

# Respuesta de *Melinis minutiflora* a la inoculación con hongos micorrícico arbusculares en un Inceptisol de Colombia

## Response of *Melinis minutiflora* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in an Inceptisol of Colombia

Lyda Minelly Zárate Quiroga<sup>1</sup>; Marina Sánchez de Prager<sup>2</sup>; Edmundo Barrios<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Universidad Nacional de Colombia. AA 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

<sup>3</sup> Biol. Ph D. Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) Institute of CIAT, AA 6713, Cali. Valle del Cauca, Colombia.

Autor para correspondencia: [lmzarateq@unal.edu.co](mailto:lmzarateq@unal.edu.co)

Rec.: 24-11-08    Acept.: 19-10-09

### Resumen

En un invernadero del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali (Colombia) se evaluó la aplicación de cinco inóculos de hongos micorrícico arbusculares, HMA: *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis* y la mezcla de estos con y sin esterilización, en sustrato sin desinfectar (SD) y desinfectado (D) sobre variables de rendimiento (biomasa aérea y radical, longitud radical), colonización por HMA y concentración foliar de nutrientes en la gramínea *Melinis minutiflora* Beauv., con el objetivo de seleccionar los inóculos más eficientes. Se utilizaron como unidades experimentales materos de 13.5 x 16.0 x 14.0 cm. El sustrato empleado fue suelo procedente de un Inceptisol con baja disponibilidad de nutrientes, tamizado y mezclado con arena. Los inóculos de *Gi. margarita* y *Gl. manihotis* presentaron los mejores resultados en la acumulación de biomasa aérea y radical, longitud radical, porcentaje de colonización micorrícica y concentración de elementos. *Kuklospora colombiana* presentó efectos inhibitorios sobre las variables evaluadas. La condición del sustrato SD favoreció la acumulación de biomasa aérea y radical y la concentración de fósforo (P) en la biomasa aérea, además, estimuló la longitud radical de *M. minutiflora*. La concentración de N, K, Ca y Mg en la biomasa aérea fue mayor en el sustrato D. Los resultados muestran que *Melinis minutiflora* con inoculación HMA es promisoría para la recuperación de suelos degradados.

**Palabra clave:** *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Melinis minutiflora*, Inceptisol, micorrizas arbusculares vesiculares.

### Abstract

The effect of five inocula of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the grass *Melinis minutiflora* Beauv. was investigated under greenhouse conditions at the International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia, with the aim of selecting the most efficient AMF inocula. Non-disinfected (ND) and disinfected (D) substrates were studied. Inocula were: *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis* and a mixture of those three species of AMF with and without sterilization. Yield parameters were aerial and radical biomass, root length, mycorrhizal colonization and N, P, K, Ca, and

1 Bióloga, M.Sc. Ph.D. en Ciencias Agropecuarias

2 Ing. Agrónoma, M.Sc. Ph.D. Profesora Asociada

3 Biólogo, Ph.D.

Mg concentrations in the aerial biomass. Pots measuring 13.5 x 8.0 x 14.0 cm were used as experimental units. Inceptisol soil, with low nutrient availability, previously sieved and mixed with sand was used as substrate. *Gi. margarita* and *Gl. manihotis* inocula showed the best results in the accumulation of aerial and root biomass, root length, mycorrhizal colonization and concentration of elements in the aerial biomass, while *Ku. colombiana* presented inhibitory effects on the variables evaluated. ND substrate condition increased accumulation of aerial and radical biomass and P concentration in the aerial biomass, also stimulated root length of *M. minutiflora*. Aerial biomass had higher concentrations of N, K, Ca, and Mg in D substrate. *Melinis minutiflora* is a promising grass species for rehabilitation of degraded soils in combination with arbuscular mycorrhizal fungi inoculation.

**Key words:** *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Melinis minutiflora*, vesicular arbuscular micorrhizae.

## Introducción

En procesos de rehabilitación de áreas degradadas los hongos micorrízico arbusculares (HMA) nativos e introducidos en combinación con coberturas vegetales, pueden contribuir a generar un mayor impacto benéfico (Silveira, 1992). Sin embargo, los efectos pueden variar en razón de la diversidad funcional que presentan las diferentes especies de HMA para desempeñar su labor (Brundett, 2000; Marschner, 1995) y sugieren la existencia de cierto grado de selectividad entre HMA y hospedero en condiciones particulares de suelo (Caldeira et al., 1983) lo cual es denominado por Siqueira y Franco (1988) como 'habilidad discriminatoria' de los HMA.

El programa Manejo de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha evaluado y explorado algunas especies vegetales y prácticas de manejo del suelo para rehabilitar áreas degradadas y controlar la erosión en zonas de ladera del municipio de Caldon, departamento del Cauca, Colombia, investigando el papel que desempeñan los barbechos, los efectos de las plantas hospederas de HMA y la influencia del micelio externo de HMA en las propiedades físicas del suelo (Torres, 2000).

*Melinis minutiflora* es originaria de África y actualmente se encuentra en América del Sur, América Central, el Caribe y partes de la India (Cornell, 2008). A Colombia fue introducida en 1906 (Pérez, 1996) y se le conoce con el nombre común de pasto yaraguá. Si bien la condición micotrófica de la especie ya ha sido registrada (Gomide y Zometa, 1978), Reyes (2001) lo confirmó para las condiciones

del departamento del Cauca (Colombia) donde esta gramínea constituye pasturas naturalizadas (Filipe, 1997). La FAO (2008) la considera una especie valiosa en razón de su fácil establecimiento y su capacidad productiva, de aceptable valor nutritivo y de su empleo para conservación de suelos en laderas escarpadas con suelos pobres. Zárate (2007) encontró una importante participación de su sistema radical junto con el micelio externo de los HMA en el mejoramiento de la estructura del suelo. Estas condiciones resaltan la importancia tanto comercial como ambiental de la especie y su inclusión en planes de manejo y conservación de suelos.

Considerando que existe la necesidad de investigar el potencial de especies individuales de HMA con el fin de seleccionar inoculantes específicos en planes de restauración y/o reducción de la erosión del suelo (Dodd, 1994), el Programa Manejo de Suelos del CIAT se planteó como objetivo en este trabajo seleccionar los inóculos de HMA más eficientes en el rendimiento de *M. minutiflora*, a través de la evaluación de los efectos de la inoculación de tres especies de HMA en la longitud y las biomásas aérea y radical, en un periodo de noventa días, además, analizar el comportamiento de los HMA mediante el porcentaje de colonización micorrízica y su efecto en la concentración de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en la biomasa aérea.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero del CIAT (Cali, Valle del Cauca, Colombia) entre septiembre de 2004 y agosto de 2005. Se utilizó un Inceptisol (IGAC, 1979),

franco, pH = 5.2, 16.7% de MO, N-total = 6575 ppm, P-Bray II = 0.8 ppm, K = 0.31, Ca = 1.89, Mg = 0.74, Al = 0.52 meq/100g de la vereda Pescador, municipio de Caldono (2° 48' N, 76° 33' O y a 1500 m.s.n.m.), departamento del Cauca (CIAT, 2000).

Las semillas de *M. minutiflora* utilizadas en el ensayo fueron recolectadas de pasturas naturalizadas en la vereda antes mencionada, se desinfectaron (hipoclorito de sodio 10% por 5 min) y pregerminadas en arena esterilizada antes de su siembra en los materos. El inóculo de HMA empleado fue de suelo con esporas procedente de la colección de micorrizas del CIAT. Los materos usados como unidades experimentales (UE) medían 13.5 x 16.0 x 14.0 cm. El sustrato empleado se obtuvo de la mezcla de suelo tamizado en malla de 2 mm más arena en proporción 2:1 (p/p) (Thomas et al., 1993), el cual fue desinfectado durante 15 días con 60 g/m<sup>3</sup> de Basamid (tetrahydro-3,5-dimetil-2H-1,3,5-tiadizina-2-tiona), según lo propuesto por Reyes (2001).

El arreglo de las unidades experimentales se llevó a cabo al finalizar el proceso de desinfección del sustrato. Los materos se llenaron hasta 2/3 partes de su capacidad, luego se depositó el inóculo de HMA (700 esporas por cada UE) antes de completar el llenado. El sustrato se humedeció a capacidad de campo (22%) y al día siguiente se sembraron 4 plantas de 3 semanas de edad por matero.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con 4 repeticiones. La parcela principal resultó de un factorial 2 x 5, así, dos condiciones de sustrato: sin desinfectar (SD) y desinfectado (D) y cinco inóculos de HMA: *Kuklospora colombiana* (KCLB) Oehl y Sieverding (2006), *Gigaspora margarita* (GMRG) W.N. Becker y I. R. Hall (1976), *Glomus manihotis* (LMNH) R.H. Howeler, Siever y N.C. Schenck (1984), mezcla de las tres especies de HMA sin esterilizar (Mezcla) y mezcla esterilizada (O). Las subparcelas fueron los tiempos de muestreo (1, 2 y 3 correspondientes a 30, 60 y 90 días respectivamente).

Después de 30, 60 y 90 días de la siembra se determinó la longitud radical (LR, expresada en metros por unidad experimental, m/UE) previa separación y lavado de las

raíces, utilizando un Comair Root Length Scanner (Commonwealth Aircraft Corp. Ltd, Melbourne, Australia) y se evaluaron gravimétricamente la biomasa aérea (BA) y radical (BR) posterior al secado a 60 °C por 48 h, los resultados se expresan en gramos por unidad experimental, g/UE. Se estimó la colonización micorrícica (expresada como % de colonización) utilizando el método de tinción de raíces según Sieverding (1983) y la cuantificación del porcentaje de colonización por HMA según método de Allen y Allen (Sieverding, 1983). A los 90 días se determinó la concentración de N (semimicro Kjeldahl, digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), P (digestión con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y K, Ca y Mg (digestión nitro-perclórica) en la BA. Los datos se analizaron en el programa SAS (SAS Institute Inc. 1998-2000), se llevaron a cabo pruebas de normalidad, ANOVA, pruebas de Duncan y análisis de correlación entre las variables.

## Resultados

### Efecto de la inoculación en la producción de biomasa

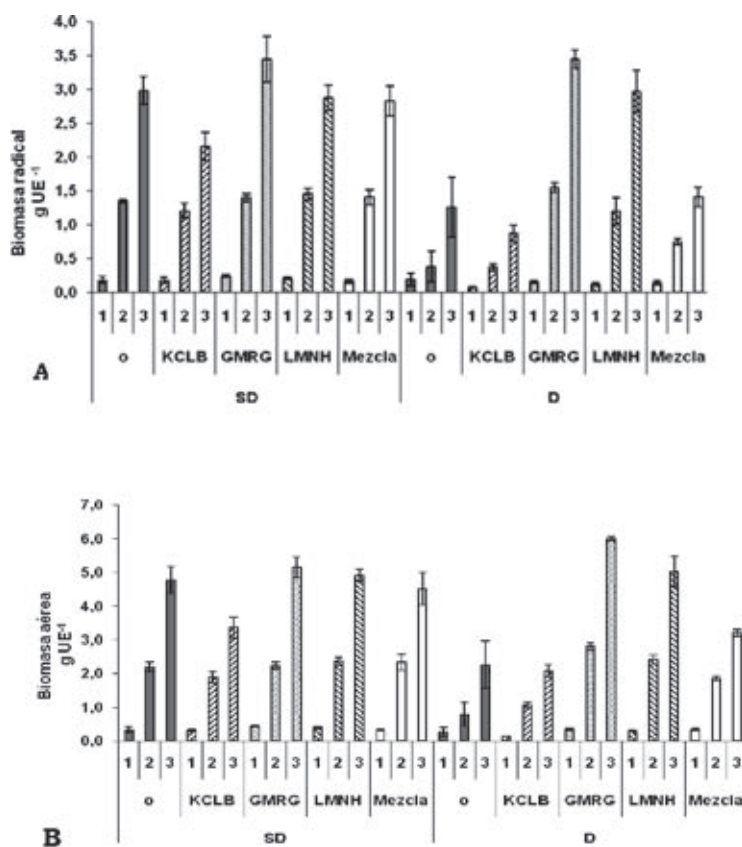
El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró diferencias altamente significativas en BA y BR por efecto de la inoculación con HMA, condición del sustrato, tiempo de evaluación e interacciones. El promedio general de BA en el tiempo de evaluación se incrementó gradualmente a partir de los 30 días. Los factores individuales en la BA mostraron que la condición del sustrato sin desinfectar (SD) favoreció la acumulación de BA en *M. minutiflora* en 20% respecto a sustrato desinfectado (D). La mayor acumulación de BA ocurrió en las plantas inoculadas con GMRG (*Gi. margarita*) con 2.8 g/UE, y la menor en KCLB (*Ku. colombiana*) con 1.5 g/UE (P < 0.05) (Figura 1A).

La condición SD incrementó en 50% la acumulación promedio general de BR. GMRG presentó el mayor valor, 1.7 g/UE; y, en el tiempo, la variable se incrementó hasta alcanzar 2.4 g/UE en el tercer muestreo (P < 0.05) (Figura 1B). La correlación positiva y altamente significativa (P < 0.01) de la BA y BR confirmó que en el tiempo los incrementos de BA fueron acompañados por incrementos en BR (r = 0.86, 0.92 y 0.94 en tiempos 1, 2 y 3 respectivamente).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de biomasa aérea y radical, longitud radical y colonización micorrícica en *M. minutiflora*.

Fuente de variación	Gl	Cuadrados medios			
		Biomasa aérea (g/UE)	Biomasa Radical (g/UE)	Longitud Radical (m/UE <sup>1</sup> )	Colonización micorrícica (%)
Repetición (R)	3	1.536*	0.827*	2128.916 ns	203.632 ns
Condición de sustrato (S)	1	5.883**	6.878**	0.382 ns	2887.868*
Inóculo (I)	4	7.464**	3.034**	4939.661*	2732.446**
S x I	4	2.854**	1.046**	5873.341*	846.411**
Tiempo (T)	2	146.235**	51.532**	197533.120**	889.656**
S x T	2	1.379**	1.646**	5371.399**	454.075*
I x T	8	2.486**	1.143**	2363.455*	194.603 ns
S x I x T	8	0.908**	0.413**	3297.050**	524.465**
Promedio		2.150	1.233	100.575	38.539
Coefficiente de Variación		17.793	21.543	30.314	29.412

\*significativo (P < 0.05), \*\* altamente significativo (P < 0.01), ns: no significativo.

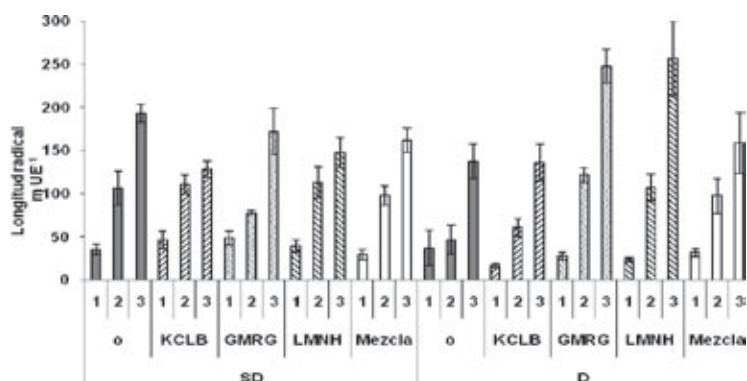


**Figura 1.** A = Biomasa aérea y B = Biomasa radical de *M. minutiflora* resultado de la interacción sustrato, inóculo de HMA y tiempo de evaluación. Barras indican error estándar. P < 0.05.

### Efecto sobre la longitud radical

En la longitud radical (LR) se encontraron diferencias significativas para inóculo de HMA y la interacción inóculo – condición del sustrato y diferencias altamente significativas en relación con el tiempo de evaluación, y la interacción de este factor con la condición del

sustrato y los inóculos de HMA (Cuadro 1). Los factores individuales mostraron que LR se incrementó en el tiempo y que los inóculos LMNH y GMRG en el sustrato D estimularon el crecimiento radical alcanzando al final del ensayo 256.9 y 247.4 m/UE respectivamente (P < 0.05) (Figura 2). En contraste, en el sus-



**Figura 2.** Efecto del sustrato, inóculo de HMA y tiempo de evaluación en la longitud radical de *M. minutiflora*. Barras indican error estándar.  $P < 0.05$ .

trato SD fueron los HMA nativos (SD+o) los que favorecieron el incremento en la longitud radical (193.2 m/UE).

#### Efecto sobre la nutrición de *M. minutiflora*

La condición del sustrato, además de influir en la BA, BR y LR, incidió en la concentración de nutrientes (Cuadro 2). Para los inóculos de HMA evaluados la concentración de N, K, Ca y Mg en la BA fue mayor en el sustrato D y el P, en el sustrato SD. Los efectos de los tratamientos en las concentraciones de P en la BA presentaron correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) con la colonización micorrícica (COL) ( $r = 0.32$ ) y, a su vez, ésta con las BA y BR presentó correlación significativa ( $P < 0.05$ ) y positiva en el segundo ( $r = 0.41, 0.38$ ) y tercer muestreo ( $r = 0.37, 0.39$ ). De otro lado, los contenidos de N y Mg

presentaron una correlación significativa y negativa con la colonización ( $r = -0.51$  y  $-0.54$ , N y Mg respectivamente).

#### Efecto sobre la colonización micorrícica

El porcentaje de COL presentó diferencias significativas para la condición del sustrato y altamente significativas para inóculo, época de muestreo y las interacciones sustrato - inóculo y sustrato - inóculo - tiempo (Cuadro 1). La condición del sustrato SD estimuló la colonización micorrícica para todos los inóculos evaluados. Sin embargo, LMNH expresó el más alto potencial de micorrización en las dos condiciones del sustrato. El proceso de desinfección aplicado al suelo redujo casi en su totalidad la actividad de los HMA nativos (D + o) (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Concentración de nutrientes (mg/g) en la biomasa aérea (BA) de *M. minutiflora* noventa días después de la siembra.

Tratamiento	mg/g					g/UE (BA)
	N	P	K	Ca	Mg	
SD + O	10.1	0.4	11.7	1.7	1.5	4.8
SD + KCLB	12.1	0.7	12.8	2.0	1.7	3.4
SD + GMRG	9.8	0.4	11.6	1.4	1.3	5.2
SD + LMNH	8.9	0.8	13.4	1.9	1.4	4.9
SD + Mezcla	11.0	0.6	14.5	1.6	1.5	4.5
D + O	21.2	0.4	14.1	1.9	2.2	2.3
D + KCLB	24.9	0.6	18.2	2.5	2.0	2.1
D + GMRG	14.9	0.4	15.9	1.8	1.5	6.0
D + LMNH	16.4	0.4	18.0	2.1	1.6	5.0
D + Mezcla	21.4	0.4	20.3	2.2	1.9	3.2

SD: sin desinfectar, D: desinfectado. KCLB: *Kuklospora colombiana*, GMRG: *Gigaspora margarita*, LMNH: *Glomus manihotis*, Mezcla: mezcla de HMA anteriores y O: mezcla de HMA esterilizados.

**Cuadro 3.** Porcentaje de colonización micorrícica (COL) en *M. minutiflora*. Promedio general de los tres tiempos de muestreo.

sustrato	COL (%), según inóculo de HMA				
	O	KCLB	GMRG	LMNH	Mezcla
SD	37	39	44	49	47
D	9	26	38	52	43

SD: sin desinfectar, D: desinfectado. KCLB: *Kuklospora colombiana*, GMRG: *Gigaspora margarita*, LMNH: *Glomus manihotis*, Mezcla: mezcla de HMA anteriores y O: mezcla de HMA esterilizados.

### Discusión

Los valores registrados en la BA y BR permitieron establecer la siguiente secuencia general por acción de los micosimbiontes en las condiciones de sustrato, SD: RG > LMNH > Mezcla > O > KCLB; y D: GMRG > LMNH > O > Mezcla > KCLB. Las BA y BR sugieren que en el sustrato D se expresaron particularmente el potencial de los HMA inoculados individualmente, y en SD los procesos de interacción entre HMA inoculados y nativos. Así, GMRG presentó los mejores resultados en cuanto a su capacidad de estimular la acumulación de biomasa en *M. minutiflora*. En contraste, KCLB en los dos sustratos evaluados presentó una respuesta inhibitoria en la acumulación de biomasa tanto aérea como radical, al presentar valores por debajo del tratamiento con el sustrato desinfectado e inoculado con un inóculo esterilizado (D + O) que para efectos de la inoculación actúa como un testigo absoluto. En *B. decumbens* también se han encontrado efectos negativos en la acumulación de biomasa en plantas inoculadas con HMA del género *Glomus* (Sosa et al., 2006). Los resultados mostraron evidencia de cómo la actividad de los HMA nativos permitió superar los efectos antagónicos o de competencia que resultan de la mezcla de las tres especies de HMA (SD + Mezcla vs. D + Mezcla), cuya respuesta en el sustrato D fue inhibitoria.

La acumulación de biomasa en *M. minutiflora* para todos los inóculos evaluados, fue mayor en la parte aérea, resultado que coincide con los registrados por Filipe (1997) para la misma especie en condiciones de campo, pero difiere de los encontrados por Reyes (2001) para este hospedero. Los contrastes en la proporción de distribución de la biomasa entre la parte aérea y la raíz pueden tener su

origen en la presencia de diferentes especies y/o comunidades de HMA (Silveira, 1992) y la respuesta del hospedero a dichos cambios en condiciones particulares del suelo.

La respuesta de la LR mostró una tendencia similar que la BA y BR, en relación con los inóculos que estimularon la variable (Figura 2), así, GMRG y LMNH estimularon la longitud del sistema radical de *M. minutiflora* y KCLB presentó una respuesta inhibitoria. Además, se encontraron correlaciones altamente significativa ( $P < 0.01$ ) y positiva entre BA y BR y la LR durante el ensayo ( $r = 0.71, 0.70, 0.58$  y  $0.81, 0.70, 0.58$  en los tiempos 1, 2 y 3 para BA y BR respectivamente).

Las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg encontradas en la biomasa aérea de *M. minutiflora* están dentro de valores antes registrados para la especie (Primavesi, 1982; Gomide y Zometa, 1978; Caldeira et al., 1983; Filipe, 1997). Con base en la acumulación de BA se encontró que los tratamientos con un valor >3.2 g/UE presentaron la siguiente relación entre los elementos evaluados:  $K > N > Ca > Mg > P$ ; cuando el valor fue igual o menor a éste, la relación fue:  $N > K > Ca > Mg > P$  (Cuadro 2). Laredo (1985) y Reyes (2001) encontraron que  $K > N$  cuando las plantas tienen más de 40 días de edad, en tanto que en etapas más tempranas la relación es inversa. Los resultados mostraron que la inversión estuvo asociada con la acumulación de BA más que con la edad.

La mayor concentración de P en la condición de sustrato SD coincide con los resultados obtenidos por Schweiger et al. (2000) al comparar plantas creciendo en suelos fumigados y no fumigados, y sugiere que en la dinámica de este elemento es importante la interacción de los efectos de las HMA con la actividad de toda la población microbiana nativa del suelo intensificada por el efecto micorrizosfera (Sánchez, 2007), más aún, si se considera la baja fertilidad del suelo empleado en este estudio. En relación con las respuestas registradas en el sustrato D, es importante mencionar que procesos de esterilización pueden provocar cambios en la disponibilidad de N, Mn y K (Rusell y Rusell, 1964; Sánchez, 1999; Torres, 2000) y afectar por esta vía la respuesta de los HMA y la planta hospedera.

*Melinis minutiflora* mostró un marcado contraste entre la concentración de elementos en la BA y la acumulación de biomasa para los inóculos evaluados (Cuadro 2), lo cual es evidente en la correlación altamente significativa ( $P < 0.01$ ) y negativa entre los contenidos de N, Ca y Mg y la BA ( $r = 0.65, -0.55, -0.80$  con N, Ca y Mg respectivamente). Primavesi (1982) y Siqueira y Franco (1988) explican en parte este fenómeno por el efecto de dilución que se genera cuando se produce un crecimiento acelerado de la planta. De otro lado, Smith y Read (1997) sostienen que incrementos en la concentración de nutrientes y respuesta negativa en el crecimiento de las plantas micorrizadas es evidencia directa de plantas con limitaciones por C más que por nutrientes. Por su parte Primavesi (1982) afirma que niveles muy altos de nutrientes en el tejido vegetal no se pueden tomar como señal de óptima nutrición. Los resultados obtenidos difieren de los registrados por Caldeira et al. (1983) quienes encontraron que las especies de HMA que indujeron mayor acumulación de BA en *M. minutiflora*, también aumentaron la concentración de nutrientes.

Los resultados sugieren que no es posible relacionar de manera directa la COL y la efectividad de la simbiosis, pues, si bien KCLB no presentó los menores porcentajes de colonización, las respuestas registradas en los tratamientos donde se inoculó fueron de tipo inhibitorias, en contraste, el inóculo 'O' mostró los menores porcentajes de COL y sus resultados tuvieron valores intermedios. Se necesitan estudios a largo plazo para evaluar otro tipo de efectos, por ej., no nutricionales asociados con la presencia de la simbiosis micorrízica que pueden tener impacto positivo en el establecimiento de la especie hospedera. Los porcentajes de colonización micorrízica registrados en *M. minutiflora* son similares a los encontrados por Posada (2006) en pasturas de *Brachiaria* sp.. en condiciones de campo, pero inferiores a los registrados por Caldeira et al. (1983) para *M. minutiflora* en suelos de Brasil.

### Conclusiones

- La condición del sustrato SD favoreció la acumulación de biomasa aérea y radical

y la concentración de P en la BA, además estimuló la longitud radical de *M. minutiflora*.

- *Kuklospora colombiana* presentó efectos inhibitorios sobre las variables evaluadas.
- Considerando los resultados presentados en la BA, BR, LR, COL y concentración de elementos, los inóculos de *Gi. margarita* (GMRG) seguido de *Gl. manihotis* (LMNH) se podrían sugerir para *M. minutiflora*, si se considera su utilización en planes de rehabilitación de pasturas en la zona de Pescador, Cauca, o en sitios con suelos de características similares al Inceptisol utilizado en este ensayo, sin embargo, no se debe desestimar el potencial de los HMA nativos.

### Agradecimientos

El artículo se derivó de la Tesis de Maestría de L. M. Zárate adelantada en cooperación entre el Proyecto Manejo de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia y la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Los autores también reconocen los valiosos aportes del doctor. Luis Martín Caballero, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

### Referencias

- Becker W. N., Hall I.R. 1976. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?search\\_term=Gigaspora+margarita&commit=Search](http://www.globalnames.org/name_strings?search_term=Gigaspora+margarita&commit=Search). Consultado 15 de enero de 2009.
- Brundett, M. 2000. CSIRO Forestry and Forest Products. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). En: [www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza](http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza) (fecha de consulta: 20 de noviembre 2005.)
- Caldeira, S. F.; Chaves, G. M.; y Zambolim, L. 1983. Associação de micorriza vesicular-arbuscular com café; limão-rosa e capim-gordura. Pesq. Agropec. Bras. 18 (3): 223-228.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Annual report 2000. Project PE-2. Overcoming Soil Degradation through Productivity Enhancement and Natural Resource Conservation. s.p.

- Cornell University. 2008. Treating Livestock with Medicinal Plants: Beneficial or Toxic?. *Melinis minutiflora*. <http://www.ansci.cornell.edu/plants/medicinal/melinis.html> Consultado 10 de diciembre de 2008.
- Dodd, J. C. 1994. Approaches to the study of the extraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi. En: Gianinazzi S.; Schuepp H. (eds.). Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. Birkhäuser Verlag. Basilea, Suiza. p 147-166
- FAO. 2008. A97 *Melinis minutiflora* Beauv. (online). [www.fao.org/AG/aga/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/116.HTM](http://www.fao.org/AG/aga/AGAP/FRG/AFRIS/es/Data/116.HTM) Consultado 26 de noviembre de 2008.
- Filipe, D. 1997. Shoot and Root Attributes of Introduced and Naturalized Pastures in a Volcanic-ash soil of the Andean Hillsides (Department of Cauca; Colombia). CIAT, Faculté des Sciences et Technologie Université Paris XII Val-de-Marne. Paris, France. p 1-39.
- Gomide, J. A. y Zometa, A. T. 1978. Composición mineral de los forrajes cultivados bajo condiciones tropicales. En: McDowell L.R. y Conrad J.H. (eds.). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Belo Horizonte, Brasil, 1976. Memorias de la Conferencia. University of Florida, Gainesville, FL, USA. p 39-46.
- Howeler R. H., Siever y Schenck N. C. 1984. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?search\\_term=Glomus+manihotis&commit=Search](http://www.globalnames.org/name_strings?search_term=Glomus+manihotis&commit=Search) Consultado 15 de enero de 2009.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1979. Estudio General de los Suelos de los Municipios de Santander de Quilichao; Piendamó; Morales; Buenos Aires; Cajibío y Caldon (Departamento del Cauca). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 95 p.
- Laredo, M. A. 1985. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Ministerio de Agricultura, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Bogotá, Colombia. 63 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London, UK. p. 537 – 595.
- Oehl, F., Sieverding E. 2006. Global Name Index. (online). [http://www.globalnames.org/name\\_strings?page=2&search\\_term=ns%3AKUK\\*](http://www.globalnames.org/name_strings?page=2&search_term=ns%3AKUK*). Consultado 15 de enero de 2009.
- Pérez, E. 1996. Plantas útiles de Colombia. Quinta edición. Fondo FEN Colombia. Bogotá, Colombia. 831 p.
- Posada A., R.H.; Franco C., L.A.; y Medina G., E. 2006. El tiempo de establecimiento de pasturas y su relación con la micorriza arbuscular en paisajes de loma y vega. Acta biol. Colomb. [online]. Vol.11 supl.1 [citado 11 enero 2009], .55-64. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000300004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000300004&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0120-548X.
- Primavesi, A. 1982. Manejo Ecológico del Suelo. Quinta Edición. Editorial el Ateneo. Buenos Aires, Argentina. 499 p.
- Reyes, J. T. 2001. Micelio externo de hongos micorrícicos arbusculares y su potencial influencia en la recuperación de suelos degradados en laderas del Cauca; Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. 88 p.
- Rusell E. J. y Rusell E. W. 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Ed. Aguilar. España. 771 p.
- Sánchez, M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle del Cauca, Colombia. p 31-89
- Sánchez, P. M. de (ed.). 2007. Las endomicorrizas: expresión biodáfica de importancia en el trópico. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Editorial Feriva. Cali, Valle del Cauca, Colombia. 351p
- SAS Institute Inc. 199-2000. SAS User`s Guide: Statistics. Release 8.1. SAS Institute. Cary, N.C. USA.
- Schweiger, P. y Jakobsen, I. 2000. Laboratory and field methods for measurement of hyphal uptake of nutrients in soil. Plant Soil. 226 (2): 237-244.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo – arbuscular en el laboratorio. CIAT, Cali, Colombia. s.p.



- Silveira, A. 1992. Micorrizas. En: Cardoso, E.; Tsai, S.; y Neves, M C (eds.). Microbiología do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. P. 257-282.
- Siqueira, J. O. y Franco, A. A. 1988. Biotecnología do solo: Fundamentos e Perspectivas. Ministério da Educação (MEC), Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS). Brasília D.F, Brazil. 236 p.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press. Londres. p 9-126.
- Sosa R., T.; Sánchez N., J.; Morales G., E.; y Cruz C., F. 2006. Interacción micorrizas arbusculares-*Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). *Acta biol. Colomb.* [online]. Vol.11, no.1 [citado 11 Febrero 2009], p.43- Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-548X2006000100004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2006000100004&lng=es&nrm=iso)>.
- Thomas, R. S.; Franson, R. L.; y Bethlenfalvay, G. J. 1993. Separation of vesicular – arbuscular mycorrhizal fungi and root effects on soil aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:77-81.
- Torres, R. 2000. El papel del micelio externo de hongos que forman micorrizas arbusculares asociado a barbechos mejorados en suelos degradados de ladera de pescador (Cauca). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira, Colombia. 89 p.
- Zárate, L. M.; Barrios, E.; Sánchez, M.; y Caballero, L. M. 2007. Participación del micelio externo de hongos micorrízico arbusculares en la formación de agregados estables al agua en suelos de ladera con influencia de cenizas volcánicas. *Suelos Ecuatoriales.* 37(1):75-80.