

## EFFECTO DE LA *Mucuna* sp. EN LA COMPOSICION DE LA COMUNIDAD DE HONGOS MA DEL SUELO Y EN LA RESPUESTA DEL MAIZ A LA INOCULACION CON HONGOS MA<sup>1/\*</sup>

Fabio Blanco<sup>2/\*\*</sup>, Roy Gutiérrez<sup>\*\*</sup>

### RESUMEN

La leguminosa *Mucuna* sp. aumenta la fertilidad del suelo cuando crece asociada con maíz (*Zea mays* L.) en el sistema de rotación frijol-maíz. Se evaluó el efecto de la introducción de mucuna en ese sistema de rotación sobre (a) la composición de especies, la infectividad y efectividad de hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) y (b) la infectividad y efectividad de un aislamiento de *Glomus* sp., en 2 parcelas adyacentes, ambas con rotación frijol-maíz durante muchos años; la mucuna estuvo asociada con maíz en una de ellas. Las esporas de hongos MA fueron separadas por especie y contadas. Después se realizó un experimento con suelo autoclavado de cada parcela, usando maíz como hospedero. Los tratamientos para cada suelo fueron: (1) testigo, (2) inoculación con la población nativa (PN) de HMA, previamente separada del suelo, y (3) inoculación con *Glomus* sp. aislado de otra parcela cercana. Una sola especie de *Glomus* sp. abarcaba tres cuartos o más del número total de esporas de cada suelo. *Mucuna* sp. incrementó (59%) la población de esporas y el porcentaje de esporas de la especie dominante (75 a 89%). El porcentaje de colonización micorrícica de las raíces de maíz, obtenido con PN y *Glomus* sp., fue menor (8.9 y 8.8% respectivamente) en suelo con mucuna que sin ella (68 y 56% resp.). No

### ABSTRACT

Effect of *Mucuna* sp. on the composition of the community of AM soil fungi and the response of maize to inoculation with AM fungi. The legume *Mucuna* sp. enhances soil fertility when associated with maize (*Zea mays*) in the common bean-maize rotation system. The effect of introducing mucuna into that rotation system on (a) the species composition, infectivity and effectiveness of the arbuscular-mycorrhizal (AM) fungi, and (b) the infectivity and effectiveness of an isolate of *Glomus* sp., was evaluated in two adjacent plots, where common bean-maize rotated for many years; 3 years earlier, mucuna was associated with maize in one of them. Rhizosphere were sampled in both plots, AM fungi spores were separated according to species, and counted. Later, a greenhouse experiment was performed, using autoclaved soil of each plot, and maize as test plant. Treatments for each soil were: (1) control, (2) inoculation with previously separated native population (NP) of AM fungi and (3) inoculation with *Glomus* sp. isolated from a nearby third plot. One single species of *Glomus* accounted for three fourths or more of the spores found in either soil. *Mucuna* sp. increased (59%) the spore population and the percentage of spores (from 75 to 89%) of the dominant species. The percentage of AM colonization of maize roots obtained with NP and *Glomus* sp. was lower

1/ Recibido para publicación el 13 de noviembre de 1997.

2/ Autor para correspondencia.

\* Investigación financiada parcialmente por el Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación

Agronómica sobre los Granos Básicos en Centroamérica (PRIAG), proyecto ITR-043.

\*\* Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. Apartado postal 86-3000, Heredia, Costa Rica.

hubo respuesta positiva (medida como diferencia en peso de materia seca) del maíz a la inoculación, en ninguno de los suelos. *Glomus* sp. tuvo efecto nulo y PN se comportó parasíticamente ( $P < 0.05$ ).

## INTRODUCCION

El diagnóstico de la fertilidad de un suelo tradicionalmente se ha fundamentado en la interpretación de las relaciones químicas y físicas entre los componentes de la materia inerte (tanto orgánica como inorgánica), y de estos con el cultivo de interés. Sin embargo, recientemente ha tomado fuerza la idea de que la fertilidad debe considerar también la contribución, positiva o negativa, que brinda la materia viva del suelo.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) constituyen quizá el conjunto más influyente de organismos del suelo (Bethlenfalvay y Linderman 1992) pues interactúan fuertemente con todos los elementos bióticos y abióticos del suelo. El conocimiento de esas interacciones en sitios o agroecosistemas específicos, puede ayudar a diseñar prácticas de manejo que incrementen la productividad y sostenibilidad.

Aunque los HMA cumplen muy variadas funciones, una de las que han sido más estudiadas es la de mejorar la nutrición y promover el crecimiento de las plantas, particularmente cooperando en la absorción de elementos poco móviles del suelo, como el P (Sieverding 1991). Desde esta perspectiva, una especie o una población nativa (PN) de HMA, es más efectiva que otra si la simbiosis que forma da lugar a mayor cantidad de nutrimentos trasladados y a mayor vigor de la planta hospedera.

La efectividad de una especie particular o de una PN de HMA depende de su base genética, del número de propágulos infectivos presentes en el suelo, y de su interacción con los factores bióticos y abióticos del medio (Sieverding 1991). Además, una especie de HMA puede ser más efectiva para ciertos fines que para otros. Las prácticas agrícolas realizadas en un suelo influyen

(8.9% and 8.8% resp.) in soil with than without mucuna (68 and 56% resp.). There was no positive response (measured as difference in dry weight) of maize to AM inoculation in either soil: *Glomus* sp. had no effect and NP behaved as a parasite.

en la PN, por ejemplo: el sistema de labranza practicado, la clase y cantidad de fertilizantes y el cultivo, afectan el comportamiento de la población de HMA (Blanco et al. 1994). Asimismo, la predominancia relativa de especies de HMA es influida por la secuencia temporal de cultivos (Hendrix et al. 1995, Johnson et al. 1991).

El empleo de la mucuna (*Mucuna* sp.) en asociación con maíz (*Zea mays* L.), es una práctica cuya adopción por los agricultores está creciendo, pues esta leguminosa de cobertura aporta grandes cantidades de abono verde, aumenta la fertilidad del suelo y los rendimientos (Sancho y Cervantes 1996). Es de esperar que la introducción de la mucuna haya afectado de alguna forma la comunidad nativa de HMA.

Esta investigación se desarrolló con el objetivo de determinar si los cambios derivados de la introducción de la mucuna en el sistema de rotación frijol-maíz han alterado la composición de especies de la PN, así como la infectividad y efectividad de ésta y la receptividad del suelo a un inóculo de *Glomus* sp.

## MATERIALES Y METODOS

La investigación consistió de un muestreo de esporas de HMA realizado en el campo y de un experimento efectuado en invernadero.

### Muestreo de esporas

El 30 de octubre de 1994 se tomaron muestras, de 2 L cada una, representativas de la rizosfera de plantas de maíz en 2 parcelas adyacentes ubicadas en Guadalupe de Pejibaye de Pérez Zeledón. Esta localidad está a una altitud de 500

msnm, latitud de 09°09'40" norte y longitud de 83°34'18" oeste; la precipitación promedio anual es de 2434 mm, la temperatura promedio anual de 22.2°C y la humedad relativa de 87.7% (Diaz et al. 1990). Ambas parcelas son de suelos y pendientes similares, y durante varios años, tuvieron exactamente el mismo manejo agronómico, caracterizado principalmente por la rotación frijol-maíz (sembrados en mayo y setiembre u octubre, respectivamente). Sin embargo, en 1991 en una de ellas se introdujo la mucuna como cultivo asociado del maíz, para producir abono verde. La mucuna se siembra 45 días después que el maíz y permanece hasta la siembra del frijol.

Las esporas de HMA se separaron del suelo colectado, con el método de centrifugación en solución de sucrosa (Daniels y Skipper 1982). Se procesaron 6 submuestras, de 25 g de suelo húmedo, de cada muestra. Se contaron todas las esporas recuperadas. Debido a la notoria predominancia de la misma especie de HMA en ambos suelos, las esporas se repartieron en solo 2 grupos, correspondientes respectivamente, a la especie predominante y al resto. El efecto de la mucuna en el número y la proporción de ambos grupos de esporas se determinó mediante una prueba de  $\chi^2$  ajustada por continuidad.

### Experimento efectuado en invernadero

En este experimento se estudió la infectividad y efectividad de las PN de las parcelas con y sin mucuna y la receptividad de los suelos respectivos a la inoculación con *Glomus* sp.

**Suelo.** El 23 de noviembre de 1995, en las parcelas citadas antes, se tomaron nuevamente mues-

tras de 30 L de suelo (a 10-15 cm de las plantas, entre 0-20 cm de profundidad). Los resultados del análisis químico y físico de las muestras se presentan en el Cuadro 1. El suelo se secó al aire, se pasó por una zaranda de 5 mm y se autoclavó a 110°C y 115 lb de presión, durante 1 h; luego se extendió sobre una lámina plástica en una mesa de invernadero, se cubrió con papel y se dejó reposar hasta la aplicación de los tratamientos.

**Tratamientos.** Los tratamientos se eligieron de acuerdo con el protocolo clásicamente usado en estudios de efectividad de poblaciones nativas de hongos MA, el cual contempla sólo un testigo de suelo esterilizado, no inoculado (NI), y un tratamiento de suelo esterilizado más inóculo de la PN de HMA (ese protocolo es recomendado por Sieverding (1991) y fue usado con anterioridad por otros autores; e.g. Gianinazzi-Pearson et al. (1985)). Se incluyó un tercer tratamiento de inoculación con *Glomus* sp. (posiblemente *Glomus albidum* Walker y Rhodes), el cual proviene de una parcela vecina de las descritas antes. Este aislamiento tiene el código PZ12 en la colección de HMA de la Universidad Nacional (UNA). Los 3 tratamientos se aplicaron a los 2 suelos.

El inóculo de PN fue extraído, junto a partículas finas de suelo, por el método de decantado y tamizado (Sieverding 1991), a partir de 8 L de suelo no esterilizado de cada parcela, proveniente de un tercer muestreo efectuado el 22 de febrero de 1996. El inóculo así obtenido se dejó secar dentro del laboratorio, a temperatura ambiente, por 1 semana y luego se mezcló con la cantidad necesaria de suelo estéril para recuperar el volumen inicial de 8 L, el cual se repartió en 4 macetas de 2 L c/u. Lo mismo se hizo con la PN

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo no esterilizado de 2 parcelas adyacentes, con y sin *Mucuna* sp.

<i>Mucuna</i> sp.	pH agua	K	Ca	Mg cmol/L	Acidez	P	Fe	Cu mg/L	Zn	Mn	Materia orgánica %	Textura
Con	4.5	1.05	8.18	6.18	2.00	42	232	4	5.3	24	6.33	arcilloso
Sin	4.5	0.72	4.74	2.01	1.20	34	223	8	5.6	77	6.10	arcilloso

Olsen modificado: K, P, Fe, Cu, Zn, Mn; KCl 1N: Ca, Mg, Acid. ext.

de ambas parcelas. Este inóculo contenía esporas y micelio de HMA, además de raíces finas micorrizadas. Se sabe que los últimos 2 de esos propágulos son los más infectivos.

El inóculo de *Glomus* sp. había sido producido en macetas, en invernadero, usando maíz como planta hospedera. Al inicio de los experimentos tenía 7 meses y 19 días de almacenamiento, por lo que, al contrario del inóculo de PN, las esporas constituían los propágulos importantes. La viabilidad de sus esporas era de 73%, según prueba realizada con MTT (3-(4,5-Dimethylthiazol-2-thiazolyl)-2,5-diphenyl-2H-tetrazolium), con el protocolo de Ann y Hendrix (1988). Se empleó 15 g de inóculo (el cual tenía, en promedio, 20 esporas/g de suelo seco), mezclados con 2 L de suelo estéril/maceta. Se prepararon 4 macetas con suelo estéril de cada parcela.

**Diseño experimental.** El experimento tuvo un diseño completamente aleatorio, con 4 repeticiones de cada tratamiento. La unidad experimental fue una maceta de 2 L de capacidad con una semilla de maíz pregerminada. Dado que algunas plantas emergieron con retraso, se eliminaron, dando lugar a un número desigual de repeticiones.

**Manejo del experimento.** Se empleó la introducción de maíz UNA-135, registrada en la colección de germoplasma del Programa de Recursos Fitogenéticos de la Universidad Nacional, la cual procede de Boruca de Buenos Aires. La siembra se efectuó el 5 de marzo de 1996. No se aplicó ningún fertilizante o enmienda al suelo. Tampoco fue necesario combatir plagas. Las plantas se regaron diariamente con agua de tubo.

**Variables medidas.** El efecto de los tratamientos fue evaluado a los 48 días de la siembra. Se midió el peso seco (PS) de la parte aérea de las plantas (a 50°C durante 5 días), la intensidad (IM) y la frecuencia (FM) de micorrización (Trouvelot et al. 1986). La FM mide el porcentaje de secciones de raíz que están micorrizadas (cada sección se califica como infectada o no infectada), mientras que la IM considera además la intensidad de la infección. Además, se determinaron las concentraciones de nutri-

mentos de la parte aérea de las plantas, a partir de una muestra por tratamiento, compuesta de todas sus repeticiones, de la siguiente forma: el N total se determinó por el procedimiento micro-Kjeldahl; el P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn mediante digestión nitro-perclórica, seguida de colorimetría en el caso de P y de espectrofotometría de absorción atómica para los otros elementos (AOAC 1984).

**Análisis estadístico.** A las variables PS, IM y FM se le efectuó un análisis de variancia (ANDEVA) y de contrastes entre tratamientos. Para el ANDEVA, las variables IM y FM fueron transformadas mediante la función Arcoseno ( $\sqrt{x}$ ), en la que x es la variable expresada como proporción.

## RESULTADOS

### Muestreo de esporas

Tanto en la parcela con mucuna como en la sin mucuna, la clase predominante de esporas pertenecía a una especie (posiblemente nueva) del género *Glomus* Tul. & Tul., que previamente había sido incorporada a la colección de HMA de la UNA, con el código PZ11. En ambas parcelas, más del 75% de las esporas eran de esa especie (Cuadro 2), mientras que el resto estaba distribuido entre unas 10 especies diferentes. Por tanto, la mucuna no cambió la especie predominante, aunque sí alteró ( $P \leq 0.001$ ) la población de esporas en 2 sentidos: la aumentó numéricamente en 59% y además aumentó la presencia de la especie predominante de 75 a 89%.

Las esporas de la especie predominante eran globosas, de menos de 75  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las esporas de tamaño mayor que ese, pertenecientes a 6 especies no identificadas, constituían menos del 2% de las esporas, en ambos suelos. Esto indica que la especie dominante produjo la mayor masa total de esporas.

### Experimento de invernadero

Según el Cuadro 3, las diferencias entre medias de PS obtenido de ambos suelos (con y

sin mucuna) fueron casi nulas. Además, el tratamiento de inoculación con PN presentó una media de PS menor que NI. Esto quiere decir que, contra lo esperado, la simbiosis desarrollada por PN fue parasítica en los 2 suelos, con una diferencia media, respecto a NI, de  $-2.43$  g ( $P=0.034$ ). *Glomus* sp. produjo un peso seco de las plantas muy similar al de NI, con un efecto medio de sólo  $-0.39$  g. Entre los 2 tratamientos de micorrización hubo una diferencia media de  $2.03$  g de materia seca ( $P=0.076$ ). La diferencia entre cada inóculo y el respectivo testigo NI, no cambió sustancialmente entre los 2 suelos.

Respecto a la micorrización (IM) obtenida, el Cuadro 3 indica que fue baja en el suelo de la parcela con mucuna y alta en el suelo sin mucuna ( $P=0.002$ ); esta situación ocurrió con ambos inóculos, entre los cuales no hubo diferencias. Resultados similares se obtuvieron con FM.

El Cuadro 4 contiene las concentraciones de nutrimentos de la parte aérea de las plantas. Con el suelo de la parcela con mucuna se obtuvieron mayores contenidos de N, Zn y Mn, y menores de K y Ca, que con el de la parcela sin mucuna. El porcentaje promedio de N pasó de  $2.39$  en el sue-

lo sin mucuna a  $2.68\%$  en el suelo con mucuna. En ambos suelos sobresalen concentraciones mayores de N, K y Zn, y menores de Mn, cuando se inoculó con PN o *Glomus* sp., en relación con el tratamiento NI. Por otro lado, el porcentaje de N foliar fue más alto con la PN que con *Glomus* sp., en ambos suelos. Además, el porcentaje de P fue incrementado por la micorriza sólo en el suelo de la parcela sin mucuna, pasando de  $0.12\%$  en NI a  $0.21\%$  y  $0.18\%$  en PN y *Glomus* sp. respectivamente.

Cuadro 2. Número de esporas (por 100 g de suelo seco a  $105^{\circ}\text{C}$ ) de cada clase encontradas en las parcelas con y sin cobertura de *Mucuna* sp.

<i>Mucuna</i> sp.	Clases de esporas		Total
	Predominante <sup>1</sup>	Resto	
Con	2150	271	2421
Sin	1144	375	1519
Total	3294	646	3940

$\chi^2$  ajustado por continuidad= 123.00;  $P<0.001$ .

<sup>1</sup> Posible especie nueva de *Glomus* Tul. & Tul.

Cuadro 3. Medias  $\pm$  errores estándar del peso seco (PS) de plantas, intensidad (IM) y frecuencia (FM) de micorrización, obtenidos con 3 tratamientos de inoculación (INOC) en 2 suelos: con y sin *Mucuna* sp. y comparaciones entre tratamientos ( $n$  = número de repeticiones; números entre paréntesis son probabilidades).

<i>Mucuna</i> sp.	Inóculo	n	PS	IM*	FM*
CON	NI	3	$6.80 \pm 1.83$	0	0
	PN	3	$3.97 \pm 0.28$	$8.9 \pm 1.7$	$14.7 \pm 3.7$
	<i>Glomus</i> sp.	3	$6.18 \pm 0.59$	$8.8 \pm 4.1$	$21.0 \pm 7.4$
SIN	NI	4	$6.54 \pm 1.13$	0	0
	PN	4	$4.52 \pm 0.79$	$68.0 \pm 12.3$	$76.0 \pm 12.3$
	<i>Glomus</i> sp.	3	$6.38 \pm 0.72$	$55.9 \pm 14.5$	$70.1 \pm 13.2$

#### COMPARACIONES

CON - SIN	0.17(0.850)	$-53.1(0.002)$	$-55.2(0.002)$
PN - NI	$-2.43(0.034)$	—	—
<i>Glomus</i> sp.- NI	$-0.39(0.730)$	—	—
<i>Glomus</i> sp.- PN	$2.03(0.076)$	$-6.1(0.571)$	$0.2(0.989)$

\* Los datos de IM y FM fueron transformados a  $\text{Arcoseno}\sqrt{x}$  para el ANDEVA.

Cuadro 4. Concentración de nutrimentos en la parte aérea de plantas de maíz sembradas en suelos provenientes de parcelas con y sin *Mucuna* sp., con 3 tratamientos de inoculación.

<i>Mucuna</i> sp.	Inóculo	N Total	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
Con	NI	2.55	0.14	3.91	0.44	0.22	154	3	47	677
	PN	2.88	0.14	4.12	0.45	0.29	153	4	52	553
	<i>Glomus</i> sp.	2.61	0.13	4.47	0.40	0.26	135	4	52	456
Sin	NI	2.09	0.12	4.39	0.54	0.22	103	4	36	162
	PN	2.74	0.21	4.69	0.56	0.27	158	7	45	94
	<i>Glomus</i> sp.	2.35	0.18	5.15	0.47	0.23	132	6	44	94

## DISCUSION

El aumento cuantitativo de la población de HMA, lo mismo que la predominancia más acentuada de una especie del género *Glomus* Tul. & Tul. en la parcela con mucuna, obedece a los efectos ocasionados por esta leguminosa, en forma directa sobre la población de HMA y en forma indirecta por los cambios inducidos en el suelo. Johnson y colaboradores (1991) y Hendrix et al. (1995) coinciden en que los cambios efectuados en la estructura de la comunidad de plantas influyen en la composición de especies fúngicas MA. Además, por ser tan competitiva y producir grandes cantidades de biomasa, la mucuna, como cultivo de cobertura intercalado con maíz, representa no sólo una especie más del agroecosistema, sino que altera la composición florística, suprime parcialmente otras especies vegetales y cambia las características del suelo (Sancho y Cervantes 1996). En efecto, el análisis de suelo (Cuadro 1) reveló que la parcela con mucuna tenía el doble de la suma de cationes (15.41 vs 7.47 cmol/L), más P disponible (42 vs 34 mg/L) y menos Mn (24 vs 77 mg/L).

El suelo esterilizado de la parcela con mucuna mostró menor receptividad a los inóculos PN y *Glomus* sp. Esto se manifestó en que la infectividad micorrízica observada en el maíz, fue más baja en el suelo con mucuna que en el suelo sin mucuna. La receptividad es la habilidad de un suelo de permitir el desarrollo de la asociación

micorrízica en plantas hospederas de parte de un inóculo introducido (Perrin y Plenchette 1993) y depende de sus características químicas, físicas y biológicas. La menor infectividad pudo deberse, en algún grado, al mayor contenido de P del suelo con mucuna. Además, muy posiblemente, este suelo tenía más N asimilable por las plantas, debido a la fijación simbiótica de N atmosférico de parte de la mucuna (Sancho y Cervantes 1996), hecho que se puso en evidencia porque en el suelo con mucuna las plantas acumularon, en promedio, 0.51 unidades porcentuales más de N que en el otro suelo. Hay fuertes indicaciones de que un exceso de N puede inhibir la infectividad de los hongos MA (Sieverding 1991).

Las plantas tuvieron un crecimiento aceptable sin micorriza pero, en ambos suelos, la micorriza de la respectiva PN redujo el peso seco de las plantas, mientras que *Glomus* sp. no lo aumentó. Esto indica que ese genotipo de maíz no necesitó de la micorriza para nutrirse, en las condiciones del experimento; es decir, no fue dependiente de la micorriza.

La dependencia micorrízica se define como el grado en que una planta depende de la condición micorrízica para producir su máximo desarrollo o rendimiento, a un nivel dado de fertilidad (Gerdemann 1975). Se reconoce que el maíz es una especie facultativamente micorrízica (Sieverding 1991), lo cual significa que se beneficia de la micorriza a niveles bajos de P, aunque, bajo condiciones muy particulares, puede derivar

también beneficios cuando la concentración de P soluble del suelo es alta.

En su propio ambiente, en las parcelas con o sin mucuna, con la variedad local de maíz Maicena, que por varios años ha sido sembrada ahí, no es probable que las PN sean parasíticas, pues los rendimientos de maíz que ahí se obtienen son satisfactorios. Por tanto, el parasitismo de la micorriza en este experimento de invernadero puede deberse a cambios químicos o biológicos ocurridos en el proceso de esterilización del suelo, o al cambio de genotipo de maíz, o a ambos factores. El efecto de los factores químicos, físicos y biológicos del suelo en el funcionamiento de la micorriza ha sido bien documentado (Blanco y Salas 1995) lo mismo que la variabilidad intraespecífica de diferentes genotipos en cuanto a su respuesta a la micorriza (Johnson y Pflieger 1992). Estos autores indican que el grado en que diferentes genotipos se benefician de, o son colonizados por, hongos MA es un rasgo hereditario.

Entre el muestreo de suelos para el conteo de esporas y el muestreo para extraer las PN mediaron 16 meses. No obstante, durante ese período no acaecieron perturbaciones importantes en las 2 parcelas y el manejo de ellas continuó como de costumbre. Por esta razón es apropiado suponer que la especie fúngica MA que predominaba cuando se efectuó el primer muestreo, continuó como el componente más importante de ambas PN hasta cuando se hizo el presente experimento. Un aislamiento de esa especie, proveniente también de Pejibaye de Pérez Zeledón, que ingresó en la colección de hongos MA de la Universidad Nacional con el código PZ11, siempre mostró efectividad baja o nula en experimentos de invernadero (resultados no publicados) efectuados con maíz u otras plantas hospederas, mientras que el aislamiento de *Glomus* sp. empleado en este experimento, siempre tuvo efectividad media o alta.

La consideración anterior permite proponer las siguientes hipótesis: (1) si en este experimento se hubiera inoculado con una especie MA más efectiva que el *Glomus* sp. usado, la respuesta del maíz habría sido favorable, y (2) si mediante cambios en el manejo agronómico del agroecosistema (incluyendo entre estos la posibilidad

de inocular con una especie muy efectiva) se lograra que especies más efectivas alcanzaran mayor preponderancia, se incrementaría la efectividad de la comunidad fúngica MA, y en consecuencia los rendimientos del agroecosistema.

No queda claro cuales fueron, específicamente, los factores que determinaron la independencia micorrízica del maíz, el comportamiento parasítico de las PN y el efecto nulo de *Glomus* sp. Los cambios producidos por la esterilización del suelo no se cuantificaron, sin embargo está claro que permitieron el desarrollo de la infección micorrízica, el cual fue muy alto en uno de los suelos. Por otro lado, según el Cuadro 1, el contenido de P de ambos suelos (34 y 42 mg/L) puede considerarse suficiente para satisfacer las necesidades de la planta, pero no inhibió la infección micorrízica. Se sabe que concentraciones de hasta 200 mg/L han permitido que la micorriza incremente el peso seco del maíz (Salas 1990). La respuesta micorrízica puede variar de un suelo a otro y según el genotipo del hospedero y del endófito.

Herrera y colaboradores (1984) revisaron resultados publicados por diversos investigadores, algunos de los cuales encontraron simbiosis parasíticas con hongos que anteriormente habían sido muy efectivos, y argumentaron que el P no es el único elemento fertilizante que determina el nivel de micorrización y la efectividad de la micorriza, sino las relaciones N/P, N/K y K/P en la corteza radical; estas a su vez están influidas por las relaciones que se dan en el suelo. En su opinión cuando la micorriza fue inefectiva o parasítica estas relaciones estaban desbalanceadas, mientras que en condiciones de balance nutricional, aunque el nivel de P fuera muy alto, la micorriza era efectiva. En este experimento, la absorción de K respecto a N y P en la parte aérea de la planta, fue alta comparada con la reportada por Arnon (1975) para maíz, y podría haber disminuido, en algún grado, el efecto de la micorriza.

Por otro lado, el mayor contenido de N de las plantas, obtenido al inocular con PN, es posiblemente una consecuencia del drenaje de compuestos de carbono, desde la parte aérea hacia el sistema radical, realizado para abastecer las necesidades del simbionte fúngico. De esa manera

se redujo el peso seco de la planta y se concentró el N y otros nutrientes. Cuando se inoculó con *Glomus* sp. el porcentaje de N también aumentó con respecto a NI pero no descendió el peso seco, lo que indica que este simbiote exigió menos fotosintatos de la planta que PN. La micorriza incrementa, en forma directa la absorción de P, y en forma directa o indirecta en la absorción de otros iones ( $\text{NH}_4$ , Ca, Mg, Fe, Mn) (Johansen et al. 1994), particularmente si las concentraciones son bajas en el suelo. Si los nutrientes alcanzan niveles tóxicos, como a veces ocurre con el Mn en suelos ácidos, las micorrizas pueden reducir la absorción de este elemento (Hashem 1995); esto fue notorio en este experimento. En esta investigación los efectos favorables de la inoculación con *Glomus* sp., fueron mayores (mayor concentración en las plantas de N, P, K, Fe, Zn y menos de Mn) con el suelo de la parcela sin mucuna, posiblemente porque es microbiológicamente más pobre (Sancho y Cervantes 1996). Esto concuerda con el papel de la micorriza como promotor de la fertilidad del suelo (Bethlenfalvay y Linderman 1992).

### AGRADECIMIENTO

Al Dr. Carlos Cervantes, quien facilitó las parcelas con y sin *Mucuna* sp. para esta investigación, las cuales forman parte proyecto del PRIAG denominado "Balance del nitrógeno en el sistema de cultivo frijol-maíz". Al Dr. William Gamboa y a M.Sc. Paulina Montes de Oca, por sus acertados comentarios.

### LITERATURA CITADA

- ANN, Z. Q.; HENDRIX, J. W. 1988. Determining viability of endogonaceous spores with a vital stain. *Mycologia* 80 (2): 259-261.
- ARNON, I. 1975. Mineral Nutrition of maize. Ed. International Potash Institute. Bern-Worblaufen, Switzerland. 452 p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1984. Official methods of analysis. Ed. by S. Williams. Arlington, Virginia. p. 38-47.
- BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. 1992. Preface. *In: Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Ed. by G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman. Madison, Wisconsin. ASA Special Publication Number 54. p. 45-70.
- BLANCO, F. A.; SALAS, E. A.; JIMENEZ, S.; FONSECA, F. 1994. Algunos factores que influyen en la efectividad y densidad de propágulos infectivos de las poblaciones de hongos MVA. *In: Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales (PCCMCA)*. XL Reunión Anual. Resúmenes. San José, Costa Rica. p. 199.
- BLANCO, F. A.; SALAS, E. A. 1995. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *In: X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*. V. 3. Suelos. Ed. por F. Bertsch, W. Badilla y E. Bornemisza. San José, Costa Rica. UNED y EUNA. p. 69-79.
- DANIELS, B. A.; SKIPPER, H. D. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. *In: Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. Ed. by N.C. Schenk. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. p. 29-35.
- DIAZ, C.; HERNANDEZ, J. C.; MARIN, E.; SOLANO, W. 1990. Sondeo del área de estudio Boruca, Buenos Aires. CIMMYT-CIAT. San José, Costa Rica. p. 20.
- GERDEMANN, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. *In: The development and function of roots*. Ed. by J.D. Torrey and D.T. Clarkon. Academic Press. London. p. 575-591.
- GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S.; TROUVELOT, A. 1985. Evaluation of the infectivity and effectiveness of indigenous vesicular-arbuscular fungal populations in some agricultural soils in Burgundy. *Can. J. Bot.* 63:1521-1524.
- HASHEM, A. R. 1995. The role of mycorrhizal infection in the resistance of *Vaccinium macrocarpon* to mangane. *Mycorrhiza* 5:289-291.
- HENDRIX, J. W.; GUO, B. Z.; AN, Z. Q. 1995. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems. *In: The significance and regulation of soil biodiversity*. Ed. by H.P. Collins, G.P. Robertson and M.J. Klug. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p. 131-140.
- HERRERA, R. A.; FERRER, R.L.; OROZCO, M. O. HERNANDEZ, G.; VANCURA, V. 1984. Fertilización y micorrizas VA. II. Análisis del balance de macroelementos en varios experimentos. *Acta Bot. Cubana* 20:111-142.

- JOHANSEN, A.; JACOBSEN, I.; JENSSEN, E. S. 1994. Hyphal N transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. *Plant and Soil* 160:1-9.
- JOHNSON, N. C.; PFLEGER, F. L. 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizal and cultural stresses. *In: Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Ed. by G. J. Bethlenfalvai and R. G. Linderman. Madison, Wisconsin, USA. ASA Special Publication Number 54. p. 45-70.
- JOHNSON, N. C.; PFLEGER, F. L.; CROOKSTON, R. K.; SIMMONS, S. R.; COPELAND, P. J. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytol.* 117:657-663.
- PERRIN, R.; PLENCHETTE, C. 1993. Effect of some fungicides applied as soil drenches on the mycorrhizal infectivity of two cultivated soils and their receptiveness to *Glomus intraradices*. *Crop Protection* 12:127-133.
- SALAS, E. 1990. Selección de plantas hospederas para la reproducción de inóculo de hongos de micorrizas vesículo arbusculares (MVA), en macetas. Tesis Ing. Agr. Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional. 94 p.
- SANCHO, F.; CERVANTES, C. 1996. El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. *In: X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales*. V. 3. Suelos. Ed. por F. Bertsch, W. Badilla y E. Bornemisza. San José, Costa Rica. UNED y EUNA. p. 181-188.
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Management in Tropical Agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany. Eschborn. 371 p.
- TROUVELOT, A.; KOUGH, J. L.; GIANINAZZI-PEARSON, V. 1986. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *In: Mycorrhizae: physiology and genetics*. INRA, Paris. p. 217-220.