

EFFECTOS DEL ABONO VERDE, LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA Y DOSIS DE FERTILIZANTE – N SOBRE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DEL MAÍZ.

Gloria M. Martín, R. Rivera.

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. gloriam@inca.edu.cu

INTRODUCCIÓN

El valor de los abonos verdes como vía para el suministro de N ha sido reconocido durante siglos por los agricultores. Este efecto consiste fundamentalmente en el aporte de N de las leguminosas, en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, a través de la fijación biológica del nitrógeno, lo que reduce los requerimientos de fertilizantes nitrogenados de los cultivos (Oberson y col., 2007).

Otro beneficio asociado a la utilización de los abonos verdes, según Barrios y col. (2006), es que incrementan la actividad y diversidad de los microorganismos del suelo, entre ellos, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA).

Precisamente, los HMA 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 nutrientes y el crecimiento y desarrollo (Siquiera y Franco, 1988).

Precisamente, uno de los retos dentro de la agricultura sostenible, es garantizar un suministro adecuado de nutrientes 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.

Objetivos

Evaluar la influencia de la inoculación micorrízica del maíz con una cepa eficiente de HMA, el período de sincronía entre la incorporación de los abonos verdes y la siembra del cultivo, así como de diferentes dosis de fertilización mineral sobre el crecimiento y desarrollo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del trabajo se realizó un experimento en condiciones de microparcelas 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). El suelo se clasificó como Ferralítico Rojo Lixiviado y algunas de sus características se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunas características iniciales del horizonte cultivable del suelo Ferralítico Rojo utilizado en el experimento.

Año	pH	M.O	P	Ca	Mg	K	Na	No Esporas HMA en 50 g de suelo
		(%)	(mg.kg ⁻¹)	(cmol . kg ⁻¹)				
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 químicas: pH H₂O potenciómetro, M.O. (materia orgánica) Walkley Black, P Oniani, Cationes NH₄Ac pH 7, No (número) esporas HMA Gerdemann y Nicholson (1963).

Se estudiaron tres dosis de fertilizante mineral – N, dos períodos de sincronía incorporación – siembra (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 (tabla 2).

Tabla 2. Factores en estudio, sus niveles y testigos de referencia empleados en el experimento.

Tratamientos	Período de sincronía (ddi)*	Dosis de Fertilizante mineral nitrogenado (kg N.ha ⁻¹)**	Inoculación con HMA***
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	0	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	0	No
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	40	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	40	No
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	80	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	7	80	No
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	0	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	0	No
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	40	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	40	No
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	80	Si
<i>Canavalia ensiformis</i>	21	80	No
TR: Control	-	0	No
TR: 80 kg N.ha ⁻¹	-	80	No
TR: 160 kg N.ha ⁻¹	-	160	No

*ddi Días después de la incorporación del abono verde. **Fertilizante mineral: NH₄NO₃.

***Inoculación con HMA: a base de *Glomus hoi – like*. TR: Testigos de referencia.

En los tratamientos con abono verde se empleó la especie *Canavalia ensiformis*, 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 N.ha⁻¹.

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. Se sembró la variedad Francisco mejorado. Se utilizaron tres repeticiones por tratamiento.

A los tratamientos con inoculación micorrízica se les aplicó la especie de HMA *Glomus hoi – like*, cepa INCAM 4, procedente del cepario del INCA. La inoculación se realizó por el método del recubrimiento de las semillas (Fernández y col., 2000), en dosis equivalentes al 10 % del peso de la semilla. El biofertilizante presentaba una concentración de 20 esporas por gramo.

Las dosis de fertilizante mineral nitrogenado estudiadas fueron 0, 40 y 80 kg. N.ha⁻¹. 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). Los testigos de referencia fueron: tres dosis de fertilizante mineral (0, 80 y 160 kg N.ha⁻¹) en ausencia de abono verde e inoculación micorrízica y se empleó el mismo portador mineral.

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 realizaron muestreos de plantas completas por triplicado, en todos los tratamientos, para determinar masa seca total, contenido de nutrientes (N, P, K) y funcionamiento fúngico (% colonización).

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 ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al analizar el resultado de los tratamientos sobre el rendimiento en masa seca de las plantas de maíz (Figura 1), primeramente se puede observar una respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, que se manifestó por el incremento del valor de la variable analizada a medida que se aumentó la dosis de fertilizante mineral en los tratamientos de referencia. Los mayores resultados se alcanzaron en el tratamiento de 160 kg N.ha⁻¹, durante los dos años de efectuado el experimento.

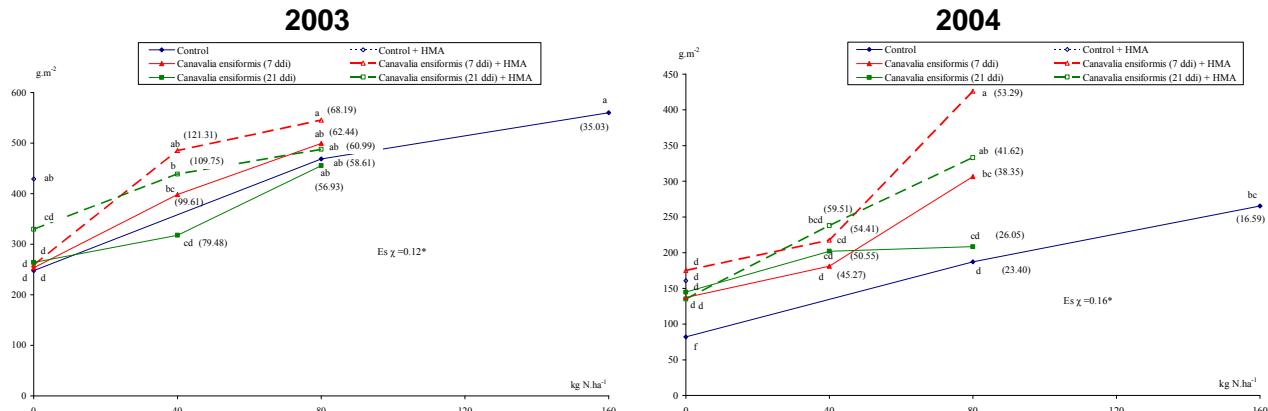


Figura 1: Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la masa seca total del maíz (60 ddg). *Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($p<0.1$). ddi: días después de la incorporación de la canavalia. HMA: a base de *Glomus hoi – like*. Fertilizante mineral NH₄NO₃. Número entre paréntesis: Factor Parcial de Productividad para las dosis de fertilizante mineral aplicadas (kg de masa seca por kg N aplicado). Barras verticales: Intervalo de confianza de los testigos de referencia.

Los tratamientos con abono verde reflejaron la interacción entre los factores en estudio, dosis de fertilizante, período de sincronía e inoculación micorrízica. En ellos se observó 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 7 días.

Los rendimientos en masa seca obtenidos con la aplicación de canavalia, inoculación micorrízica del maíz y bajas dosis complementarias de fertilizante mineral fueron incluso superiores al tratamiento que recibió 160 kg N.ha⁻¹ sin canavalia y sin HMA, lo cual indicó, no sólo 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.

En 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 N.ha⁻¹ y en el 2004 fue a 80 kg N.ha⁻¹, aunque es importante destacar que en este último los rendimientos obtenidos fueron superiores.

El factor parcial de productividad (kg de masa seca. kg⁻¹ 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 N.ha⁻¹, a valores de 50 – 68 para el tratamiento combinado de canavalia y HMA con 80 kg N.ha⁻¹ y de 60 – 120 para el tratamiento combinado de canavalia y HMA con 40 kg N.ha⁻¹.

El empleo combinado de la canavalia y siembra del maíz a los 7 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 kg N.ha⁻¹, indicando el efecto de la simbiosis micorrízica sobre la absorción de N.

Yadav y col. (2000) expresaron que el factor parcial de productividad provee información útil acerca de la eficiencia de las fuentes de nutrientes 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, entre otros factores, de las variaciones del N asimilable en el suelo y por deficiencias en microelementos que afectan esta disponibilidad.

En este experimento, los altos valores del factor parcial de productividad en presencia del abono verde, HMA y dosis inferiores de fertilizante mineral indicó un aumento en la eficiencia en el uso de los nutrientes, lo que puede resultar en un menor potencial de pérdidas de estos al ambiente.

En correspondencia con esto Gordon y col. (1993) plantearon que al utilizar canavalia en sucesión con el maíz encontraron una respuesta positiva por el efecto residual de las leguminosas, al obtener incrementos en el crecimiento del maíz en comparación al testigo. Por su parte, Dravka y col. (1999) plantearon que el efecto de la canavalia sobre el maíz se reflejó en el aumento de la masa seca del cultivo económico.

Al analizar la colonización micorrízica del maíz en los tratamientos con canavalia (Figura 2), se encontró interacción entre los factores en estudio, con respuesta del maíz a la inoculación y mejor comportamiento a los 7 días, con dosis de 40 y 80 kg N.ha⁻¹.

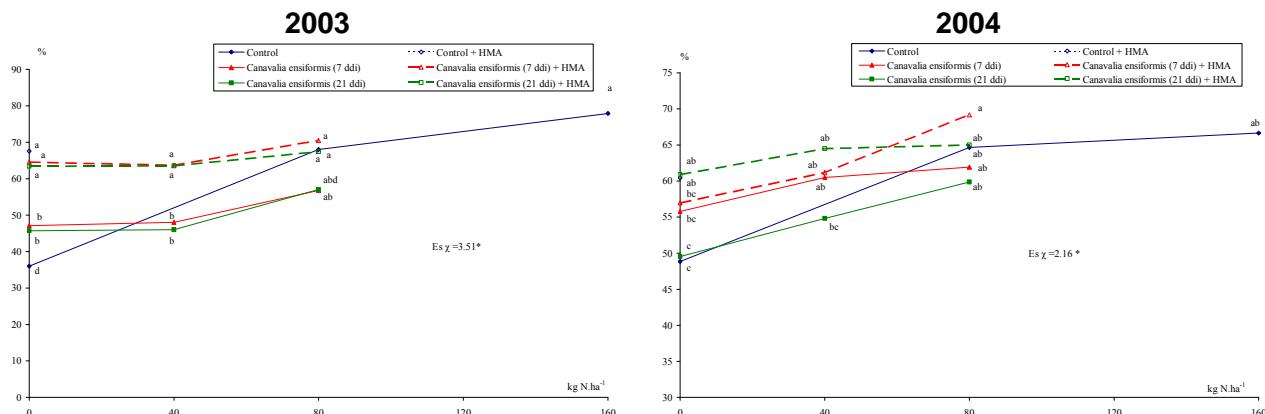


Figura 2: Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la colonización micorrízica del maíz (60 ddd). *Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($p<0.1$). ddi: días después de la incorporación de la canavalia. HMA: a base de *Glomus hoi – like*. Fertilizante mineral NH_4NO_3 . Barras verticales: Intervalo de confianza de los testigos de referencia.

En relación con esto, Bajwa y col. (2002) han reportado incrementos del funcionamiento de los HMA por la incorporación de los abonos verdes *Trifolium alexandrianum* y *Melilotus parviflora*, el aporte de materia orgánica, favoreció el desarrollo de los HMA nativos presentes en el suelo.

Por otra parte, la colonización micorrízica en los tratamientos sin abono verde, sin inoculación con HMA y con fertilizante mineral fue alta, 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, con estas variables se encontró interacción entre los factores en estudio.

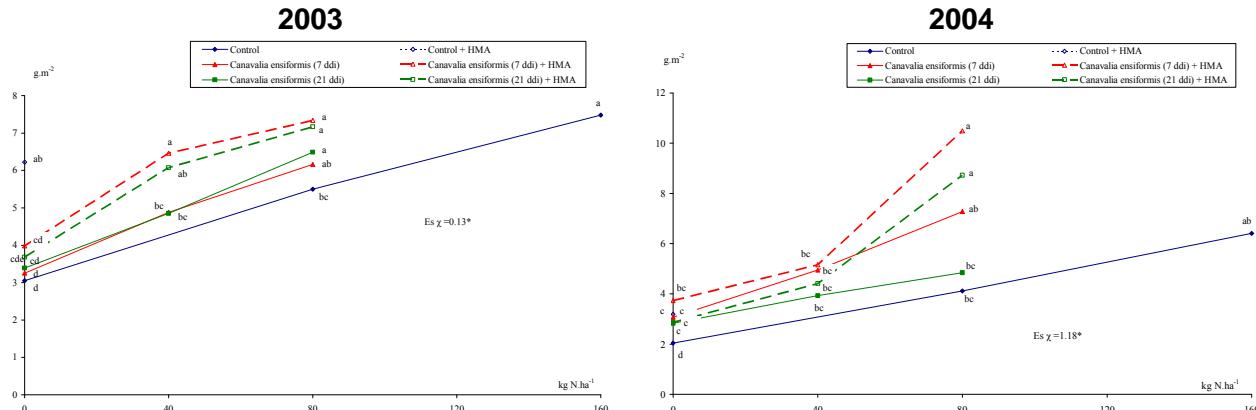


Figura 3: Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de nitrógeno por el maíz. Edad de las plantas: 60 días. *Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($p<0.1$). ddi: días después de la incorporación de la canavalia. HMA: a base de *Glomus hoi – like*. Fertilizante mineral NH_4NO_3 . Barras verticales: Intervalo de confianza de los testigos de referencia.

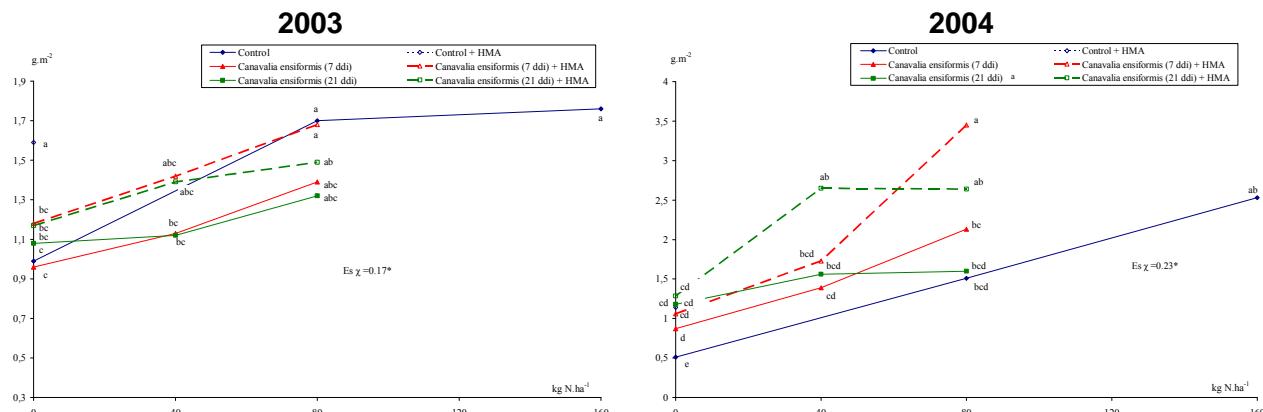


Figura 4: Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de fósforo por el maíz. Edad de las plantas: 60 días. *Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($p<0.1$). ddi: días después de la incorporación de la canavalia. HMA: a base de *Glomus hoi – like*. Fertilizante mineral NH_4NO_3 . Barras verticales: Intervalo de confianza de los testigos de referencia.

Las plantas de maíz aprovecharon mejor el suministro de nutrientes del abono verde si los períodos de sincronía incorporación – siembra fueron sólo de 7 días, lo que indicó que con el mayor intervalo (21 días) ocurrió un menor aprovechamiento debido posiblemente a una rápida mineralización del N y una posible pérdida de nutrientes del sistema por lavado u otras causas.

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 la absorción 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. En el año 2003 las mayores extracciones se obtuvieron con 40 kg N.ha⁻¹ y que se elevaron a 80 kg N.ha⁻¹ durante el 2004, en consonancia no sólo con los resultados de masa seca (Figura 3) sino con el importante incremento en la extracción de N que ocurrió en el segundo año.

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 7 días, con el maíz inoculado y dosis de N entre 40 y 80 kg N.ha⁻¹, 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.

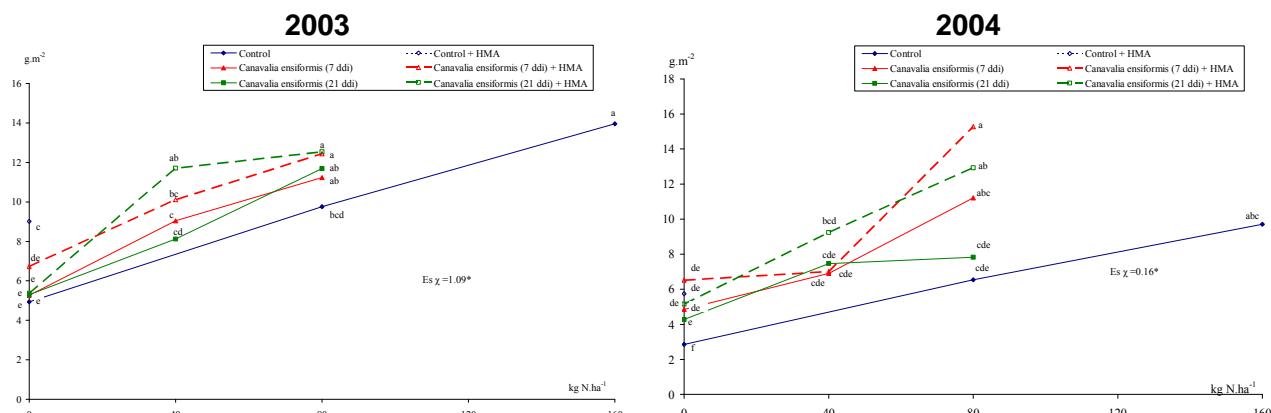


Figura 5: Influencia de la fertilización nitrogenada, la inoculación micorrízica y el período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra del cultivo principal sobre la extracción de potasio por el maíz. Edad de las plantas: 60 días. *Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de Duncan ($p<0.1$). ddi: días después de la incorporación de la canavalia. HMA: a base de *Glomus hoi – like*. Fertilizante mineral NH_4NO_3 . Barras verticales: Intervalo de confianza de los testigos de referencia.

Estos resultados coincidieron con los encontrados por Sangakkara y col. (2004), quienes plantearon 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 NPK y alcanzaran los mejores rendimientos.

Okito y col. (2004) han encontrado 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.

En coincidencia, Gamper y col. (2005) y Bucher (2007) plantearon 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.

Por su parte, Sangakkara y Nissanka (2003) demostraron la importancia del período de sincronía incorporación – siembra del cultivo posterior, al obtener los mayores coeficientes de aprovechamiento del N por el maíz mientras más rápida fue su siembra, resultado que coincidió con el obtenido en este experimento.

En este experimento, con un período de sincronía entre la incorporación de canavalia y la siembra de maíz de 7 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 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.

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 en su composición química y en presencia de altas temperaturas y humedad del suelo, mineralizó rápidamente sus nutrientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Bajwa, R.; Aslam, N.; Javaid. A. 2002. Comparison of three green manures for growth and V.A. mycorrhizal colonization in maize (*Zea mays* L.). On Line Journal of Biological Sciences. 2 (8): 512 – 517.
2. Barrios, E.; Mahuku, G.; Navia, J.; Cortés, L.; Asakawa, N.; Jara, C.; Quintero, J. 2006. Green manure impact on nematodes, arbuscular mycorrhizal and pathogenic fungi in Tropical Soils planted to common beans. 167 – 19. En: 18th World Congress of Soil Science. July 9 – 15, 2006, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
3. Bucher, M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. *New Phytologist*. 173 (1): 11 – 26.
4. Dravka, Z.; Petrova, B.L.; Rossitsa, M.; Mitovska, N. 1999. Manure nitrogen utilization by maize under pot experiment conditions with a Cambic Luvisol (A ^{15}N study). Section IV Soil fertility and plant nutrition. Extendent Abstracts. 6th International Meeting on Soil with Mediterranean Type of Climate: 320 – 322.
5. Fernández, F.; Gómez, R.; Vanegas, L.F.; Noval, B.M. de la; Martínez, M.A. 2000. Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. Cuba, Patente No. 22641.
6. Gamper, H.; Hartwig, V.A.; Leuchtmann, A. 2005. Mycorrhizas improve nitrogen nutrition of *Trifolium repens* after 8 yr of selection under elevated atmospheric CO₂ partial pressure. *New Phytologist*. 167: 531 – 542.
7. Gordón, R.; Franco, J.; de Gracia, N.; Martínez, L.; González, A.; de Herrera A.; Bolaños, J. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con canavalia y mucuna bajo dos tipos de labranza. Síntesis de resultados experimentales 1992. CIMMYT-PRM. Guatemala. 4: 106-110.
8. Oberson, A.; Nanzer, S.; Bosshard, C.; Dubois, D.; Mäder, P.; Frossard, E. 2007. Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by ^{15}N dilution and ^{15}N natural abundance. *Plant Soil*. 290: 69 – 83.

9. Okito, A.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. 2004. Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. *Pesq. Agropec. Bras.* 39 (12): 1183 – 1190.
10. Sangakkara, U.R.; Liedgens, M.; Soldati, A.; Stamp, P. 2004. 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.* 190: 339 - 346.
11. Sangakkara, U.R.; Nissanka, S.P. 2003. 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.* 48 (3): 191 – 196.
12. Siqueira, J.O.; Franco, A.A. 1988. Biotecnología do solo. Fundamento e perspectivas. Brasilia: MEC – Ministerio de Educação, ABEAS; Larras: ESAL, FAEPE. 236 p.
13. Yadav, R. L.; Dwivedi, B. S.; Pandey, P. S. 2000. Rice – wheat cropping system: assessment of sustainability under green manuring and chemical fertilizer inputs. *Field Crops Research.* 65 (1): 15 – 30.