

EFECTO DE MICORRIZA VESICULO-ARBUSCULAR EN CAFE *Coffea arabica* L. VARIEDAD COLOMBIA EN ALMACIGO

Marisol Parra*

Marina Sánchez de Prager**

Ewald Sieverding***

COMPENDIO

A fin de seguir el proceso de infección y esporulación de hongos MVA y evaluar el efecto de su inoculación en café variedad Colombia, se efectuó un ensayo en suelo recolectado en Sevilla (Valle). Se establecieron seis tratamientos: suelo natural, natural + refuerzo, desinfestado, desinfestado + *Entrophospora colombiana*, desinfestado + *Glomus manihotis* y desinfestado + *Acaulospora myriocarpa*. Se obtuvieron plántulas en arena estéril que se trasplantaron e inocularon a los dos meses. La distribución dentro de los tratamientos fue completamente al azar. Se cosecharon 3 plantas/tratamiento cada quince días durante cinco meses. Se evaluó altura, peso seco parte aérea, área foliar, infección en raíces por hongos MVA, esporas/g suelo seco, análisis foliar para N, P, K, Ca y Mg y cualificación de hongos implicados en la simbiosis. En suelo natural predominaron especies del género *Glomus* *G. manihotis*, *E. colombiana* y *A. myriocarpa* se encontraron haciendo parte de la flora nativa. Ocho días después del trasplante ya había infección por hongos micorrizógenos; las especies evaluadas difirieron en su capacidad infectiva. La mejor esporulación ocurrió a los cien días de trasplante. *G. manihotis* además de estimular el mayor crecimiento favoreció el desarrollo vegetativo del café, tornó a las plantas más eficientes en la absorción de N, P, K, Ca y Mg, lo cual es de esperarse dado el extenso desarrollo radical que en esta asociación triplica a los valores obtenidos en suelo natural y desinfestado.

ABSTRACT

A greenhouse experiment was carried out in order to monitor the infection, VAM fungi sporulation and the influence of micorrhiza inoculation on Colombia coffe cultivar. The following treatments were set up: natural soil, + inoculum; desinfested soil + *Glomus manihotis*; desinfested soil + *Entrophospora colombiana*; desinfested soil + *Acaulospora myriocarpa* and desinfested soil. Coffee seedlings were grown on sterilized sand for two months, transplanted to plastic bags filled with soil and inoculated. The experimental design was complete randomized. Three plants from each treatment were harvested every two weeks during five months. Plant weight, dry matter, leaf area, root infection, spore counting and foliar analysis for N, P, K, Ca and Mg were recorded for each harvest. In the natural soil we found species of the genus *Glomus*, *Entrophospora* and *Acaulospora*. Eight days after transplanting we registered root infection by VAM. There were big differences among species. The greatest sporulation was found hundred days after transplanting. *G. manihotis* was the best species as for as growth enhancement and nutrient uptake besides its influence on root development which was three fold compared with those on natural soil and desinfested soil treatments.

1. INTRODUCCION

En general los suelos tienen un contenido bajo de fósforo, pero en el trópico esta situación hace crítica. La zona cafetera caracterizada por suelos alofánicos no escapa a la situación anterior, sin embargo no son evidentes deficiencias de este elemento y se obtienen buenas producciones a pesar de la falta de respuesta del café a la aplicación de fertilizantes

fosforados. Esto se debe posiblemente a varios factores, entre ellos, a la presencia natural de hongos formadores de micorriza vesículo arbuscular (MVA), capaces de captar el fósforo de la solución del suelo y traslocarlo hasta la planta.

En 1897, J. M. Janse registró que las plantas de café eran colonizadas por hongos MVA. En estudios realizados en Brasil se ha encontrado relación entre presencia de MVA y desarrollo vegetativo del cultivo.

* Estudiante de Pregrado. Universidad Nacional de Colombia. A. A. 237, Palmira.

** Profesora Asociada. Universidad Nacional de Colombia. A. A. 237, Palmira.

*** Dr. Sc. Agr. Ph.D. - A. A. 2060, Cali.

Los mejores resultados en peso seco se han encontrado con *Gi. margarita* y *Acaulospora* sp. En la absorción de P, Ca, K y Mg ocurre un incremento notable con *Acaulospora* sp, *G. macrocarpum* y *G. etunicatum* (3, 4, 9, 10). En Venezuela se han identificado estructuras de hongos MVA en café bajo sombra (6).

En Mondomo (Cauca, Colombia), plántulas de café variedad caturra inoculadas con *G. fasciculatum*, *G. manihotis*, *A. longula*, *A. myriocarpa*, *S. heterogama* y *Entrophospora colombiana*, fueron 46 o/o más altas que las plantas no inoculadas (13).

Almácigos de café variedad Colombia, bajo dos niveles de fósforo (7.5 y 15 g/bolsa de 1 kg) y dos formas de inóculo de *G. manihotis*, en invernadero, presentaron incrementos en altura de planta, peso seco de raíces y parte aérea, así como también en la absorción de fósforo por las plantas (1).

Orozco (11) inoculó plántulas de café variedad Colombia con *G. manihotis*, *E. colombiana*, *Gi. margarita* y la mezcla de los tres géneros. *G. manihotis* superó a los demás endófitos ensayados, *Glomus* y *Entrophospora* aumentaron el crecimiento y absorción de Ca respecto a las cepas nativas y el testigo.

Cruz (5) efectuó un reconocimiento de la flora micorrizógena asociada con el café variedad Caturra en el departamento del Quindío y registró a *Acaulospora mellea*, *Glomus* sp y *Acaulospora myriocarpa* como las especies predominantes. La infección por MVA la observó en semillero, plantas de 6 meses, 1, 2, 3 años y soca de primer corte. Encontró reducción drástica en el crecimiento de la planta por efecto de desinfección del suelo y un incremento altamente significativo tanto en variables de desarrollo como en la absorción de N, P, K, Ca y Mg por la parte aérea, cuando la flora nativa se inoculó y reforzó con mezclas de cepas naturales.

Hay desconocimiento acerca de la efectividad de especies nativas frente a las introducidas en las variedades de café más cultivadas

en el país, como también la de dinámica de infección y esporulación de estos hongos en los primeros estados del cultivo. En este marco se efectuó el presente trabajo, cuyos objetivos fueron: hacer un seguimiento del proceso de infección y esporulación de algunos hongos MVA en café variedad Colombia en etapa de almácigo y evaluar la respuesta de esta variedad a la inoculación con diferentes especies de hongos MVA.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

En ensayo se realizó en umbráculo en la Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira, entre 1988 y 1989. Se utilizó suelo cafetero colectado en el municipio de Sevilla (Valle del Cauca), al cual se le realizó análisis de caracterización, y semilla de café variedad Colombia proporcionada por la Federación Nacional de Cafeteros. Se diseñaron seis tratamientos: Suelo Natural (Suelo Cafetero-SN); Suelo Natural + Refuerzo de cepas nativas (SN + SN); Suelo Desinfestado (SD), Suelo Desinfestado + inóculo de *G. manihotis* (SD + Gm); Suelo Desinfestado + inóculo de *Entrophospora colombiana* (SD + Ec), y Suelo Desinfestado + inóculo de *Acaulospora myriocarpa* (SD + Am).

Se hicieron los semilleros en arena previamente esterilizada en autoclave durante 2.5 horas 120°C y 15 libras de presión/pulg². Se sembraron 1 000 semillas distribuidas uniformemente; las plántulas obtenidas se mantuvieron en el germinador aproximadamente 2 meses, regándolas según necesidades. El suelo se desinfestó con 50 g/m² de dazomet (5). Partiendo de inóculos puros, se tomó una cantidad de cada cepa, de tal forma que se inocularan 200 esporas/pl. Para el tratamiento de Suelo Natural + inóculo de cepas nativas, se utilizó como fuente de inóculo el mismo suelo cafetero, en la cantidad suficiente para conseguir 200 esporas/pl, en este caso se dice que se reforzó la microflora nativa.

A los 60 días las plántulas se sembraron en bolsas; en los tratamientos que llevaban inó-

culo, éste se localizó alrededor y base de la raíz de la chapola. Los tratamientos se ubicaron sistemáticamente tratando de evitar la contaminación entre ellos. La distribución de los 6 tratamientos fue al azar. Se tuvieron 198 plantas a razón de 33 pl/tratamiento.

Se hicieron observaciones durante 5 meses cosechando al azar 3 plantas/tratamiento cada 15 días, hasta completar once cosechas. Para cada planta se evaluó: altura de planta (cm), peso seco parte aérea (g/pl), área foliar (cm²), porcentaje de infección en raíces, longitud total de raíces (m), esporas/gramo de suelo seco, análisis foliar para N, P, K, Ca, Mg y cualificación de los hongos implicados en la simbiosis. Se realizó análisis gráfico para observar tendencias y algunas relaciones de interés entre los tratamientos y las variables. Para determinar el efecto entre los tratamientos y las variables evaluadas, se realizó la prueba F, por medio del análisis de varianza de acuerdo con el modelo estadístico asociado al diseño completamente al azar. Para comparar promedios de tratamientos se realizó la prueba de Duncan ($P \geq 0.05$). Se efectuó análisis de correlaciones entre las variables evaluadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Análisis del suelo utilizado en el ensayo

El suelo utilizado se analizó antes y después de desinfectado. En condiciones naturales presentó textura franco-arenosa, pH ácido (5.2), contenido de M. O. medio (5.9) dado que se trata de la zona cafetera donde los valores tienden a ser más altos que en otros suelos del país. No presenta problemas de aluminio por ser bajo, el Ca y el Mg tienen niveles adecuados para este cultivo (2.57 y 0.42 meq/100 g de suelo, respectivamente), mientras que el K (0.08 meq/100 g) es deficiente, al igual que el P (2.76 ppm), Cu, Zn y Mn (0.23, 2.02 y 3.66 ppm en orden respectivo); presenta buena capacidad de intercambio catiónico (13 meq/100 g suelo).

En el suelo desinfectado se registró un ligero aumento del pH y materia orgánica (5.35 y

6.01), un incremento de Ca, Fe y Mn (2.87 meq/100 g, 3.06 y 8.12 ppm, respectivamente), una disminución en el P y Mg disponibles (1.03 ppm y 0.33 meq/100 g, respectivamente). El elemento que más aumentó fue el Mn. Cambios en las propiedades químicas de los suelos han sido registradas por Howeler, como efecto de la desinfección (8).

3.2. Dinámica y colonización de los hongos MVA en el ensayo

3.2.1. Desarrollo de la infección

A los 8 días después del trasplante ya había diferencias significativas en el porcentaje de infección (Cuadro 1) entre los tratamientos suelo desinfectado y el grupo caracterizado por la presencia de micorriza natural o introducida (Suelo Natural + Refuerzo, Suelo Desinfectado + *Glomus manihotis*, Suelo desinfectado + *Entrophospora colombiana* y Suelo desinfectado + *Acaulospora myriocarpa*). El comportamiento de las cepas introducidas fue similar con respecto al porcentaje de infección, al igual que entre éstas últimas y los tratamientos en suelo natural. La prueba de Duncan (Cuadro 2) mostró que el suelo desinfectado + *G. manihotis*, difirió significativamente de los tratamientos suelo natural y suelo desinfectado, más no del suelo natural con refuerzo, suelo desinfectado, *E. colombiana* y suelo desinfectado + *A. myriocarpa*.

A esta edad los mayores porcentajes de infección se registraron en las cepas introducidas: 25.2, 22.9 y 20.6 o/o para *G. manihotis*, *E. colombiana* y *A. myriocarpa* respectivamente (Cuadro 2). Este hecho obedece a que la desinfección al eliminar microorganismos disminuye los fenómenos de antagonismos y competencia que éstos pueden ejercer sobre las MVA, permitiendo en esta forma que las cepas expresen su potencialidad de infección, mientras que en el suelo natural persisten estos fenómenos con el consecuente efecto que pueden ejercer sobre su capacidad infectiva. Los porcentajes de infección más bajos se registraron en suelo natural (15.2 o/o) y suelo desinfectado (3.6 o/o). Los resultados obtenidos en es-

te último tratamiento señalan que se presentó contaminación, ya sea a través del agua de riego o porque el producto, la dosis utilizada o su forma de aplicación para la desinfección no fueron adecuados, aunque Cruz (5) registra a Dazomet como buen desinfectante.

A los 44, 100 y 142 días hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 1). Para la última cosecha la prueba de Duncan mostró que el tratamiento con *G. manihotis* presentó el mayor porcentaje de infección, lo siguieron *E. colombiana* y *A. myriocarpa* sin que haya diferencias significativas entre éstas últimas (Cuadro 2); el otro grupo lo conformaron los tratamientos suelo natural y suelo desinfectado, el cual no correspondió a ésta condición por haberse presentado contaminación.

Según Mosse, citada por Berch (2), el hecho que diferentes cepas de MVA presenten distintos efectos en el crecimiento y niveles de colonización en una misma planta hospedera, depende de factores como pH, contenido de P, balance de nutrimentos, elementos tóxicos, contenido de materia orgánica, etc., los cuales las afectan de manera diferencial.

3.2.2. Presencia de esporas de los hongos MVA

Aunque la presencia de esporas de hongos MVA en el suelo no es índice de eficiencia de una cepa, sí puede ser garantía potencial de presencia de infección. El seguimiento de una cepa MVA en el suelo a través del tiempo, permite evaluar cambios que ocurran en su población. La evaluación de esta variable a los 8 días indicó diferencias altamente significativas entre tratamientos (Cuadro 1), menos entre cepas introducidas. La prueba de Duncan (Cuadro 2) mostró que las cepas introducidas difirieron significativamente del suelo natural y suelo desinfectado, pero no del suelo natural + refuerzo. Las esporas encontradas en el suelo desinfectado corroboran la contaminación.

En todas las situaciones la mayor esporulación ocurrió a partir de los 100 días, lo cual

hace suponer que desde el momento del trasplante hasta esta época la energía de la simbiosis está dirigida más al desarrollo de la infección que a la esporulación. Los tratamientos con *G. manihotis*, *E. colombiana*, suelo natural y suelo desinfectado difirieron significativamente, más no *A. myriocarpa* y suelo natural + refuerzo.

3.2.3. Cualificación de hongos MVA

En este suelo cafetero en condiciones naturales se encontró gran diversidad de especies (Cuadro 3).

Se destaca el género *Glomus* como el de mayor abundancia. Las muestras evaluadas presentaron un promedio total de 20 esporas/gss. La caracterización de la flora de hongos MVA presentes en el suelo natural está indicando que las especies introducidas en este ensayo hacen parte de la población nativa, mezcladas con otros hongos MVA y que su escasa población, comunidad asociada o factores ambientales, influyen en la expresión de su efectividad. En este caso, su "introducción" se convierte en un refuerzo de una cepa específica, en algunos casos, con altas potencialidades como es *G. manihotis* y *E. colombiana* se registran por primera vez en suelo cafetero de Sevilla (Valle).

Las evaluaciones en el tratamiento suelo desinfectado indicaron que la especie contaminante fue *G. manihotis*, la cual se mostró eficiente con un potencial mínimo de inóculo, e incluso, es posible que con el tiempo, la situación de este tratamiento sea igualar a las cepas introducidas y suelo natural. La inoculación con esta especie ha sido estudiada en café por otros autores (1, 11, 13) con excelentes resultados en variables como altura de planta, materia seca de la parte aérea, así como también en la absorción de nutrimentos por la planta, principalmente el P. Las especies *G. manihotis* y *G. etunicatum* han sido registradas por Caldeira (3) asociadas con café en el Brasil; en cuanto a *A. myriocarpa* Cruz (5) la encontró asociada con la variedad caturra en el Quindío (Colombia), al igual que a *G. geosporum*.

Cuadro 1

Análisis de varianza para porcentaje de infección en raíces y número de esporas por gramo de suelo seco para cuatro edades después de trasplante

Fuente de variación	G. L.	Porcentaje de infección				Número de esporas por gramo de suelo seco			
		8 días	44 días	100 días	142 días	8 días	44 días	100 días	142 días
		CUADRADOS MEDIOS							
Tratamientos	5	188.74**	76.51**	109.45**	149.70**	17.97**	15.63**	67.96**	158.35**
Sin inóculo Vs con inóculo	1	772.64	209.67	134.69	125.04	72.36	348.62	156.81	16.011.68
Sin inóculo Vs Mic. nativa	1	450	53.45	2.88	0.12	36.98	32	45.12	99.40
Mic. nativa Vs Mic. introducida	1	66.56	159.04	376.99	569.44	11.66	10.81	100.48	304.56
Entre cepas introducidas	2	15.87	6.32	17.59	28.78	1.44	0.76	35.32	48.96
Error experimental	12	21.45	7.37	0.08	0.26	1.02	1.89	2.85	7.78
Media general	18.27	20.86	27.64	31.68***	6.55	7.18	13.08	1.44***	
C. V.	25.35	13.01	1.05	1.61	15.41	19.15	12.89		13.01

* Diferencias significativas

** Diferencias altamente significativas

*** Se trabajó sobre 17 datos

Cuadro 2

Prueba de Duncan para porcentaje de infección y número de esporas por gramo de suelo seco en cuatro edades, después de trasplante a bolsas

Tratamiento	Porcentaje de infección				Esporas por gramo de suelo seco			
	8 días	44 días	100 días	142 días	8 días	44 días	100 días	142 días
Suelo desinfectado + G. manihotis	25.2 a	26.7 a	35.7 a	41.9 a	9 a	9 a	20 a	32 a
Suelo desinfectado + E. colombiana	22.9 ab	24.1 a	31.2 c	36.3 b	8 a	9 a	16 b	23 bc
Suelo desinfectado + A. myriocarpa	20.6 ab	24.3 a	31.9 b	36.4 b	8 a	8 a	13 bc	27 ab
Suelo antural + refuerzo	22.0 ab	18.3 b	23.4 d	25.7 c	7 ab	7 a	13 cd	19 c
Suelo antural	15.2 b	18.5 b	22.0 e	25.4 c	6 b	7 a	10 d	17 c
Suelo desinfectado	3.6 c	13.2 c	21.5 e	25.8 c	2 c	3 b	6 e	11 d

Medias en columnas con letras iguales no difieren significativamente (Duncan $P \geq 0.05$)

Cuadro 3

Hongos MVA en suelo natural - Sevilla (Valle)

Especie*	Esporas/gss encontradas	Café	Algunos registros en otros cultivos en el país
<u>Glomus manihotis</u>	4		Yuca, pastos, <u>A. gayanus</u> , sorgo (12, 15)
<u>Entrophospora colombiana</u>	3		<u>Andropogon</u> , yuca, <u>P. phaseoloides</u> , pastos (15)
<u>Glomus occultum</u>	1	Brasil (3)	Sorgo y pastos (12)
<u>Glomus</u> sp	3		Sorgo (12)
<u>Glomus agregatum</u>	1		
<u>Glomus versiforme</u>	1		
<u>Glomus geosporum</u>	1	Var. Caturra (5)	Caña (12)
<u>Glomus etunicatum</u>	1	Brasil (3)	Sorgo (12)
<u>Glomus intraradices</u>	1		
<u>Glomus mosseae</u>	1		Sorgo, cítricos (12, 15)
<u>Scutellospora heterogama</u> (posiblemente)	1		Pastos (15)
<u>Acaulospora longula</u>	1		Pastos nativos (15, 16)
<u>Acaulospora myriocarpa</u>	1	Var. Caturra (5)	<u>P. phaseoloides</u> , yuca, <u>Bracharia</u> , <u>Stylosanthes</u> , <u>Allium porrum</u> (15, 16)
TOTAL	20		

* Identificación efectuada por el Dr. E. Sieverding- Palmira 1990.

3.3. Variables de desarrollo vegetativo

Con relación a altura, hubo diferencias significativas entre tratamientos hasta la octava cosecha - 100 días- a partir de allí las diferencias se pronuncian (Cuadro 4). A esta edad el mejor tratamiento y cepa más efectiva fue *G. manihotis* con 19 cm de altura, aunque no difirió significativamente de *E. colombiana* y *A. myriocarpa*. Entre los tratamientos suelo natural, suelo natural + refuerzo y suelo desinfectado tampoco hubo diferencias significativas.

Los resultados obtenidos en esta variable coinciden con los encontrados por Sieverding et al (13) en café variedad caturra, que muestran a las especies *A. myriocarpa*, *E. colombiana*, *G. occultum* y *G. manihotis* como las más eficientes en altura de planta, vigor y crecimiento de raíces. De igual forma, Orozco (11) registró a *G. manihotis* como el endófito más eficiente en el aumento del crecimiento, altura de planta y extracción de Ca.

Con respecto a longitud total de raíz, a los 8 días el tratamiento con *G. manihotis* difirió significativamente de las otras dos cepas introducidas y del suelo natural, pero no del suelo natural + refuerzo y suelo desinfectado (Cuadro 5). El análisis de varianza para la última cosecha mostró diferencias altamente significativas para todos los tratamientos. La prueba de Duncan señaló que aunque la mayor longitud de raíz la exhibieron las cepas introducidas, fue el tratamiento con *G. manihotis* el de mejor sistema radical, (149.08 m). Este efecto es importante desde el punto de vista de anclaje y nutrición de la planta, ya que este mayor desarrollo radical se va a reflejar indudablemente en mayor capacidad de absorción de nutrimentos, agua y estabilidad de la planta. En esta variable la diferencia de valores es apreciable, mientras que la longitud de raíz en los tratamientos en suelo natural y desinfectado fue menor de 50 m, en las cepas introducidas se dobló esta cifra y con *G. manihotis* se triplicó.

Se presentaron incrementos notorios en el peso seco de la parte aérea en todos los trata-

mientos, a partir de la séptima cosecha y sobresalieron las cepas introducidas. Para la octava cosecha - 100 días-, el análisis de varianza señaló diferencias significativas sólo entre cepas introducidas y nativas (Cuadro 4). Los rendimientos en peso seco de la parte aérea destacaron a *G. manihotis* como la cepa más efectiva y estable en comportamiento, tanto para los parámetros que se refieren a la dinámica de la infección como para los agronómicos evaluados hasta el momento. Arango et al (1), en café variedad Colombia en condiciones de almácigo, encontraron que esta misma cepa favorecía notablemente el peso seco de raíces y parte aérea cuando se combinaba con fertilización fosfórica.

3.4. Extracción de nutrimentos por la planta

El análisis de varianza señaló diferencias significativas entre tratamientos en la extracción de N, P, Ca y Mg desde la primera cosecha, las cuales se hicieron más notorias al final del ensayo (Cuadro 6).

La prueba de Duncan indicó que la especie introducida más eficiente en la extracción de N, P y K por la parte aérea fue *G. manihotis*, la cual a su vez presentó la mejor respuesta en las variables de desarrollo vegetativo, altura de planta y peso seco de la parte aérea (Cuadro 7). Arango et al (1) y Orozco (11) han efectuado observaciones similares. En esta misma edad - 142 días- las mayores extracciones de Ca y Mg nuevamente ocurrieron en las plantas inoculadas con *G. manihotis*. Orozco (11) en variedad Colombia encontró que los tratamientos con *G. manihotis* y *E. colombiana* absorbieron más Ca con respecto a las cepas nativas y el testigo. De igual forma Caldeira et al (3) registraron que plantas de café micorrizadas absorben más Ca, Mg, P y K.

Los resultados sobre altura de planta, materia seca de la parte aérea, longitud total de raíz y extracción de nutrimentos, mostraron efecto diferencial entre los endófitos ensayados. Para este caso *G. manihotis* superó ampliamente a los demás; las cepas introducidas superaron

Cuadro 4

Análisis de varianza para altura de planta (cm), peso seco parte aérea (g/pl) y longitud total de raíz (m) en 3 edades después de trasplante

Fuente Variación	Altura de planta			Peso seco parte aérea			Longitud total de raíz			
	8 días	142 días	100 días	8 días	100 días	142 días	8 días	100 días	142 días	
	G.L.									
CUADRADOS MEDIOS										
Tratamientos	5	0.05*	15.2*	75.75**	0.9 x 10 ⁻⁴ *	0.21	0.71*	66.49*	0.18*	149.7**
Sin inóculo Vs con inóculo	1	1 x 10 ⁻³	14.4	7010.2	4.9 x 10 ⁻⁴	0.12	45.39	167.03	0.04	4.139.0
Sin inóculo Vs. Mic. nativas	1	0.02	5 x 10 ⁻³	41.40	5 x 10 ⁻⁵	7.2 x 10 ⁻³	0.69	0.51	0.05	3.7
Mic. nativas Vs. Mic. introducidas	1	519	55.22	152.76	3.6 x 10 ⁻³	0.81	3.1 x 10 ⁻³	588.13	8.4 x 10 ⁻³	18.788.20
Entre cepas introducidas	2	0.07	3.64	2261.5	1 x 10 ⁻⁴	0.05	52.75	245.7	0.16	2.243.50
Error experimental	12	0.82	4.12	9.39	0.7 x 10 ⁻⁴	0.04	0.24	9.11	0.09	31.67***
Media general	9.22		16.32	33.41***	0.12	0.99	4.42***	37.93	0.63	1.61
C. V. o/o	9.81		12.43	9.17	21.23	21.81	11.90		48.03	

* Diferencias significativas
 ** Diferencias altamente significativas
 *** Se trabajó sobre 17 datos

Cuadro 5

Prueba de Duncan para altura de planta (cm), peso seco parte aérea (g/pl) y longitud total de raíces (m) en tres edades después de trasplante

Tratamiento	Altura (cm)			Peso seco parte aérea (g/pl)			Longitud de raíz (m)		
	8 días	100 días	142 días	8 días	100 días	142 días	8 días	100 días	142 días
Suelo desinfectado + <u>G. manihotis</u>	9.3 a	19.0 a	43.0 a	0.14 a	1.32 a	5.28 a	0.86 a	28.19 a	149.08 a
Suelo desinfectado + <u>E. colombiana</u>	9.0 a	17.0 ab	32.0 b	0.13 a	1.26 a	3.94 b	0.45 b	14.73 a	95.06 b
Suelo desinfectado + <u>A. myriocarpa</u>	9.2 a	18.8 a	32.0 b	0.14 a	1.07 ab	4.20 b	0.47 b	10.98 ab	104.55 b
Suelo natural + refuerzo	9.3 a	14.5 b	29.6 b	0.11 a	0.76 b	4.47 ab	0.66 ab	6.18 c	45.65 c
Suelo antural	9.3 a	14.2 b	29.3 b	0.10 a	0.72 b	4.55 ab	0.43 b	4.22 c	44.04 c
Suelo desinfectado	9.2 a	14.3 b	34.0 b	0.11 a	0.80 b	3.92 b	0.70 ab	4.68 bc	46.22 c

Medias en columna con letras iguales no difieren significativamente (Duncan P ≥ 0.05)

Cuadro 6
Análisis de varianza para la extracción de nutrientes por la parte aérea de la planta (mg/pl) primera y última cosecha

CUADROS MEDIOS

G. L.	Extracción N		Extracción P		Extracción K		Extracción Ca		Extracción Mg		
	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días	
Tatamiento	5	0.86*	478.5**	0.002*	1.2*	0.5*	400.6**	0.08*	341.1**	0.02*	8.8**
Sin inóculo Vs con inóculo	1	0.5	396.6	0.03	0.3	0.1	63.6	0.17	14.5	0.01	2.2
Sin inóculo Vs Mic. nativa	1	2.2	246.2	0.01	1.3	0.12	55.9	0.01	11.3	0.06	1.4
Mic. nativa Vs. Mic introducida	1	3.6	22.4	0.01	6.4	1.6	1064.7	0.26	1008.7	0.10	0.1
Entre cepas introducidas	2	0.005	995.9	0.005	0.8	32.6	453.4	0.005	246.3	0.005	21.05
Error experimental	12	0.66	61.2	0.002	0.5	0.52	64	0.03	32.6	0.008	2.9
Media general		3.99	68.3***	0.228	6.4***	3.44	65.8***	0.76	37.9***	0.44	15.4***
C. V. o/o		20.4	11.4	20.6	11.2	21.10	12.2	22.2	15.0	21.6	11.2

* Diferencias significativas ** Diferencias altamente significativas *** Se trabajó sobre 17 datos

Cuadro 7
Prueba de Duncan para extracción de N, P, K, Ca y Mg (mg/pl) por la parte aérea de la planta - primera y última cosecha

	N		P		K		Ca		Mg	
	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días	8 días	142 días
Suelo desinfectado + <i>G. manihotis</i>	4.16 a	91.93 a	0.22 a	7.40 a	3.78 a	84.0 a	0.95 a	56.53 a	0.49 ab	18.49 a
Suelo desinfectado + <i>E. colombiana</i>	4.32 a	59.42 b	0.25 a	6.30 ab	3.68 a	59.81 a	0.91 a	41.33 b	0.55 a	13.38 b
Suelo desinfectado + <i>A. myriocarpa</i>	4.47 a	61.42 b	0.31 ab	3.66 a	3.66 a	75.72 ab	0.84 ab	40.38 b	0.51 ab	14.72 b
Suelo natural + refuerzo	3.37 a	65.36 b	0.21 a	6.27 ab	3.53 a	56.41 c	0.68 ab	33.13 bc	0.35 b	16.12 ab
Suelo natural	3.26 a	71.49 b	0.20 a	5.46 b	2.71 a	55.55 c	0.59 b	25.75 c	0.34 b	14.57 b
Suelo desinfectado	4.37 a	57.33 b	0.21 a	6.67 ab	3.33 a	61.26 bc	0.58 b	31.81 bc	0.39 ab	14.53 b

Medias en columna con letras iguales no difieren significativamente (Duncan P ≥ 0.05).

Cuadro 8
Matriz de correlación para cuatro cosechas evaluadas

Variable	Peso seco (g/pl)				Altura de planta (cm)				o/o infección raíces				Esporas/g suelo seco				Longitud total raíces (m)				
	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11	1	4	8	11	
Area foliar (cm ²)																					
Peso seco (g/pl)																					
Altura (cm)																					
o/o infección raíces																					
Esporas/g																					

* Correlación significativa
** Correlación altamente significativa
1 8 días después de trasplante
4 44 días después de trasplante
8 100 días después de trasplante
11 142 días después de trasplante

al suelo natural y al suelo desinfectado. En este ensayo se puede considerar a *G. manihotis* como la especie que además de presentar el mejor crecimiento, favorece el desarrollo vegetativo del café, torna a la planta más eficiente en la absorción de nutrientes como N, P, K, Ca y Mg, lo cual es de esperarse dado el extenso desarrollo radical que se logra con esta asociación.

3.5. Análisis de correlación para las variables evaluadas

En las cuatro cosechas donde se hizo análisis de varianza se encontraron también correlaciones altamente significativas entre las variables altura de planta x longitud total de raíces y porcentaje de infección x esporas/gss (Cuadro 8). La correlación entre estas variables indicó que las MVA estimulan el desarrollo de los simbioses. Se encontró alta correlación entre la infección por hongos MVA y contenido de esporas por gramo de suelo seco.

En las últimas tres cosechas analizadas hubo alta correlación entre altura de planta x porcentaje de infección en raíces, longitud total de raíces x porcentaje de infección en raíces y longitud total de raíces x esporas por gramo de suelo seco, variables para las cuales los tratamientos que presentaron los mayores promedios fueron los establecidos en suelo desinfectados e inoculado con MVA. Los tratamientos con suelo natural y desinfectado presentaron alturas similares a aquellos en los cuales se introdujo MVA, con excepción de *G. manihotis* donde se encontró la mayor infección, 41.9 o/o y la mayor altura, 43 cm. Sin embargo cuando se establecieron las correlaciones entre longitud total de raíz x porcentaje de infección en raíces y longitud total de raíces x esporas por gramo de suelo seco se pudo corroborar que en los tratamientos de suelo desinfectado con flora introducida se observan las mayores longitudes de raíces, los mayores porcentajes de infección y número de esporas, lo cual puede traducirse en que la planta tenga mayor anclaje y mayores posibilidades de absorción de nutrientes por las raíces (14), procurando así mayo-

res beneficios para la planta al ser capaz de captar los nutrientes individualmente y en relación dual.

En la primera y octava cosechas se encontraron correlaciones altamente significativas entre las variables peso seco parte aérea x altura de planta, área foliar x longitud total de raíces y área foliar x esporas por gramo de suelo seco, variables para las cuales los tratamientos con cepas introducidas nuevamente fueron los de mejor comportamiento (Cuadro 8). Sólo en las cosechas cuarta y octava se encontró correlación entre área foliar x altura de planta y esporas por gramo de suelo x altura de planta. En la octava cosecha, se observó que existía alta relación entre las variables indicadoras de desarrollo en la planta y el número de esporas por gramo de suelo seco, lo que parece indicar que es en este momento cuando la planta estimula la actividad del micosimbionte, coincidiendo con observaciones efectuadas por Cruz (5) en café variedad caturra.

Se encontraron también correlaciones significativas entre las variables altura de planta x esporas por gramo de suelo seco para las cosechas cuarta y octava y correlaciones altamente significativas entre el peso de la parte aérea x porcentaje de infección en raíces en la octava cosecha y entre el área foliar x peso seco parte aérea en la parte aérea en la octava y última cosechas. Vale la pena resaltar que la longitud total de raíz estuvo significativamente correlacionada en este ensayo con todas las variables evaluadas, lo cual se justifica desde el punto de vista fisiológico de los simbioses, pues es de esperarse que un buen sistema radical se refleje sobre el desarrollo de los hongos MVA y del cultivo.

4. CONCLUSIONES

4.1. Las especies de hongos MVA evaluadas difirieron en su capacidad infectiva. Se observó alta relación entre infección y esporas/g suelo seco. *G. manihotis* mostró los valores más altos en ambas variables y suelo desinfectado los menores.

- 4.2. En el suelo natural predominó el género *Glomus*. Las especies inoculadas se encontraron haciendo parte de la flora micorrizógena nativa, por lo cual su introducción se convirtió en un refuerzo.
- 4.3. En los tratamientos inoculados con *G. manihotis*, *E. colombiana* y *A. myriocarpa* se presentaron las mayores longitudes de raíces, porcentajes de infección y esporas de hongos MVA por gramo de suelo seco.
- 4.4. *G. manihotis* fue la especie que más favoreció tanto el desarrollo vegetativo de la planta como la absorción de N, P, K, Ca y Mg por la parte aérea.
- 4.5. Los beneficios de la simbiosis comenzaron a ser visibles a los 100 días después de inoculación.

5. RECOMENDACIONES

Una vez más se ha corroborado la importancia de la simbiosis MVA en el cultivo del café *Coffea arabica* L., lo cual hace necesario que se continúen los estudios sobre el tema en forma tal que permitan obtener información sobre puntos fundamentales como: dependencia del cultivo por esta simbiosis, la efectividad de especies nativas frente a las introducidas, el grado en que se puede disminuir la aplicación de fertilizantes cuando se hace una inoculación eficiente, la interacción entre MVA y prácticas de manejo de uso corriente en el cultivo y la influencia de la simbiosis sobre el rendimiento y sanidad del cultivo en el campo.

6. BIBLIOGRAFIA

1. ARANGO, C; OCHOA, G., y ROBLEDO, A. Evaluación de dos fuentes de inóculo de micorrizas MVA y dos dosis de fósforo en almácigos de café variedad Colombia. *Revista Agronomía*. Vol. 3, No. 1. 1989. p. 23-27.

2. BERCH, S. M. Taxonomía de los hongos micorrícicos vesículo-arbusculares agrícolas. *Revista mexicana de fitopatología*. Vol. 5. No. 2. 1987. 112-208 pp.
3. CALDEIRA, F. S., MARTINS, CH. G., y ZAMBOLIN, L. Associação de Micorriza Vesículo-Arbuscular com café Limão-Rosa e Capim-Gordura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Vol. 18. No. 3. 1983. 223-228 p.
4. CARDOZO, E. J. B. N. Ocorrência de Micorriza em Coffe. *Summa Phytopathologia*. 1978. 4(2/3/4). 136-137. Resúmen Bibliography on Vesículo arbuscular Mycorrhizal. 1970-1982.
5. CRUZ, J. C. Estudio de la Simbiosis Micorriza Vesículo-arbuscular en el cultivo del café (*Coffea arabica* L. variedad Caturra). Tesis Ing. Agr. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 1988. 53 p.
6. CUENCA, G. y HERRERA, H. Las micorrizas Vesículo-arbuscular del cafeto (*Coffea arabica* L.) y su papel en el ciclo de nutrientes en el cultivo de café bajo sombra. FIC. Informe provisional. No. 8. Ciclo lectivo sobre el tema, Técnicas de Investigación en Micorrizas. Sept. 18-28. 1985. 291-294 pp.
7. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS *Revista Economía Cafetera*. Vol. 20. No. 1. Enero de 1990. p. 8.
8. HOWELER, R. H. Aspectos prácticos de la investigación de micorrizas vesículo-arbusculares demostrados en el cultivo de la yuca. En: SIEVERDING, E., SANCHEZ DE P. M. y BRAVO O, N. 2 ed. Palmira, 1989. p. 44-61.
9. LOPEZ, E. S., OLIVERA, E. NEPTUNE, A. M. L., y MORALES. Efeito da inoculação de cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrícicos Vesículo-arbusculares. *Revista brasileira do solo*. Vol. 7. No. 2. 1983. 137-141 pp.
10. LOPEZ, E. S., OLIVERA, E., DIAZ, R., y SCHENCK, N. C. Ocorrência and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.). *Revista Turrialba*. Vol. 33. No. 4. 1983. p. 417-422.

11. OROZCO, P. F. H. Efecto de la inoculación con hongos formadores de micorriza Vesículo-arbuscular en plántulas de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). Suelos ecuatoriales Vol. 18. No. 2. 1988. p. 213-219.
12. SANCHEZ DE P, M. Relación entre las características Químicas, Físicas y Microbiológicas de varios suelos del Valle del Cauca y su efecto en el crecimiento de algunos cultivos. Tesis M. Sc. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 1990. 144 p.
13. SIEVERDING, E., y TORO, S. Efecto de la inoculación de hongos micorrícicos Vesículo-arbuscular en plántulas de café (*Coffea arabica* L.) y té (*Camelia sinensis* L. O. Kuntze). En: OROZCO, F. (ed.). Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Medellín, 1988. Vol. 2. 173 p.
14. —————. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza Vesículo-arbuscular. En: SIEVERDING, E.; SANCHEZ, M. y BRAVO, N. (ed.). Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 1984. Vol. 1. 276 p.
15. SCHENCK, N. C. and PEREZ, Y. Manual for the identification for VA-Mycorrhizal fungi. Gainesville: University of Florida, 1989. 245 p.
16. SCHENCK, N. C. SPAIN, J., y SIEVERDING, E. A new sporocarpic species of Acaulospora. Micotaxon. Vol. 25. No. 1. 1986. 17 p.