

capítulo **2**

**BASES CIENTÍFICO – TÉCNICAS  
PARA EL MANEJO DE LOS SISTEMAS  
AGRÍCOLAS MICORRIZADOS  
EFICIENTEMENTE**

*Dr.C. Ramón Rivera Espinosa*

*MsC. Kalyanne Fernández Suárez*

## CITACIONES

### Obra general

Rivera, R. y Fernández, K. El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. 166 p. ISBN 959-7023-24-5

### Capítulo 1

Fernández, F. La Simbiosis micorrízica arbuscular. En: Rivera, R. y Fernández, K. (Eds.). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 13-48. ISBN: 959-7023-24-5

### Capítulo 2

Rivera, R. y Fernández, K. Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente. En: Rivera, R. y Fernández, K. (Eds.) El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 51-94. ISBN: 959-7023-24-5

### Capítulo 3

Fernández, F. Avances en la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares. En: Rivera, R. y Fernández, K. (Eds.). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 97-110. ISBN: 959-7023-24-5

### Capítulo 4

Rivera, R. Resultados de las campañas de validación. En: Rivera, R. y Fernández, K. (Eds.). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 113-131. ISBN: 959-7023-24-5

### Capítulo 5

Hernández, A., Martín, J.R. y Rivera, R. Un estudio de caso: El Caribe. En: Rivera, R. y Fernández, K. (Eds.). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 134-166. ISBN: 959-7023-24-5

## **CAPÍTULO 2. BASES CIENTÍFICO – TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS MICORRIZADOS EFICIENTEMENTE**

### **2.1. Introducción**

Si bien desde hace algunas décadas abundan las publicaciones científicas acerca del efecto beneficioso que ejerce la simbiosis micorrízica sobre el crecimiento y productividad de los cultivos, asociado en lo fundamental a una mayor absorción de los nutrientes y el agua por las plantas micorrizadas eficientemente (Harley y Smith, 1983; Howeler, 1985; Siqueira y Franco, 1988; Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1989; Marschner y Dell, 1994 y George, 2000), la inmensa mayoría de los trabajos experimentales se han realizado en condiciones controladas o de invernadero y adolecen además de un enfoque sistemático que permita encontrar las bases científico técnicas para el manejo de estas asociaciones y convertirlas por tanto en un elemento productivo.

No hay dudas de la extensión y por ende importancia de este fenómeno para el reino vegetal, expresándose en ocasiones que la simbiosis micorrízica esta presente en el 95 % de las especies vegetales y aunque Trappe (1987) en un trabajo bibliográfico, sobre los más de 3000 artículos publicados hasta entonces sobre el tema, acotó a 70,9 % las especies vegetales tropicales que presentaban simbiosis endomicorrízica y solo el 13,4 % de las especies se consideraban no micorrízicas, indiscutiblemente la cifra de especies dependientes de la simbiosis micorrízica de una u otro tipo son impresionantes (86,6 %).

Algunos autores se han referido a uno de los aspectos de mayor repercusión en el manejo de la simbiosis, el referente a la poca especificidad cepa – cultivo. En este sentido Harley y Smith (1983) y Siqueira y Franco (1988) consideraban que las diferentes especies de HMA no presentaban una especificidad manifiesta frente a diferentes hospederos en condiciones favorables para la simbiosis.

En la recopilación presentada por Siqueira y Franco (1988) este fenómeno se fundamentaba sobre todo basado en la poca cantidad de especies y cepas de HMA (142 reportadas en aquel entonces) que se asociaban con una amplia cantidad de especies vegetales (300 000), a diferencia de la simbiosis ectomicorrízica, altamente específica, donde por el contrario 5000 especies de hongos se asociaban con 2000 especies vegetales de un grupo de familias pertenecientes a las Gimnospermas principalmente, y en menor cantidad pertenecientes a las Angiospermas.

No hay dudas que la inferencia es correcta, aunque no signifique que no exista en ocasiones algún grado de especificidad cepa - cultivo o quizás de mayor preferencia entre los dos simbiontes, pero se carece de una información experimental sistemática realizada en condiciones tropicales y con una amplia gama de cultivos que permita evaluar claramente este fenómeno y su dependencia con los factores que gobiernan la efectividad de la asociación.

Posiblemente el programa más completo e interdisciplinario realizado sobre el manejo de las asociaciones micorrízicas fue el ejecutado en Colombia en la década del 80 y editado por uno de sus autores principales (Sieverding, 1991), obteniéndose importantes resultados y aportes al conocimiento de la simbiosis y de algunos de los principales factores que actúan sobre la misma.

Uno de los aspectos que más se estudió fue el manejo de las especies nativas, quedando claro que la comunidad de especies de HMA es específica (cuali y cuantitativamente) de un sitio y dependiente a su vez de las diferentes prácticas agronómicas.

Lo anterior conduce a que si bien se puede elevar la concentración de propágulos nativos e inclusive cambiar en el tiempo la composición relativa de especies, el manejo efectivo de los hongos nativos se vuelve sumamente complicado y necesita desde métodos rápidos y precisos que permitan predecir el potencial inoculante de las poblaciones nativas, el conocimiento de las especies de HMA presentes y que van a ser manejadas, hasta la influencia de las prácticas agronómicas sobre éstas (Sieverding, 1991).

A partir del análisis de un voluminoso grupo de resultados este autor concluyó que el manejo de la simbiosis con fines productivos debía ser mucho menos complicado a través de la inoculación de cepas de probada eficiencia que a partir de la manipulación de la población nativa.

En el grueso de los experimentos ejecutados en dicho programa, se utilizó generalmente una sola especie vegetal (*Manihotis sculentum*), y se encontraron novedosos resultados sobre la efectividad de especies y / o cepas de HMA y su adaptabilidad a las condiciones de mayor o menor disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

La micorrización con especies eficientes conllevó una disminución de las dosis de fertilizantes, pero se evidenció la necesidad de un suministro de nutrientes para garantizar adecuados rendimientos en plantas micorrizadas con especies de HMA de alta efectividad.

Las cepas de HMA se clasificaron en cepas de alta y baja efectividad, y si bien quedó claro la importancia del suelo sobre la composición cuantitativa y cualitativa de éstas, no se logró evaluar la influencia del tipo de suelo sobre la efectividad de las especies.

En este mismo programa se desarrollaron en el trópico los primeros experimentos “de campo” sobre manejo de los HMA, teniendo por tanto estos resultados un alto valor científico - técnico ya que demuestran la factibilidad de la inoculación con cepas eficientes de HMA y su relación con diferentes prácticas como la fertilización, la rotación de cultivos, las aplicaciones fitosanitarias, etc., todo lo cual condujo a altos rendimientos y disminuciones importantes de agroquímicos con altos impactos ambientales y sociales.

Estos trabajos establecieron además pautas metodológicas y en el conocimiento de la simbiosis en condiciones tropicales, con énfasis en la población nativa y su manejo, siendo un punto de partida obligado para los trabajos que a continuación se exponen.

Por otra parte, en Cuba en la propia década del 80, comenzaron los primeros trabajos con hongos micorrízicos arbusculares en los cuales no solo se obtuvo información sobre la importancia de la simbiosis para el crecimiento de las plantas (Herrera *et al.*, 1984), sino que se estableció una pauta en el trabajo de taxonomía, funcionamiento fúngico y el papel de la simbiosis en el funcionamiento de los bosques tropicales (Herrera *et al.*, 1995).

## **2.2. La especificidad suelo - cepa eficiente (HMA) y la selección de cepas**

A partir del año 90 se comenzaron a desarrollar en Cuba un grupo de trabajos que permitieron establecer las bases para el manejo de las asociaciones micorrízicas, partiendo de tres presupuestos principales: la inoculación de especies eficientes de HMA, la importancia del ambiente edáfico en la selección de cepas eficientes y la influencia del suministro de nutrientes sobre la efectividad de la simbiosis.

En estos trabajos se persiguió relacionar ante todo el fenómeno de la simbiosis micorrízica con el tipo de suelo y la disponibilidad de nutrientes, buscando las relaciones causa - efecto existentes, basado en que los HMA son precisamente microorganismos edáficos y que una de las principales funciones de la simbiosis es aumentar las posibilidades de absorción del sistema radical.

Con independencia de que en el país se han realizado una alta cantidad de experimentos por diversos colectivos de investigadores e Instituciones, se seleccionaron para este documento, y con fines de ejemplificar los resultados, solo algunos de los programas de trabajo

desarrollados y en los cuales se abordaron integralmente los tres presupuestos mencionados.

### **2.2.1. Posturas de cafeto**

El primer grupo de trabajos realizados con este enfoque se ejecutó sobre la producción de posturas de cafeto en el periodo comprendido entre el año 1990 y 2000, evaluándose el comportamiento de la inoculación de cepas de HMA en siete tipos diferentes de suelos (Tabla 3) y ejecutándose estos experimentos en condiciones de producción.

Estos presentaron una amplia gama de fertilidad asociada, desde suelos muy poco fértiles y de muy baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) como los Acrisoles háplicos, Alíticos de baja fertilidad según Hernández *et al.* (1999), hasta Cambisoles éutricos con 45  $\text{cmol.kg}^{-1}$  de CIC, Pardos según Hernández *et al.* (1999).

La correspondencia entre la clasificación FAO - UNESCO y la clasificación genética utilizada en Cuba (Hernández *et al.*, 1999) se presenta en la tabla 4 con fines aclaratorios en la presentación de algunas de las tablas o de revisión de los trabajos originales que se citan. Si bien en cada una de las condiciones edáficas estudiadas se encontró una respuesta positiva a la inoculación con HMA (Fernández, 1999; Sánchez *et al.*, 2000 y Joao, 2002), esta dependió de dos factores: el primero la especie o ecotipos inoculados y el segundo de la riqueza del sustrato, la cual define la intensidad de la simbiosis (efectividad). En estos experimentos, este último factor fue una consecuencia de la relación suelo / abono orgánico utilizada (cantidad de abono orgánico) y de la propia fertilidad del suelo.

Con independencia de que estos dos factores están indisolublemente relacionados y condicionan la efectividad de la inoculación, se desarrollará primero el tópico correspondiente a la influencia del suelo sobre la eficiencia de las cepas.

Todas las cepas utilizadas no presentaron el mismo comportamiento en las diferentes condiciones edáficas estudiadas, lo cual es una consecuencia de la especificidad suelo – cepa de HMA, es decir, el tipo de suelo fue el criterio fundamental para definir cual o cuales son las especies y / o cepas eficientes para una condición edafoclimática dada.

En este sentido se realizó un trabajo muy completo en los suelos Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña), Luvisoles crómicos (Ferralíticos Rojos Lixiviados) y en los Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzosos), evaluándose el comportamiento de 15 cepas durante tres años y utilizando en este caso la relación suelo /

abono orgánico de 5/1 que había resultado la más adecuada para permitir una óptima micorrización en estos suelos (Sánchez 2001).

**Tabla 3. Principales características químicas de los suelos en que se ejecutaron los experimentos.**

Suelos	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Al	Fertilidad
			mg. 100 g <sup>-1</sup>			cmol. kg <sup>-1</sup>		
Alítico <sup>1</sup>	4.9	1.35	2.80	6.8	1.5	1.3	2.3	Muy Baja
<b>Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña<sup>2</sup></b>	4.7	2.48	3.97	5.8	2.7	1.3	-	Baja
<b>Fersialítico Rojo Lixiviado de montaña<sup>2</sup></b>	5.7	3.22	10.12	12.2	7.3	1.6	-	Media
<b>Fersialítico Pardo Rojizo<sup>1</sup></b>	5.8	3.0	13.00	17.7	5.2	1.5	-	Media
<b>Fersialítico Pardo Rojizo<sup>1</sup></b>	6.9	3.6	15.15	25.8	8.1	1.3	-	Media
<b>Pardo Gleyzoso<sup>2</sup></b>	6.0	3.45	17.55	19.7	8.1	2.3	-	Media
<b>Ferralítico Rojo compactado<sup>3</sup></b>							-	Media
<b>Pardo<sup>1</sup></b>	6.3	3.25	24.95	24.0	14.8	2.0	-	Alta
<b>Pardo<sup>1</sup></b>	6.8	4.1	38.90	37.4	23.5	1.3	-	Muy Alta
<b>Pardo<sup>1</sup></b>	7.3	3.8	57.00	52.8	32.0	7.9	-	Muy Alta

1, 2 y 3. Suelos estudiados en los periodos 1990 - 94, 1994 - 98 y 1997 - 2000, respectivamente.

El análisis multivariado de componentes principales ejemplificó muy claramente el comportamiento diferenciado de la inoculación con las cepas (HMA) por tipo de suelo (figuras 4, 5 y 6), quedando claro el agrupamiento de las cepas en estos casos en cuatro grupos.

El primero compuesto por cepas muy eficientes que originaron posturas con indicadores superiores (área foliar, extracción y concentración de nutrientes, altura y pares de hojas) al de las obtenidas inclusive por el testigo de producción, el cual recibió cantidades mayores de abono orgánico (relación 3/1), lo cual indicó una mayor eficiencia en el proceso de

absorción de nutrientes por parte de las posturas micorrizadas. Este grupo aparece situado en la parte superior de cada figura.

**Tabla 4. Correspondencia entre los tipos de suelo por las Clasificaciones FAO-UNESCO, 1989 y V Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).**

<b>FAO-UNESCO</b>	<b>V CLASIFICACION CUBANA</b>
<b>Acrisoles háplicos</b>	Alíticos de baja fertilidad
<b>Nitisoles dístricos</b>	Ferralíticos Rojos Lixiviados de Montaña
<b>Luvisoles crómicos</b>	Fersialíticos Rojos Lixiviados de Montaña
<b>Ferralsoles éutricos</b>	Ferralíticos Rojos
<b>Cambisoles húmicos crómicos</b>	Fersialíticos Pardo Rojizos
<b>Cambisoles crómicos</b>	Fersialíticos Pardo Rojizos
<b>Cambisoles gléyicos</b>	Pardos Gleyzosos
<b>Cambisoles húmicos éutricos</b>	Pardos
<b>Cambisoles éutricos</b>	Pardos

Un segundo grupo donde aparecen otras cepas que si bien presentaron una menor eficiencia micorrízica, permitieron obtener posturas al menos con un comportamiento similar al de dicho testigo (T<sup>14</sup>).

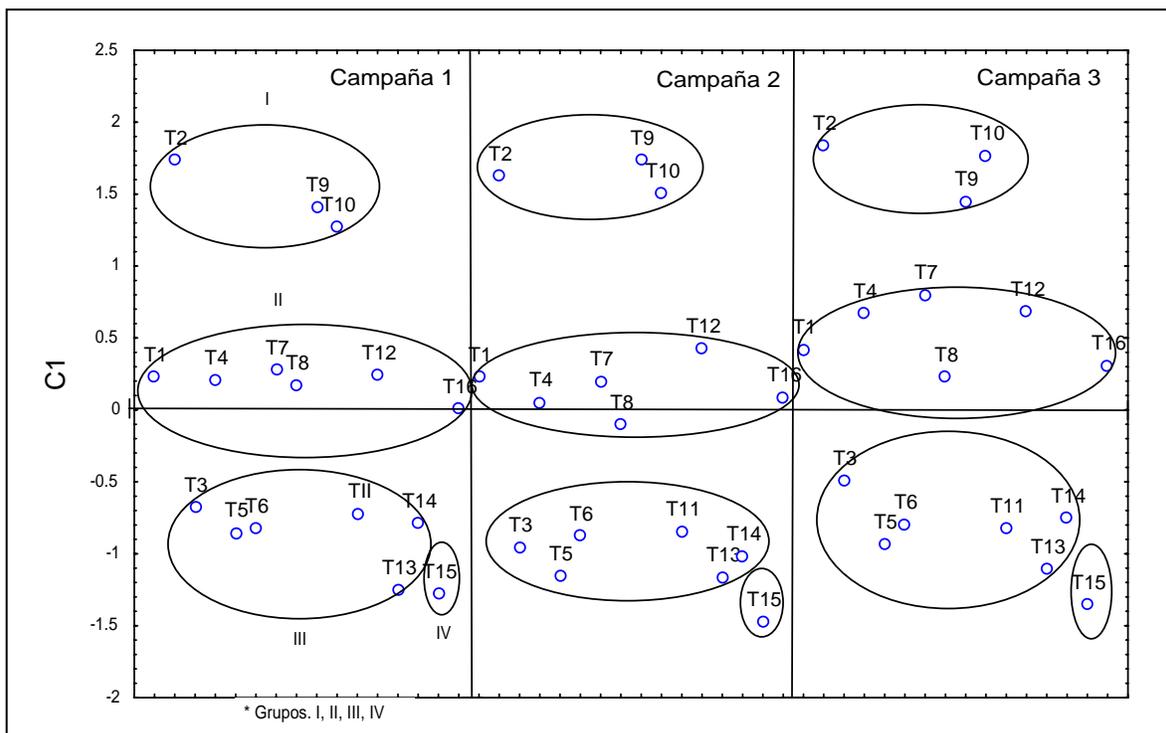
Los otros dos grupos de cepas originaron un comportamiento muy inferior resultante de una baja efectividad para esas condiciones edáficas e incluso, en algunos de los suelos presentaron un crecimiento similar al de las pequeñas posturas obtenidas con el tratamiento testigo absoluto, que no recibió ninguna adición de abono orgánico (T<sup>15</sup>).

Además de la propia especificidad suelo – cepa eficiente HMA, se encontró que la efectividad alcanzada por la inoculación de las mejores cepas para cada suelo, dependió de la fertilidad éste.

Es decir, los mayores valores de índice de eficiencia (72,2; 68,2 y 67,2 %) se alcanzaron en los Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña), que fueron los menos fértiles de los estudiados, siendo las especies más eficientes en éstos *Glomus clarum*, *Glomus intraradices* y *Acaulospora scrobiculata*.

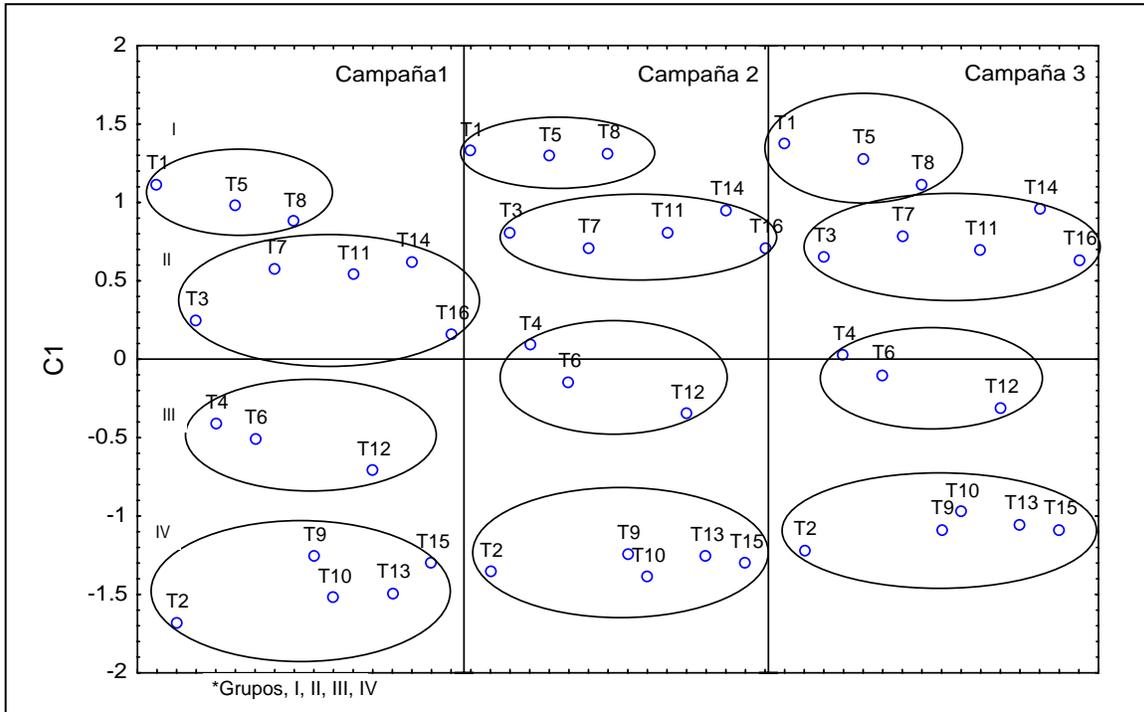
En los Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) las cepas más eficientes fueron *Glomus fasciculatum* y dos ecotipos de la especie *Glomus mosseae*, alcanzándose con las

mismos valores que oscilaron entre 65 y 66,8 %. Por otra parte, en los Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzosos) las de mejor comportamiento fueron *Glomus intraradices*, uno de los ecotipos de *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* con índices de eficiencia entre 52,2 y 54,9 %, en todos los casos con relación al testigo 5/1 sin inocular.

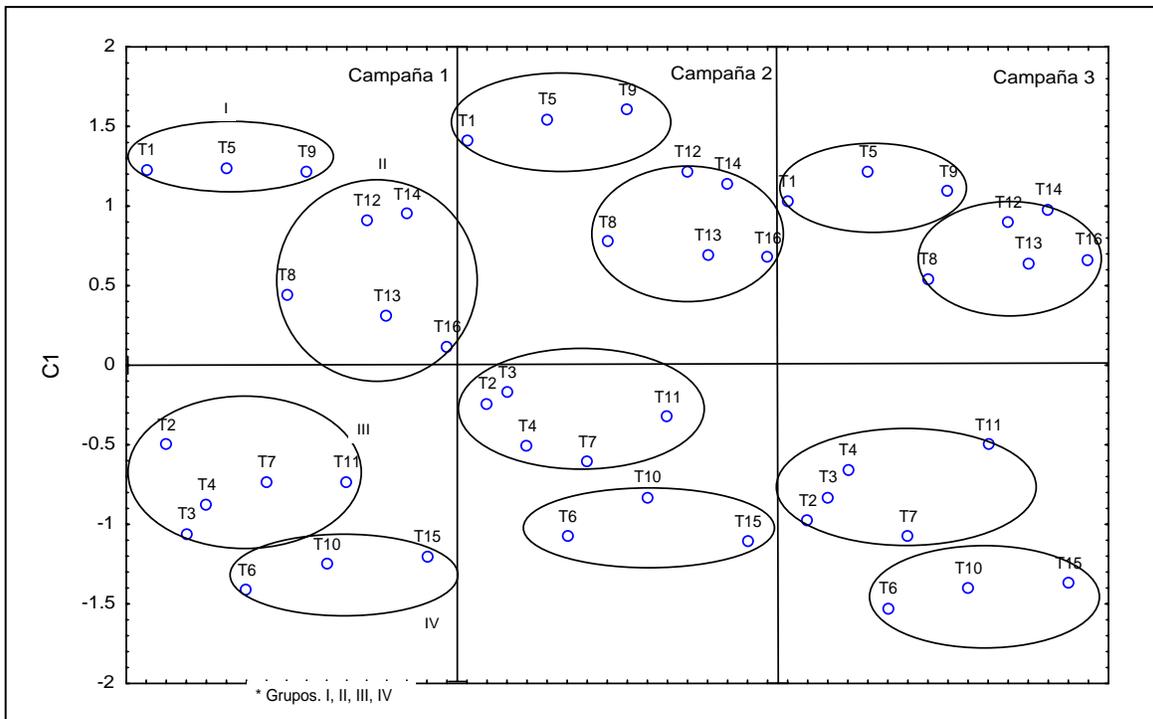


**Figura 4. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Nitisoles dísticos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña) (Sánchez, 2001).**

En estas figuras quedó claro, además del efecto positivo y diferenciado de la inoculación con las cepas de HMA y su dependencia con el tipo de suelo, una alta reproducibilidad de los resultados obtenidos.



**Figura 5. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).**



**Figura 6. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzosos) (Sánchez, 2001).**

Los efectos agrobiológicos alcanzados por la inoculación de cada cepa en los diferentes años fueron similares, no variando además el agrupamiento relativo de las cepas en función de sus efectos, situación que avala muy favorablemente la inoculación de cepas de HMA en la producción de posturas de cafeto.

En el trabajo inicial desarrollado en el periodo 1990 - 94 (Fernández, 1999) en los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad), Cambisoles crómicos (Fersialíticos Pardo Rojizos) y Cambisoles éutricos (Pardos de alta fertilidad), también se presentó un buen comportamiento de las distintas especies pertenecientes al género *Glomus* (Tablas 5, 6 y 7).

**Tabla 5. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas, sobre Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad), (Fernández, 1999; tratamientos seleccionados)**

Expto. No.	HMA	Relación Suelo/humus de lombriz	A.F. (cm <sup>2</sup> )	I.E. (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F (cm <sup>2</sup> )
9	<i>Glomus clarum</i>	3:1	138.83 a	140	57.70 g
		5:1	33.61 ij	-42	
	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	3:1	119.55 ab	107	
		5:1	71.70 ef	24	
	Es x		6.32***		
10	<i>Glomus clarum</i>	3:1	210.30 a	143	86.38 e
		<i>Glomus sp</i> <sup>1</sup>	3:1	213.03 a	
		Es x		8.30***	

Medias con letras iguales en la misma columna / experimento no difieren significativamente, según dócima de Duncan para  $p < 0,001$ .

$$\text{I.E.} = \frac{\text{AF Tratamiento} - \text{AF Testigo}}{\text{AF Testigo}} \times 100$$

AF Testigo

Las especies de este género, según Barros (1987) y Sieverding (1991), poseen de manera general un amplio rango de distribución funcional predominando en ecosistemas de alta y media fertilidad, donde resultan extremadamente eficientes y competitivas. Los resultados

de estos trabajos permitieron extender dicho rango a las condiciones de baja y muy baja fertilidad.

En los mismos, la especie *Glomus clarum* presentó muy buen comportamiento en varias de las condiciones estudiadas. Su aplicación no sólo produjo efectos positivos sobre la producción de área foliar en las condiciones de baja fertilidad, sino también en las de media fertilidad, con incrementos significativos que oscilaron entre 80 % y 257 % (Tablas 5, 6 y 7). La inoculación solamente no fue efectiva en los Cambisoles húmicos - éutricos de alta fertilidad y porcentaje de saturación (CIC > 25 - 30 cmol.kg<sup>-1</sup>).

Un resultado similar encontró Ruiz (2001) estudiando el efecto de la inoculación de diferentes cepas sobre el crecimiento de varias especies de viandas, cultivadas sobre suelos Cambisoles calcáricos de alta fertilidad, reportando una alta efectividad de las cepas *Glomus intraradices* y *G. fasciculatum*, y un pobre efecto con la inoculación de *G. clarum*.

**Tabla 6. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas, sobre Cambisoles húmicos-crómicos y crómicos (Fersialíticos Pardo Rojizo) de media fertilidad (Fernández, 1999; tratamientos seleccionados).**

Expto. No.	HMA	Relación Suelo/humusde lombriz	A.F (cm <sup>2</sup> )	I.E (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F. (cm <sup>2</sup> )
1	<i>Glomus clarum</i>	3:1Po*	369.20 a	257	103.40 i
	<i>Glomus sp.</i> <sup>1</sup>	3:1Po*	349.50 b	238	
	Es x				5.89***
2	<i>Glomus clarum</i>	3:1	206.30 gh	-10	229.20 fg
		5:1	481.10 a	110	
	<i>Glomus sp.</i> <sup>1</sup>	3:1	249.70 ef	8	13.90***
		5:1	346.80 bc	51	
3	<i>Glomus occultum</i>	3:1	329.6 b	28.3	256.8 c
		5:1	360.5 b	40.3	
	Concentrado de cepas nativas	3:1	245.5 c	-4.4	7.35***
		5:1	438.7 a	70.8	
	Es x				

\*En este experimento se trabajó con suelo: estiércol vacuno 3:1

. Medias con letras iguales en la misma columna/experimento no difieren significativamente, para p≤0.001.

Otra de las especies con muy buena respuesta agrobiológica resultó ser *G. fasciculatum*, aunque estudiada en estos últimos experimentos solamente en los Cambisoles húmicos - éútricos y en los Cambisoles éútricos (Pardos). Se encontró siempre una respuesta positiva y estable a su inoculación, con incrementos en la producción de área foliar desde 18 % hasta 86 % (Tabla 7) con relación a los testigos sin inocular.

El estudio de las especies nativas aisladas en la Provincia de Villa Clara, *Glomus sp*<sup>1</sup> y *G. sp*<sup>2</sup> (Furrazola *et al.*, 1990), arrojó resultados positivos, presentando buen comportamiento cuando se inocularon en condiciones edáficas similares a su origen.

**Tabla 7. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas sobre Cambisoles húmicos-éútricos y éútricos (Pardos).(Fernández, 1999;tratamientos seleccionados)**

Expto.	HMA	Relación Suelo/humus de lombriz	A.F. (cm <sup>2</sup> )	I.E (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F. (cm <sup>2</sup> )
4	<i>Glomus clarum</i>	5:1	176.10 c	6	166.20 d
		7:1	299.60 a	80	
	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	207.40 b	25	
		7:1	307.70 a	86	
	Es x				
5	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	482.80 b	15	420.10 c
		7:1	533.20 a	27	
	Concentrado de Cepas Nativas	5:1	405.80 d	-3	
		7:1	487.50 b	16	
	Es x				
6	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	502.30 a	69	297.00 c
		7:1	495.60 a	67	
	<i>Glomus sp</i> <sup>2</sup>	5:1	454.80 b	53	
		7:1	475.70 ab	60	
	Es x				
7	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	502.60 a	70	295.50 c
		7:1	495.60 a	68	
	<i>Glomus sp</i> <sup>2</sup>	5:1	454.80 b	53	
		7:1	485.70 ab	64	
	Es x				
8	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	402.50 a	18	341.50 bc
		7:1	364.37 b	7	
	<i>Glomus mosseae</i>	5:1	354.3 b	4	
		7:1	370.37 b	8	
	Es x				

Medias con letras iguales en la misma columna / experimento no difieren significativamente para p≤0.001. \*\*\*.

También se estudió la inoculación de *Acaulospora scrobiculata* (tabla 5), obteniéndose la mejor respuesta a esta especie en los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad) con altos tenores de aluminio (2.3 - 2.5 cmol Al. kg<sup>-1</sup> de suelo), coincidiendo a su vez con los resultados reportados por Barros (1987) que obtuvo la presencia de ésta en suelos con contenidos altos de este elemento.

Si bien en estos experimentos el número de especies utilizadas fueron diferentes, las principales fueron estudiadas en todas las condiciones y por tanto la información obtenida fue compatible y pudo integrarse.

Se encontró una alta efectividad de las especies del género *Glomus* en cualesquiera de las condiciones edáficas y dejando circunscrita la utilización de la especie *Acaulospora scrobiculata* para los suelos de más baja fertilidad, como los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja actividad arcillosa) y Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña).

Con posterioridad Joao (2002) trabajando en Ferralsoles éutricos (Ferralíticos Rojos) con CIC cercana a 20 cmol.kg<sup>-1</sup>, complementó los criterios obtenidos al encontrar un comportamiento muy superior de la inoculación con *Glomus fasciculatum* en comparación con el presentado por *Glomus clarum*

Una integración de la información obtenida se presenta en la tabla 8, donde se manifiesta la alta especificidad suelo - cepa eficiente que presentó la simbiosis endomicorrízica en la producción de posturas de cafeto y que resulta la base del criterio de selección de cepas eficientes para un agrosistema dado.

Se puede observar una transición “regular” entre las especies y / o cepas eficientes, cuando los suelos se agrupan en función de su fertilidad asociada o de un estimador cuantitativo de ésta, como puede ser la suma de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> intercambiables.

Un aspecto a destacar es que las cepas eficientes resultaron efectivas para un rango de suelos más o menos amplio dependiendo de la especie y / o cepa en cuestión, de forma tal que seleccionando dos o tres cepas se pueden obtener muy buenos resultados en prácticamente todo el espectro de suelos que se dedica a la producción de posturas de cafeto.

Asimismo, se evaluó en algunos experimentos el uso del concentrado de cepas nativas (CCN) (Herrera, 1991), originando efectos positivos en dos de los tres experimentos

realizados con el mismo, aunque inferiores a los encontrados con la inoculación de las especies eficientes.

**Tabla 8. Recomendación de especies y / o cepas de HMA eficientes por tipos de suelos para la producción de posturas de cafeto.**

Suelos	Especies y cepas de HMA recomendadas	Ca +Mg cmol.kg <sup>-1</sup>
<b>Acrisoles háplicos</b> (Alíticos de baja fertilidad)	<i>G. clarum</i> , <i>Glomus</i> . sp1 y <i>Acaulospora scrobiculata</i>	2,8
<b>Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña)</b>	<i>G. clarum</i> , <i>G. intraradices</i> y <i>Acaulospora scrobiculata</i> .	4,0
<b>Cambisoles húmicos - crómicos y crómicos</b> (Fersialíticos Pardos Rojizos)	<i>G. clarum</i> y <i>Glomus</i> sp2.	6,7 - 9,4
<b>Luvisoles crómicos</b> (Fersialíticos Rojos Lixiviados)	<i>G. fasciculatum</i> , <i>G. mosseae</i> (5) y <i>G. mosseae</i> (8)	8,7
<b>Cambisoles gleyicos</b> (Pardos Gleyzosos)	<i>G. intraradices</i> , <i>G. mosseae</i> (5) y <i>G. fasciculatum</i> .	10,4
<b>Ferralsoles éutricos</b> (Ferralíticos Rojos)	<i>G. fasciculatum</i>	12 – 15
<b>Cambisoles éutricos y húmico - éutricos</b> (Pardos)	<i>G. fasciculatum</i>	16,8 - 39,9

( ) ecotipos de la especie *G. mosseae*, pertenecientes al cepario del Instituto de Ecología y Sistemática.

Si bien este fue un enfoque que valió la pena evaluar, la información indicó que no siempre deben obtenerse efectos positivos, lo cual puede estar relacionado fundamentalmente con una muy baja concentración de propágulos nativos eficientes en los concentrados, o bien que a pesar de estar bien adaptadas a las condiciones edáficas, las cepas no fueran eficientes. Asimismo, su alta dependencia de las concentraciones iniciales de propágulos en el suelo, atentan contra la reproducibilidad de su efecto.

La mayoría de las evaluaciones que se han reportado sobre propágulos nativos en los suelos dedicados a viveros de cafeto, han reflejado bajas concentraciones de éstos (Lopes *et al.*, 1986 y Siqueira *et al.*, 1987), lo cual fue corroborado por Sánchez (2001) en las condiciones de Cuba, al reportar valores de alrededor de 50 esporas / 100 g de suelo.

El éxito de la inoculación está relacionado no sólo con la infectividad y eficiencia de la cepa a aplicar, sino además con la cantidad y tipo de propágulos nativos (Dodd y Thompson, 1994), por lo cual la propia respuesta positiva encontrada con la inoculación de cepas previamente aisladas (*G. sp1* y *G. sp2*) y con la aplicación del CCN indican que la cantidad de propágulos nativos en los suelos dedicados a viveros ha sido baja y esto favorece el manejo de las asociaciones micorrízicas a través de la inoculación.

### **2.2.2 Raíces, tubérculos y hortalizas**

Estos trabajos se ejecutaron durante el periodo 1993 – 1999, con fines similares, en un grupo amplio de cultivos: yuca, boniato, papa, ñame y malanga en dos suelos, Ferralsoles éutricos (Ferralítico Rojo) y Cambisoles calcáricos de alta fertilidad (Pardos con carbonato), incorporándose posteriormente la evaluación de tomate, pimiento, pepino y vitroplantas de plátano, pero solo en los Cambisoles. La diferencia fundamental con el anterior grupo de experimentos (3.2.1.) estribó en que la fuente de nutrientes evaluada fue la fertilización mineral (N P K).

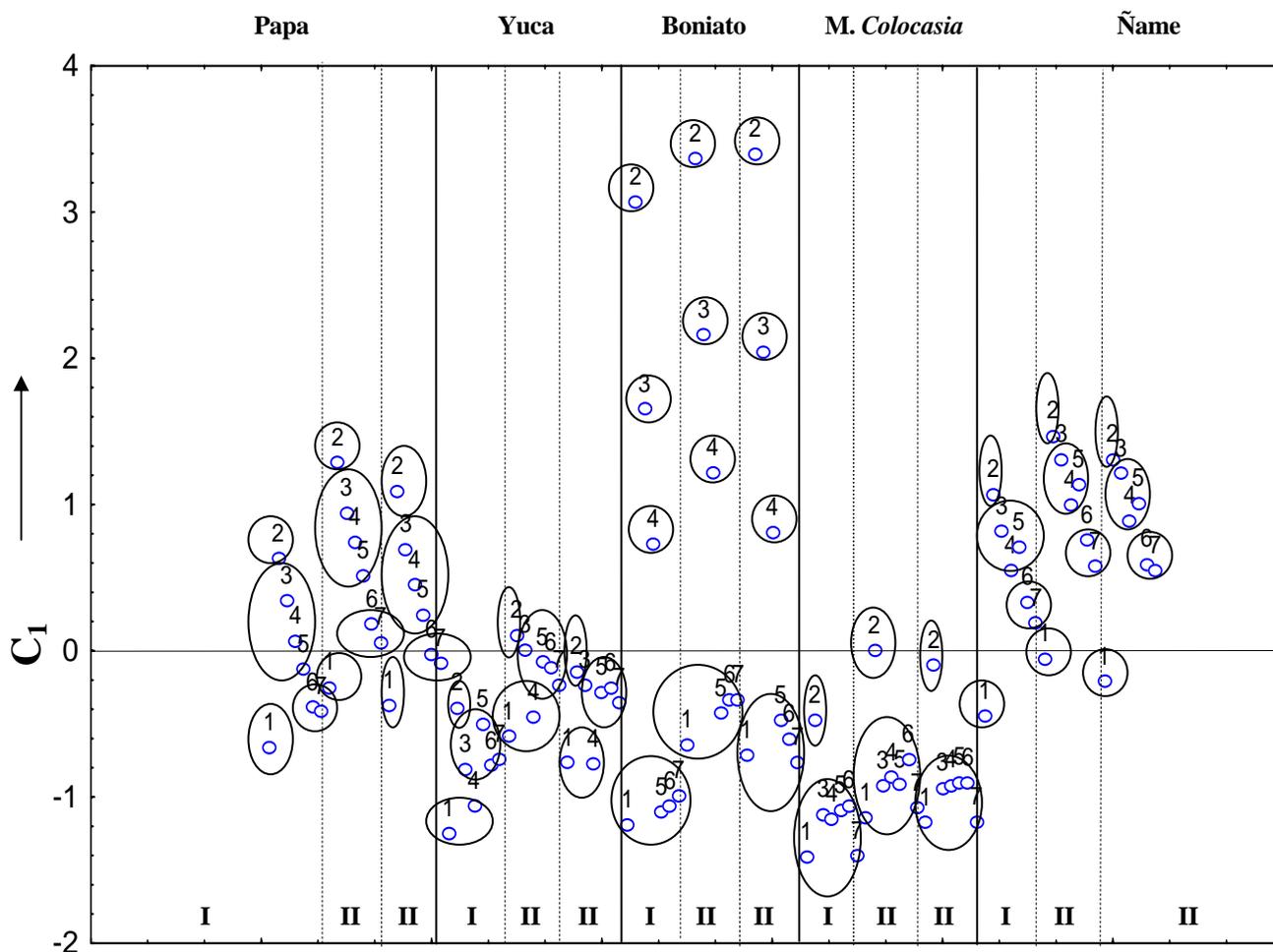
#### **2.2.2.1 Influencia del tipo de suelo y el cultivo sobre la efectividad de las cepas de HMA**

En las Figuras 7 y 8 se muestran los resultados del análisis de componentes principales, realizado para evaluar la efectividad de las cepas de HMA en las raíces y tubérculos en los dos tipos de suelos.

En ambos casos se formó un solo componente ( $C_1$ ), debido a que las variables que los conformaron extrajeron 76,55 y 85,85 % de la variabilidad total existente en los Cambisoles calcáricos y Nitisoles éutricos respectivamente, lo cual indica el alto grado de relación entre las mismas.

Dentro de los resultados más importantes obtenidos se encontró el hecho del buen funcionamiento o efectividad de la inoculación con cepas de HMA en las raíces y tubérculos en ambos suelos, con comportamientos muy superiores al testigo sin inocular.

Sin embargo, el resultado más interesante fue que con independencia de los cultivos existió para cada suelo una cepa altamente eficiente, con cuya inoculación se obtuvieron siempre las mayores respuestas.



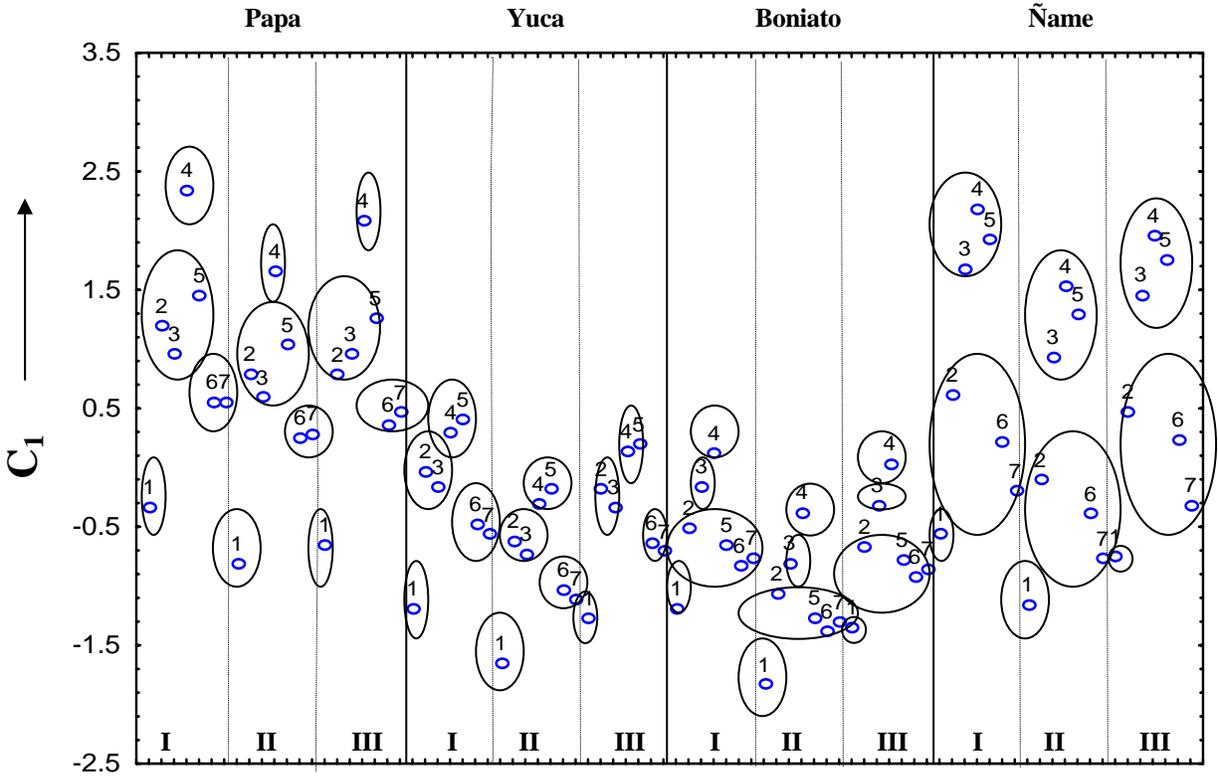
I, II, III = Años

Leyenda: 1: Testigo; 2: *G. intraradices*; 3: *G. fasciculatum*; 4: *G. mosseae*; 5: *G. manihotis*; 6: *G. occultum*; 7: *A. scrobiculata*.

**Figura 7. Representación gráfica del comportamiento de las cepas de HMA por cultivo suelos Cambisoles calcáricos, según el componente principal  $C_1$  (Ruiz, 2001).**

Es decir se presentaron dos efectos al unísono, por una parte una alta especificidad suelo - cepa eficiente y por la otra una muy baja especificidad cultivo - cepa.

Esta conducta fue completamente reproducible en los diferentes años en que se repitieron los experimentos en ambos suelos, aún en presencia de los diferentes cultivos y requerimientos nutricionales de éstos, así como de las condiciones de disponibilidad de nutrientes que variaron de año en año (Tabla 9).



I, II, III = Años

Legenda: 1: Testigo; 2: *G. intraradices*; 3: *G. fasciculatum*; 4: *G. mosseae*; 5: *G. manihotis*; 6: *G. occultum* y 7: *A. scrobiculata*.

Figura 8. Representación gráfica del comportamiento de las cepas de HMA por cultivo en suelos Nitisoles éútricos, según el componente principal  $C_1$  (Ruiz, 2001).

Lo anterior, indudablemente es un elemento positivo y de alta repercusión para el manejo de las asociaciones micorrízicas en estos cultivos, ya que facilita la selección de las cepas eficientes para una determinada condición, siendo por tanto el tipo de suelo el factor fundamental que gobernó la eficiencia de las cepas.

La cepa de mayor efectividad para todos los cultivos estudiados en los Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) fue *Glomus intraradices*, siendo importante señalar que de forma general la inoculación con *Glomus fasciculatum* originó también efectos muy positivos, aunque inferiores a los obtenidos con *Glomus intraradices* y muy superiores al crecimiento obtenido con el testigo (suelo sin inocular).

**Tabla 9. Programa de raíces, tubérculos y hortalizas. Características químicas de los suelos utilizados en los diferentes años.**

	Año	pH		Nt (%)	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg.100 gss <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Nivel de fertilidad
		KCl	H <sub>2</sub> O									
<b>MICROPARCELAS</b>												
<b>Cambisoles calcáricos</b>	1	6,0	7,4	0,15	1,46	1,43	21,67	43,48	4,06	0,66	0,56	Bajo
	2	6,5	7,6	0,19	2,77	5,96	31,33	47,17	3,04	0,85	0,73	Alto
	3	7,1	8,4	0,18	1,77	3,51	24,10	48,91	5,66	0,95	0,69	Medio
<b>Nitisoles éutricos</b>	1	5,4	6,1	0,13	1,35	15,31	21,47	20,32	1,90	0,23	0,55	Medio
	2	5,6	6,2	0,09	1,09	6,71	9,28	15,75	1,85	0,20	0,31	Bajo
	3	5,7	6,3	0,10	1,31	14,30	19,92	19,05	1,80	0,22	0,52	Medio
<b>EXPERIMENTOS DE CAMPO</b>												
<b>Cambisoles calcáricos</b>	1	6,0	7,4	0,15	1,46	1,43	21,67	43,48	4,06	0,66	0,56	Bajo
	2	6,5	7,6	0,19	2,77	5,96	31,33	47,17	3,04	0,85	0,73	Alto
	3	7,1	8,4	0,18	1,77	3,51	24,10	48,91	5,66	0,95	0,69	Medio
<b>Cambisoles calcáricos</b>	1	6,3	7,4	0,17	2,10	1,80	22,35	50,34	4,19	0,75	0,59	Bajo
	2	6,2	7,3	0,21	2,40	3,84	31,31	46,14	4,89	0,70	0,82	Medio
<b>Cambisoles calcáricos</b>	-	6,2	7,5	0,18	2,25	3,85	33,14	45,17	4,53	0,71	0,83	Medio

En los Nitisoles éutricos (Ferralíticos Rojos) la cepa de mayor efectividad fue *Glomus mosseae*, presentando además la inoculación con *Glomus clarum* un buen comportamiento, aunque inferior al obtenido con la inoculación de *Glomus mosseae*.

Los resultados obtenidos con raíces y tubérculos corroboran los encontrados con el cafeto sobre la especificidad suelo - cepa eficiente de HMA, pero los amplían de forma importante ya que se pudo encontrar que las cepas seleccionadas como eficientes de acuerdo al tipo de suelo son válidas para los diferentes cultivos que se micorrizan.

Asimismo, los resultados obtenidos ilustran la importancia del tipo de cultivo sobre la efectividad de las cepas, es decir como se manifiesta la especificidad cultivo - cepa.

Se encontraron conductas muy disímiles entre los cultivos, por ejemplo en los Cambisoles calcáricos, en el cultivo del boniato fueron varias las cepas que presentaron buena efectividad (*Glomus intraradices*, *Glomus fasciculatum* y *Glomus mosseae*), mientras que para la malanga *Colocasia* se observó el carácter preferencial o selectivo sobre una sola especie de HMA (al menos con relación a las evaluadas), ya que fue *Glomus intraradices* la única que mostró adecuada efectividad con respecto al testigo sin inocular.

El cultivo de la yuca por su parte presentó otro tipo de especificidad cultivo - cepa, ya que en cualquiera de los dos suelos, *Glomus clarum* presentó un efecto similar al obtenido con la inoculación de la cepa más eficiente para cada uno de los suelos en cuestión.

Es decir, se manifestó en cierta medida la especificidad cultivo - cepa, la cual no siempre se presentó de la misma forma, pero siempre con menor importancia que la especificidad suelo - cepa y no variando los criterios derivados de esta última.

A partir de los resultados encontrados los cuales se reprodujeron fielmente en los diferentes años, aunque estos coincidieron con diferentes condiciones de disponibilidad de nutrientes (Tabla 9), se puede concluir que las raíces y tubérculos se comportan de forma similar al café en cuanto a los criterios de especificidad suelo - cepa "eficiente", demostrando los aspectos más generales planteados por Siqueira y Franco (1988) acerca de lo poco específica (cepa - cultivo) que se comporta la simbiosis endomicorrízica, siendo por tanto el tipo de suelo el factor o criterio fundamental para seleccionar las cepas más eficientes de HMA para lograr una micorrización efectiva en la producción agrícola.

Con posterioridad, en los Cambisoles calcáricos se estudiaron otros cultivos, con un esquema similar y con prácticamente las mismas especies de HMA, aunque se incluyó *Glomus spurgum* partiendo de algunos criterios favorables a su uso. Los resultados del análisis estadístico univariado en función del rendimiento y / o producción de masa seca (índice de eficiencia) se presentan en la tabla 10.

Ciertamente la inclusión de las hortalizas con características y requerimientos nutricionales muy diferentes a los de las raíces y tubérculos y con las cuales se obtuvieron los mismos criterios sobre cepas eficientes que se habían obtenido previamente (tabla 10), apuntan con mucha fuerza no solo a la especificidad suelo - cepa, sino además a la menor importancia de la especificidad cultivo - cepa, siendo por tanto el tipo de suelo la base para el manejo

eficiente de las asociaciones micorrízicas en la agricultura a partir de la selección e inoculación de cepas eficientes.

El hecho de que con los nuevos cultivos se introdujera el estudio de la especie *Glomus spurcum* y que esta presentara un efecto muy favorable, no modificó los criterios obtenidos sobre la alta eficiencia de la especie *Glomus intraradices* en estos suelos, así como sobre el comportamiento general adecuado y eficiente de la especie *Glomus fasciculatum*.

El cultivo del tomate mostró un ejemplo más de cómo se expresa la especificidad cultivo- cepa, no variando los criterios de cepa más eficiente para ese tipo de suelo, pero obteniéndose una buena efectividad de la cepa *Glomus mosseae*, lo cual también había sido reportado por otros autores (Medina *et al.*, 1994 y Hernández, 2002) pero en Ferralsoles éutricos.

Los resultados conjuntos de ambos programas de investigación permiten plantear además, que de forma general existieron varias cepas de HMA que presentaron una “adecuada” efectividad para un grupo amplio de cultivos en cada condición edáfica. La expresión “adecuada” efectividad resultó un criterio más amplio que el de cepa eficiente derivado de la especificidad suelo - cepa y que se corresponde con la cepa más efectiva en una condición edáfica determinada.

En la tabla 8 se mostró, a partir de la información obtenida en el cafeto, como la transición entre las especies y / o cepas de HMA eficientes en función de los tipos de suelos es un proceso gradual, en el cual las cepas resultaron eficientes o adecuadas, para un rango de tipos de suelos, con mayor o menor similitud, dependiendo del género y especie en cuestión.

Por ejemplo, *Glomus fasciculatum* resultó efectiva para suelos de fertilidad media y alta, *Glomus clarum* para suelos de fertilidad baja y media y *Acaulospora scrobiculata* solo para suelos de baja fertilidad. *Glomus intraradices* resultó efectiva en un diapasón mayor de fertilidades, pero no se encontró ninguna cepa que fuera efectiva para todo tipo de suelo.

Sieverding (1991) clasificó las cepas como de alta y de baja eficiencia, no quedando claro como influía el tipo de suelo sobre la eficiencia de una cepa en cuestión, por lo que estos trabajos permiten un criterio mucho más preciso de selección. Es decir, aún cuando la cepa sea de alta eficiencia, la misma actuará eficientemente solo en un grupo de suelos que puede ser más amplio o no dependiendo precisamente de la cepa en cuestión.

**Tabla 10. Efectividad (IE %) de las especies inoculadas para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) (Ruiz y Rivera, 2001).**

Cepas	Papa	Yuca	Boniato	Malanga	Ñame
	IE %	IE %	IE %	IE %	IE %
<i>G. intraradices</i>	43, 9a	48,8a	397,6a	110,0a	47,8a
<i>G. fasciculatum</i>	31,2ab	27,4bc	319,5b	6,6bc	39,8b
<i>G. mosseae</i>	24,7bc	1,1d	186,5c	20,0b	29,5c
<i>G. clarum</i>	18,0bc	38,0a	7,3d	3,3bc	35,4bc
<i>G. occultum</i>	5,4 c	29,8bc	3,6d	18,3b	22,5d
<i>A. scrobiculata</i>	1,8 d	20,2c	0,0d	- 10,0c	17,7d
cv %	12,8	7,1	6,9	8,6	3,5

**Tabla 10. Continuación**

Cepas	Plátano	Tomate	Pimiento	Pepino
	IE %	IE %	IE %	IE %
<i>G. intraradices</i>	68,0a	148,5 a	77,7 a	74,2 <sup>a</sup>
<i>G. fasciculatum</i>	56,3a	28,3c	38,2b	44,5b
<i>G. mosseae</i>	10,5cd	92,1b	37,6b	9,4c
<i>G. clarum</i>	29,2bc	23,2c	26,1c	18,7c
<i>G. occultum</i>	17,9cd	-	-	-
<i>A. scrobiculata</i>	45,2ab	-	-	-
<i>G. agregatum</i>	-	89,8b	32,8bc	43,0b
<i>G. spurcum</i>	-	130,0a	73,1a	71,2a
cv %	12,6	6,35	4,95	11,31

Letras diferentes implican diferencias significativas a  $P < 0,05$  % según dócima de Duncan.

El conocimiento específico del cultivo a utilizar permitirá optimizar el criterio de selección en los casos que se requiera, como en el caso de la malanga *Colocasia* u otra especie

vegetal similar, pero todo parece indicar que éste no variará el criterio de especie más eficiente que se deriva de la especificidad suelo – cepa de HMA (Fig. 7, Tabla 8).

### **2.3. Influencia de la disponibilidad de nutrientes sobre la efectividad micorrízica**

El otro factor fundamental para el manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas resultó ser la disponibilidad de nutrientes en el agrosistema, derivado del tipo de suelo y de los suministros de nutrientes (fertilización) en forma orgánica o mineral que sean necesarios para complementar los requerimientos de las plantas.

#### **2.3.1. Posturas de cafeto**

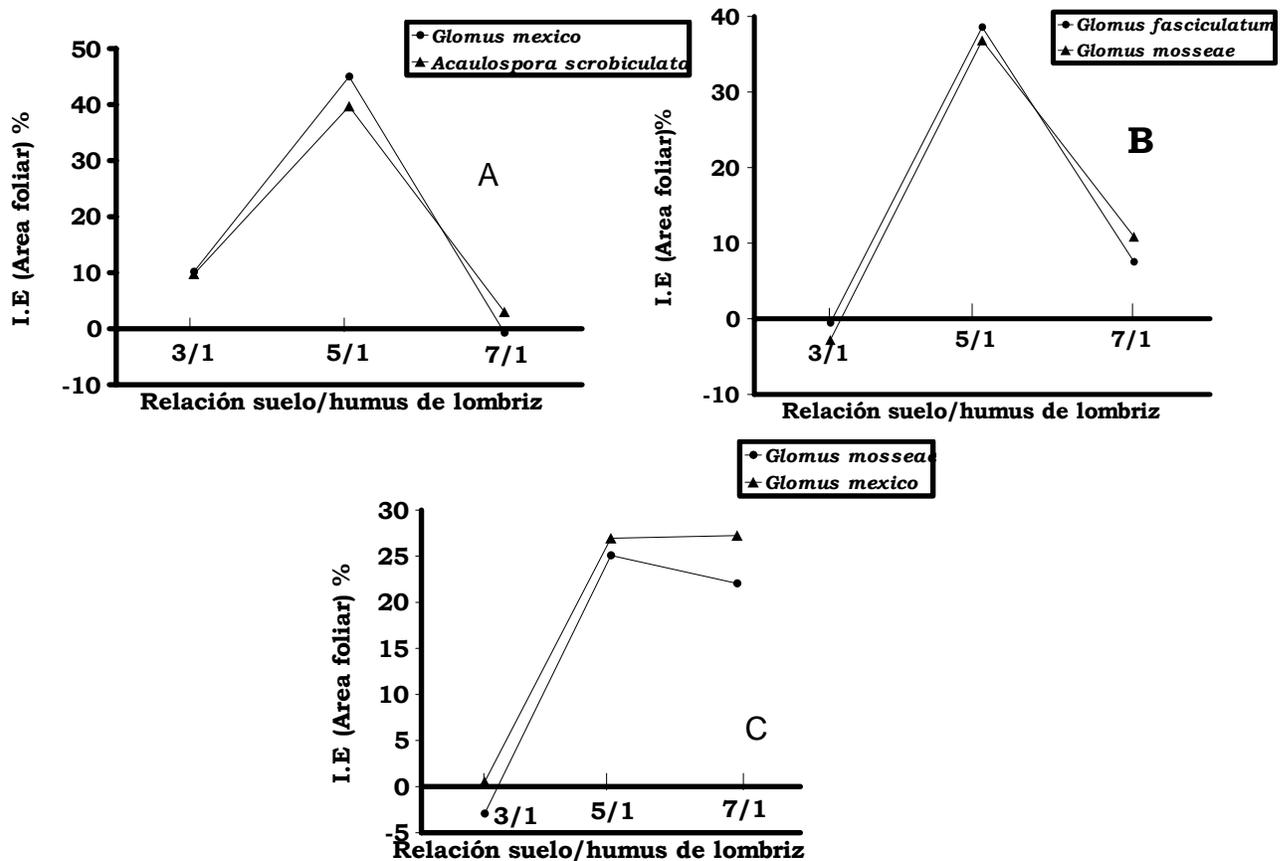
En el programa de cafeto la fuente de suministros de nutrientes estudiada fue el abono orgánico, evaluándose para cada suelo la influencia de diferentes relaciones suelo / abono orgánico sobre la efectividad micorrízica de cepas eficientes para cada uno de ellos (3.2.1.).

##### **3.3.1.1. Influencia de la riqueza del sustrato sobre la efectividad de la simbiosis**

En la figura 9 y en las tablas 5, 6 y 7, se presentan algunos de los principales resultados obtenidos por tipo de suelo. Para interpretarlos correctamente hay que partir de que la relación suelo / abono orgánico que se recomienda para la obtención de posturas óptimas de cafeto es 3/1 (Rodríguez, 1992).

En la figura 13 se muestra como precisamente con la relación 3/1 se obtuvo el menor efecto de la inoculación con cepas eficientes para esos tipos de suelos, obteniéndose la mayor efectividad de la micorrización en la relación 5/1. Relaciones que aportaran menos nutrientes que ésta, como la 7/1, no fueron tampoco adecuadas en estos suelos.

Un efecto similar se pudo observar en los suelos Luvisoles crómicos (Tabla 6) donde con la relación 3/1 la efectividad de la micorrización disminuyó, obteniéndose los mayores efectos sobre el crecimiento de las posturas micorrizadas con la relación 5/1; sin embargo en los Cambisoles éutricos de muy alta fertilidad,  $CIC > 25 \text{ cmol.kg}^{-1}$  (Tabla 7) ya la relación 5/1 no resultó adecuada para obtener una micorrización efectiva, debiendo utilizarse entonces relaciones con menores cantidades de abono orgánico como la 7/1.



**Figura 9. Influencia de la relación suelo / humus de lombriz sobre la efectividad de la inoculación con cepas eficientes (I. E.) en diferentes tipos de suelos: A - Nitisol dístico (Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña), B - Luvisol crómico (Fersialítico Rojo Lixiviado) y C- Cambisol gléyico (Pardo Gleyzoso) (Sánchez, 2001).**

Los resultados indican que para que la simbiosis sea eficiente la disponibilidad de nutrientes en el sistema debe ser inferior a la comúnmente utilizada para posturas no micorrizadas (3/1), lo cual coincide con los criterios más generales sobre efectividad micorrízica y disponibilidad de nutrientes reportados por Packovsky *et al.*, (1986b), Siqueira y Franco (1988) y Barea *et al.*, (1991).

El único suelo donde la relación 3/1 resultó efectiva para la micorrización fue en los Acrisoles háplicos de muy baja fertilidad (Tabla 5), no obstante el pequeño crecimiento de las posturas obtenidas en el tratamiento 3/1 sugiere que en estos suelos la misma fue insuficiente y por tanto no contradice los resultados correspondientes al resto de los suelos.

Por supuesto el obtener posturas con un óptimo crecimiento y por tanto altos requerimientos de nutrientes en presencia de cantidades menores de abono orgánico, son explicables en base al incremento en eficiencia del proceso de absorción de nutrientes por las plantas micorrizadas y por ende el incremento en el coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes.

La alta disponibilidad de nutrientes disminuyó las estructuras micorrízicas en el interior de las raíces (Fernández, 1999 y Sánchez , 2001), expresadas tanto como masa del endófito (Herrera *et al.*, 1995), como por porcentaje de colonización (Phillips y Hayman, 1970), lo cual indicó que la disminución obtenida en la efectividad micorrízica fue consecuencia de un mal funcionamiento o inclusive, de la inhibición de la simbiosis.

Es importante dejar claro que la relación suelo / abono orgánico que permitió una óptima efectividad de la inoculación con cepas eficientes, dependió del tipo de suelo y en una relación inversa con su fertilidad asociada.

Se establecieron asimismo criterios de interpretación de la masa del endófito para una efectiva micorrización, los cuales fueron relativamente similares para suelos de media y alta fertilidad, 18 – 22 mg.g<sup>-1</sup>, y que ascendieron en los Nitisoles dístricos de baja fertilidad hasta 30 – 32 mg.g<sup>-1</sup> y aún más en los Acrisoles (37 – 39 mg.g<sup>-1</sup>) de muy baja fertilidad, sugiriendo que en los suelos de menor fertilidad se hace necesaria una mayor cantidad de estructuras fúngicas para garantizar el funcionamiento adecuado de la simbiosis.

El indicador masa de endófito no depende del tipo de cepa en cuestión, reflejando el grado de eficiencia o funcionamiento de la simbiosis, a través de evaluar la intensidad con que se colonizan las raíces. Los valores óptimos de masa de endófito están asociados a las condiciones de mayor efectividad de la inoculación y óptimos crecimientos de las posturas para cada condición edáfica en cuestión. En la tabla 11 se presenta un resumen de la información obtenida.

Asimismo, en estos trabajos quedo claro que las plantas micorrizadas necesitaron de un suministro óptimo de nutrientes, definido en este caso por la relación suelo / abono orgánico empleado y el tipo de suelo en cuestión, para que se alcance una micorrización efectiva, un adecuado funcionamiento de la simbiosis y un óptimo crecimiento de las posturas.

Suministros inferiores conllevaron a posturas con menor crecimiento, con baja efectividad de la inoculación y con una menor cantidad de estructuras fúngicas, lo cual puede ser observado en la figura 9 y en las tablas 5, 6 y 7, cuando la relación suelo / abono orgánico empleada fue menor que la recomendada para alcanzar una micorrización efectiva en cada uno de estos suelos.

**Tabla 11. Relaciones suelo / humus de lombriz que permiten la mayor eficiencia micorrízica por tipos de suelos y algunas características químicas de los mismos; elaborado a partir de Fernández (1999), Sánchez (2001) y Joao (2002).**

Suelo	Ca + Mg cmol. kg <sup>-1</sup>	Al int. cmol.kg <sup>-1</sup>	Relación suelo/humus más adecuada	Masa Endófito óptima mg.g <sup>-1</sup>
Acrisoles	2,5 – 2,8	> 2,3	3/1	37 - 39
Nitisoles dístricos	4,0 – 6,5	0,5 – 1,0	5/1	29 - 31
Luvisoles crómicos	8,0 – 10,0	-	5/1	20 – 22
Cambisoles crómicos	7,0 – 9,5	-	5/1	21 – 22
Cambisoles gléyicos	10,5 – 12,0	-	5/1	21 – 22
Ferralsoles éutricos	13, 0 – 15,0	-	5/1	22
Cambisoles éutricos	16,0 – 17,0	-	5/1- 7/1	18 – 20
Cambisoles éutricos	25,0	-	7/1	18 – 20
Cambisoles éutricos	40,0	-	7/1	19

Los resultados dejan claro que la efectividad de la inoculación no solo dependió de la selección adecuada de las cepas de HMA empleadas, sino del suministro de nutrientes o riqueza del sustrato en que crecen las plantas, siendo el factor tipo de suelo determinante en el manejo efectivo de la inoculación, del mismo no solo dependió la selección de cepas eficientes, sino la relación suelo / abono orgánico que permitió la máxima efectividad.

### 2.3.2. Raíces, tubérculos y hortalizas

Los experimentos realizados en este sentido se llevaron a cabo solo en los Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) en condiciones de microparcels y en experimentos de campo, en todos los casos repetidos durante dos años.

En estos se evaluó la influencia de la fertilización mineral N, P y K sobre la efectividad de la inoculación de la cepa *Glomus intraradices*, la cual resultó la cepa más eficiente entre las estudiadas en este tipo de suelo (tópico 3.2.2.).

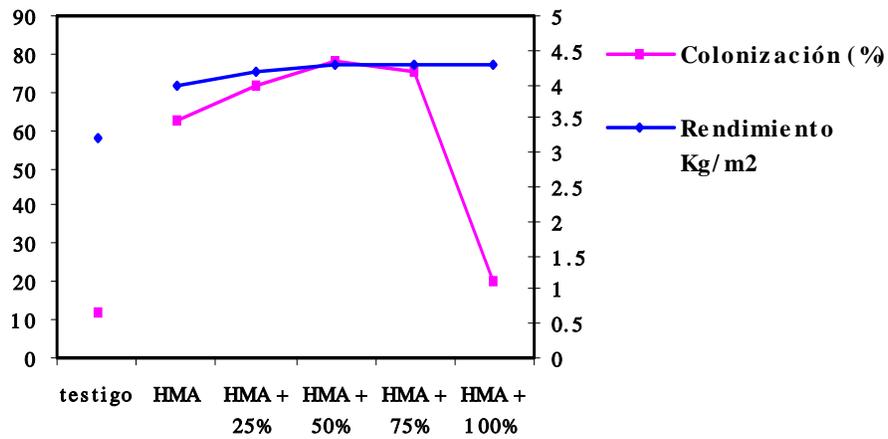
En cada uno de los experimentos se consideró como 100% NPK la dosis óptima recomendada para cada uno de los cultivos, por el Programa de Investigaciones sobre nutrición y fertilización mineral de raíces y tubérculos cuyos resultados aparecen publicados por varios autores (Portieles *et al.*, 1982; 1983; Ruiz y Portielles, 1985 y Ruiz *et al.*, 1990). De forma similar se procedió con el resto de los cultivos.

### **2.3.2.1. Influencia de la fertilización mineral sobre la efectividad de la simbiosis**

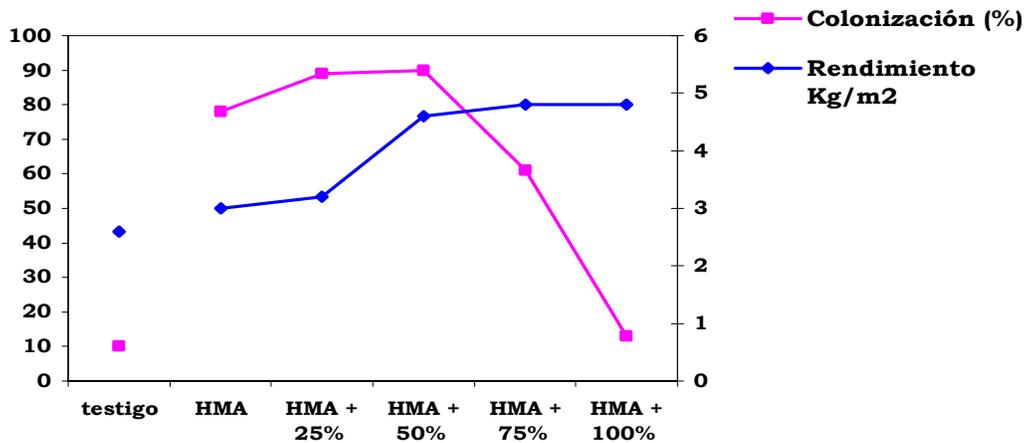
Los diferentes cultivos estudiados presentaron un comportamiento más o menos similar, el cual se ejemplifica a través de las figuras 10 y 11, correspondientes a los cultivos de yuca y boniato en condiciones de microparcels.

En las mismas se pueden observar los siguientes aspectos:

1. Una respuesta positiva a la inoculación de cepas eficientes de HMA, expresada en incrementos en el porcentaje de colonización micorrízica y en el rendimiento en comparación con el tratamiento testigo sin inocular.
2. La aplicación conjunta de la inoculación y de las dosis inferiores de fertilizantes minerales incrementaron la efectividad de la simbiosis, lo cual se expresó en incrementos en la colonización micorrízica y el rendimiento, obteniéndose en todos los cultivos una dosis óptima de fertilizantes para lograr la máxima eficiencia simbiótica o funcionamiento micorrízico. Esta dosis óptima para plantas micorrizadas con cepas eficientes garantizó los mayores rendimientos y resultó menor que la recomendada para obtener rendimientos similares pero en ausencia de inoculación (100 % NPK).
3. La aplicación de dosis superiores a las óptimas para las plantas micorrizadas, disminuyeron la colonización micorrízica y por ende la simbiosis hasta prácticamente inhibirla en presencia de la dosis de 100 % NPK; sin embargo los rendimientos no disminuyeron indicando que las plantas garantizaron sus requerimientos nutricionales, menos eficientemente, pero no a través de la micorrización.
4. Las dosis óptimas de fertilizantes para las plantas micorrizadas dependieron de los cultivos en cuestión.



**Figura 10. Influencia de la fertilización N, P y K sobre el funcionamiento micorrízico y el rendimiento del cultivo de la yuca en Cambisoles calcáricos (Ruiz, 2001).**



**Figura 11. Efecto de la fertilización N, P y K sobre la colonización micorrízica y el rendimiento del cultivo del boniato cultivado en Cambisoles calcáricos (Ruiz, 2001).**

Los resultados e influencia del suministro de nutrientes sobre la efectividad de la micorrización (inoculación) con cepas eficientes fue similar a la encontrada con los experimentos de posturas de cafeto, pero en aquellos los nutrientes se suministraron vía abono orgánico y con estos experimentos se demuestra además que la simbiosis micorrízica es compatible con la fertilización mineral.

La simbiosis micorrízica se comporta como un mecanismo que permite a las plantas garantizar sus requerimientos nutricionales para alcanzar inclusive los rendimientos potenciales determinados por la variedad, el clima, y las prácticas culturales, pero en función de las posibilidades del suelo o del sustrato de garantizar éstos, será necesario complementarlos, ya sea en forma orgánica o mineral.

Lo que es indudable es que las cantidades de nutrientes a aplicar “complementariamente” por una u otra vía, serán menores que las utilizadas en plantas no micorrizadas, lo cual es una consecuencia del incremento de la absorción mineral por las plantas micorrizadas.

Este resultado no solo tiene una importancia económica sino también medioambiental, puesto que conlleva a la utilización de menores dosis de fertilizantes y por ende disminuciones de las contaminaciones debido al lavado de los nutrientes en el perfil del suelo y a la escorrentía lateral.

En los experimentos de campo realizados con el objetivo de precisar las dosis de fertilizantes NPK para los diferentes cultivos se ratificaron los anteriores resultados. Los cultivos se diferenciaron de acuerdo con el porcentaje de la dosis de N, P y K con la cual se obtuvo la máxima efectividad de la simbiosis.

En las tablas 12 y 13 se presenta un resumen de la información obtenida, presentando para cada cultivo los rendimientos de los tratamientos testigo (sin fertilizante), 100 % NPK (dosis recomendada para altos rendimientos por los Sistemas de recomendación de fertilizantes del Minag) y el tratamiento seleccionado (HMA + NPK) en cada cultivo que presentó la mayor efectividad micorrízica y rendimientos estadísticamente similares al tratamiento con 100 % de NPK.

**Tabla 12. Dosis óptima de fertilizante NPK para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos). Resultados de experimentos de campo (Ruiz, 2001).**

CULTIVOS	TRATAMIENTO	PRIMER-AÑO		SEGUNDO-AÑO	
		t. ha <sup>-1</sup>	IE %	t. ha <sup>-1</sup>	IE %
YUCA	Testigo	35,5 c		37,06 c	
	<b>HMA+ 25 % NPK</b>	48,8 a	37,8	52,5 a	41,7
	100% NPK	50,3 a	41,6	52,0 a	40,3
	CV %	9,9		4,4	
BONIATO	Testigo	18,8 c		27,2 c	
	<b>HMA + 50%NPK</b>	36,1 a	92,6	40,1 a	47,4
	100 % NPK	38,3 a	99,36	41,4 a	47,6
	CV %	4,4		7,0	
MALANGA Colocasia	Testigo	25,5 c		29,0	
	<b>HMA+ 50% NPK</b>	36,7 a	43,9	40,9 a	41,0
	100 % NPK	38,3 a	50,1	41,4 a	42,7
	CV %	5,9		4,7	
MALANGA Xanthosoma	Testigo	17,9 c		23,2 d	
	<b>HMA+ 50% NPK</b>	40,1 a	124,2	42,7 a	84,1
	100 % NPK	40,3 a	125,1	43,2 a	86,2
	CV %	4,3		5,7	
ÑAME	Testigo	17,8 c		25,1 d	
	<b>HMA+ 50% NPK</b>	26,9 a	51,0	33,0 a	31,5
	100 % NPK	27,9 a	56,4	32,8 a	30,7
	CV %	6,8		4,3	
PEPINO	Testigo	5,9 c		7,0 c	
	<b>HMA+ 50% NPK</b>	13,1 a	122	15,43 a	120,4
	100 % NPK	13,35 a	126,7	15,56 a	122,3
	CV %	3,88		2,52	

En los diez cultivos estudiados la inoculación de cepas eficientes de HMA por tipo de suelo permitió obtener altos rendimientos, similares a los alcanzados bajo sistemas agrícolas intensivos con dosis altas de fertilizantes, pero en cualesquiera de ellos con dosis menores. En los cultivos de boniato, ñame, malanga *Colocasia* y *Xanthosoma*, y pepino fueron necesarias solamente dosis de alrededor del 50 % de las utilizadas en dichos sistemas. En el caso de la yuca solo fue necesario la aplicación de un 25 % de la dosis NPK recomendada comúnmente.

**Tabla 13. Dosis óptima de fertilizante NPK para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos). Resultados de experimentos de campo (Ruiz , 2001).**

CULTIVOS	TRATAMIENTO	PRIMER-AÑO		SEGUNDO -AÑO	
		t. ha <sup>-1</sup>	IE %	t. ha <sup>-1</sup>	IE %
PAPA	Testigo	18,0 d		20,5 d	
	<b>HMA+ 75 % NPK</b>	29,2 a	61,7	36,8 a	79,6
	100% NPK	30,1 a	66,9	37,2 a	81,2
	CV %	7,5		8,6	
TOMATE	Testigo	18,6 e		20,1 e	
	<b>HMA + 75%NPK</b>	40,9 a	119,6	41,9 a	108,9
	100 % NPK	41,1 a	120,9	42,0 a	109,0
	CV %	4,8		4,4	
PIMIENTO	Testigo	15,9 d		17,2 d	
	<b>HMA+ 75% NPK</b>	37,3 a	134	41,6 a	141,8
	100 % NPK	37,4 a	134	41,9 a	143,4
	CV %	3,6			
PLATANO	Testigo	15,6 d			
	<b>HMA+ 75 % NPK</b>	29,6 a	89,7		
	100 % NPK	29,7 a	89,7		
	CV %	6,9			

Para el resto de los cultivos (papa, tomate, pimiento y plátano) fueron necesarias las aplicaciones del 75 % de las dosis de NPK, pero aún así conllevó a un incremento importante en el aprovechamiento de los nutrientes y lo que es más importante, a disminuir

una de las causas potenciales de contaminación en la práctica agrícola intensiva, la derivada de la fertilización mineral.

La disminución de las dosis de fertilizantes en plantaciones que alcanzan altos rendimientos y que por tanto mantienen sus requerimientos nutricionales se logra a expensas de incrementos en la absorción de los nutrientes provenientes del suelo y de los fertilizantes, conllevando a incrementos en los coeficientes de aprovechamiento de éstos, así como a una disminución en los índices críticos de los elementos en el suelo.

Por supuesto, los resultados dependen del tipo de suelo y la disponibilidad de los nutrientes, de los cultivos y su nivel productivo y no se puede pretender que estos porcentajes no varíen por uno u otro factor, pero no debe haber dudas de que lo general es que se manifieste este fenómeno y deben servir de indicadores para la implementación del enfoque de “plantas micorrizadas eficientemente”, como base para los sistemas agrícolas productivos.

### **2.3.3. Influencia de la simbiosis micorrízica sobre la nutrición mineral de las plantas**

No hay dudas de que la simbiosis actúa favorablemente sobre la absorción del fósforo, debido a que es un elemento que se mueve por difusión en la solución del suelo, presentando además una alta capacidad de fijación en los suelos tropicales y en primera instancia cualquier mecanismo que incremente la superficie de absorción y la accesibilidad al nutriente, influirá directamente sobre la absorción del mismo. Además de esto el P desarrolla un papel fundamental en el intercambio de sustancias que ocurre en los arbusculos (Harley y Smith, 1983; Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1983 y Sieverding, 1991).

En los últimos años se ha ido reconociendo en la literatura el efecto directo de las endomicorrizas sobre la absorción de otros elementos esenciales (Marschner y Dell, 1994), diferenciándolo del efecto indirecto que se puede obtener sobre la absorción de cualquier otro producto de las mejoras en la absorción de algún elemento limitante (George, 2000).

Por tanto, este propio autor argumenta muy claramente sobre no utilizar los incrementos en la absorción de los nutrientes como pruebas para inferir o comprobar el efecto directo de la micorrización sobre la nutrición o absorción de un elemento en particular, sino que se deben utilizar los incrementos en concentración, sobre todo cuando no se puedan emplear métodos isotópicos.

Asimismo, plantea que la simbiosis micorrízica actúa directamente sobre la absorción de prácticamente todos los elementos minerales esenciales como P, N ( $\text{NH}_4^{+1}$ ,  $\text{NO}_3^{-1}$ ), Zn, Cu, K, Ca, S ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y Fe y de otros no esenciales como el Cd. Señala además que los estudios sobre nutrición mineral sin considerar la micorrización son ampliamente aceptados, sin embargo, son generalmente erróneos.

Los resultados obtenidos en este sentido en ambos grupos de experimentos (Fernández, 1999; Sánchez 2001 y Ruiz, 2001) fueron discutidos integralmente por Rivera *et al.* (2001), encontrándose que la simbiosis incrementó directamente la absorción de los tres macroelementos primarios, a través de aumentos en la concentración de estos nutrientes.

En las raíces y tubérculos, cultivos potasófilos, la simbiosis incrementó preferentemente la nutrición fosfórica y potásica (Tabla 14), mientras que en las posturas de cafeto fueron el fósforo y el nitrógeno los elementos más favorecidos (Tabla 15).

La información indicó que la micorrización más que presentar una preferencia por uno u otro elemento, se comportó como un mecanismo que permitió a las plantas obtener sus requerimientos nutricionales dependiendo por tanto de éstos y de la disponibilidad de los mismos en el sistema, la magnitud de los efectos y los elementos favorecidos (Rivera *et al.*, 2001).

**Tabla 14. Participación de la micorrización en la nutrición de los cultivos.**

CULTIVOS	CAMBISOLES EUTRICOS			FERRALSOLES EUTRICOS		
	N	P	K	N	P	K
YUCA	42	54	37	52	63	53
BONIATO	86	84	88	55	58	64
PAPA	51	56	51	59	45	28
MALANGA	61	68	65	-----	-----	-----
ÑAME	50	52	53	60	66	65

Participación % =  $\frac{\text{Absorción Tratamiento HMA} - \text{Absorción Control}}{\text{Absorción Tratamiento HMA}}$

Absorción Tratamiento HMA

**Tabla 15. Efecto de la micorrización sobre la absorción de NPK por las posturas de café en tres tipos de suelos.**

SUELOS	N mg	IE %	P mg	IE %	K mg	IE %
<b>Nitisoles dístricos</b>						
5/1	64,9 c		7,4 c		88,2 c	
5/1 + HMA	95,0 a	46,4	10,9 a	46,1	115,3 a	30,7
<b>Luvisoles crómicos</b>						
5/1	75,8 c		7,5 b		92,0 b	
5/1 + HMA	107 a	41,5	9,9 a	31,5	117,2 a	27,5
<b>Cambisoles éútricos</b>						
5/1	77,9 b		8,0 b		91,9 b	
5/1 + HMA	103 a	32,0	11,1 a	31,5	115,4 a	20,3

#### **2.4 La coinoculación HMA - rizobacterias.**

En Cuba se han ejecutado numerosas investigaciones con resultados muy positivos sobre la efectividad de las aplicaciones simples de inoculantes microbianos a base de diferentes rizobacterias fijadoras de Nitrógeno como: especies de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* para leguminosas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) como *Azotobacter chroococcum* para hortalizas y vegetales; especies de *Azospirillum* en arroz, maíz, sorgo y hortalizas; *Burkholderia cepacia* en maíz y *Pseudomonas fluorescens* para diferentes cultivos. Existen además, en forma comercial diferentes productos como: Biofert®, Azofert®, Dimargon®, Fosforina®, entre otros.

Es de señalar que en el caso de las RPCV se plantean la existencia de diferentes mecanismos de acción: control de fitopatógenos en *Burkholderia cepacia*; solubilización de fósforo en *Pseudomonas fluorescens*; fijación de Nitrógeno en alguna medida para *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum sp.* y en todos los casos estimulación del crecimiento a partir del propio metabolismo microbiano.

Desde el inicio de los 90 comenzaron en Cuba los trabajos encaminados a evaluar la coinoculación de diferentes géneros de rizobacterias y los HMA, basados no solo en la existencia natural de estos microorganismos en la rizósfera de las plantas micorrizadas y la existencia de relaciones mutualistas entre los mismos (Fitter y Garbaye, 1994; Höflich *et*

*al.*, 1994 y Gryndler, 2000), sino que incluso se han encontrado bacterias promotoras del crecimiento en el interior de las esporas de los géneros *Gigaspora* (Bianciotto *et al.*, 2000 y Minerdi *et al.*, 2001) y más recientemente, en Cuba, en la especie *Glomus clarum* (Mirabal *et al.*, 2003).

Un resultado curioso fue el reportado por Rivera *et al.* (1997), en el programa de producción de posturas de café micorrizadas, donde la esterilización de los sustratos previo a la inoculación micorrízica, disminuía el efecto agrobiológico de la misma, explicable por las relaciones mutualistas que se establecían en la rizósfera de las posturas micorrizadas, las cuales contribuían de una u otra forma a un mayor efecto de la inoculación micorrízica, y que desaparecían en presencia de la esterilización inicial.

Entre los primeros resultados sobre coinoculación se encuentran precisamente los obtenidos en este programa por Fernández (1999). La coinoculación *Azotobacter chroococcum* con cepas eficientes de HMA, fue válida en Cambisoles éutricos de alta fertilidad, potenciando significativamente los efectos alcanzados con las inoculaciones simples de HMA, aunque sin incrementos importantes en las estructuras fúngicas de las posturas, sugiriendo que las relaciones entre los microorganismos se expresaron como mecanismos complementarios.

Cuando la coinoculación se estudió en Acrisoles háplicos de muy baja fertilidad, los resultados fueron negativos y siempre inferiores a las aplicaciones simples de los microorganismos, explicable en base a una competencia por la baja disponibilidad de nutrientes en estos suelos, limitando incluso las estructuras fúngicas en las posturas micorrizadas.

A partir de estos resultados se recomendaron las aplicaciones conjuntas en suelos de media y alta fertilidad y en presencia de la relación 5/1 (suelo / humus de lombriz) en el sustrato.

Posiblemente los mejores y más estables resultados de la coinoculación se hayan obtenido en la simbiosis tripartita, HMA – *Rhizobium* - leguminosas, basado en el hecho de que las relaciones simbióticas deben proporcionar un mayor intercambio entre los simbiosistas y efectos superiores a las plantas, que las relaciones basadas en asociaciones no simbióticas. En este caso la simbiosis *Rhizobium* - HMA aporta N<sub>2</sub> por una parte y las micorrizas incrementan la absorción de otros elementos entre los que se encuentran el P, muy importante para garantizar una adecuada fijación del nitrógeno y crecimiento de la planta.

Abunda la literatura internacional sobre esta coinoculación con resultados positivos (Packovsky *et al.*, 1986a ), al igual que en el país (Corbera y Hernández, 1997; Corbera, 1998), siendo validada en grandes extensiones en Bolivia con muy buenos resultados (INCA, 1999; tópico 4.2.1).

En la tabla 16 se resumen algunos ejemplos obtenidos en Cuba sobre coinoculación micorrízica con diferentes géneros microbianos y cultivos. De forma general los resultados fueron positivos, reportándose valores superiores con relación a la aplicación simple de los inoculantes micorrízicos, siempre que se tuvo en cuenta la especificidad rizobacteria-cultivo, es decir aplicando rizobacterias que presentaron un efecto agrobiológico positivo sobre el cultivo en cuestión. En base a estos resultados es conveniente recomendar su uso y considerarla como una práctica dentro del manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción agrícola.

**Tabla 16 Efectos de la coinoculación HMA - bacterias rizosféricas sobre el rendimiento de diferentes cultivos. (Incrementos con relación al efecto de la aplicación de HMA.)**

<b>Especies de microorganismos</b>	<b>Cultivo</b>	<b>% Incremento</b>	<b>Referencia</b>
<i>B. japonicum</i>	soya	30	Hdez y Hdez, 1996
<i>B. japonicum</i>	soya	31	Corbera y Hdez, 1997
<i>B. japonicum</i>	soya	15	Corbera, 1998
<i>B. japonicum</i>	soya	11 - 55	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	maíz	47	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	girasol	69	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	tomate	40	Terry <i>et al.</i> , 2002
<i>A. chroococum</i>	habichuela	29	Terry <i>et al.</i> , 2002
<i>A. brasilense</i>	tomate	36	Terry <i>et al.</i> , 1998
<i>A. brasilense</i>	maíz	23	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. brasilense</i>	sorgo	16	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. lipoferum</i>	tomate	17	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>B. cepacia</i>	papa	55	Hernández, 2001

## **2.5. La inoculación micorrízica y la rotación y / o secuencia de cultivos.**

Si bien no abundan los resultados experimentales sobre permanencia de la efectividad de una cepa eficiente inoculada en una secuencia y / o rotación de cultivos en condiciones de experimentos de microparcels o campo, no deja de ser una temática muy importante y promisoría sobre todo a partir de la baja especificidad cepa – cultivo.

En la extensa recopilación de resultados presentados por Sieverding (1991), solo se reportan resultados de dos trabajos realizados con tales fines, en los cuales siempre el cultivo de la yuca fue el cultivo inicial de las secuencias estudiadas.

En los mismos no se encontró efecto residual de las inoculaciones de cepas efectivas, aunque por supuesto si se obtuvo respuesta positiva en el año de la inoculación.

Sin embargo, otra fue la situación en los resultados obtenidos en el programa de raíces y tubérculos realizado por Ruiz (2001) sobre Cambisoles calcáricos, en el cual se estudió el efecto residual de la inoculación de una cepa altamente efectiva para este tipo de suelo, *Glomus intraradices*, sobre una secuencia de cultivos formada por papa, boniato, yuca y boniato, en condiciones de microparcels y repitiéndose este experimento en dos ciclos completos

En la tabla 17 se muestran los resultados promedios de los dos ciclos en las variables rendimiento y porcentaje de colonización. La inoculación en cada uno de los cultivos produjo siempre un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en ambas variables con relación al tratamiento control sin inocular, ratificando el efecto positivo de la inoculación con esta cepa para los diferentes cultivos en este tipo de suelo.

Al finalizar el sistema de rotación, con la cosecha del segundo cultivo de boniato, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento y el porcentaje de colonización de cada uno de los cultivos, entre los tratamientos siguientes: inoculación en todos los cultivos, inoculación cada dos cultivos e inoculación cada tres cultivos.

Cuando el inóculo se aplicó cada cuatro cultivos (una sola vez para todo el sistema), el rendimiento ( $2,0 \text{ kg} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$ ) y el porcentaje de colonización (34 %) obtenidos en el último cultivo fueron significativamente inferiores a los producidos con los mejores tratamientos, aunque superiores al del control sin inocular.

La conducta reflejada anteriormente resultó muy promisoría para el manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas, ya que dejó claro la factibilidad de utilizar la permanencia del

inóculo aplicado al menos durante dos o tres cultivos, y en última instancia es una consecuencia de la baja especificidad cepa - cultivo , de forma tal que cuando se introduce una cepa eficiente para un tipo de suelo la misma esta en posibilidades de asociarse con los diferentes cultivos, reproducirse, alcanzar una concentración adecuada de propágulos en el sistema y micorrizar efectivamente, al menos, el cultivo siguiente

**Tabla 17. Permanencia de la efectividad de una especie eficiente de HMA inoculada en un sistema de rotación de cultivos sobre Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) (Ruiz, 2001).**

	PAPA		BONIATO		YUCA		BONIATO	
	Rdto. Kg.m <sup>2</sup>	Col. %						
<b>Control</b>	2,0 b	3 c	2,1 b	5 c	2,1 c	7 c	1,8 b	4 d
<b>Inóculo siempre</b>	2,6 a	76 ab	2,8 a	75 a	3,1 a	81 a	2,5 a	79 a
<b>Inóculo c/ dos cultivos</b>	2,6 a	77 ab	2,5 a	70 b	3,1 a	79 a	2,2 a	71 a
<b>Inóculo c/ tres cultivos</b>	2,6 a	75 b	2,5 a	71 b	2,7 ab	69 b	2,3 a	79 a
<b>Inóculo c/ cuatro cultivos</b>	2,6 a	79 a	2,5 a	70 b	2,6 b	67 b	2,0 b	34 c
<b>CV %</b>	18,1	2,9	18,3	4,1	16,6	5,0	17,7	3,2

Sin dudas el fenómeno de permanencia de la efectividad del inóculo en el suelo, está vinculado a un complejo de factores inherentes al manejo del suelo, a las prácticas culturales entre las que se encuentra el suministro de nutrientes y productos fitosanitarios, a las propias características de dependencia micorrízica de los cultivos y a los marcos de plantación utilizados, todo lo cual conlleva a la capacidad de reproducción de propágulos en cantidades adecuadas para el cultivo posterior.

La información existente con relación a este tema es muy limitada, ambigua, sin conclusiones concretas y referidas en lo fundamental al efecto de las prácticas culturales

sobre la conservación de las poblaciones nativas de HMA (Primavesi, 1990; Sieverding, 1991; Sivila y Hervé, 1994 y Chu y Diekmann, 1994); siendo los resultados aquí presentados, los primeros en cuantificar y enmarcar en el tiempo la permanencia efectiva de propágulos correspondientes a cepas eficientes de HMA en un sistema de rotación de raíces y tubérculos.

Los trabajos posteriores realizados por Riera (2002) en condiciones de experimentos de campo sobre Ferralsoles éutricos, aplicando *Glomus clarum* y trabajando con diferentes secuencias, corroboran de forma general el efecto de permanencia del inóculo aplicado, evaluado a través del rendimiento (Tabla 18); pero en este caso solo se encontró en el primer cultivo posterior, aunque dependiendo de los cultivos empleados, tanto del precedente como del sucesor.

En relación con el comportamiento de la densidad visual, la cual evalúa el grado o intensidad del funcionamiento micorrízico, se encontró que la misma siempre disminuyó cuando se dejó de aplicar inoculante, aunque los valores encontrados en el primer cultivo posterior a la inoculación fueron bastantes cercanos a los obtenidos en presencia de la inoculación micorrízica.

En este trabajo se evaluó además la dinámica de las poblaciones de esporas en función de cada cultivo y tratamiento, arrojando una valiosa información que demostró que la inoculación elevó significativamente las esporas en cualesquiera de las secuencias, aunque fue dependiente del número de inoculaciones, del cultivo en cuestión y hasta del precedente, llegando a alcanzar poblaciones de alrededor de 800 – 900 esporas / 100g en los cultivos de boniato y girasol. Las poblaciones iniciales en estos experimentos oscilaron alrededor de las 50 esporas / 100g de suelo.

**Tabla 18. Efectividad del inóculo aplicado (*Gl. clarum*) en diferentes secuencias de cultivos, en Ferralsoles éutricos, sobre el rendimiento y densidad visual de la micorrización en cada cultivo (Riera , 2002).**

*Secuencia : soya – maíz - boniato*

	SOYA		MAIZ		BONIATO	
	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %
<b>Control</b>	1,83 b	1,42 b	5,15 b	2,55 b	20,3 b	1,92 c
<b>Inoculación Primer cultivo</b>	2,00 ab	3,7 a	5,37 ab	2,8 b	20,9 b	2,5 bc
<b>Inoculación Dos cultivos</b>	2,02 ab	4,4 a	5,62 a	4,8 a	23,4 a	3,4 b
<b>Inoculación C/cultivo</b>	2,12 a	4,4 a	5,67 a	5,1 a	24,95 a	5,7 a
<b>Es x</b>	0.06	0,2	0.11	0,35	0,59	0,39

*Secuencia: soya – girasol – sorgo*

	SOYA		GIRASOL		SORGO	
	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %
<b>Control</b>	1,91 b	1,62 b	1,71 b	2,8 c	2,64 c	0,6 c
<b>Inoculación Primer cultivo</b>	2,08 ab	4,85 a	1,77 ab	5,7 b	2,72 b	1,5 bc
<b>Inoculación Dos cultivos</b>	2,10 a	4,9 a	1,91 a	7,9 a	2,73 b	2,2 ab
<b>Inoculación C/cultivo</b>	2,16 a	4,6 a	1,94 a	8,4 a	2,82 a	2,9 a
<b>Es x</b>	0.05	0,25	0.05	0,30	0,02	0,30

*Secuencia: arroz – frijol - boniato*

	ARROZ		FRIJOL		BONIATO	
	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %	t. ha <sup>-1</sup>	DV %
<b>Control</b>	1,09 b	0,91 c	1,59 b	0,45 b	22,6 c	1,38 c
<b>Inoculación Primer cultivo</b>	1,13 ab	1,46 bc	1,60 b	0,67 b	23,3 c	2,28 bc
<b>Inoculación Dos cultivos</b>	1,18 a	2,12 ab	1,77 a	2,08 a	25,5 b	4,23 ab
<b>Inoculación C/cultivo</b>	1,19 a	2,3 a	1,78 a	2,08 a	27,3 a	5,67 a
<b>Es x</b>	0.02	0,19	0.03	0,21	0,5	0,57

## 2.6. El uso de los abonos verdes y la efectividad micorrízica

En el periodo 1995 - 98 se desarrollaron un grupo de experimentos con vistas a evaluar el uso de los abonos verdes como fuente de nutrientes y de materia orgánica “in situ” y formando parte del sistema de producción de posturas de cafetos micorrizadas, con el objetivo de disminuir o sustituir el uso y transportación de las fuentes clásicas de abono orgánico (humus de lombriz, estiércol) y reducir la dependencia del “exterior” del sistema. Los trabajos se desarrollaron sobre Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzados), Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) y Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados) con características similares a las ya presentadas en la tabla 3.

**Tabla 19. Masa seca y aporte de nutrientes medios de las diferentes especies utilizadas en los tres tipos de suelos estudiados. (Valores promedios de 3 campañas) (Sánchez, 2001).**

Abonos verdes	Tipos de suelos	Masa Fresca (t. ha <sup>-1</sup> )	Masa Seca (t. ha <sup>-1</sup> )	N	P (kg. ha <sup>-1</sup> )	K	
<b>Dolicho</b>	Cambisoles <sup>1</sup> éutricos	14.69 d	2.60 d	85.93 c	9.65 d	31.12 d	
<b>Canavalia</b>		29.61 c	4.31 c	146.04 b	13.04 c	51.98 c	
<b>Crotalaria</b>		47.06 b	7.38 b	201.95 a	18.70 b	109.98 b	
<b>Sorgo</b>		66.72 a	9.48 a	164.82 b	30.51 a	157.46 a	
		E.S ±	1.72***	0.24***	5.31 ***	0.69***	2.01***
		CV %	7.16	7.17	6.17	6.60	4.20
<b>Canavalia</b>	Luvisoles <sup>1</sup> crómicos	33.40 c	4.64 c	160.44 b	15.18 c	56.76 c	
<b>Crotalaria</b>		44.30 b	7.31 b	193.34 a	17.85 b	107.39 b	
<b>Sorgo</b>		70.47 a	9.53 a	145.60 b	28.58 a	167.27 a	
		E.S ±	1.84**	0.211***	4.50**	0.67***	3.34***
		CV %	6.43	5.10	4.70	5.63	5.26
<b>Canavalia</b>		Nitisoles <sup>2</sup> dístricos	28.56 c	4.19 c	143.74 b	13.39 c	49.76 c
<b>Crotalaria</b>	37.80 b		6.36 b	165.03 a	17.17 b	98.90 b	
<b>Sorgo</b>	60.05 a		8.95 a	156.15 ab	24.15 a	151.58 a	
	E.S ±		1.39***	0.20**	3.75**	0.49***	2.43***
	CV %		5.67	5.37	4.19	4.65	4.20

Leyenda: 1 Valores promedio de tres campañas. 2 Valores promedio de dos campañas.

Cada una de las especies vegetales evaluadas como “abonos verdes” presentó un comportamiento diferenciado (Tabla 19), destacándose el sorgo y la crotalaria por las altas cantidades de masa seca y de nutrientes aportados, con valores superiores de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para la crotalaria y mayores de K<sub>2</sub>O para el sorgo.

La canavalia tuvo un comportamiento inferior al mostrado por las especies anteriores, aunque muy superior al del dolicho. De forma general el tipo de suelo no presentó una influencia notable sobre el comportamiento de las especies.

En la tabla 20 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en tres campañas de producción de posturas sobre Cambisoles gléyicos (Pardo Gleyzoso), las cuales mostraron un comportamiento muy similar entre todas, encontrándose una respuesta diferenciada en los tratamientos, muy dependiente del tipo de abono verde empleado.

**Tabla 20. Efecto de la aplicación de abonos verdes y HMA en la producción de posturas de café sobre Cambisoles gleyicos (Pardos Gleyzosos) (Sánchez, 2001).**

TRATAMIENTOS	1995-96		1996-97		1997-98		
	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	Área F. (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A. mg.g-1	Área F. (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A. mg.g-1
<b>Suelo</b>	223.00 d	251.00 d	16.46 e	7.04 d	254.10 e	17.67 f	9.16 c
<b>Suelo + HMA</b>	240.30 c	255.10 d	28.0 cd	8.08 d	276.3 de	24.00 e	9.07 c
<b>Dolicho</b>	250.77 c	270.00 c	24.00 d	12.00 c	286.00 d	18.00 f	13.60 b
<b>Dolicho + HMA</b>	307.17 b	346.00 b	31.00 c	15.20 b	346.06 c	38.33 c	16.00 b
<b>Canavalia</b>	285.00 bc	281.20 c	32.33 c	13.00 c	295.40 d	30.00 d	15.30 b
<b>Canavalia + HMA</b>	372.17 a	424.21 a	50.67 a	19.62 a	396.2 ab	48.00 b	19.00 a
<b>Crotalaria</b>	312.00 b	341.00 b	33.00 c	15.49 b	338.12 c	37.33 c	15.90 b
<b>Crotalaria + HMA</b>	381.00 a	443.00 a	58.33 a	20.00 a	417.00 a	58.33 a	19.16 a
<b>Sorghum</b>	322.00 b	430.00 a	42.00 b	18.36 a	380.10 b	44.70 bc	19.40 a
<b>Sorgo + HMA</b>	379.50 a	432.70 a	52.33 a	19.54 a	413.40 a	57.00 a	20.23 a
<b>3:1</b>	385.07 a	450.70 a	24.33 d	12.00 c	414.60 a	20.00 f	13.40 b
<b>3:1 + HMA</b>	389.00 a	448.40 a	25.33 d	12.22 c	404.20 a	25.00 e	14.08 b
<b>CV %</b>	9.54	10.01	8.15	6.24	5.66	5.66	9.66
<b>E.S ± Trat</b>	12.34***	11.28***	1.15***	0.49**	11.95***	0.87***	0.88 ***

3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. Suelo = Suelo sin aplicar materia orgánica; HMA= *Glomus mosseae* ecotipo 1(IES-5); EA= Endófito arbuscular.

\*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para P≤ .001.

Cuando se usó el dolico o la canavalia se encontró solo una ligera respuesta sobre el crecimiento de las posturas, pero con un desarrollo de éstas muy inferior al obtenido en el tratamiento de referencia suelo : humus 3/1 (Rodríguez, 1992); sin embargo, cuando estos tratamientos de abonos verdes se inocularon con una cepa eficiente de HMA, incrementaron fuertemente el crecimiento de las posturas e inclusive con la combinación *Canavalia ensiformis* + HMA, éstas no difirieron significativamente a las obtenidas en el tratamiento de referencia 3/1, indicando que la incorporación de esta especie de abono verde garantizó los requerimientos nutricionales para el cafeto micorrizado.

El crecimiento e incorporación del sorgo presentó un comportamiento superior al de las anteriores leguminosas, y las posturas obtenidas en dicho tratamiento fueron similares a las del tratamiento de referencia 3/1, oscilando entre el 84 y el 95 % del área foliar obtenida con éste, e inclusive en uno de los años no se encontró diferencia significativa entre ambos y en correspondencia la respuesta de las plantas a la inoculación con HMA (sorgo + HMA) fue mínima.

La explicación a los diferentes efectos obtenidos con el crecimiento e incorporación de las especies de abonos verdes y la inoculación con HMA, estuvo muy relacionada con el comportamiento de cualesquiera de los dos estimadores del funcionamiento micorrízico evaluados, el endófito arbuscular (Herrera *et al.*, 1995) y el porcentaje de colonización, en las posturas de cafeto.

Sorprendentemente el crecimiento y aplicación de las especies de abonos verdes originaron “*per se*”, en ausencia de la inoculación micorrízica, una elevación del endófito arbuscular o del porcentaje de colonización en las posturas de cafeto. Estos efectos estuvieron directamente relacionados con el crecimiento y la masa seca obtenida por cada especie de abono verde, indicando que en la medida que estas crecieron mejor se obtuvieron los mayores efectos sobre el endófito arbuscular de las posturas no inoculadas, o lo que es lo mismo, en este caso, una mayor efectividad de la micorrización nativa.

Otro aspecto importante fue que en aquellos casos que simplemente por la incorporación de los abonos verdes o por la combinación de estos con las especies de HMA se obtuvieron posturas con un crecimiento óptimo, fue indicativo que dichas especies de abonos verdes garantizaron el suministro de nutrientes necesario para una micorrización efectiva, y por

tanto sustituyeron completamente la aplicación inicial de abono orgánico, lo cual fue alcanzado con la canavalia, la crotalaria y el sorgo, pero no con el dolico.

En el caso del sorgo, éste de por sí elevó la masa del endófito de  $7 \text{ mg.g}^{-1}$ , que se obtuvo en el tratamiento control hasta  $18 - 20 \text{ mg.g}^{-1}$ , valores que están asociados con una alta eficiencia simbiótica y por supuesto, la inoculación con HMA combinada con la aplicación del sorgo no incrementó estos valores.

La información obtenida indicó que aunque existieron diferencias entre los aportes de nutrientes de las especies vegetales utilizadas, la causa principal del comportamiento diferenciado de los abonos verdes frente a la inoculación de las cepas de HMA en este tipo de suelo, estuvo relacionada con el efecto que estos causaron sobre la efectividad de la micorrización nativa del cafeto, la cual presumiblemente debe ser explicada por la elevación del número de propágulos nativos (esporas, hifas y raicillas infectadas) que se produjo con el crecimiento de los abonos verdes.

Ciertamente, el sorgo ha sido una de las plantas hospederas más utilizadas para reproducir inóculo micorrízico mediante la tecnología de canteros multiplicadores (Sieverding, 1991 y Herrera, 1991) y los datos sugieren que esto precisamente fue lo ocurrido, obteniéndose incrementos importantes en la concentración de esporas de HMA con el crecimiento de dichas especies vegetales, los cuales ascendieron desde  $60 - 90$  esporas /100g hasta  $450$  esporas /  $100 \text{ g}$  producto de la utilización del sorgo o la crotalaria (Sánchez, 2001).

Aunque se encontró que en dos de los tres años estudiados no existió respuesta a la inoculación con especies de HMA en presencia de la utilización del sorgo como abono verde, pero como esta situación debió ser muy dependiente de las características específicas de los suelos utilizados y como no se estableció ningún criterio que permitiera establecer el grado de respuesta a la inoculación, se consideró que para obtener siempre un crecimiento óptimo de las posturas era conveniente la inoculación con cepas eficientes aún en este tipo de suelo.

El efecto de las aplicaciones de los abonos verdes sobre la producción de posturas en los Luvisoles crómicos (Ferralsíticos Rojos Lixiviados - Tabla 21) y Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos lixiviados – Tabla 22) presentó similitudes con los efectos encontrados en los Cambisoles éutricos, en lo referente a la influencia positiva de los abonos verdes sobre el crecimiento de las posturas y sobre la potenciación de la micorrización nativa; sin

embargo el efecto fue inferior.

Si bien el *Sorghum vulgare* y la *Crotalaria juncea* originaron los mayores valores de masa de endófito en las posturas no inoculadas, los mismos fueron significativamente inferiores a los reportados como indicativos de una micorrización eficiente, que se corresponden con los valores de 20 – 22 mg.g<sup>-1</sup> en los Luvisoles crómicos o de 30 – 32 mg.g<sup>-1</sup> en los Nitisoles dístricos (Tabla 11), indicando que en estos suelos el crecimiento e incorporación de los abonos verdes de por si no garantizó una efectiva micorrización “nativa” de las posturas de cafeto

**Tabla 21. Efecto de los abonos verdes e inoculación con HMA sobre la producción de área foliar, porcentaje de colonización y masa del endófito arbuscular en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).**

Tratamientos	Año 1995-96	Año 1996 - 97			Año 1997 - 98		
	A. foliar	A. foliar (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>	A. foliar (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>
Suelo	217.67 d	221.50 e	16.33 e	7.34 f	216.20 e	14.33 f	4.16 g
Suelo + HMA	220.17 d	230.00 e	25.33 d	8.34 f	227.05 e	21.44 e	6.18 f
Canavalia	271.67 c	283.33 d	17.00 e	11.00 cd	287.39 d	23.00 c	11.34 e
Canavalia + HMA	364.00 b	347.00 c	43.00 b	16.24 b	338.53 c	32.00 d	15.03 c
Crotalaria	340.17 b	315.83 c	37.33 c	15.86 b	296.10 d	26.00 d	13.00 d
Crotalaria + HMA	397.00 ab	360.67 b	51.00 a	19.64 a	360.00 b	49.33 a	19.90 a
Sorgo	324.83 b	332.33 c	40.0 bc	17.00 b	308.16 cd	30.00 c	15.33 c
Sorgo + HMA	352.00 b	356.50 b	51.33 a	21.40 a	330.10 c	37.00 b	17.00 b
3:1	438.50 a	438.08 a	27.12 d	10.00 de	417.00 a	24.00 de	11.20 e
3:1 + HMA	434.67 a	437.33 a	28.33 d	13.20 c	412.00 a	22.80 e	13.18 d
CV %	10.90	8.55	7.05	8.64	4.49	6.33	6.57
E.S ± Trat	14.69***	11.70***	1.36***	0.695***	7.32***	1.02***	0.48***

Leyenda: 3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. HMA= *Glomus fasciculatum*.

\*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para  $p \leq 0.001$ .

Asimismo las posturas inoculadas con HMA en presencia de los abonos verdes presentaron un comportamiento inferior al testigo de producción, indicando que los abonos verdes en estos suelos no garantizaron totalmente los requerimientos nutricionales de las posturas micorrizadas.

Los resultados obtenidos en los experimentos en los cuales se complementaron los aportes de los abonos verdes con cantidades crecientes de abono orgánico (Tablas 23 y 24), permiten explicar las causas del comportamiento obtenido en ambos suelos.

En el Luvisol crómico (Tabla 23) la comparación de la mejor combinación micorrizada (9/1 suelo - abono verde / humus + HMA) con el tratamiento inoculado con HMA pero en presencia solo del abono verde, donde el primero tiene un comportamiento muy superior al segundo, indicó que efectivamente en estos suelos la aplicación de abonos verdes no garantizó totalmente los requerimientos nutricionales para una micorrización efectiva.

**Tabla 22. Efecto de los abonos verdes e inoculación con HMA sobre la producción de área foliar, porcentaje de colonización y masa del endófito arbuscular en Nitisoles dísticos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña) (Sánchez, 2001).**

Tratamientos	Años 1996 - 97			Años 1997 - 98		
	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>	Área foliar. (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>
<b>Suelo</b>	141.0 e	23.0f	6.12 h	153.1 f	24.3 g	5.80 f
<b>Suelo + HMA</b>	144.0 e	25.0 f	6.10 h	154.0 f	31.0 e	7.86 e
<b>Canavalia</b>	223.0 d	27.3 de	7.17 f	215.0 e	30.0 ef	9.83 d
<b>Canavalia + HMA</b>	251.0 d	40.0 c	12.08 e	261.0 de	47.0 b	14.11 c
<b>Crotalaria</b>	243.0 d	33.3 d	13.07 d	257.0 de	36.0 d	12.32 cd
<b>Crotalaria + HMA</b>	290.0 c	56.0 a	17.00 b	297.0 bc	51.0 a	17.00 b
<b>Sorgo</b>	285.0 c	46.0 b	13.00 d	266.1 cd	40.0 c	16.80 b
<b>Sorgo + HMA</b>	321.0 b	55.0 a	21.20 a	330.0 b	49.0 ab	19.15 a
<b>3:1</b>	410.0 a	27.0 de	16.90 b	416.0 a	28.0 f	15.96 b
<b>3:1 + HMA</b>	432.0 a	28.0 de	19.43 ab	440.0 a	30.0 ef	18.80 a
<b>CV %</b>	6.37	7.72	4.06	9.08	5.85	6.93
<b>E.S ± Trat</b>	10.08***	1.19***	0.279***	14.64***	0.905**	0.519***

Leyenda: 3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. HMA = *Glomus intraradices*  
 \*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para  $p \leq 0.001$ .

Se vuelve entonces necesario complementar con algunas cantidades de abono orgánico (relación 9/1), las cuales fueron muy inferiores a las previamente encontradas para una óptima micorrización en este tipo de suelo (5/1) o a las utilizadas en la producción para la obtención de posturas de cafeto (3/1).

En forma similar la alta respuesta a la inoculación con HMA de la combinación abonos verdes: humus de lombriz (9:1), indicó que en estos suelos tampoco se logró una reproducción efectiva de la micorriza nativa por el crecimiento previo de los abonos verdes, lo que indica que o bien los propágulos nativos se encontraron en muy bajas cantidades, o que las especies presentes no fueron eficientes.

No obstante en estos suelos se encontró una reducción significativa y sustancial de la aplicación inicial de humus, del orden del 60 % de ésta, siendo necesarias aplicaciones de humus de lombriz en la proporción 9:1 e inocular con cepas eficientes de HMA para obtener posturas de óptimo crecimiento.

**Tabla 23. Efecto de los abonos verdes, orgánicos e inoculación con HMA sobre la producción de posturas de cafetos en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).**

Tratamientos	Años 1995 - 96	Años 1996 - 97		
	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	A. foliar (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>
Suelo	216.20 e	221.50 d	16.33 e	7.34 f
Suelo + HMA	227.05 e	230.00 d	25.33 d	8.34 f
SAV	296.19 d	315.83 c	37.33 c	14.86 cd
SAV + HMA	360.00 c	360.67 b	53.00 a	19.64 ab
9:1 SAV	359.98 c	371.00 b	29.00 d	14.80 cd
9:1 SAV + HMA	420.00 a	438.00 a	46.66 b	21.00 a
7:1 SAV	390.00 b	411.00 ab	28.00 d	15.60 c
7:1 SAV + HMA	426.00 a	445.83 a	46.33 b	19.00 b
5:1 SAV	424.10 a	413.83 ab	25.40 d	11.00 e
5:1 SAV + HMA	414.00 ab	443.50 a	34.33 c	13.40 d
3:1 N.Téc.	417.14 ab	438.12 a	27.12 d	10.00 ef
3:1 N. Téc. + HMA	412.00 ab	437.33 a	28.33 d	13.00 d
C.V %	4.60	11.69	6.70	5.89
E.S ± Trat.	9.57***	17.44**	1.24***	0.47**

Leyenda: 3:1, normas técnicas. HMA = *G. fasciculatum*. AV= mezcla de suelo y *Crotalaria*. 3:1, 5:1, 7:1 y 9:1. Relaciones de suelo abono verde: humus de lombriz.

Un aspecto interesante encontrado en este último experimento fue que cantidades superiores de humus de lombriz a la relación 9:1, en presencia de la incorporación de los

abonos verdes, no conllevaron a incrementos significativos en el área foliar de las posturas, e inclusive originaron disminuciones en los valores de EA.

Esta conducta fue indicativa de que las dosis superiores de humus de lombriz deprimieron la micorrización, explicable por el efecto negativo de la alta disponibilidad de nutrientes sobre la simbiosis micorrízica. Este efecto fue reportado anteriormente en presencia de altas dosis de abonos orgánicos o de fertilizantes minerales (tópicos 3.3.1.1 y 3.3.2.1).

En los Nitisoles dístricos, Ferralíticos Rojos Lixiviados, (Tabla 24) se encontró que fue necesario adicionar cantidades mayores de abono orgánico que en los Luvisoles (Ferralsíticos Rojos lixiviados) y alcanzar entonces una relación de 7:1, para lograr un

**Tabla 24. Efecto de los abonos verdes, orgánicos e inoculación con hma sobre la producción de posturas de cafetos en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Nitisol Dístrico) (Sánchez, 2001).**

Tratamientos	Campaña 1997 - 98			
	Campaña 1996 - 97 Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Col. (%)	E. A (mg.g) <sup>-1</sup>
Suelo	141.00 d	153.12 g	24.33 e	5.80 g
Suelo + HMA	144.00 d	157.00g	31.00 d	7.86 f
SAV	285.00 c	286.00 f	40.00 c	16.80 d
SAV + HMA	321.00 c	330.27 de	49.00 b	19.15 c
9:1 SAV	313.00 c	306.00 ef	36.33 c	14.25 e
9:1 SAV + HMA	360.00 b	357.00 cd	50.33 ab	23.25 b
7:1 SAV	374.00 b	381.00 bc	39.33 c	13.90 e
7:1 SAV + HMA	421.00 a	446.21 a	54.00 a	30.40 a
5:1 SAV	430.00 a	441.00 a	38.33 c	16.73 d
5:1 SAV + HMA	434.10 a	445.31 a	46.00 b	17.44 d
3:1 N.Téc.	410.00 a	416.87 ab	28.00 de	15.96 d
3:1 N. Téc. + HMA	432.00 a	440.23 a	30.00 d	23.40 b
C.V %	6.68	6.63	7.20	5.20
E.S ± Trat.	13.07**	13.27**	1.21**	0.48**

Leyenda: 3:1, normas técnicas. HMA = *G. intraradices*. AV= mezcla de suelo y Sorgo. 3:1, 5:1, 7:1 y 9:1 Relaciones de suelo abono verde: humus de lombriz.

\*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para  $p \leq 0.001$ .

sustrato adecuado que garantizara en unión de los abonos verdes y con la inoculación de HMA, posturas vigorosas con un adecuado crecimiento y una óptima micorrización, logrando sustituir hasta el 50 % de las cantidades de humus de lombriz.

De forma general se encontró que la utilización del sorgo o la crotalaria como abonos verdes, creciendo en el propio suelo que se va a utilizar para el desarrollo de las posturas, no solo presentaron una alta repercusión económica al sustituir cantidades importantes del abono orgánico, sino que además se integraron perfectamente dentro del sistema de producción de posturas micorrizadas.

El uso de los abonos verdes no se debe circunscribir a la aplicación conjunta con cepas eficientes de HMA al sembrar el cafeto, sino que su mayor importancia debe estar dada por la inoculación inicial de las especies de abonos verdes con cepas eficientes de HMA y su posterior reproducción “in situ”, por el propio crecimiento del abono verde, conformando un sustrato con muy alta concentración de propágulos eficientes y ser entonces la vía por la cual se logrará una también efectiva y aún más económica micorrización de las posturas.

## **2.7. Sistemas agrícolas micorrizados eficientemente**

A lo largo de estos capítulos se ha podido comprobar la importancia de la simbiosis micorrízica para la vida vegetal, permitiendo que las plantas incrementen la eficiencia de los procesos de absorción de nutrientes y agua y por lo tanto se adapten mejor a condiciones de estrés nutricional e hídrico, pero esto no significa que la utilización práctica de la simbiosis debe quedar relegada a condiciones de estrés.

Ha quedado claro que la simbiosis micorrízica es tan consustancial con el desarrollo de las plantas como lo son los microorganismos del género *Rhizobium* con las leguminosas, existiendo suficiente información que permite la conceptualización e instrumentación de sistemas agrícolas que se basen en el modelo de plantas micorrizadas eficientemente.

Estos sistemas serían válidos no solo para condiciones de bajos insumos, sino también para las condiciones de una agricultura tecnificada que permita obtener altos rendimientos y en cualesquiera de los casos se potencie la vida biológica del suelo, disminuyan las contaminaciones por aplicaciones excesivas de fertilizantes y los efectos negativos de la sequía sobre las plantaciones agrícolas.

Los resultados expuestos en este capítulo establecen las bases para el manejo exitoso de esta simbiosis en la agricultura, quedando claro el papel determinante del tipo de suelo

como criterio para seleccionar e inocular cepas eficientes, e incluso para manejar algunas de las prácticas que incrementan la efectividad de la micorrización.

El hecho de encontrar una respuesta positiva a la inoculación de cepas eficientes en un amplio espectro de suelos, indica la existencia de bajas cantidades de propágulos nativos eficientes en los agrosistemas evaluados, demostrando la importancia agrícola de la simbiosis micorrízica más allá de las condiciones de suelos erosionados y de baja fertilidad, así como corrobora la necesidad de inocular cepas eficientes, previamente seleccionadas, como vía para garantizar concentraciones adecuadas de propágulos infectivos y eficientes.

La propia característica de la baja especificidad cepa – cultivo simplifica el manejo y permite además entrelazar exitosamente la efectividad de las inoculaciones de cepas eficientes en los cultivos componentes de las secuencias, existiendo evidencias importantes sobre la permanencia efectiva del inóculo aplicado al menos para el cultivo posterior, lo cual fortalece el uso de los abonos verdes, no solo como fuente de nutrientes y carbono, sino como una vía para potenciar los propágulos de cepas eficientes en el suelo.

Asimismo quedó establecido el concepto de suministro óptimo de nutrientes para las plantas micorrizadas, el cual permite la obtención de altos rendimientos. Este suministro de nutrientes puede ser dado en forma de abonos orgánicos o fertilizantes minerales y en cualesquiera de los casos las dosis a aplicar para plantas micorrizadas eficientemente, serán menores que las necesarias para alcanzar rendimientos similares en ausencia de la micorrización.

Las dosis de fertilizantes que comúnmente se recomiendan para la obtención de altos rendimientos inhiben la micorrización y suministros inferiores al óptimo para plantas micorrizadas limitan asimismo la efectividad de la simbiosis.

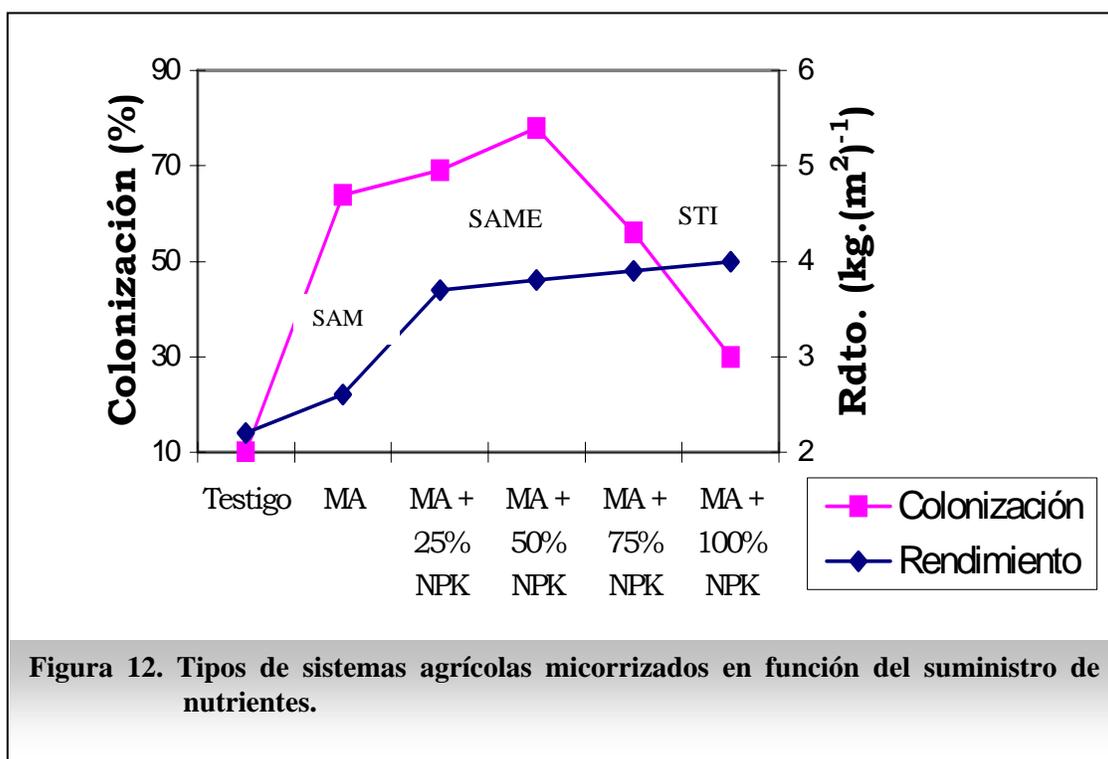
Dos importantes aspectos se desprenden de lo anterior: 1) la compatibilidad entre la simbiosis micorrízica y un manejo adecuado de la fertilización y 2) la necesidad de redefinir para los cultivos micorrizados eficientemente, los requerimientos de fertilizantes e índices críticos de los nutrientes en el suelo.

El propio concepto de rizósfera se amplía a hifósfera o micorrizósfera estableciéndose, entre otras, relaciones mutuamente beneficiosas con diferentes grupos microbianos (Fitter y Garbaye, 1994 y Gryndler, 2000), siendo la base de las asociaciones tripartitas obtenidas por coinoculación y entre las que se destacan: con *Rhizobium sp.* en leguminosas, con

*Azospirillum sp.* en arroz, tomate y maíz; con *Burkholderia cepacia* en papa y con *Azotobacter chroococum* en cafeto, tomate, maíz, hortalizas en general, las cuales se han evaluado satisfactoriamente en condiciones experimentales y algunas en grandes áreas productivas (Rivera, *et al.*, 1993; Medina, *et al.*, 1994; Gómez, *et al.*, 1995; Corbera y Hernández, 1997; Rivera *et al.*, 1997; INCA, 1999; Hernández, 2002; Terry *et al.*, 2002).

A partir de la universalidad de la simbiosis endomicorrízica (Barea *et al.*, 1991) y de los diferentes resultados alcanzados surge el concepto de sistemas agrícolas micorrizados eficientemente (Rivera, 2000), que se basan en el modelo de la planta micorrizada efectivamente, obtenida a través de la inoculación de cepas eficientes y de un manejo que permita la máxima efectividad.

En la figura 12, se ejemplifican dos tipos de sistemas agrícolas micorrizados ambos basados en la inoculación de cepas eficientes. Los sistemas agrícolas micorrizados extensivos (SAM) y los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente (SAME).



En los primeros si bien no se garantizan todas las necesidades nutricionales de las plantas micorrizadas (agricultura de bajos insumos) y por ende los rendimientos no serán altos, sin

embargo se encuentra una respuesta exitosa a la inoculación, y los rendimientos son superiores a los obtenidos en ausencia de ésta.

En los segundos se garantizan los requerimientos de nutrientes de las plantas micorrizadas y se obtiene por tanto un óptimo desarrollo de la micorrización y de las plantas micorrizadas, así como altos rendimientos propios de una agricultura intensiva, siendo asimismo más resistentes a las condiciones de estrés hídrico y con menores requerimientos de fertilizantes minerales u orgánicos que los sistemas tradicionales intensivos (STI).

En la vida vegetal ha estado siempre presente esta simbiosis (Pate, 1994; Fitter y Moyersoen, 1996) y por tanto, en la propia práctica agrícola, pero en la mayoría de los casos de forma no eficiente y casi nunca consciente.

Lo que se pretende entonces, es potenciar este fenómeno e introducirlo consciente y efectivamente como base para la explotación agrícola. La base productiva son las plantas micorrizadas eficientemente, por lo que alrededor de estas se establecen y desarrollan las diferentes prácticas agrícolas que buscan y garantizan la optimización del sistema.

Es importante señalar por tanto, que la inoculación de cepas de HMA no se debe entender como la aplicación de un producto más en la agricultura, sino como un concepto de hacer agricultura. Una agricultura con una esencia agroecológica, conservacionista, protectora del medio ambiente y del recurso suelo y cuya implementación garantizará además altos rendimientos y responderá positivamente a las expectativas económicas, ambientales y sociales que exige el siglo XXI a la producción agrícola.

## **2.8. Referencias**

- Barea, J. M. /*et al.*/ Morfología, anatomía y citología de las micorrizas va. En: Fijación y Movilización de Nutrientes. Madrid. Tomo II. p 150 - 173. 1991.
- Barros, A. Micorrizas vesículo arbusculares em cafeiros da regio sul do estado de Minas Gerais. Tesis presentada para optar por maestría. Lavras.Minas Gerais. 97 p. 1987.
- Bianciotto, V.; Lumini, E.; Ianfranco, I. /*et al.*/ Detection and identification of Bacterial Endosymbionts in Arbuscular Mycorrhizal Fungi Belonging to the Family Gigasporaceae. **Applied and Environmental Microbiology**. 66(10): 4503 - 4509. 2000.

- Corbera, J. y A. Hernández. Evaluation of the Rhizobium - MVA association on the growth and development of the cultivation of the soybean (*Glicine* [max] L. Merril). **Cultivos Tropicales** 18 (1): 10 - 12, 1997.
- Corbera, J., Coinoculación *Bradyrhizobium japonicum* – Micorriza Vesículo Arbuscular como fuente alternativa de fertilización para el cultivo de la soya. **Cultivos Tropicales** 19 (1): 17 – 20, 1998.
- Chu, E. Y. e U. Diekmann. Efeito das actividades agricolas em populacao de fungo endomicorrízico nativo do solo da Amazonia Oriental. Florianópolis, S. C, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM., p. 11. 1994.
- Dodd, J. C. y B. D. Thompson. The screening and selection of inoculant arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. **Plant and Soil**. 159, 149 - 158. 1994.
- FAO-Unesco. Soil Map of the World. Revised Legend. Reprint of World Soil Resources Report 60. FAO, Rome, 1988. 138p. 1989
- Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*C. arabica* L. var. Catuaí) en algunos tipos de suelos. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas), INCA 102 p., 1999.
- Fitter, A. H. y J. Garbaye. Interactions between micorrhizal fungi and others soil organism. **Plant and Soil**. 159, 123 - 132. 1994.
- Fitter, A. H. y B. Moyersoen. Evolutionary trends in root - microbe symbioses. **PHIL. Trans. R. Soc. London**. B 351, 1367 - 1375. 1996.
- Furrazola, E. /et al./.. Algunas especies de la familia *Endogonaceae* asociadas a eco y agroecosistemas de montañas. Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Botánica. La Habana. p 5. 1990.
- George, E. Nutrient uptake. En. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- Gianinazzi - Pearson, V. y S. Gianinazzi. The physiology of vesicular - arbuscular mycorrhizal roots. **Plant and Soil**. 71: 197 - 209. 1983.
- Gianinazzi - Pearson, V. y S. Gianinazzi. The physiology of improved phosphorus nutrition in mycorrhizal plants. En: Physiological and Genetics aspect of Mycorrhizae. Eds.:V. Gianinazzi - Pearson y S. G. Gianinazzi) INRA Paris. pp 101 - 109. 1989.

- Gómez, R /et. al/. Aplicación conjunta de hongos MA y bacterias rizosféricas mediante la técnica de recubrimiento de semillas. En: Informe anual del Dpto. de Biofertilizantes. Documento interno INCA. 21p. 1995.
- Gryndler, M. Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. En. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- Harley, J. L y S. E. Smith. Mycorrhizal Symbiosis. Ed Academic Press. New York. 483 p. 1983.
- Hernández A., y A.N. Hernández. Efecto de la interacción *Rhizobium*-MA en el cultivo de la soya(*Glicine max* (L) Merrill). **Cultivo Tropicales** 17(1): 5-7, 1996.
- Hernández, A., /et al./.. Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. MINAG, 1999.
- Hernández-Zardón A., Manejo agronómico integral de sustratos, métodos de siembra y biofertilización en la producción sostenible de tubérculos-semilla de papa por semilla sexual. **Cultivos Tropicales** 22(2): 21-27, 2001
- Hernández, M. I. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral del tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill.). Tesis de Maestro en Ciencias, INCA, 65 p., 2000.
- Herrera, R. A. /et al./.. Fertilización y micorrizas VA. Parte II. Efecto del nitrógeno, fósforo y el potasio sobre el crecimiento y las micorrizas de la majagua. En: Veinte Aniversario de la colaboración checo-cubana en el campo de la Botánica. **Acta Botánica Cubana**, 20: 93- 110, 1984.
- Herrera, R. A. /et al./.. Informe de Dpto. de Ecología de Suelos. IES. ACC.1991.
- Herrera, R. A. /et al./.. Estrategia de Funcionamiento de las Micorrizas VA en un Bosque Tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales (Eds. Maximina Monasterio). Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1995.
- Hoflich, G. /et al./.. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganism. **Experientia**. 50, 897 - 905. 1994.
- Howeler, R. H. Aspectos prácticos de la investigación de micorrizas vesículo - arbusculares demostrados en el cultivo de la yuca. Cali: CIAT, p. 44 - 61,1985.

- INCA Efecto de las aplicaciones del biofertilizante Ecomic (HMA) en cultivos de interés económico, durante el periodo 1990 - 1998. Informe de investigaciones INCA (La Habana) , 45 p. 1999.
- Joao J. P. Efectividad de la inoculación de cepas de HMA en la producción de posturas de cafeto sobre suelos Ferralítico Rojo compactado y Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña. Tesis de Maestría “Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes” INCA, 85 p., 2002.
- Lópes, E. S; R. Díaz y A. M. Costa. Problemas no desenvolvimiento e na colonizacáo micorrízica natural de mudas de café em viveiro. En: Reuniao Brasileira Sobre Micorrizas. Lavras. 156 p. 1986.
- Marschner, H. y B. Dell. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil.** 159: 89 - 102. 1994.
- Medina, N /et al./ . Evaluación agronómica de diferentes biofertilizantes en la nutrición mineral del Tomate (*Lycopersicon sculentum*, Mill) En: Resúmenes IX Seminario Científico INCA. 1994.
- Medina, N. et al., Uso y manejo de micorrizas arbusculares y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en los principales cultivos de interes económico para Cuba. Informe Final Proyecto PNCT 002 00106. INCA,1999.
- Minerdi, D.; Fani, R.; Gallo, R. /et al./ . 2001. Nitrogen Fixation Genes in an Endosymbiotic *Burkholderia* Strain. **Applied and Environmental Microbiology.** 67(2): 725 - 732. 2001.
- Mirabal L., Ortega, E. y R. Rodes. Influencia de bacterias endospóricas de *Glomus clarum* en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Rev. Terra** (en prensa) 2003.
- Packovsky, R. S. /et al./ . Comparison between P-Fertilizer and Mycorrhizal Plants. **Crops Science.** 26, 151 - 156. 1986 a.
- Packovsky, R. S. /et al./ . Nutrient and growth interactions in soybeans colonized with *Glomus fasciculatum* and *Rhizobium japonicum*. **Plant and Soil.** 92, 37 - 45. 1986 b.
- Pate, J. S. The Mycorrhizal Association: Just one way nutrients acquiring specialization in natural ecosystem. **Plant and Soil.** 159, 1 - 10. 1994.

- Phillips, J. M. y D. S. Hayman. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection **Trans. Brit. Mycol. Soc.** 55, 1970.
- Portieles, J. M.; Ruiz, L. y E. Sánchez. Estudio del consumo y coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*) **Cienc. Téc. Agric. V. Trop.** 6(1-2): 85 - 100, 1983.
- Portieles, J. M.; Ruiz, L.; A. de la Nuez *et al.*. Estudio del consumo y los coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la malanga isleña (*Colocasia esculenta*). **Cienc. Téc. Agric. V. Trop.** Suplemento 33 - 44, 1982.
- Primavesi, A. Manejo ecológico do solo. A. agricultura em regioes tropicais. Sao Paulo: Livraria Novel S.A., 1990. p. 164 - 197. 1990.
- Riera, M. Comunicación personal. 2002.
- Rivera, R. Disponibilidad de nutrientes y fertilización en los sistemas agrícolas micorrizados: resultados en la producción de posturas de cafeto y de raíces y tubérculos. XII Seminario Científico del INCA. Libro de Resúmenes. La Habana, Nov. 2000.
- Rivera, R. *et al.*. Efectividad de la simbiosis micorrízica, suministro de nutrientes y nutrición de las plantas. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Libro de Resúmenes, Cuba 2001.
- Rivera, R.; F. Fernández; C. Sánchez *et al.*. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos (VA) y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de las posturas de cafeto. **Cultivos Tropicales** 18(3): 15 - 23, 1997.
- Rivera, R. A. *et al.*. Efecto de la coinoculación *Azospirillum brasilense* y hongos micorrizógenos va en el cultivo del arroz. En: Informe del trabajo anual de 1992 sobre Biofertilizantes. INCA. Documento Interno. La Habana. 15 p. 1993.
- Rodríguez, I. Certificado de Introducción del resultado científico técnico "Utilización del humus de lombriz en la producción de posturas de cafeto". Dirección Nacional de Café y Cacao. 1p. 1992.
- Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. Tesis de grado (Dr. En Ciencias Agrícolas) INCA 117p., 2001.

- Ruiz, L. y J. M. Portieles. Estudio de la interacción de NPK sobre los rendimientos del boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) en la época de primavera. **Ciencia Téc. Agric. V. Trop.** 8(2): 53 - 69, 1985.
- Ruiz, L.; Milián, J. O. y J. M. Portieles. Clima, suelo y fertilización en el cultivo del ñame (*Dioscorea* spp.). Boletín de Reseñas Viandas Tropicales 6: 15 - 25, 1990.
- Ruiz, L y R. Rivera. Ruiz L y R. Rivera. La importancia del tipo de suelo en la selección de especies eficientes de HMA en la horticultura tropical. **Horticultura Mexicana Vol. 8 : , 2001.**
- Sánchez C. Uso y manejo de los hongos micorrizógenos y abonos verdes en la producción de posturas de cafeto en algunos suelos del macizo Guamuhaya. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas), INCA 105 p. 2001.
- Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft fur technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Federal Republic of Germany. 371 p. 1991.
- Siqueira, J. O. y A. A. Franco. Biotecnología do solo. Fundamentos e Perspectiva. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasilia, D. F . 235 p. 1988.
- Siqueira, J. O. /et al./ . Micorrizas vesiculo arbusculares en mudas de cafeeiro produzidas no sul do estado de Minas Gerais. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasilia. 22 (1), 31 - 38, 1987.
- Sivila, R. C. y D. Herve. Comportamiento microbiológico del suelo en terrenos agrícolas en descanso. Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, p. 12. 1994.
- Terry E., M.A. Pino y N. Medina. Efectividad agronómica de Azofert y EcoMic en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill). **Cultivos Tropicales** 19 (3): 33-37, 1998.
- Terry E., Z. Terán, M.A. Pino *et al.*, . Biofertilizantes , una alternativa promisoría para la producción hortícola en organopónicos. **Cultivos Tropicales**, 23(3): 43-46, 2002.
- Trappe, J. M. Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En: Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Eds.: Safir, G. R. CRC Press. Boca Raton. P 5 – 25. 1987.