



EFECTO DE CANAVALIA, INOCULACIÓN MICORRÍZICA Y DOSIS DE FERTILIZANTE NITROGENADO EN EL CULTIVO DEL MAÍZ

Effect of jack bean, mycorrhizal inoculation and nitrogen fertilizer dose on maize cultivation

Gloria M. Martín Alonso[✉], Ramón Rivera Espinosa y Alberto Pérez Díaz

ABSTRACT. In order to evaluate the influence of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), the period of synchrony between the incorporation of green manure and planting *Canavalia ensiformis* and fertilization doses on maize growth, was conducted this work, which developed in microplots conditions, repeated for two years, in the period between the months of August to October of 2003 and 2004, in areas of the National Institute of Agricultural Sciences (INCA) of Cuba, in a Rhodic Nitisol soil. We studied three doses of mineral nitrogen fertilizer (0, 40 and 80 kg ha⁻¹ of N), two periods of synchrony between incorporating canavalia and planting the main crop (7 and 21 days) and two levels of mycorrhizal inoculation corn factor (with and without inoculation) in a completely randomized design under trifactorial arrangement (3x2x2) and three reference controls. There was interaction between the factors under study, finding that the combined use of mycorrhizal inoculation of corn and canavalia is also diminishing doses of mineral fertilizer needed for the crop to reach a dry mass and nutrient content similar to those obtained with the high dose of nitrogen fertilizer studied. Mycorrhizal colonization was found in all the treatments, but the most significant values were found in treatments with AMF inoculation and application of two nitrogen sources. The sync time of seven days resulted the optimum in the conditions of this study.

Key words: *Canavalia ensiformis*, *Glomus*, *Zea mays*, green manures, arbuscular mycorrhizas

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar la influencia de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), el período de sincronía entre la incorporación del abono verde *Canavalia ensiformis* y la siembra, así como la dosis de fertilización en el crecimiento del maíz se realizó el presente trabajo, que se desarrolló en condiciones de microparcels, repetido durante dos años, en el período comprendido entre los meses de agosto-octubre de 2003 y 2004, en áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba, en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. Se estudiaron tres dosis de fertilizante mineral nitrogenado (0, 40 y 80 kg.ha⁻¹ de N), dos períodos de sincronía incorporación de canavalia-siembra del cultivo principal (7 y 21 días) y dos niveles del factor inoculación micorrízica del maíz (con y sin inoculación), en un diseño experimental completamente aleatorizado, con arreglo trifactorial (3x2x2) y tres testigos de referencia. Se encontró interacción entre los factores en estudio, hallándose que el empleo combinado de canavalia más la inoculación micorrízica del maíz hace que disminuyan las dosis de fertilizante mineral necesarias para que el cultivo alcance una masa seca y contenido de nutrimentos semejante a los obtenidos con las dosis mayores de fertilizante nitrogenado estudiadas. Se encontró colonización micorrízica en todos los tratamientos estudiados, aunque los valores más significativos se encontraron en los tratamientos con inoculación de HMA y aplicación de las dos fuentes nitrogenadas. El tiempo de sincronía de siete días resultó el óptimo en las condiciones del estudio.

Palabras clave: *Canavalia ensiformis*, *Glomus*, *Zea mays*, abonos verdes, micorrizas arbusculares

INTRODUCCIÓN

El valor de los abonos verdes como vía para el suministro de nitrógeno ha sido reconocido por los agricultores. Este efecto consiste fundamentalmente en el aporte de N de las leguminosas, en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, la movilización de otros nutrimentos y de la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que reduce los requerimientos de fertilizantes de los cultivos y mejora las condiciones de crecimiento y desarrollo de los mismos (1).

Dra.C. Gloria M. Martín Alonso, Investigador Auxiliar y Dr.C. Ramón Rivera Espinosa, Investigador Titular del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, CP 32 700; Dr.C. Alberto Pérez Díaz, Investigador Auxiliar de la Facultad Agroforestal de Montaña, Universidad de Guantánamo, carretera a Santiago de Cuba, km 2½, Guantánamo, Cuba.

✉ gloriam@inca.edu.cu; rrivera@inca.edu.cu; aperez@fam.cug.co.cu

Entre las plantas más empleadas como abono verde se encuentra *Canavalia ensiformis* (L.) D.C., que se destaca por establecer simbiosis con *Rhizobium* y fijar cantidades de N atmosférico que oscilan entre 100-200 kg N.ha⁻¹, lo que la ubica como una especie importante para el aporte de este nutriente al suelo (2).

Otro beneficio asociado a la utilización de abonos verdes de diferentes familias de plantas ha sido incrementar la actividad y diversidad de los microorganismos del suelo, como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

Precisamente, las micorrizas arbusculares constituyen una asociación simbiótica que existe entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas superiores. Las micorrizas reciben fuentes carbonadas provenientes de la planta, mientras que a través de las estructuras fúngicas, en las plantas se incrementa la capacidad de exploración del suelo, la absorción de nutrimentos y el crecimiento y desarrollo (3).

En relación con esto, en estudios realizados para evaluar la respuesta del maíz a la inoculación micorrízica, se ha reportado que las plantas inoculadas con HMA acumularon un 40 % más de masa seca y N que las no inoculadas, al crecer en un suelo con residuos de alfalfa (4). El empleo de la cepa *Glomus fasciculatum* en maíz presentó un incremento de los rendimientos que osciló entre 21-77 % según el tipo de suelo (5).

El manejo de los HMA a través de los abonos verdes puede ser una práctica útil dentro de la agricultura sostenible y uno de los retos dentro de la misma, es garantizar un suministro adecuado de nutrimentos para asegurar altos rendimientos, por lo que el empleo de los abonos verdes, su inoculación con cepas eficientes y su integración con el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, se destacan por sus posibilidades y beneficios.

Es por ello que este trabajo tuvo por objetivo evaluar la influencia de la inoculación micorrízica, el período de sincronía entre la incorporación de los abonos verdes y la siembra, así como la dosis de fertilización en el crecimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se realizó un experimento en condiciones de microparcels (con dimensiones de 0,63 m de ancho, 2,55 m de longitud y 0,70 m de alto), repetido durante dos años, en el período

comprendido entre los meses de agosto–octubre de 2003 y 2004, en áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. El suelo se clasificó como Ferralítico Rojo Lixiviado (6), que se correlaciona con un Nitisol Ródico Eutrítico (7) y algunas de sus características se presentan en la Tabla I.

Se estudiaron tres dosis de fertilizante mineral nitrogenado (0, 40 y 80 kg.ha⁻¹ de N), dos períodos de sincronía incorporación del abono verde–siembra del cultivo principal (7 y 21 días) y dos niveles del factor inoculación micorrízica del maíz (con y sin inoculación), en un diseño experimental completamente aleatorizado, con arreglo trifactorial (3x2x2) y tres testigos de referencia, para un total de 15 tratamientos y tres repeticiones (Tabla II). Se empleó la variedad de maíz Francisco mejorado.

En los tratamientos con abono verde se empleó la especie *Canavalia ensiformis* (L.) D.C., que se incorporó en el surco de siembra, bien mezclado y tapado con el suelo. El abono verde se encontraba seco y finamente desmenuzado. Se aplicó en una dosis equivalente a 1,5 t.ha⁻¹ de masa seca y a 34 kg.ha⁻¹ de N. La siembra de maíz se realizó a los 7 y 21 días después de la incorporación de la canavalia, con un marco de plantación de 0,40 x 0,20 m y dos semillas por nido.

Previo a la siembra del maíz, a los tratamientos con inoculación micorrízica se les aplicó la especie de HMA *Glomus cubense* (9), cepa INCAM 4 (con una concentración de 20 esporas por gramo de inoculante), procedente del cepario del INCA. La inoculación se realizó por el método del recubrimiento de las semillas (10), en dosis equivalentes al 10 % del peso de la semilla y se procedió posteriormente a su siembra.

Las dosis de fertilizante mineral nitrogenado estudiadas fueron 0, 40 y 80 kg.ha⁻¹ de N. Se aplicó fraccionado al 50 % en el momento de la siembra de maíz y el restante a los 30 días después de la germinación; como portador se empleó el nitrato de amonio (NH₄NO₃).

A los siete días después de la siembra, se comprobó en todos los tratamientos, que existió un 100 % de germinación de las semillas.

Se emplearon como testigos de referencia: tres dosis de fertilizante mineral (0, como testigo absoluto; 80, que equivale al 50 % de la dosis recomendada en el instructivo técnico y 160 kg.ha⁻¹ de N o testigo de producción) en ausencia de abono verde e inoculación micorrízica y se empleó el mismo portador mineral.

Tabla I. Algunas características iniciales del horizonte cultivable (profundidad: 0–20 cm) del suelo Ferralítico Rojo utilizado en el experimento

Año	pH	MO (%)	P (mg.kg ⁻¹)	Ca	Mg (cmol.kg ⁻¹)	K	Na	Número esporas HMA en 50 g de suelo
2003	7,65	2,47	284,00	11,83	2,50	0,46	0,16	114,00
2004	7,50	2,93	266,00	11,20	4,40	0,68	0,08	115,50

Determinaciones: pH H₂O potenciómetro, MO (materia orgánica) Walkley Black, P Oniani, Cationes NH₄Ac pH 7, No (número) esporas HMA Gerdemann y Nicholson, 1963, modificada por Herrera *et al.*, 1995 (8)

Tabla II. Factores en estudio, sus niveles y testigos de referencia empleados en el experimento

Tratamientos	Período de sincronía (ddi) ¹	Dosis de fertilizante mineral nitrogenado (kg.ha ⁻¹ de N) ²	Inoculación con HMA ³
Canavalia ensiformis	7	0	Si
Canavalia ensiformis	7	0	No
Canavalia ensiformis	7	40	Si
Canavalia ensiformis	7	40	No
Canavalia ensiformis	7	80	Si
Canavalia ensiformis	7	80	No
Canavalia ensiformis	21	0	Si
Canavalia ensiformis	21	0	No
Canavalia ensiformis	21	40	Si
Canavalia ensiformis	21	40	No
Canavalia ensiformis	21	80	Si
Canavalia ensiformis	21	80	No
TR: Control	-	0	No
TR: 80 kg N.ha ⁻¹	-	80	No
TR: 160 kg N.ha ⁻¹	-	160	No

¹ddi: días después de la incorporación del abono verde. ²Fertilizante mineral: NH₄NO₃. ³Inoculación con HMA: a base de *Glomus cubense*
TR: Testigos de referencia

Se aplicó además una dosis común equivalente a 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 180 kg.ha⁻¹ de K₂O por microparcela como fertilización de fondo a todos los tratamientos en el momento de la incorporación de la canavalia.

A los 60 días después de la germinación del maíz, se realizó un muestreo de plantas completas, por triplicado, para evaluar masa seca, a partir del secado en estufa de las plantas extraídas a 70°C, hasta alcanzar valores de masa constante. En igual período de tiempo, se evaluaron los contenidos de N, P, K; como porcentaje de la masa seca de la parte aérea, por el método de digestión húmeda con H₂SO₄ + Se y determinación colorimétrica con el reactivo de Nessler para el N, el P por colorimetría con el reactivo molibdato de amonio y el K por fotometría de llama.

La extracción de N, P y K en la parte aérea, se calculó a partir de los datos de la masa seca en la parte aérea y su correspondiente concentración de cada elemento (% de N, P, K), por la siguiente fórmula:

Extracción de N, P, K = [Masa seca x (%) elemento en parte aérea]/100.

Estos mismos métodos fueron los que se emplearon al inicio del experimento para determinar el aporte de masa seca y nitrógeno que se realizó con la incorporación del abono verde.

Para la determinación de la colonización micorrízica, se motearon las raíces de las plantas colectadas hasta una profundidad de 15 cm, se lavaron con agua corriente y se secaron al aire. Se tomaron las raicillas más finas y se desmenuzaron. Para las determinaciones se pesaron aproximadamente 200 mg de raicillas que fueron secadas a 70°C, para ser teñidas según la metodología descrita por Phillips y Hayman, 1970. La evaluación se realizó por el método de los interceptos, desarrollado por Giovanetti y Mosse (8).

El factor parcial de productividad (FPP) se calculó según la fórmula (11):

$$FPP = \frac{\text{rendimiento del cultivo (kg.ha}^{-1}\text{)}}{\text{dosis del nutriente aplicado (kg.ha}^{-1}\text{)}}$$

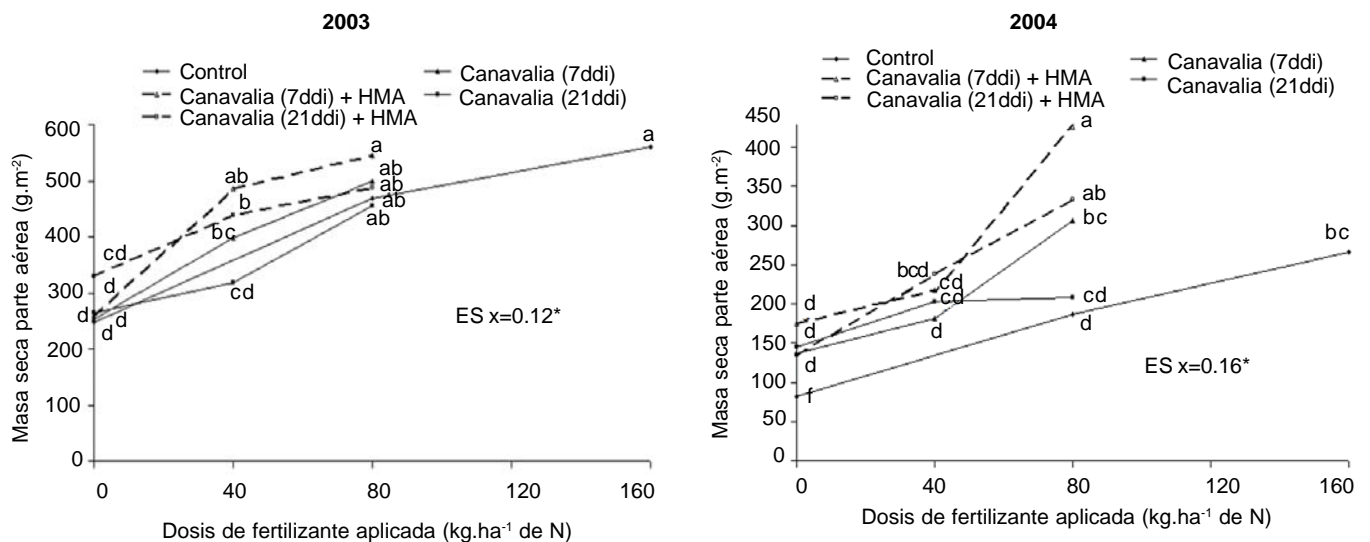
Se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza, la variable por ciento de colonización fue transformada por el método de arcsen√x por ser de origen binomial. Se realizó un análisis de varianza a los datos, determinando la interacción entre los factores en estudio. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias fueron comparadas por la prueba de Rango Múltiple de Duncan ($\alpha \leq 0.1$).

RESULTADOS

Al realizar el análisis de varianza, se encontró interacción entre los factores en estudio, fertilización nitrogenada, inoculación micorrízica e intervalo de sincronía, para todas las variables evaluadas (masa seca de la parte aérea, porcentaje de colonización micorrízica y extracción de N, P y K), en los dos años de repetido el experimento.

Al analizar el resultado de los tratamientos sobre el rendimiento en masa seca de las plantas de maíz (Figura 1), se encontró un aporte importante de la canavalia y de la inoculación micorrízica sobre la producción de masa seca del maíz, al disminuir los requerimientos de fertilizante nitrogenado del maíz inoculado con una cepa eficiente de HMA para obtener los mayores índices de la variable analizada, con un período de sincronía de siete días.

Los rendimientos en masa seca obtenidos con la aplicación de canavalia, inoculación micorrízica del maíz y bajas dosis complementarias de fertilizante mineral fueron semejantes al tratamiento que recibió 160 kg.ha⁻¹ N sin canavalia y sin HMA (testigo de producción) en los dos años evaluados.



*Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($\alpha < 0.1$); ddi: días después de la incorporación de la canavalia HMA: a base de *Glomus cubense*; Fertilizante mineral NH_4NO_3

Figura 1. Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la masa seca total del maíz (60 ddg)

En cualquiera de los dos años se encontró este efecto positivo de la aplicación conjunta de canavalia e inoculación micorrízica del maíz sobre la disminución de los requerimientos de fertilizante N del maíz, en el año 2003 este efecto se encontró con 40 kg.ha⁻¹ de N y en el 2004 fue a 80 kg.ha⁻¹ de N, para obtener los mayores valores de masa seca de la parte aérea del cultivo.

El factor parcial de productividad (kg de masa seca obtenidos por cada kg de N aplicado) reflejó asimismo incrementos por la acción combinada del abono verde y de la inoculación micorrízica, pasando de 16 a 35 para las dosis de 160 kg.ha⁻¹ de N, a valores de 50–68 para el tratamiento combinado de canavalia y HMA con 80 kg.ha⁻¹ de N y de 60–120 para el tratamiento combinado de canavalia y HMA con 40 kg.ha⁻¹ de N. El aumento de los valores encontrados de este factor indica el incremento en la eficiencia del maíz en producir masa seca, al aplicarse de forma conjunta el N del fertilizante, la canavalia y la inoculación con HMA.

Al analizar la colonización micorrízica del maíz en los tratamientos con canavalia (Figura 2), se encontró un mejor comportamiento a los siete días de intervalo de sincronía, con dosis de 40 y 80 kg.ha⁻¹ de N y la inoculación del hongo.

Por otra parte, la colonización micorrízica en los tratamientos sin abono verde, sin inoculación con HMA y con la mayor dosis de fertilizante mineral fue semejante a los tratamientos con inoculación, esto pudo estar dado por el elevado número inicial de esporas de HMA encontrado en el suelo de las microparcelas (Tabla 1) y debió ser resultante de inoculaciones micorrízicas realizadas anteriormente en ese suelo y que provocaron la colonización del maíz.

En las Figuras 3, 4 y 5 se presentan la extracción total de nutrientes realizada por las plantas de maíz. El comportamiento de la extracción de N fue similar al observado para la masa seca, al evaluar la respuesta de las plantas a la influencia del abono verde, la inoculación micorrízica y el efecto del menor período de sincronía incorporación – siembra, sobre el contenido foliar de N, con incrementos en la absorción de N por la utilización del abono verde y la inoculación micorrízica, obteniéndose los mayores valores absolutos con los menores intervalos entre la incorporación del abono verde y la siembra del maíz.

Las plantas que crecieron en presencia de canavalia tuvieron las mayores extracciones de P y K, asociadas con la aplicación de abono verde a los siete días, con el maíz inoculado y dosis de N entre 40 y 80 kg.ha⁻¹ N, durante los años estudiados. Sin embargo, los tratamientos que no recibieron canavalia tuvieron un comportamiento inferior, excepto la absorción de P durante el 2003, que fue semejante a los tratamientos con aplicación de canavalia.

DISCUSIÓN

Los rendimientos en masa seca obtenidos con la aplicación de canavalia, inoculación micorrízica del maíz y bajas dosis complementarias de fertilizante mineral indicaron, no solo un efecto de sustitución del fertilizante mineral con el suministro de N por parte de la canavalia y mejora de la eficiencia de la absorción del nutriente en presencia de la inoculación micorrízica, sino posiblemente una mejora cualitativamente superior en la nutrición del maíz.

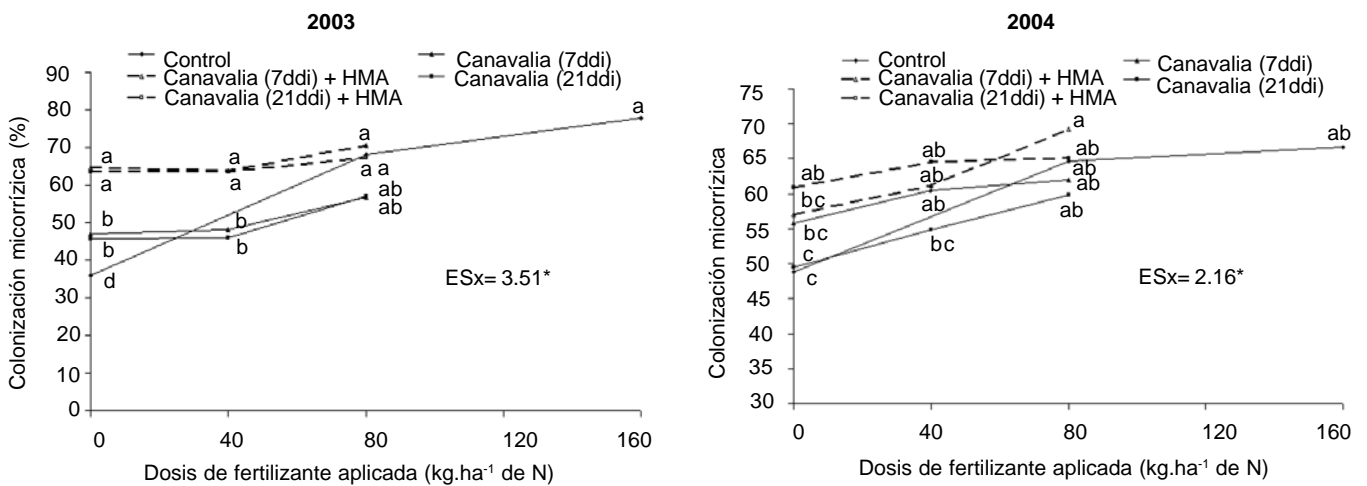


Figura 2. Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la colonización micorrízica del maíz (60 ddg)

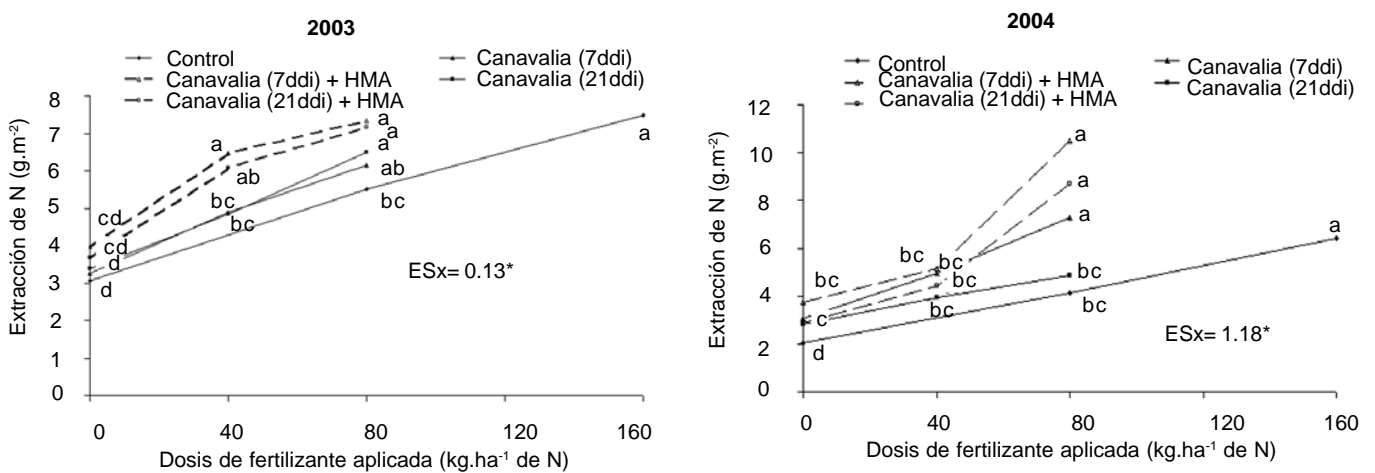
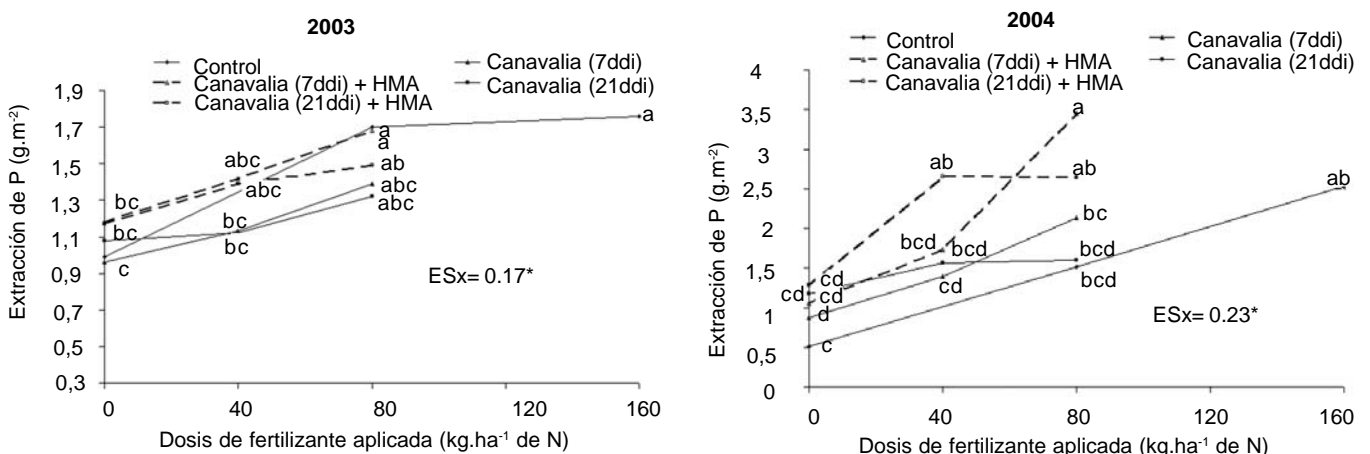
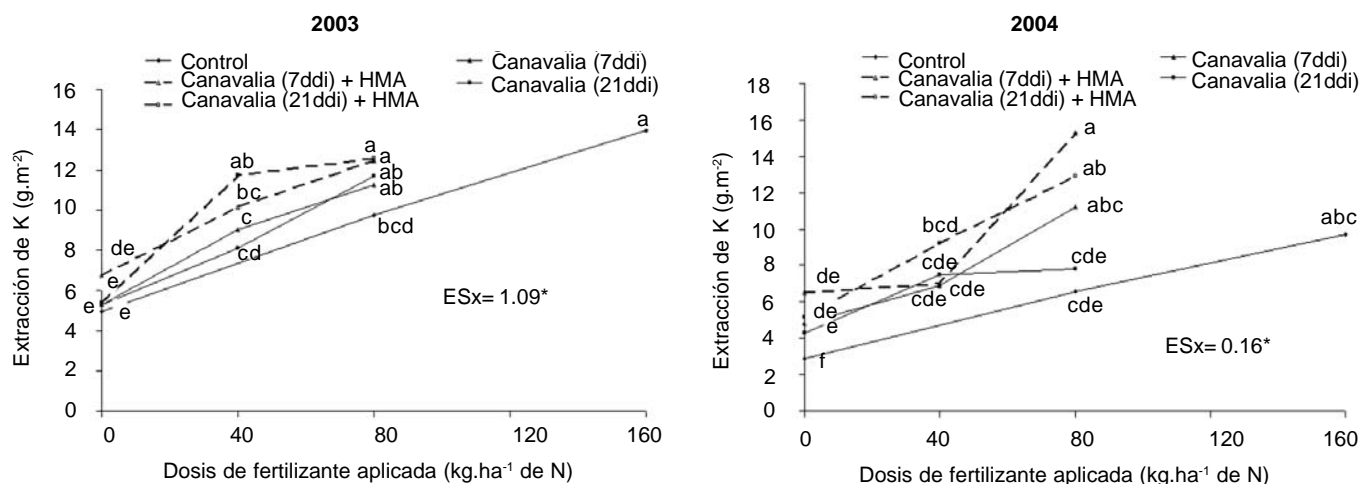


Figura 3. Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de nitrógeno por el maíz. Edad de las plantas: 60 días



*Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($\alpha < 0.1$); ddi: días después de la incorporación de la canavalia HMA: a base de *Glomus cubense*; Fertilizante mineral NH₄NO₃

Figura 4. Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de fósforo por el maíz. Edad de las plantas: 60 días



*Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($\alpha < 0.1$); ddi: días después de la incorporación de la canavalia HMA: a base de *Glomus cubense*; Fertilizante mineral NH_4NO_3

Figura 5. Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de potasio por el maíz. Edad de las plantas: 60 días

El empleo combinado de la canavalia y siembra del maíz a los siete días después de la incorporación del abono verde, de conjunto con la inoculación micorrízica, elevó los rendimientos en masa seca y disminuyó las dosis de fertilización mineral con respecto a la dosis de $160 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ N}$, indicando el efecto de la simbiosis micorrízica sobre la absorción de N.

Varios autores (12) expresaron que el factor parcial de productividad provee información útil acerca de la eficiencia de las fuentes de nutrientes empleados y encontraron que los abonos verdes aumentaron significativamente este indicador en comparación con los fertilizantes minerales.

Según estos autores, los cambios en ese indicador están en correspondencia con los rendimientos y dependen, principalmente, de las variaciones del N asimilable en el suelo y por diferentes factores que influyen en esta disponibilidad para las plantas.

En este experimento, los altos valores del factor parcial de productividad en presencia del abono verde, HMA y dosis inferiores de fertilizante mineral indicaron que al parecer, existió un aumento en la eficiencia en el uso de los nutrientes.

En correspondencia con esto, la utilización de canavalia en sucesión con gramíneas como maíz y trigo, manifestó una respuesta positiva por el efecto residual de las leguminosas, al obtener incrementos en la masa seca de los tratamientos con el abono verde, en comparación al testigo (13, 14).

Estos resultados coincidieron con los encontrados en la India (15), donde encontraron que el uso combinado de *Crotalaria juncea* y *Tithonia diversifolia* como abonos verdes y dosis bajas de fertilizantes minerales provocaron que las plantas de maíz realizaran las mayores extracciones de N, P y K y alcanzaran los mejores rendimientos.

Se ha encontrado además, que con el empleo de *Mucuna pruriens* como abono verde, la absorción del N por el cultivo del maíz fue alta debido principalmente a que los nutrientes provenientes de las leguminosas estuvieron disponibles durante la mayor parte del desarrollo fenológico del cultivo (16).

En coincidencia, se ha planteado que una alta colonización con HMA favoreció la nutrición mineral de las plantas hospederas pues aumentó la superficie de absorción radical y la exploración del suelo (17, 18, 19).

En relación con la colonización micorrízica, la incorporación de los abonos verdes *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Dolichos lablab* y *Sorghum* sp. incrementaron el funcionamiento de los HMA, los contenidos de materia orgánica y la dependencia micorrízica de estas plantas; además de favorecer los HMA nativos presentes en el suelo (20).

En este tipo de estudio, el empleo de gramíneas como abono verde se ha destacado por la fuerte influencia que ejercen las especies pertenecientes a esta familia de plantas sobre la multiplicación de propágulos micorrízicos en el suelo, además de mejorar otras propiedades físicas y movilizar nutrientes, cualidades que favorecen el empleo de las gramíneas como abonos verdes, aunque no se destaquen en fijar las cantidades de N atmosférico que realizan las leguminosas empleadas con este fin.

Respecto a la colonización micorrízica encontrada en los tratamientos sin inoculación, otros estudios han indicado que en suelos donde se han efectuado numerosas aplicaciones previas de inoculantes micorrízicos a base de cepas eficientes, al parecer estas se establecen en el suelo y logran la colonización de plantas sin inocular, en presencia de cantidades adecuadas de nutrientes en el suelo (21).

Las plantas de maíz aprovecharon mejor el suministro de nutrimentos del abono verde si el período de sincronía incorporación – siembra fue solo de siete días, lo que indicó que con el mayor intervalo (21 días) ocurrió un menor aprovechamiento debido posiblemente a una rápida mineralización del N y su posible pérdida del sistema por lavado, volatilización y otras.

También se ha demostrado la importancia del período de sincronía incorporación – siembra del cultivo posterior, al obtener los mayores coeficientes de aprovechamiento del N por el cultivo principal mientras más rápida fue su siembra (22, 23), resultado que coincidió con el obtenido en la presente investigación.

En este experimento, con un período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra de maíz de siete días se presentaron efectos superiores que a los 21 días, debido a que el maíz debió realizar un mayor aprovechamiento del N, aunque hay que tener en cuenta que el estado físico del abono verde (seco y molinado) debe cambiar la dinámica de descomposición del material vegetal y mineralización del N con respecto a esa misma especie al ser incorporada en condiciones de producción.

El análisis de los anteriores resultados estableció que hubo una influencia positiva del abono verde sobre el cultivo del maíz, al sustituirse parte del N mineral, por no existir diferencias entre los tratamientos con fertilización química y los tratamientos que combinaron abonos verdes y dosis menores del fertilizante.

Además, se evidenció la necesidad de la inoculación micorrízica en estas condiciones, pues en todos los tratamientos hubo un mejor comportamiento de las variables analizadas al inocular las plantas de maíz con una cepa eficiente para este tipo de suelo.

En correspondencia con esta afirmación, se ha planteado que los abonos verdes elevan significativamente la colonización por HMA del cultivo posterior y su empleo combinado con fertilizantes minerales complementa las necesidades de N del cultivo, con una disminución significativa de las dosis a emplear debido a la promoción de la absorción por los HMA (24, 25, 26).

Por otra parte, hay que tener en cuenta el período de sincronía incorporación del abono verde – siembra del cultivo principal, para lograr un mejor aprovechamiento del N suministrado por la canavalia, que, con una baja relación C:N (20:1) en su composición química (27) y en presencia de altas temperaturas y humedad del suelo, debe mineralizar rápidamente sus nutrimentos, según se ha demostrado en otros trabajos (28).

CONCLUSIONES

- ◆ El empleo combinado de la inoculación micorrízica y de la incorporación del abono verde *Canavalia ensiformis*, permite disminuir las dosis de fertilizante mineral nitrogenado necesarias para obtener un crecimiento óptimo del cultivo del maíz.

- ◆ El intervalo de siete días entre la incorporación de la canavalia y la siembra del maíz, resultó ser el más adecuado para obtener un mayor efecto del abono verde sobre el cultivo, en las condiciones estudiadas.

REFERENCIAS

1. dos Santos, M. R. A.; Ferreira, M. G. R.; Carvalho, J. O. M.; Marcolan, A. L.; Barroso, G. R. P.; Lima, R. A. y Silva, A. G. Efeito da adubação verde sobre o crescimento de *Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers. *Saber Científico, Porto Velho*, 2009, vol. 2, no. 2, p. 45-55.
2. Martín, G. M.; Rivera, R. y Mujica, Y. Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 4, p. 75-78.
3. Baird, J. M.; Walley, F. L. y Shirliff S. J. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization and phosphorus nutrition in organic field pea and lentil. *Mycorrhiza*, 2010, vol. 20, p. 541-549.
4. Paré, T.; Gregorich, E. G. y Nelson, S. Mineralization of nitrogen from crop residues and recovery by maize inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 2000, vol. 218, no. 1-2, p. 11-20.
5. Rivera, R. Resultados de las campañas de validación. En: Rivera, R. y Fernández, K. Eds. Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe. INCA. La Habana. 2003, 166 p.
6. MINAG. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. La Habana. Agrinfor. 1999, p. 64.
7. WRB Working Group. Base referencial Mundial del recurso suelo. Informe sobre recursos mundiales de suelos. International Union of Soil Science (IUSS), 2008. 103. IUSS, ISRIC, FAO. Roma, Italia, p. 117.
8. Mujica, Y.; Medina, N. y de la N Pons, B. Efectividad de la inoculación líquida de HMA en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en suelo Ferralítico. Editorial Académica Española. 2011, 75 p. ISBN 978-3-8443-3983-3.
9. Rodríguez, Y.; Dalpé, Y.; Séguin, S.; Fernández, K.; Fernández, F. y Rivera, R. A. *Glomus cubense* sp. nov., an arbuscular mycorrhizal fungus from Cuba. *Mycotaxon*. October-December, 2011, vol. 118, p. 337-347.
10. Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L. F.; de la Noval, B. M. y Martínez, M. A. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente No. 22641. 2000.
11. Stewart, W. M. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*. 2007, vol. 67, p. 1-7.
12. Yadav, R. L.; Dwivedi, B. S. y Pandey, P. S. Rice-wheat cropping system: assessment of sustainability under green manuring and chemical fertilizer inputs. *Field Crops Research*, 2000, vol. 65, no. 1, p. 15-30.
13. da Silva, E. C.; Muraoka, T.; Buzetti, S.; Espinal, F. S. C. y Trivelin, P. C. O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 2008, vol. 32, no. spe Viçosa out./dez.

14. Nunes, A. S.; de Souza, L. C. F. y Mercante, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. *Bragantia, Campinas*, 2011, vol. 70, no. 2, p. 432-438.
15. Sangakkara, U. R.; Liedgens, M.; Soldati, A. y Stamp, P. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of *Crotalaria juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manures. *J. Agronomy & Crop Science*, 2004, vol. 190, p. 339-346.
16. Okito, A.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S. y Boddey, R. M. Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2004, vol. 39, no. 12, p. 1183-1190.
17. Rivera, R. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de café sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, 2010, vol. 31, no. 3, p. 75-81.
18. Martín, G. M.; Rivera, R.; Pérez, A. y Arias, L. Respuesta de la *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica con *Glomus cubense* (cepa INCAM-4), su efecto de permanencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 2012, vol. 33, no. 2, p. 20-28.
19. Ambrosano, E. J.; Azcón, R.; Cantarella, H.; Ambrosano, G. M. B.; Schammas, E. A.; Muraoka, T.; Trivelin, P. C. O.; Rossi, F.; Guirado, N.; Ungaro, M. R. G. y Teramoto, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi. Effects on sugarcane yield. *Sci. Agric.*, 2010, vol. 67, no. 6, p. 692-701.
20. Kittiworawat, S.; Youpensuk, S. y Rerkasem, B. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Mimosa invisa and effect of the soil pH on the symbiosis. *Chiang Mai J. Sci.*, 2010, vol. 37, no. 3, p. 517-527.
21. Okon, I. E. Field response of two cassava genotypes inoculated with arbuscular mycorrhizal fungus to *Gliricidia sepium* mulch in a Tropical Alfisol. *Botany Research International*, 2011, vol. 4, no. 1, p. 04-08.
22. Sangakkara, U. R. y Nissanka, S. P. Nitrogen uptake and yields of rainfed maize (*Zea mays* L.) as affected by time and method of crop stover application in the humid tropics. *Maydica*, 2003, vol. 48, no. 3, p. 191-196.
23. Araújo, E. S.; Guerra, J. G. M.; Espindola, J. A. A.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M.; Martelleto, L. A. P. y Alves, B. J. R. Recuperação no sistema solo-planta de nitrogênio derivado da adubação verde aplicada à cultura do repolho. *Brasília, Pesq. agropec. bras.*, 2011, vol. 46, no. 7, p. 729-735.
24. White, Ch. M. y Weil, R. R. Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. *Plant Soil*, 2010, vol. 328, p. 507-521.
25. Potthasta, K.; Hamer, U. y Makeschina, F. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, no. 1, p. 56-64.
26. Oropesa, K.; Pentón, G.; Martín, G. J. Efecto de la fertilización biológica y/o mineral en la producción de forraje de morera (*Morus alba* L.). *Pastos y Forrajes*, 2011, vol. 34, no. 3, p. 295-302.
27. Castillo-Caamal, J. B.; Caamal-Maldonado, J. A.; Jiménez-Osorio, J. J. M.; Bautista-Zúñiga, F.; Amaya-Castro, M. J. y Rodríguez-Carillo, R. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana*, 2010, vol. 21, no. 1.
28. Martín, G. M. y Rivera, R. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 3, p. 91-96.

Recibido: 5 de junio de 2012

Aceptado: 15 de febrero de 2013

¿Cómo citar?

Martín Alonso, Gloria M.; Rivera Espinosa, Ramón y Pérez Díaz, Alberto. Efecto de canavalia, inoculación micorrízica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 4, p. 60-67.