jackson, L.E., Ramírez, I., Yokota, R., Fennimore, S.A., Koike, S.T., Henderson, D.M., Chaney, W.E., Calderón, F.J. & Klonsky, K. 2004. On farm assesment of organic matter and tillage managemant on vegetable yield, soil, weeds, pests and economics in California. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:443
- Jiménez, J.J. & Peña, J.J. 2000. Fijación biológica de N<sub>2</sub> (FBN) de América Latina. En: *La Fijación Biológica de Nitrógeno en América Latina: el aporte de las técnicas isotópicas. Acuerdo Regional para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe.* (ARCAL). Irapuato: IMPROSA, S.A. de C.V. p. 16
- Kabir, Z. & Koide, R.T. 2000. The effect of dandelion as a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 78:167
- Melgar, R. & Torres, M. 2006. Manejo de la Fertilización en Maíz. Disponible: <http://www.elsitioagrícola.com> Consultado: 25 de enero de 2007
- Nieto, M., Mariña, C., Sánchez, L. & Fonseca, M. 2008. Los abonos verdes. Una alternativa en la producción de tabaco negro. Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). La Habana. CD- ROM.
- 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
- Rivera, R. & Fernández, F. 2006. Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems. In: *Biological approaches to sustainable soil systems.* Ed.

- Norman Uphoff. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA
- 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. En: *Mycorrhizae in Crop Production* (eds.) Chantal Hamel and Christian Plenchette. Haworth Press, Binghamton, NY.
- Robertson, M.J., Sakala, W., Benson, T. & Shamudzarira, Z. 2005. Simulating response of maize to previous velvet bean (*Mucuna pruriens*) crop and nitrogen fertilizer in Malawi. *Field Crop Res.* 91:105
- Ruffo, M. 2006. La tecnología: estrategias de fertilización nitrogenada. Todo en su justa medida. Master of Public Health. Joint Nationalities at the University of Liverpool. Disponible: [www.liverpool.ohecampus.com](http://www.liverpool.ohecampus.com). Consultado: 14 de junio 2007
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizal management in tropical agrossystems. Technical cooperation. Federal Republic of Germany. Eschborn, Friedland, Brewer, Russdorf T2-Vert-Ges. Germany. p 371
- Waugh, D.L., Cate Jr., R.B. & Nelson, L.A. 1973. Modelos discontinuos para una rápida correlación, interpretación y utilización de los datos de análisis de suelo y las respuestas a los fertilizantes. Boletín Técnico # 7. Proyecto Internacional de Evaluación y Mejoramiento de la Fertilidad del Suelo. North Carolina State University. 106 pp.
- WRB. 2003. World Reference Base for Soil Resources. Classification Key. FAO AGL (2003). Disponible: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/newkey.stm>. Consultado: 17 de enero 2007

**Recibido: 1 de julio de 2008**