

EFECTO DE LA INOCULACIÓN DE HONGOS MICORRIZÓGENOS (HMA) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE POSTURAS DE CAFETOS EN TRES TIPOS DE SUELOS DEL MACIZO MONTAÑOSO GUAMUHAYA

C. Sánchez, R. Rivera, C. González, R. Cupull, R. Herrera y M. Varela

ABSTRACT. These experiments were conducted for three seasons (1994-1997), with the objective of determining the performance of 15 AMF strains on coffee seedling development in three of the main types of coffee-growing soils from Guamuha mountainous lands: lixiviated Red Ferralitic, lixiviated Red Fersialitic and Gleyed Brown soils. A randomized block design with 16 treatments and three replicates was used, besides evaluating stem height, stem diameter, leaf pair number, leaf area, plant top, root and total dry weights seven months after seeding; also, mycorrhizal colonization percentage was determined. Data were processed according to multivariate procedure of main components and cluster analysis; the former showed a single component formation, it accounting for about 85 % of the original variation recorded in every soil studied whereas the latter collected strains according to their behavior in different soils, it proving that their general performance is not affected by years. Differences were recorded on AMF strain effectiveness per type of soil, it generally increasing leaf area efficiency indexes as their fertility levels decreased. The highest values (72.20, 68.15 and 67.15 %) were achieved by *Glomus manihotis*, *Glomus intraradices* and *Acaulospora scrobiculata* on the lixiviated Red Ferralitic soil, which was among the least fertile soils studied; concerning lixiviated Red Fersialitic soils, *Glomus fasciculatum* and two ecotypes from *Glomus mosseae* strains had notable values ranging between 65.10 and 66.80 % whereas in the Gleyed Brown soil, the best strains were *Glomus intraradices*, another ecotype of *Glomys mosseae* (T5) and *Glomus fasciculatum* with effective records of 52.20 to 54.86 %.

Key words: *Coffea*, seedlings, mycorrhizal fungi, soil, leaf surface

RESUMEN. Los experimentos se desarrollaron durante tres campañas (1994-1997), con el objetivo de determinar el comportamiento de 15 cepas de micorrizas (HMA) sobre el desarrollo de las posturas de cafetos, en tres de los principales tipos de suelos dedicados a este cultivo en el macizo montañoso Guamuha: Ferralítico Rojo lixiviado, Fersialítico Rojo lixiviado y Pardo Gleyzoso. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 16 tratamientos y tres réplicas, realizándose a los siete meses de sembradas evaluaciones de: altura, diámetro del tallo, número de pares de hojas, área foliar, masa seca aérea de la raíz y total, y se determinó además el porcentaje de colonización micorrízica. Los datos se procesaron mediante las técnicas de análisis multivariados de componentes principales y análisis jerárquico de conglomerados: la primera expresó la formación de una sola componente, que explicó en alrededor del 85 % la variación original en cada uno de los suelos estudiados; la segunda técnica agrupó a las cepas de acuerdo con su comportamiento en los diferentes suelos, no siendo los años una causa de variación en el comportamiento general de estas. Se encontraron diferencias en la efectividad de las cepas de HMA por tipo de suelo, incrementándose de forma general los índices de eficiencia (área foliar) a medida que disminuyó el nivel de fertilidad de estos. Los mayores valores (72.20, 68.15 y 67.15 %) se alcanzaron con las cepas *Glomus manihotis*, *Glomus intraradices* y *Acaulospora scrobiculata* en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado, que fue el menos fértil de los estudiados; en el suelo Fersialítico Rojo lixiviado se destacan las cepas *Glomus fasciculatum* y dos ecotipos de *Glomus mosseae*, con valores que oscilaron entre 65.10 y 66.80 %, mientras que en el Pardo Gleyzoso, las de mejor comportamiento fueron *Glomus intraradices*, otro ecotipo de *Glomus mosseae* (T⁵) y *Glomus fasciculatum* con índices de eficiencias entre 52.20 y 54.86 %.

Palabras clave: *Coffea*, plántulas, hongos micorrizógenos, suelo, superficie foliar

INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de los productos químicos ha provocado grandes trastornos ecológicos en los agrosistemas, y es una de las causas de que en los últimos años se ha incrementado el interés en el campo de la microbiología del suelo (1), donde especial énfasis ha cobrado el estudio de las micorrizas vesículo-arbusculares, por la contribución que estas realizan en

C. Sánchez, C. González y R. Cupull, Investigadores Agregados del Departamento de Nutrición y Biofertilizantes de la Estación de Investigaciones de Café Jibacoa, Manicaragua, Villa Clara; Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas (rrivera@inca.edu.cu) y Ms.C. M.Varela, Investigador Agregado del Departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana; Dr. R. Herrera, Investigador Titular del Departamento de Ecología del Suelo, Instituto de Ecología y Sistemática (IES), carretera de Varona km 3½, Finca La Chata, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba.

la nutrición de las plantas (2), aunque variando su comportamiento en dependencia del tipo de suelo (3).

Los principales tipos de suelos dedicados al cultivo del café en el macizo montañoso Guamuhaya son: el Ferralítico Rojo lixiviado, que unido al Ferralítico Rojo Amarillento lixiviado ocupan el 60.13 % de las áreas; estos se caracterizan por niveles elevados de acidez, contenidos bajos de fósforo y bases cambiables, ubicándose fundamentalmente en las mayores altitudes, seguidos del Ferralítico Rojo lixiviado, que representa el 22.53 % del total (4).

El café es considerado un cultivo micotrófico obligatorio (5), que presenta una alta dependencia micorrízica (3); sin embargo, se ha encontrado un bajo índice de colonización en la mayoría de las posturas producidas en viveros comerciales (6), lo cual indica la necesidad de realizar la inoculación en esta fase.

El efecto beneficioso de la inoculación micorrízica sobre los índices morfológicos de las posturas de café se ha puesto de manifiesto en numerosas investigaciones (7,8,9), apreciándose un mayor crecimiento y porcentaje de supervivencia en el campo de las plantas que fueron inoculadas con estos hongos (10), manteniéndose inclusive un efecto positivo en las primeras cosechas (7), pero variando el comportamiento de las cepas en dependencia del tipo, nivel de fertilidad del suelo y relación suelo/abono orgánico del sustrato (11), recomendándose la relación 5:1 para alcanzar una alta eficiencia micorrízica en los suelos Pardos y Ferralíticos (12).

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar el comportamiento de 15 cepas de hongos formadores de micorizas arbusculares (HMA) sobre el desarrollo de las posturas de café, en tres de los principales suelos dedicados al cultivo del café en el macizo montañoso Guamuhaya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron durante tres campañas (1994-1995, 1995-1996 y 1996-1997) en el período comprendido entre noviembre y junio, en el vivero de la Estación de Investigaciones de Café Jibacoa, provincia de Villa Clara, ubicado a 340 m sobre el nivel del mar, con el objetivo de determinar el comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) sobre la producción de posturas de café en tres de los principales suelos dedicados al cultivo en el macizo montañoso Guamuhaya (Ferralítico Rojo lixiviado, Ferralítico Rojo lixiviado y Pardo Gleyzoso). Sus principales características químicas se describen en la Tabla I.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 16 tratamientos y tres réplicas, conformándose cada parcela por 40 bolsas. Los tratamientos utilizados se describen a continuación:

Tratamientos	Cepas
T ¹ - 5/1 + C ¹	<i>Glomus fasciculatum</i>
T ² - 5/1 + C ²	<i>Glomus manihotis</i>
T ³ - 5/1 + C ³	<i>Glomus spurcum</i>
T ⁴ - 5/1 + C ⁴	<i>Glomus aggregatum</i>
T ⁵ - 5/1 + C ⁵	<i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 1)
T ⁶ - 5/1 + C ⁶	<i>Glomus etunicatum</i> , Pinar del Río
T ⁷ - 5/1 + C ⁷	<i>Glomus etunicatum</i> , Topes de Collantes
T ⁸ - 5/1 + C ⁸	<i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 2)
T ⁹ - 5/1 + C ⁹	<i>Glomus intraradices</i>
T ¹⁰ - 5/1 + C ¹⁰	<i>Acaulospora scrobiculata</i>
T ¹¹ - 5/1 + C ¹¹	<i>Glomus occultum</i>
T ¹² - 5/1 + C ¹²	<i>Glomus caledonium</i>
T ¹³ - 5/1 + C ¹³	<i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 3)
T ¹⁴ - 5/1 + C ¹⁴	<i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 4)
T ¹⁵ - 5/1	(testigo sin inocular)
T ¹⁶ - 3/1	(Tratamiento de producción, sin inocular)

3/1= tres partes de suelo y una de humus de lombriz (tratamiento utilizado en la producción)

5/1= cinco partes de suelo y una de humus de lombriz

Los primeros 15 tratamientos estuvieron conformados por la inoculación de 14 cepas de HMA y un testigo sin inocular, todos sobre un sustrato compuesto por la relación suelo/humus de lombriz 5/1; además, se utilizó como referencia el tratamiento 3/1 (suelo/humus) T¹⁶, orientado para la producción de posturas por la Dirección Nacional de Café y Cacao.

Se utilizaron bolsas de polietileno negro de 14 cm de diámetro por 22 de alto llenadas con los diferentes sustratos, donde fueron sembradas dos semillas de *Coffea arabica* L. variedad 'Caturra Rojo' en la primera campaña y 'Catuai Amarillo' en las dos últimas; cuando las plántulas arribaron a la fase de fosforito se dejó uno solo por bolsa. Las diferentes actividades culturales se realizaron según las Instrucciones técnicas para el cultivo del café y el cacao (13).

Inoculación de las cepas. Las cepas certificadas que se utilizaron provenían del cepario del Instituto de Ecología y Sistemática (CITMA). El inoculante consistió en una mezcla de propágulos producto de la micorrización del *Sorghum* sp. en un suelo previamente esterilizado, conteniendo esporas, hifas y raicillas infectivas con una alta pureza (90 %) y aplicándose a razón de 10 g por bolsa en el momento de la siembra debajo de la semilla.

Evaluaciones. Cuando las posturas arribaron a los siete meses posteriores a la siembra, se evaluaron en 10 plantas por parcela los siguientes índices: altura, diámetro del tallo, número de pares de hojas (se determinó considerando una hoja completamente formada cuando alcanzó 5 cm² de área foliar como mínimo), masa seca a partir de la extracción de las plantas de las bolsas, separación en órganos (hojas, tallos y raíces) y alcanzar peso constante en una estufa a 65°C; el área foliar se estimó a partir del largo por ancho de las hojas (14).

Para conocer los porcentajes de infección micorrízica, se tomaron muestras de raíces (raicillas) y se les realizó la tinción por el método de Phillips y Hayman (15) y cuantificación de la infección por la técnica de conteo de intersección (*gridline*) de Giovannetti y Mosse (16).

Para determinar el efecto de la inoculación micorrízica se elaboró un índice de eficiencia (IE) a partir de la fórmula propuesta por Siqueira y Franco (3):

$$IE \% = \frac{a - b}{b} \times 100$$

donde:

a: área foliar de las plantas micorrizadas

b: área foliar del testigo sin inocular (5/1) T¹⁵

Análisis estadísticos utilizados. Los datos fueron procesados mediante el paquete estadístico «Statística», realizando un análisis de componentes principales que permite estudiar las relaciones entre las variables cuantitativas, reduciendo su número a través de la síntesis de otras que se forman que no están correlacionadas entre sí.

Ello permite identificar las posibles agrupaciones y los índices que en mayor grado explican la variación original (17), determinándose el efecto de los años y la contribución de cada variable; se estandarizaron las más representativas, procesándose mediante un análisis jerárquico de conglomerados sobre la base de una distancia euclídeana entre pares de observaciones, para facilitar la creación de los grupos de cepas de acuerdo con su comportamiento en cada tipo de suelo.

Para conocer, además, el efecto de cada cepa sobre el área foliar de las posturas, se procedió a realizar un análisis bifactorial (HMA x años) en cada uno de los suelos. El efecto de las réplicas en los años se eliminó (18) y las medias se compararon mediante los rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla I aparecen las principales características químicas de los suelos utilizados, apreciándose los mayores valores nutrimentales y de pH en el Pardo Gleyzoso y Fersialítico Rojo lixiviado, considerándose ambos de fertilidad media sobre la base de los contenidos de fósforo y bases intercambiables (11). Se destaca el Ferralítico Rojo lixiviado por tener altos niveles de acidez, bajos contenidos de materia orgánica, fósforo disponible y calcio intercambiable, considerándose por tanto un suelo de baja fertilidad.

Los análisis de los componentes principales realizados en los diferentes tipos de suelos (Tabla II), mostraron en todos los casos la formación de una sola componente que explicó en un alto porcentaje la variación total de los índices evaluados en los diferentes tratamientos, siendo de un 82.71, 88.00 y 87.52 % para los suelos Ferralítico Rojo lixiviado, Fersialítico Rojo lixiviado y Pardo Gleyzoso respectivamente.

Tabla I. Principales características químicas de los suelos

Tipo de suelo	Campaña	PH (KCl)	M.O (%)	P ₂ O ₅ (mg.100) ⁻¹	K ₂ O	Ca** (cmol.kg ⁻¹)	Mg** (cmol.kg ⁻¹)	Lugar	Fertilidad
Ferralítico Rojo lixiviado ¹	1994-1995	4.71	2.48	3.97	5.80	2.72	1.30	Can-Can	Baja
Ferralítico Rojo lixiviado ¹	1995-1996	4.80	2.56	3.74	5.83	3.00	1.41	Can-Can	Baja
Ferralítico Rojo lixiviado ¹	1996-1997	4.62	2.40	4.20	5.77	2.43	1.20	Can-Can	Baja
Fersialítico Rojo lixiviado ¹	1994-1995	5.71	3.22	10.12	12.20	7.28	1.63	Rincón	Media
Fersialítico Rojo lixiviado ¹	1995-1996	5.82	3.30	10.75	12.97	8.17	1.60	Rincón	Media
Fersialítico Rojo lixiviado ¹	1996-1997	5.62	3.15	10.05	11.42	6.40	1.62	Boquerones	Media
Pardo Gleyzoso ²	1994-1995	5.91	3.50	15.50	19.30	7.66	2.30	La Villa	Media
Pardo Gleyzoso ²	1995-1996	6.00	3.42	19.14	17.50	8.33	2.20	Sexto Congreso	Media
Pardo Gleyzoso ²	1996-1997	6.12	3.40	19.60	23.10	8.20	2.40	Sexto Congreso	Media

¹ (32)

² Hernández, 1998, comunicación personal

Tabla II. Componentes principales, vectores propios y porcentaje de contribución en cada suelo (promedio de tres campañas)

Variables	Ferralítico Rojo Componente principal C1	Pardo Gleyzoso Componente principal C1	Fersialítico Rojo Componente principal C1
Altura	0.89*	0.97*	0.95*
Diámetro del tallo	0.86*	0.90*	0.90*
Pares de hojas	0.78*	0.76*	0.77*
Área foliar	0.93*	0.96*	0.96*
Masa seca aérea	0.96*	0.98*	0.99*
Masa seca raíz	0.95*	0.97*	0.98*
Masa seca total	0.96*	0.98*	0.99*
λ	5.87	6.12	6.13
Contribución (%)	82.71	87.52	88.00

Se presentó, además, una alta correlación entre las variables, siendo las más representativas la masa seca, el área foliar y la altura de las plantas, corroborándose lo planteado (11) de que el área foliar es un índice que expresa adecuadamente la respuesta del desarrollo integrado de las posturas, presentando además valores muy superiores al de los restantes índices, por lo cual fue seleccionada para realizar las principales discusiones en el presente trabajo.

El índice que en menor grado se correlacionó con el desarrollo de las posturas fue el número de pares de hojas; esto puede estar motivado a que su aparición depende más de un proceso fisiológico de crecimiento relacionado con el tiempo que de un desarrollo integral de las posturas.

En la Figura 1 se aprecia cómo quedaron distribuidas y agrupadas las cepas de micorrizas de acuerdo con su comportamiento en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado. Se destaca un comportamiento estable y sostenido en las diferentes campañas, no siendo los años una causa de variación en su comportamiento general. El de análisis jerárquico de conglomerados originó la formación de cuatro grupos:

Grupo I: Integrado por las cepas *Glomus manihotis* (T²), *Glomus intraradices* (T⁹) y *Acaulospora scrobiculata* (T¹⁰), alcanzando los mayores valores promedio en altura, área foliar y masa seca total respectivamente. Similares resultados se han informado para las cepas *Glomus manihotis* (T²) y *Acaulospora scrobiculata* (T¹⁰), en suelos con características similares (12), corroborándose lo expresado (19) acerca de que la cepa *Acaulospora scrobiculata* presenta una buena eficiencia en suelos de baja fertilidad y altas condiciones de acidez.

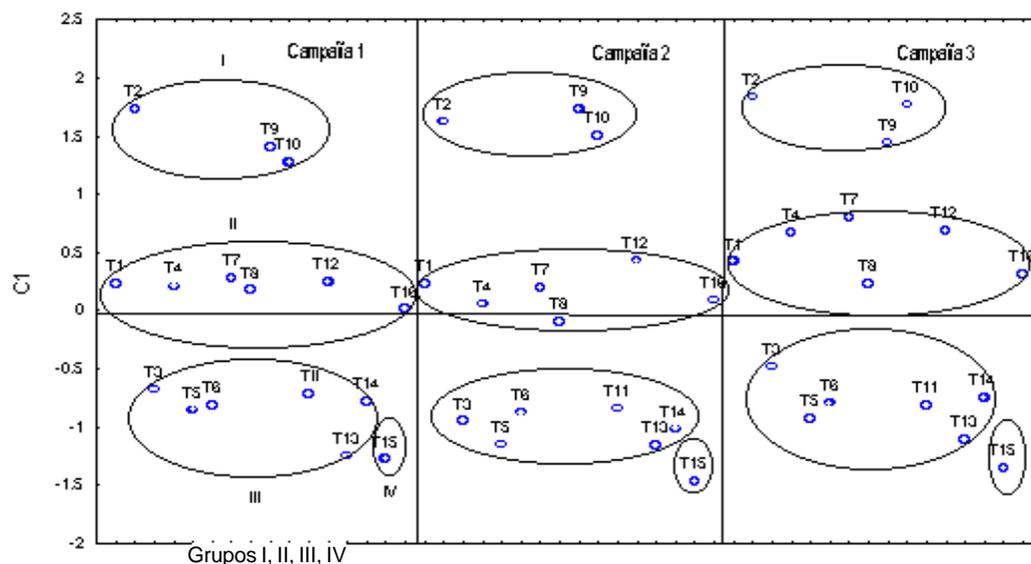


Figura 1. Comportamiento de las micorrizas en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado

Es de destacar los positivos resultados obtenidos con la inoculación de la cepa *Glomus intraradices* (T⁹), lo que constituye la primera información experimental sobre el uso de esta cepa para estas condiciones. Con anterioridad, se ha informado una alta eficiencia de esta cepa (20) cuando se aplicó en los cultivos de malanga, boniato y yuca, sobre un suelo Pardo con carbonato y un nivel de fertilidad de medio a bajo.

Grupo II: Se formó por las cepas *Glomus fasciculatum* (T¹), *Glomus agregatum* (T⁴), *Glomus etunicatum* (T⁷), *Glomus mosseae* (T⁸) y *Glomus caledonium* (T¹²), mostrando un comportamiento similar al tratamiento de referencia (T¹⁶) con valores promedio en altura, área foliar y masa seca total de 23.73 cm, 432.78 cm² y 4.29 g respectivamente (Tabla III), lográndose en este grupo posturas que cumplen con los requisitos establecidos para posturas de óptima calidad (21), lo que indica que en ausencia de las cepas del primer grupo estas pueden ser utilizadas, ya que alcanzan valores similares al del tratamiento de referencia 3/1 utilizado en la producción, pero en este caso con un menor porcentaje de materia orgánica en la mezcla.

El resto de los grupos estuvo conformado por cepas que produjeron posturas inferiores a las obtenidas por el tratamiento de referencia e indicativas de una micorrización no eficiente.

En el suelo Ferralítico Rojo lixiviado (Figura 2), se mantuvo en las tres campañas un comportamiento muy

estable y bien diferenciado de las cepas de HMA. Los años ejercieron un efecto muy ligero sobre los valores absolutos de los índices evaluados, pero no sobre el comportamiento relativo de estos, lo que demuestra el grado de confiabilidad de los resultados alcanzados.

El análisis jerárquico de conglomerados originó la formación de cuatro grupos: el primero integrado por las cepas *Glomus fasciculatum* (T¹), *Glomus mosseae* (T⁵) y *Glomus mosseae* (T⁸), alcanzando los mayores valores promedio en los diferentes índices morfológicos evaluados (Tabla IV). Estos resultados corroboran los alcanzados cuando se estudió el comportamiento de cuatro cepas de HMA sobre el desarrollo de posturas de cafeto en este tipo de suelo (22).

El segundo grupo se formó con las cepas *Glomus spurcum* (T³), *Glomus etunicatum* (T⁷), *Glomus occultum* (T¹¹) y *Glomus mosseae* (T¹⁴), que mostraron índices similares al de las posturas obtenidas por el tratamiento utilizado en la producción (T¹⁶).

Las cepas que ocasionaron los peores crecimientos fueron *Glomus manihotis* (T²), *Glomus intraradices* (T⁹), *Acaulospora scrobiculata* (T¹⁰), *Glomus mosseae* (T¹³) y las cepas nativas (T¹⁵) con valores promedio en altura, área foliar y masa seca total de 16.74 cm, 298.41 cm² y 2.86 g respectivamente, no reuniendo este grupo los requisitos mínimos establecidos para considerar una postura apta para ser plantada, que fue de 17 cm de altura, 300 cm² de área foliar, tres gramos de masa seca total y seis pares de hojas a los seis meses posteriores a la siembra (21).

Tabla III. Valores promedio de los índices analizados por cada grupo en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado

Grupo	Cepas	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Pares de hojas	Área foliar (cm ²)	Masa seca total (g)
I	2,9,10	25.43±0.75	0.43±0.01	7.80±0.10	511.20±25.83	5.32±0.14
II	1,4,7,8,16,12	23.73±0.90	0.40±0.01	7.62±0.04	432.78±22.66	4.29±0.21
III	3,5,6,11,13,14	20.92±1.71	0.38±0.01	7.38±0.17	367.42±14.35	3.14±0.17
IV	15	17.00±0.00	0.35±0.0	7.10±0.00	306.00±00.00	3.01±0.00

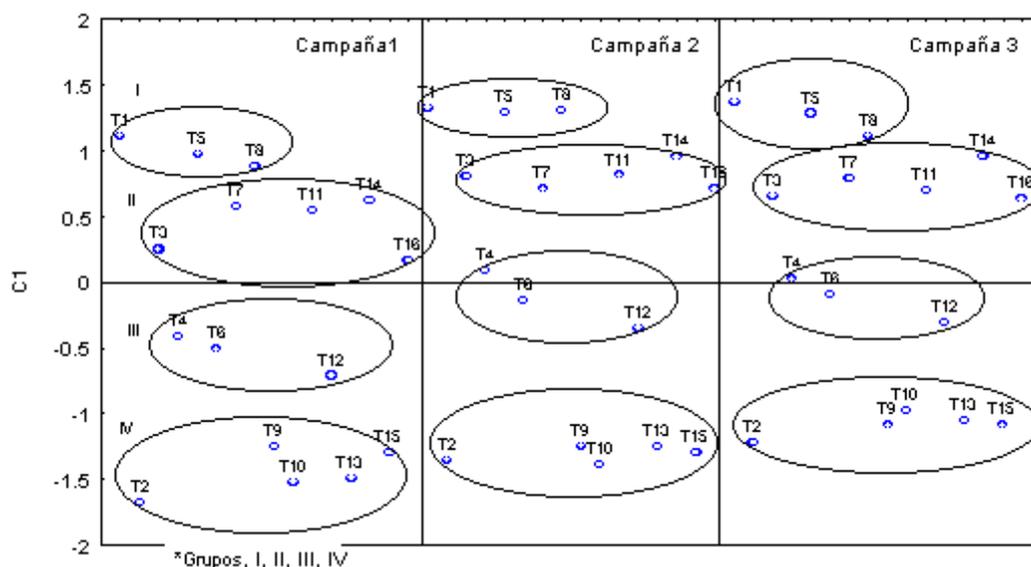


Figura 2. Comportamiento de las micorrizas en el suelo Fersialítico Rojo

Tabla IV. Valores promedio de los índices analizados por cada grupo en el suelo Fersialítico Rojo lixiviado

Grupo	Cepas	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Pares de hojas	Area foliar (cm ²)	Masa seca total (g)
I	1,5,8	22.36 ± 1.25	0.41 ± 0.01	7.33 ± 0.11	527.17 ± 6.68	4.48 ± 0.12
II	3,7,11,14,16	20.90 ± 0.59	0.39 ± 0.01	7.26 ± 0.15	447.98 ± 18.48	4.03 ± 0.12
III	4,6,12	16.73 ± 0.21	0.37 ± 0.01	7.16 ± 0.15	361.27 ± 27.16	3.25 ± 0.15
IV	2,9,10,13,15	16.74 ± 0.39	0.34 ± 0.02	6.90 ± 0.07	298.41 ± 13.35	2.86 ± 0.08

En la Figura 3 se puede apreciar cómo se agruparon los tratamientos en el suelo Pardo Gleyzoso, destacándose la formación de cuatro grupos: el primero integrado por las cepas *Glomus fasciculatum* (T¹), *Glomus mosseae* (T⁵) y *Glomus intraradices* (T⁹); es de señalar que las dos primeras mantuvieron un comportamiento similar en el suelo Fersialítico Rojo lixiviado y la última estuvo entre las más destacadas en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado.

Estos resultados confirman los alcanzados por algunos autores (12,23,24), quienes informaron buena efectividad cuando utilizaron la cepa *Glomus fasciculatum* en suelos con características similares al utilizado en el experimento.

El grupo II estuvo conformado por las cepas *Glomus mosseae* (T⁸), *Glomus caledonium* (T¹²), *Glomus mosseae* (T¹³) y *Glomus mosseae* (T¹⁴), que mantuvieron un comportamiento similar al obtenido con el tratamiento de referencia (Tabla V).

Se apreció en todos los suelos una respuesta positiva a la aplicación de abono orgánico en el sustrato, con un comportamiento superior del tratamiento 3:1 en relación con el tratamiento 5:1, lo que sugiere que en ausencia de la inoculación la micorrización natural no ocurre en una magnitud importante o no es eficiente, siendo necesarios los aportes de nutrientes derivados de la mayor dosis de abono orgánico para garantizar los requerimientos nutrimentales de las posturas.

Los hongos micorrizógenos desarrollan un papel fundamental en los procesos de absorción de los nutrientes (2, 25), incrementando la eficiencia de la absorción y permitiendo tomar nutrientes que se vuelven accesibles precisamente como consecuencia de las raíces micorrizadas. Esto puede explicar los sorprendentes resultados alcanzados cuando se inoculan cepas efectivas de HMA en el sustrato (5:1), superando inclusive en muchos casos a las posturas obtenidas en el tratamiento recomendado en las normas técnicas que contiene un mayor porcentaje de materia orgánica.

Un aspecto muy ligado al éxito de la inoculación con HMA lo es precisamente una baja concentración y/o eficiencia de los propágulos nativos infectivos existentes en el sustrato (6, 26), aunque no se realizaron evaluaciones *in situ* de estos; el propio éxito de la inoculación aquí encontrado y los resultados alcanzados sugieren que probablemente los propágulos nativos eran poco efectivos o se encontraban en bajas concentraciones.

Se discuten los principales factores que influyen en la concentración de propágulos nativos en los suelos, destacándose la erosión, el barbecho o la propia vegetación arbustiva como algunos de los factores que atentan o no propician una alta concentración de propágulos (5), siendo estas las condiciones que se manifiestan en nuestro caso.

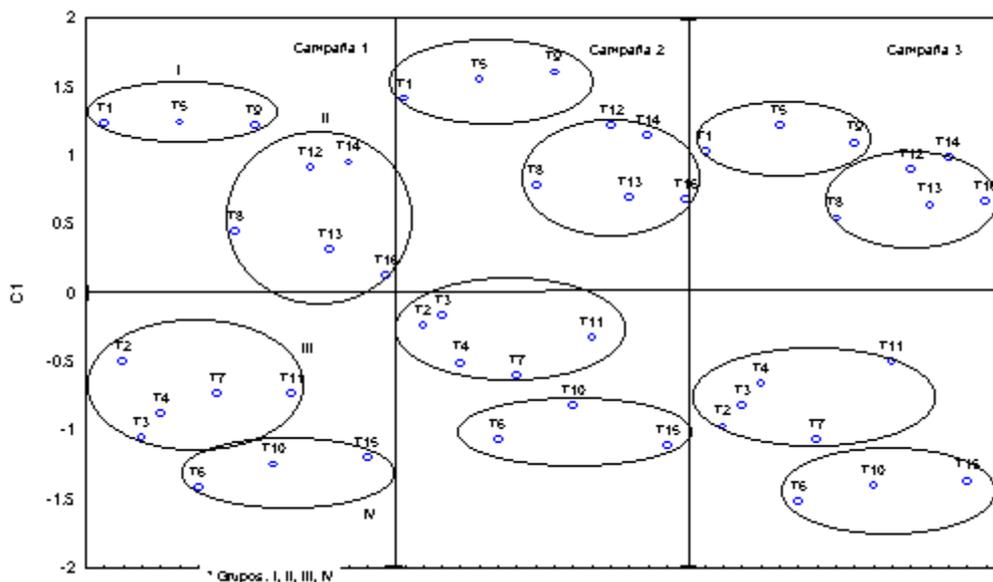


Figura 3. Comportamiento de las micorrizas en el suelo Pardo Sialítico Gleyzoso

Tabla V. Valores promedio de los índices analizados por cada grupo en el suelo Pardo Gleyzoso

Grupo	Cepas	Altura (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Pares de hojas	Área foliar (cm ²)	Masa seca total (g)
I	1,5,9	24.50 ± 0.30	0.42 ± 0.02	7.23 ± 0.11	476.43 ± 3.57	5.10 ± 0.04
II	8,12,13,14,16	21.22 ± 1.48	0.42 ± 0.09	7.24 ± 0.06	395.24 ± 10.12	4.60 ± 0.20
III	2,3,4,7,11	16.72 ± 0.36	0.38 ± 0.02	7.16 ± 0.11	342.93 ± 26.41	3.55 ± 0.10
IV	6,10,15	15.36 ± 0.75	0.34 ± 0.01	6.93 ± 0.05	287.00 ± 13.31	2.99 ± 0.16

En la Tabla VI se muestran los índices de eficiencia logrados por las cepas en los diferentes tipos de suelos, apreciándose que a medida que aumenta el nivel de fertilidad natural de estos, disminuyen los índices de eficiencia de las cepas más promisorias en cada uno, aunque siempre en cada suelo se encontraron un grupo de cepas cuya inoculación originó posturas más vigorosas y con mayor área foliar que los obtenidos con el tratamiento utilizado en la producción (T¹⁶), indicando la factibilidad de la inoculación con HMA, al originar posturas con un crecimiento mayor y por ende disminución en el período de aviveramiento y en los insumos.

El mayor porcentaje de eficiencia, 72.20 %, se obtuvo en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado, mientras que en el Pardo Gleyzoso solamente se alcanzó un 54.86 %, resultando de forma general el fenómeno de micorrización más eficiente, cuando las plantas se desarrollan en condiciones no óptimas de disponibilidad de nutrientes, de manera que exista una ganancia neta con esta asociación (3, 27).

Es de destacar el marcado efecto diferenciado mostrado por las cepas en los diferentes tipos de suelos, quedando claramente definido en el desarrollo de las posturas de café el alto grado de influencia del suelo sobre el efecto y la eficiencia de las cepas en cuestión, aspecto este que regula la recomendación de cepas para obtener una alta respuesta a la micorrización (3, 11).

Las cepas *Glomus manihotis* (T²), *Glomus intraradices* (T⁹) y *Acaulospora scrobiculata* (T¹⁰) alcanzaron los mayores índices de eficiencia (72.20, 68.15 y 67.15 %) en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado, que presentó las mayores condiciones de acidez y los menores contenidos de nutrientes; sin embargo, sus índices de eficiencia en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado, de mayor fertilidad, se encontraron entre los más bajos obtenidos (-1.20, -6.80 y -10.00 %). Esta conducta diferenciada se mantuvo en los suelos Pardos Gleyzosos, en los cuales la *Acaulospora scrobiculata* presentó una baja eficiencia, mientras que la cepa *Glomus intraradices* se encontró entre las más eficientes.

Estos resultados coinciden con los criterios generales sobre la eficiencia de la micorrización (28, 29), que demostraron que el pH y la fertilidad de los suelos actúan sobre el nivel de eficiencia de estos hongos y que la cepa *Glomus mosseae* y sus ecotipos muestran de forma general preferencia por niveles relativamente altos de pH, mientras que *Acaulospora scrobiculata* puede desarrollar muy bien su eficiencia en suelos con rangos inferiores de pH cercanos a 4,5.

El índice de eficiencia recomendado permite seleccionar las cepas de mejor comportamiento en cada suelo y el análisis conjunto de la información obtenida en los tres suelos da la posibilidad de recomendar por vez primera en nuestras condiciones cepas HMA altamente eficientes, teniendo en cuenta no solamente los suelos donde se producen las posturas sino también en el que serán plantadas.

Tabla VI. Índice de eficiencia de las cepas de HMA sobre la base del área foliar en los diferentes suelos (promedio de tres campañas)

Tratamientos	Ferralítico Rojo		Fersialítico Rojo		Pardo Gleyzoso	
	Area foliar (cm ²)	IE (%)	Area foliar (cm ²)	IE (%)	Area foliar (cm ²)	IE (%)
1. 5:1 + C ¹ <i>Glomus fasciculatum</i>	419.47 bc	36.93	519.49 a	66.80	470.32 a	52.20
2. 5:1 + C ² <i>Glomus manihotis</i>	527.50 a	72.20	307.70 de	-1.40	352.73 c	14.15
3. 5:1 + C ³ <i>Glomus spurcum</i>	380.74 c	24.29	440.72 b	41.00	366.89 bc	18.73
4. 5:1 + C ⁴ <i>Glomus agregatum</i>	440.82 bc	43.90	389.00 c	24.90	371.83 bc	20.33
5. 5:1 + C ⁵ <i>Glomus mosseae</i> Pelú (ecotipo 1)	353.80 cd	15.50	515.42 a	65.50	481.55 a	54.84
6. 5:1 + C ⁶ <i>Glomus etunicatum</i> , Pinar del Río	368.55 c	20.31	360.34 cd	15.70	282.54 d	-8.56
7. 5:1 + C ⁷ <i>Glomus etunicatum</i> , Topes de Collantes)	449.02 b	46.58	450.04 b	44.50	326.75 cd	05.74
8. 5:1 + C ⁸ <i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 2)	422.36 bc	37.80	514.20 a	65.10	406.63 b	31.59
9. 5:1 + C ⁹ <i>Glomus intraradices</i>	515.09 a	68.15	290.25 de	-6.80	478.54 a	54.86
10. 5:1 + C ¹⁰ <i>Acaulospora scrobiculata</i>	512.04 a	67.15	280.25 e	-10.00	269.26 d	-12.86
11. 5:1 + C ¹¹ <i>Glomus occultum</i>	354.84 cd	15.84	460.30 b	47.80	329.60 cd	06.66
12. 5:1 + C ¹² <i>Glomus caledonium</i>	452.83 b	47.82	334.80 d	07.50	397.42 bc	28.62
13. 5:1 + C ¹³ <i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 3)	364.95 cd	19.14	311.60 de	00.05	386.42 bc	25.05
14. 5:1 + C ¹⁴ <i>Glomus mosseae</i> (ecotipo 4)	384.76 c	25.60	464.67 b	49.20	408.67 b	32.26
15. 5:1 + C ¹⁵ (infección natural de cepas nativas)	306.33 d	00.00	311.44 de	00.00	309.00 cd	00.00
16. 3:1 + C ¹⁵ (infección natural de cepas nativas)	402.62 bc	31.43	430.40 bc	38.20	392.66 bc	27.07
	Cv%	7.43	6.41	7.21	7.21	7.21
	ES ±	17.86***	14.78***	15.69***	15.69***	15.69***

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente, según Dócima de Duncan para p<0.001

* La micorrización se efectuó con los propágulos nativos existentes en el sustrato

3:1= Tres partes de suelo y una de humus de lombriz (Normas técnicas)

5:1= Cinco partes de suelo y una de humus de lombriz

Este aspecto es de gran importancia para este mazo, debido a que en el suelo Pardo Gleyzoso se produce un número elevado de posturas, que serán en lo fundamental plantadas en los restantes suelos, por lo cual una recomendación más segura es aquella que no solo tiene en cuenta qué cepa es más eficiente desde el punto de vista de la obtención de la postura, sino además teniendo en cuenta el suelo donde se va a plantar.

En relación con los porcentajes de colonización fúngica, se observó que la inoculación incrementó en todos los casos esta variable, observándose una fuerte relación lineal entre el área foliar de las posturas y este porcentaje (Figuras 4, 5 y 6), lo cual permitió establecer, de forma general, que las cepas con mayor efecto agrobiológico y con una micorrización más eficiente fueron las que presentaron mayores porcentajes de colonización u ocupación fúngica.

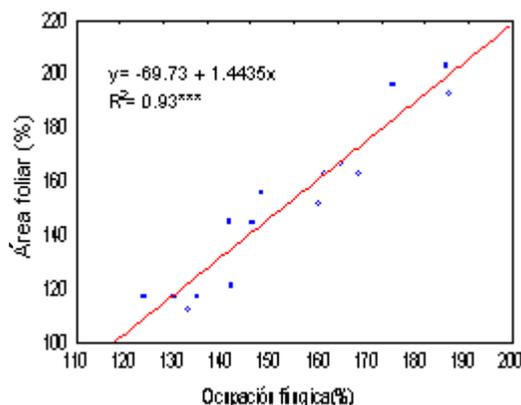


Figura 4. Relación entre los incrementos (%) en área foliar y ocupación fúngica en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado

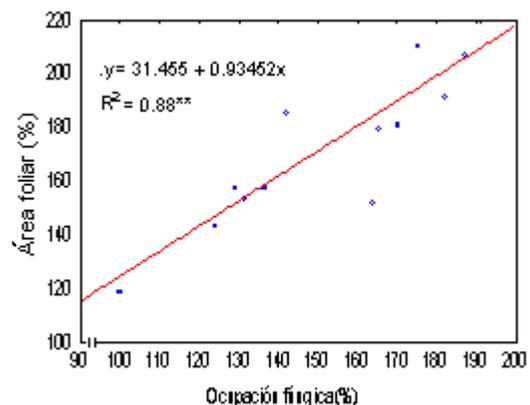


Figura 5. Relación entre los incrementos (%) en área foliar y ocupación fúngica en el suelo Fersialítico Rojo lixiviado

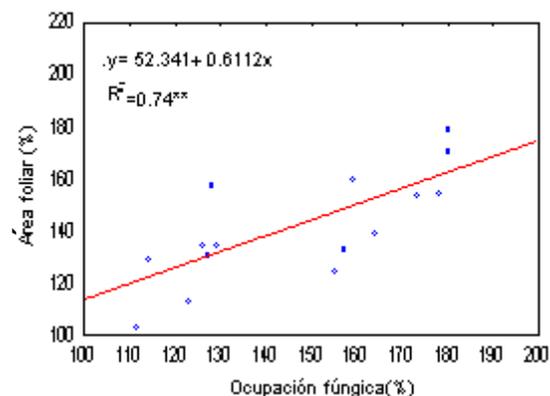


Figura 6. Relación entre los incrementos (%) en área foliar y ocupación fúngica en el suelo Pardo Gleyzoso

Los porcentajes de colonización obtenidos oscilaron entre 19 y 60 %, rango entre los que se encuentran otros valores en el propio cafeto (7, 11, 30).

Se encontró así mismo que si bien existió una fuerte relación entre el porcentaje de colonización y el área foliar en todos los suelos estudiados, con altos y significativos coeficientes de determinación (R^2), estos variaron entre cada suelo y se ordenaron de la siguiente forma: Ferralítico Rojo lixiviado > Fersialítico Rojo lixiviado > Pardo Gleyzoso, de forma similar a como se presentó el grado de respuesta a la micorrización, indicando a través de la comparación entre los valores de R^2 el grado de incidencia o participación de la micorrización en el desarrollo de las posturas en cada suelo.

No obstante la anterior conducta general, existieron cepas como la *Glomus manihotis* (T^2), *Glomus fasciculatum* (T^1) y *Glomus intraradices* (T^9), que produjeron elevados porcentajes de colonización fúngica en todos los suelos independientemente de su efecto sobre el área foliar, lo cual además de poder estar relacionado con la infectividad de estas cepas, sugiere que este índice tiene cierta limitación para evaluar el funcionamiento fúngico, recomendándose por algunos autores (12, 31) otros índices como la densidad visual y la masa del endófito arbuscular.

REFERENCIAS

- Altieri, M. A. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. agroecología y agricultura sostenible. 1ed: CLADES, 1996, p. 122-149.
- Trimble, M. R. y Knowles, R. N. Influence of van and phosphorus on growth, carbohydrate partitioning and mineral nutrition of greenhouse (*Cucumis sativa* L.) plants during establishment. *Can. J. Plant Science*, 1995, vol. 75, p. 239-250.
- Siqueira, J. O. y Franco, A. Biotecnología do solo, fundamentos e perspectivas. Ciências nos Tropicós Brasileiros. *Serie Agronomia*, 1988, 235 p.
- González, C., et al. Diagnóstico de los factores edáficos que limitan la producción cafetalera en el Escambray. [Informe de etapa]. 1998.
- Sieverding, E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in Tropical Agrosystems. Federal Republic of Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Gtz) GMBH, 1991.— 371 p.
- López, E. S., Díaz, R. y Costa, A. M. Problemas no desenvolvimiento e na colonizacao micorrizica natural de mudas de café en viveiro. En: Reuniao Brasileira sobre micorrizas. Lavras, 1986, 156 p.
- Siqueira, J. O. et al. Crescimento de mudas e producao do cafeeiro sobre influencia de fungos micorrizicos e superfosfato. *Biologia do solo. Ciencia do Solo*, 1993, vol. 17, no. 1, p. 53-60.
- Saggin-Junior, J. O., et al. Interacao fungos micorrizicos versus superfosfato e seus efectos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo ñao fumigado, *Biologia do Solo. Ciencia do Solo*. 1994, vol. 18, p. 27-36.
- Estrada, M. G. y Sánchez-de-Prager, M. Dependencia del café (*Coffea arabica* L var. *Colombia*) por la micorriza vesículo- arbuscular. *Acta Agronómica*, 1995, vol. 45, no. 1, p. 85-88.
- Mariscal, E., et al. Evaluación del efecto de las micorrizas en almácigos de café, En Memorias del XVIII Simposio Latinoamericano de Café (IICA, ICAFE). Costa Rica. 1997, p. 165-170.
- Rivera, R., et al. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos (va) y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de las posturas de cafeto. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 3, p. 15-23.
- Fernández, F. Efecto del uso de las asociaciones micorrizicas arbusculares (va), diferentes sustratos y algunas rizobacterias sobre la producción de posturas de cafetos (*C. arabica* Lin.). [Tesis de Doctorado]. La Habana : INCA. 1999.
- Ministerio de la Agricultura. Instrucciones técnicas para el cultivo del café y el cacao. Ciudad de La Habana: CIDA. 1987, 208 p.
- Soto, F. Estimación del área foliar en *C. arabica* L. a partir de las medidas lineales de las hojas. *Cultivos Tropicales*, 1980, vol. 2, no. 3, p. 115-128.
- Phyllips, D. M. y Hayman, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasites and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans British Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, p. 101-188.
- Giovannetti, M. y Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infections in root. *New Phytol.*, 1980, p. 489-500.
- Jolliffe, I. T. Principal component analysis: a beginner's guide -I: Introduction and application . *Weather*, 1990, vol. 45, p. 375-382.
- Steel, R y Torrie, J. Bioestadística. Principios y procedimientos. México Mc Graw/ Interamericana de México, 328-333. 1990.
- Barros, A. Micorrizas vesículo-arbusculares en coffeiros da regio sul do estado de Minas Gerais. [Tesis de Maestría] Minas Gerais. 1987.
- Ruiz, L. Factores que condicionan la eficiencia de las micorrizas va como alternativa para la fertilización de las raíces y tubérculos tropicales. [Tesis de Doctorado]. La Habana : INIVIT. 1999.
- Soto, F. Crecimiento de posturas de café (*C. arabica* L.) influido por diferentes condiciones de aviveramiento. [Resumen de tesis de Doctorado]. La Habana : INCA, 1994.
- Sánchez, C., et al. Tecnología sostenible para la producción de posturas de cafeto en el Escambray basada en el manejo de las asociaciones micorrizicas, el azotobacter y los abonos verdes. En Programa y resúmenes del VI Seminario Científico Técnico del Escambray. Instituto de Suelos. Cienfuegos : Estación Experimental de Suelos Escambray (MINAGRI) 1997, 55 p.
- Trelles, N. et al. Estudio del uso de las micorrizas vesículo-arbuscular del género *Glomus* en el cultivo de la guayaba. [Tesis de grado]. Santa Clara : UCLV. 1995.
- Ojeda, L. et al. Efectividad de las micorrizas en el desarrollo de *Leucaena leucocephala* cv Perú. *Pasturas Tropicales*, 1995, vol. 17, p. 2.
- Smith, S. E. Nutrient transport in mycorrhizal structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant and Soil*. 1994, vol. 159, p. 103-113.
- Dodd, J. C. y Thomson. The screening and selection of inoculant arbuscular- mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 1994, vol. 159, p. 149-158.
- Marschner, H. y Dell, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis: *Plant and Soil*, 1994, vol. 159, p. 89-102.

28. Duke, S. E., Jackson, R. B. y Caldwell, M. M. Local reduction of mycorrhizal arbuscule frequency in enriched soil microsites. *Can. J. Bot.*, 1994, vol. 72, p. 998-1001.
29. Miranda, J. C. *et al.* Efeito do acidez do solo na eficiencia de fungos micorrizicos vesículo-arbusculares nativos de solos cerrado. En V Reuniao Brasileira sobre micorrizas e manejo agroforestal sustentavel . Resumen, Florianapolis 1994, 13 p.
30. Tejeda, T., Soto, F. y Guerrero, G. Utilización de algunas variantes de infección micorrízica como alternativas nutricionales en la obtención de posturas de cafeto mediante vías orgánicas. *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no. 1, p. 28-32.
31. 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 Ciencias y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1995.
32. Hernández, A., *et al.* Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : Instituto de Suelos, 1994, 46 p.

Recibido: 13 de mayo de 1999

Aceptado: 24 de septiembre de 1999

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS

FI TO TECN IA

CURSO DE VERANO

**PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR
CON BAJOS INSUMOS**

Fecha: 2-6 /agosto

Duración: 40 h

Precio: 320.00 USD



Para más información diríjase a:

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación y Relaciones
Públicas
Instituto Nacional de Ciencias
Agrícolas(INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba CP 32700
Telf: (53)(64) 6-3867, 6-3773
Fax: (53)(64) 6-3867
e-mail: posgrado@inca.edu.cu