

CARACTERIZACIÓN ESPACIAL-TEMPORAL DE LA MICORRIZA NATIVA DE DOS PLANTACIONES DE CAFETO EN CUBA

E. Montilla, R. A. Rivera, R. A. Herrera y F. Fernández✉

ABSTRACT. In order to evaluate the native mycorrhiza functioning in coffee plantations, so as to establish the future strategy of arbuscular mycorrhizal management under field conditions, an experiment was conducted in two coffee plantations, each one with a typical type of soil, rhodic Eutrudox-Ferralsol and chromic Cambisol. Six plants per site were randomly selected, taking six soil samples at 30, 60 and 90 cm of distance in two depths, 0-20 and 20-40 cm. Samples were extracted in two physiological plant stages, fruiting and postharvest. Mycorrhizal components, chemicals analyses and identification of genera and species of the native mycorrhizal fungi of each sample were done. Data were analyzed by a correspondent ANOVA and Turkey media test, besides the principal component analysis to know the spatial dispersion of variables and treatments under study. Results showed a strong effect of the physiological stages on the mycorrhizal functioning and spore populations. Fruiting characterized by a high metabolic activity, high values of colonized root percent, visual density of root colonization, large amount of extramatrical mycelium and poor spore number in contrast with postharvest stage, where spore populations were increased at the expense of a significantly decreased of the other fungal variable, due probably to the low plant metabolic activity during this stage that could stimulate sporulation process as a survival mechanism. The presence of spores from the order *Glomales* and *Diversisporales* and three families, *Acaulosporaceae*, *Glomaceae* and *Gigasporinaceae* were observed. The most representative genera were *Acaulospora* and *Glomus*, with an average appearance of 52.06 and 38.80 % respectively.

Key words: arbuscular mycorrhizae, Coffea, plantations, Ferralsols, Cambisols

RESUMEN. El trabajo tuvo como objetivo la caracterización de las micorrizas nativas en plantaciones de cafeto así como establecer las bases para el ulterior manejo de las asociaciones micorrízicas en estas condiciones. Para esto, se seleccionaron dos cafetales de similar edad ubicados en dos suelos, Eutrudox-Ferralsol ródico y Cambisol crómico. En cada uno, se tomaron seis plantas individuales al azar y se colectaron seis muestras de suelo a las distancias de 30, 60 y 90 cm del tallo y a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm. Las colectas se realizaron en las fases de inicio de la fructificación y posterior a la cosecha. A cada muestra se le realizaron análisis químico y de los componentes micorrízicos, además se procedió a la identificación de géneros y especies de los hongos micorrizógenos nativos. Se realizaron los análisis de varianza correspondientes y se aplicó un análisis de componentes principales, para conocer la dispersión espacial de las variables y tratamientos en estudio. Los resultados arrojaron un marcado efecto de las etapas fisiológicas de inicio de fructificación, caracterizada por un alto metabolismo en la planta y poscosecha, caracterizada por un bajo metabolismo en la planta, sobre el funcionamiento micorrízico y la cantidad de esporas, de forma tal que al inicio de la fructificación las variables porcentajes de colonización, densidad visual y ME presentaron valores superiores en su actividad, con bajos valores de esporas, las cuales aumentan en poscosecha y disminuyen a su vez las variables primeramente mencionadas. En las localidades estudiadas se observó la presencia de esporas del orden *Glomales* y *Diversisporales*, pudiéndose apreciar tres familias, *Glomaceae*, *Acaulosporaceae* y *Gigasporinaceae*. Los géneros con mayor pertinencia fueron: *Acaulospora* y *Glomus*, alcanzando frecuencias de aparición promedio de 52.06 y 38.80 %, respectivamente.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, Coffea, plantaciones, Ferrasoles, Cambisoles

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha revitalizado la importancia de la actividad biológica del suelo y el papel de los

microorganismos en la nutrición de las plantas, potenciando la fertilidad del suelo, incrementando la eficiencia de los procesos de absorción de nutrientes y/o suministro de N al sistema y formando parte del enfoque de los sistemas integrales de nutrición vegetal (1, 2).

Ms.C. E. Montilla, Profesor Investigador Agrícola del Departamento de Producción Vegetal, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela; Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular y Dr.C. F. Fernández, Investigador Auxiliar del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, CP 32 700; Dr.C. R. Herrera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes, Instituto de Ecología y Sistemática (IES), carretera Varona km 3½, Cabdevila, La Habana, Cuba.

✉ felixfm@inca.edu.cu, felixfmar@yahoo.com

Uno de los microorganismos más importantes dentro del sistema suelo-planta lo constituyen los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), que forman asociaciones micorrízicas con las raíces de las plantas y están consideradas simbiotes universales, debido a que están presentes de manera natural en el 85 % de las especies vegetales con interés agrónomico (3). Se han realizado investigaciones acerca del aislamiento de cepas de HMA y el manejo de la

propia simbiosis micorrízica en diferentes agroecosistemas (4, 5, 6, 7, 8, 9).

Por otra parte, en el cultivo del café se desarrolla de forma natural esta simbiosis, por lo que es considerado un cultivo micótrofo obligatorio con una alta dependencia micorrízica acorde a la especie que forme la asociación (10).

Los resultados obtenidos hasta el momento han demostrado la eficiencia del uso de las asociaciones micorrízicas en el café. Por ejemplo, países como Brasil y Cuba han desarrollado diferentes líneas de investigación en este sentido, estableciéndose en esta última, tecnologías de manejo de las asociaciones micorrízicas para la producción de posturas de café (7, 11).

Actualmente, no abundan las investigaciones que permitan establecer tecnologías de manejo de las asociaciones micorrízicas en condiciones de plantaciones establecidas; sin embargo, su puesta en marcha necesita conocer previamente el comportamiento de las micorrizas nativas en dichas condiciones, ya que el éxito está relacionado no solo con la efectividad y eficiencia de la cepa a aplicar, sino además con la cantidad y tipo de propágulos nativos (11).

También se han encontrado efectos positivos con el uso de concentrados de cepas nativas, lo cual pudiese estar relacionado con un suelo de baja concentración de propágulos nativos; sin embargo, todo parece indicar que estas prácticas no siempre originan efectos positivos. Por otra parte, se hace necesaria la identificación de las especies fúngicas que forman micorrizas nativas, con fines de multiplicarlas y utilizarlas convenientemente mediante el manejo de la inoculación (12).

Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar el comportamiento fúngico de las micorrizas nativas e identificarlas en condiciones de plantaciones de café, así como establecer las bases para la implementación de tecnologías de manejo de las asociaciones micorrízicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características edafoclimáticas de las plantaciones seleccionadas. En el presente trabajo se seleccionaron dos plantaciones de café establecidas de similar edad en dos suelos típicos de la producción de café en Cuba, durante el período de julio-enero, 2002. La primera plantación (Tabla I) se ubicó en un suelo de muy baja fertilidad clasificado como Eutrodex-Ferralsol ródico. La otra plantación estuvo situada en un Cambisol crómico fértil con pH y bases cambiables adecuadas para un buen desarrollo del cultivo (13).

Tabla I. Algunas características químicas de los suelos en las condiciones de estudio

Suelos	Localidad	pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg.100 g)	K ⁺	Ca ⁺⁺ (cmol. g ⁻¹)	Mg ⁺⁺
Eutrodex	Pinares de Mayarí	5.92	1.82	0.64	0.10	1.86	1.55
Cambisol crómico	Jibacoa	5.10	3.25	9.60	13.1 2	8.00	1.60

En la Tabla II, se presenta la información resumida de precipitaciones y temperaturas medias anuales, destacándose que las dos localidades seleccionadas presentaban condiciones óptimas para el cultivo del café.

Tabla II. Comportamiento promedio de las precipitaciones y temperaturas

Localidad	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Pinares de Mayarí	1650	21.8
Jibacoa	1700	22.9

Estado nutricional, rendimiento y marco de siembra de las plantaciones seleccionadas. Las plantaciones presentaron diversidad en sus rendimientos promedio, siendo probablemente una consecuencia de las diferencias en las condiciones climáticas (fundamentalmente temperatura media y precipitación). En el caso de Pinares de Mayarí (Tabla III), los contenidos foliares presentes en el café, así como el rendimiento expresado en toneladas de café oro.ha⁻¹ son considerados adecuados de acuerdo con los criterios de interpretación específicos para esa región (14).

Tabla III. Análisis foliar en porcentaje y rendimiento promedio en tonelada de café oro.ha⁻¹ por sitio

Sitio	N	P	K	Ca	Mg	Tn. ha ⁻¹
Pinares de Mayarí	2.50	0.22	1.18	1.35	0.35	2.0
Jibacoa	2.71	0.16	1.19	1.45	0.22	1.2

El marco de plantación en las dos localidades fue de 2 x 1 m² (5 000 plantas.ha⁻¹). Cada una de estas plantaciones estaban bajo sombra, en el caso de Pinares de Mayarí con *Pinus cubensis* y en Jibacoa con *Leucaena leucocephala*.

Toma de muestras en las áreas de estudio. En la Figura 1 se esquematiza la forma en que fueron tomadas las muestras en las plantaciones de café en estudio. En cada localidad se seleccionaron seis plantas al azar y en cada una de ellas se tomaron seis muestras de suelo a las distancias de 30, 60 y 90 cm del tallo y a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm, sumando 36 muestras por área o localidad. Estas fueron colectadas en dos momentos fisiológicos, en la fase del inicio de la fructificación y posterior a la cosecha, y se almacenaron en bolsas de polietileno de 500 g, hasta su análisis posterior.

Análisis químico de los suelos colectados. A las muestras de suelos colectadas, se les realizaron las siguientes determinaciones: pH en agua, según método potenciométrico, materia orgánica, por Walkey-Black (combustión húmeda), fósforo y potasio (15).

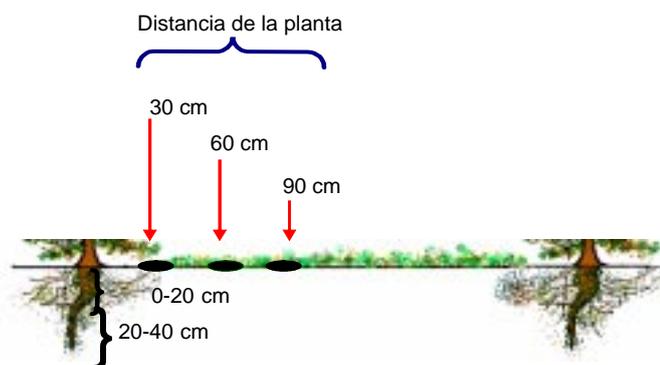


Figura 1. Representación de la toma de muestras en plantas individuales

Evaluaciones de los componentes micorrízicos

- a) *Conteo de esporas.* Se realizó tomando de cada muestra 50 g de suelo rizosférico, según el método de tamizado y decantado por vía húmeda de los propágulos del hongo (16). Las esporas y demás propágulos se colectaron sobre una malla de 40 micras de apertura, siendo separadas por centrifugación con un gradiente de sacarosa + Tween 80 y observadas posteriormente en un microscopio óptico (20-40x). Los valores se expresaron en: esporas/gramo de suelo.
- b) *Porcentaje de colonización y densidad visual (DV).* En las submuestras de 50 g de suelo se procedió a extraer las raíces más finas utilizando pinzas de disección, obteniéndose 200 mg de estas, para la posterior clarificación, tinción y cuantificación (10).

Una vez teñidas las muestras, de peso conocido, fueron observadas en microscopio estereoscópico en una placa con retículo de 0.5 pulgadas, contando las intersecciones de raicillas en las líneas necesarias (no menos de 100 para cada medición). Las intersecciones de raicillas fueron calificadas en seis categorías: -M (sin endófito A), y M1, M2, M3, M4, y M5 (con endófitos) que multiplicadas respectivamente por 0.0; 1.0; 2.5; 15.5; 35.5; y 47.5 %, permitieron estimar las proporciones de densidad visual (% DV) de la siguiente forma:

Se multiplicó el número de interceptos contados en cada nivel (Z), por el porcentaje de intensidad de colonización correspondiente, dándonos los valores de A.

$$\begin{aligned} A0 &= Z0 \cdot 0 \% \\ A1 &= Z1 \cdot 1 \% \\ A2 &= Z2 \cdot 2.5 \% \\ A3 &= Z3 \cdot 15.5 \% \\ A4 &= Z4 \cdot 35.5 \% \\ A5 &= Z5 \cdot 47.5 \% \end{aligned}$$

Con los datos de A calculados se procedió a calcular el porcentaje de densidad visual (% DV):

$$\% DV = \frac{\sum Z \cdot 0-5}{\sum A} (\# \text{ interceptos}) \times 100$$

- c) *Cuantificación del micelio extramático arbuscular (ME).* Para esto se empleó una metodología consistente en colocar las fracciones finas de tamizados bajo cubreobjetos de 22 x 22 mm, dispersando en glicerol muestras de aproximadamente 0.04 g. En las mues-

tras así preparadas (dos por cada tamizado) se cuentan todas las intersecciones del ME con dos líneas imaginarias verticales y dos horizontales que pasan a ambos lados del centro. Para las mediciones se utilizan microscopios compuestos con aumentos de 100 a 200 x. Las líneas de medición son revisadas en profundidad y en longitud barriendo así la capa de material existente bajo el cubreobjetos. Se cuentan como intersecciones las hifas que intercepten el centro del campo del microscopio. La media de las intersecciones presentes en las cuatro líneas multiplicadas por el factor 0.000745 permite estimar el peso del ME en mg presente en la muestra. La extrapolación del peso promedio de dos muestras al peso total de cada tamizado permite finalmente conocer la micomasa de micelio asociado a una réplica de campo y se expresa en $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (17).

- d) *Identificación de géneros y/o especies de los hongos micorrizógenos nativos en diferentes sitios.* La identificación de géneros y/o especies de los hongos micorrizógenos nativos se realizó empleando las descripciones originales de distintas especies de Glomales, el manual de la colección internacional de micorrizas vesículo-arbusculares (18) y la colección fotográfica del departamento de Biofertilizantes del Instituto de Ecología y Sistemática (IES) de esporas de hongos Glomales.

Análisis estadístico

Con los datos correspondientes a las variables: cantidad de esporas, porcentaje de colonización, densidad visual y micelio extramático arbuscular, se utilizó el análisis de varianza con arreglo bifactorial (3 X 2) por cada localidad y época de muestreo, siendo los factores la distancia X la profundidad. También se aplicó un análisis de componentes principales para conocer la dispersión espacial de los tratamientos y variables de mayor contribución a la diferenciación entre ellos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla IV se pueden apreciar algunas características químicas de los suelos en las plantaciones de cafetos seleccionadas en este estudio. Existieron marcadas diferencias entre los tipos de suelo, no así entre las profundidades estudiadas por tipo de plantación. En el caso de Pinares de Mayarí, el suelo es ligeramente ácido, con elevados tenores de materia orgánica y bajos valores de P y K asimilables, al contrario de la plantación de Jibacoa, un suelo ácido, con bajos niveles de materia orgánica y elevados tenores de P y K intercambiables.

Tabla IV. Características agroquímicas de los suelos cafetaleros seleccionados en este trabajo

Localidades	Profundidad (cm)	pH H ₂ O	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg.100 g)	K ₂ O (mg.100 g)
Pinares	0.00-0.20	6.40	5.70	3.09	3.36
de Mayarí	0.20-0.40	6.30	4.26	3.00	3.77
Jibacoa	0.00-0.20	5.00	1.81	30.59	8.95
	0.20-0.40	4.90	0.99	14.17	9.89

Plantación Pinares de Mayarí. Después de haber realizado los análisis de varianza con arreglo bifactorial (3x2), formando un total de seis tratamientos correspondientes a distancia x profundidad, se encontraron en las dos localidades y en los dos momentos fisiológicos (inicio de fructificación y poscosecha), interacciones significativas y no significativas en las características fúngicas evaluadas, como puede observarse a continuación (Tablas V y VI).

Tabla V. Sitio Pinares de Mayarí. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del café en la época de inicio de la fructificación

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)	ME (mg/50 g)	Número esporas
1. 30 X 0-20	29.67	3.04	0.73	15 b
2. 30 X 20-40	16.17	1.75	1.00	10 c
3. 60 X 0-20	28.67	3.23	1.01	20 ^a
4. 60 X 20-40	12.83	3.31	0.56	5 d
5. 90 X 0-20	33.33	3.15	0.93	9 cd
6. 90 X 20-40	9.67	2.82	0.71	4 d
Es x	2.70 ns	0.43 ns	0.15 ns	1.43***
Factor distancia del tallo				
30	22.91	2.40	0.87	
60	20.75	3.27	0.79	
90	21.50	2.96	0.83	
Es x	1.91 ns	0.31 ns	0.11 ns	
Factor profundidad				
0-20	30.55 a	3.14	0.89	
20-40	12.89 b	2.63	0.76	
Es x	1.56***	0.23 ns	0.08 ns	

Medias con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente para $p < 0.001$

Tabla VI. Sitio Pinares de Mayarí. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del café en la época de pos-cosecha

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)	ME mg/50 g s	Número espóra
7. 30 X 0-20	32.00	2.37	0.54	18
8. 30 X 20-30	29.00	2.37	0.45	15
9. 60 X 0-20	32.16	2.54	0.66	23
10. 60 X 20-40	29.66	2.46	0.57	17
11. 90 X 0-20	31.33	3.18	0.52	21
12. 90 X 20-40	33.16	2.59	0.56	16
Es x	2.06 ns	0.30 ns	0.07 ns	2.16 ns
Factor distancia				
30	30.50	2.37	0.49	17
60	30.91	2.53	0.61	20
90	32.25	2.88	0.54	19
Es x	1.45 ns	0.20 ns	0.05 ns	1.53 ns
Factor profundidad				
0-20	31.83	2.70	0.58	21 ^a
20-40	30.61	2.49	0.53	16 ^b
Es x	1.18 ns	0.17 ns	0.04 ns	1.25***

Medias con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente para $p < 0.001$.

En la etapa fisiológica de inicio de la fructificación, se encontró solo interacción significativa de la variable número de esporas (Tabla V), indicando además una sensible disminución de este propágulo con la profundidad

del sistema radical. En el resto de las variables se observó, de forma general, una tendencia a la disminución con la profundidad; no obstante, en el caso del porcentaje de colonización, sí se apreciaron diferencias significativas a medida que esta aumentaba.

El factor distancia del tallo, no presentó un efecto significativo sobre ninguna de las variables fúngicas estudiadas, indicando una distribución homogénea de los propágulos a lo ancho del sistema radical.

En la etapa de poscosecha (Tabla VI), solo se encontró efecto significativo en el factor profundidad sobre el número de esporas. En relación con el factor distancia, este tampoco mostró efectos sobre las variables estimadoras del funcionamiento fúngico.

Si bien la información existente sobre el funcionamiento micorrízico del café se circunscribe fundamentalmente a posturas, se puede considerar un punto de partida para el análisis de esta información a partir de que es la misma especie vegetal y los indicadores deben ser similares (7, 11, 19, 20, 21).

En este sentido, los valores obtenidos en la densidad visual y el porcentaje de colonización fueron bajos, lo cual pudiera reflejar una baja efectividad micorrízica, propia de las micorrizas nativas, que de forma general no garantizan una simbiosis eficiente. Los valores de esporas fueron también bastante bajos y están en correspondencia con los de densidad visual y porcentaje de colonización, resultando inclusive menores a los encontrados en suelos dedicados a la producción de posturas de café (7, 11).

En este trabajo, era necesario evaluar si la etapa fisiológica del cultivo conllevaba a cambios en el funcionamiento micorrízico. En el caso de cultivos temporales, no hay dudas que el funcionamiento micorrízico es dependiente del ciclo del cultivo, con una etapa inicial en que comienza la colonización y surgen las estructuras fúngicas, una zona de incremento de la micorrización, que da lugar posteriormente a una zona de estabilización del funcionamiento, donde se informan los mayores beneficios para ambos simbioses y se alcanzan los mayores valores de densidad visual, porcentaje de colonización, micelio extramático y una zona de disminución, y finalmente la desaparición de la simbiosis asociada con la senectud de la planta y, por ende, de las posibilidades de la planta de garantizar los productos de su metabolismo necesarios para el crecimiento de las estructuras fúngicas y la no necesidad de las plantas de nutrientes en este periodo final, que conlleva a un incremento notable de la esporulación, como mecanismo de supervivencia (9).

En el caso de los cultivos perennes, se debiera esperar una alternancia en su funcionamiento en función de dos momentos fisiológicos contrastantes, como es el inicio de la fructificación, donde el área foliar es alta y por lo tanto también la actividad metabólica, así como la producción de fotosintatos y su traslado al sistema radical, y la etapa de poscosecha, donde es mínima la producción de área foliar y la actividad radical se ha reducido fuertemente en función de la magnitud de la cosecha, debido a la priorización que hace la planta en función de

la formación de la cosecha a expensas de disminuciones del crecimiento radical en primera instancia e inclusive vegetativo (22).

Precisamente el análisis multivariado realizado (Tabla VII y Figura 2) persigue encontrar la influencia de las etapas fisiológicas sobre el funcionamiento micorrízico. En la Tabla VII se muestra la formación de los dos componentes que explican entre ambas el 71.16 % de la variación total.

Tabla VII. Contribución a la distribución espacial-temporal y correlaciones entre las variables y los componentes principales en Pinares de Mayarí

Componentes principales	CI	CII
Contribución a la variación total (%)	38.02	33.14
Porcentaje acumulado	38.02	71.16
Variables		
Cantidad de esporas	0.48	-0.44
ME (g /100 g de suelo)	-0.42	0.70
% Densidad visual	0.51	0.79
% Colonización	0.92	0.10

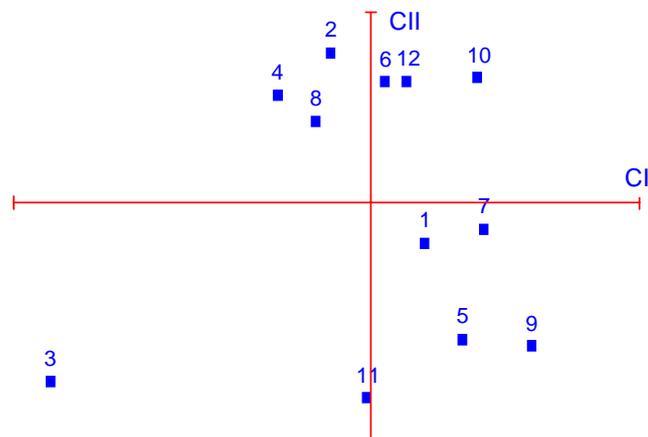


Figura 2. Distribución espacial-temporal de los tratamientos en Pinares de Mayarí

La primera componente estuvo caracterizada por el porcentaje de colonización y la segunda por ME y el porcentaje de densidad visual, resultando esta última más importante para el análisis de los tratamientos, que se verán en la Figura 2, donde se presenta la distribución espacial temporal de los tratamientos estudiados y se puede observar la formación de dos grupos pero en función de la componente dos (CII). El primer grupo ubicado en la parte positiva correspondiente al momento de poscosecha, alcanzó menores valores de ME y porcentaje de densidad visual, ocurriendo lo contrario en el grupo dos al momento de inicio de fructificación, coincidiendo estos resultados con los obtenidos en la Tabla V.

La primera componente está asociada fuertemente con el porcentaje de colonización, mientras que la segunda con el MEA y la densidad visual, ambos estimadores del funcionamiento micorrízico (7, 11, 17).

Tratamientos que se evalúan en el análisis multivariado:

Etapa de fructificación (cm)	Etapa poscosecha (cm)
1. 30 0-20	2. 30 0-20
3. 30 20-40	4. 30 20-40
5. 60 0-20	6. 60 0-20
7. 60 20-40	8. 60 20-40
9. 90 0-20	10. 90 0-20
11. 90 20-40	12. 90 20-40

En la componente II también se encontró una relación inversa entre las variables que definen el funcionamiento fúngico (densidad visual, porcentaje de colonización, micelio extramático) y el número de esporas, indicando que cuando estas aumentan, disminuye el resto de los indicadores micorrízicos y viceversa (4).

Este fenómeno pone de manifiesto el efecto de la etapa fisiológica del cafeto sobre el funcionamiento simbiótico, de forma tal que en la poscosecha hay una disminución del metabolismo de la planta y del flujo de fotosintatos hacia las raíces y, por lo tanto, una disminución en las estructuras fúngicas inherentes al intercambio, por lo que se incrementa la esporulación como mecanismo de supervivencia.

En la Tabla V se pudo apreciar la interacción altamente significativa de la distancia x profundidad en la cantidad de esporas en el momento de inicio de fructificación, formándose cuatro grupos diferentes, con probabilidad de 5 %: el primero, formado por el tratamiento (5) 60 x 0-20 cm con el valor mayor, el segundo por (1) 30 x 0-20, el tercero (3) 30 x 20-40, (9) 90 x 0-20 y el cuarto (7) 60 x 20-40, (11) 90 x 20-40 cm.

Cuando se evaluó el comportamiento de las variables ME, porcentajes de densidad visual y colonización en los dos momentos fisiológicos, pudimos constatar la ausencia de diferencias significativas entre las distancias, similar al comportamiento en el momento poscosecha de la variable número de esporas en cualquiera de las distancias estudiadas.

Por otra parte, se observó que las concentraciones de ME y el porcentaje de densidad visual en ambos momentos fueron similares en las dos profundidades; sin embargo, en la etapa de inicio de fructificación el porcentaje de colonización evidenció una diferencia significativa entre las distancias, alcanzando un mayor valor en la profundidad 0-20 cm. Algo similar ocurrió con la cantidad de esporas en el momento de poscosecha, comportándose mejor en la profundidad 0-20 cm. De forma general, se pudo notar una tendencia a la disminución de los propágulos a medida que aumentaba la profundidad, no obstante la falta de significación que se presentó en algunas de las variables analizadas.

Plantación Jibacoa. En la etapa de inicio de la fructificación (Tabla VIII) se encontró un efecto negativo de la profundidad, pero solo significativo sobre la cantidad de esporas y una tendencia a la disminución del ME. En relación con la distancia, esta presentó un efecto significativo sobre el ME de la siguiente forma 30 cm > 60-90 cm y

asimismo se presentó una tendencia a la disminución del número de esporas. El porcentaje de colonización por su parte mostró una interacción significativa de ambos factores, mostrando mayores valores en las distancias 30 y 60 cm que en la de 90 cm.

Tabla VIII. Sitio Jibacoa. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del café en la época de inicio de la fructificación

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)	ME (g/100 g)	Número esporas
30 X 0-20	27.33 b	4.61 b	2.51	16
30 X 20-30	20.17 c	6.45 a	2.00	7
60 X 0-20	26.83 b	2.69 d	1.08	10
60 X 20-40	35.00 a	2.20 d	1.37	10
90 X 0-20	15.50 d	2.65 d	1.56	9
90 X 20-40	16.67 d	3.72 c	0.88	6
Es x	1.11***	0.17***	0.29 ns	2.17 ns
Factor distancia				
30			2.25 a	11
60			1.22 b	10
90			1.22 b	7
Es x			0.21***	1.54 ns
Factor profundidad				
0-20			1.72	12 a
20-40			1.42	8 b
Es x			0.16 ns	1.26***

En la etapa de poscosecha (Tabla IX) se mantuvo el efecto depresivo y significativo de la profundidad sobre el número de esporas, encontrándose asimismo una interacción significativa y con una ligera tendencia en el porcentaje de colonización, presentándose los menores porcentajes de colonización en la mayor profundidad.

Tabla IX. Sitio Jibacoa. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del café en la época de poscosecha

Tratamientos	Colonización (%)	Densidad visual (%)	ME (g/100 g)	Número esporas
30 X 0-20	37.00 a	4.66 a	1.62	22
30 X 20-30	27.67 b	3.21 b	1.83	21
60 X 0-20	38.50 a	2.78 b	0.66	19
60 X 20-40	38.83 a	5.21 a	0.95	15
90 X 0-20	25.67 b	2.61 b	0.81	35
90 X 20-40	21.00 c	2.72 b	0.41	17
Es x	1.12***	0.24***	0.16 ns	3.83 ns
Factor distancia				
30			1.72 a	22
60			0.81b	17
90			0.62b	26
Es x			0.11***	2.71ns
Factor profundidad				
0-20			1.03	25 a
20-40			1.06	18 b
Esx			0.09 ns	2.21***

Medias con letras comunes en la misma columna no difieren significativamente para $p < 0.001$

Los valores encontrados para las diferentes variables fúngicas fueron bajos e indicativos de una baja eficiencia micorrízica.

Las cantidades de esporas obtenidas fueron bajas y están en correspondencia con los bajos valores del funcionamiento micorrízico encontrados (porcentaje de colonización, densidad visual y ME).

En cuanto al análisis de los componentes principales (Tabla X), se encontró que dos de las componentes principales explicaron el 73,9 % de la variación total, siendo caracterizado a la CI negativamente por la cantidad de esporas y de forma positiva por el ME y el porcentaje de densidad visual, mientras que la componente II está altamente relacionada con el porcentaje de colonización.

Tabla X. Contribución a distribución espacial-temporal y correlaciones entre las variables y componentes principales en Jibacoa

Componentes principales	CI	CII
Contribución a la variación total (%)	41.66	32.28
Porcentaje acumulado	41.66	73.94
Variables		
Cantidad de esporas	-0.62	0.56
Meva	0.72	0.39
% Densidad visual	0.75	0.45
% Colonización	-0.37	0.78

En la Figura 3 se puede observar que los tratamientos que se ubicaron a la derecha de los componentes estuvieron caracterizados por las variables ME, porcentajes de colonización y densidad visual, mientras que los ubicados en la parte derecha presentaron valores superiores en la cantidad de esporas. En estas condiciones, la distribución espacial permitió clasificar los tratamientos en cuatro grupos. El primero de ellos formado por los tratamientos 1-3, el segundo por 2-8, el tercero por 4-5-7-9-11 y por último el grupo conformado por los tratamientos 6, 10 y 12.

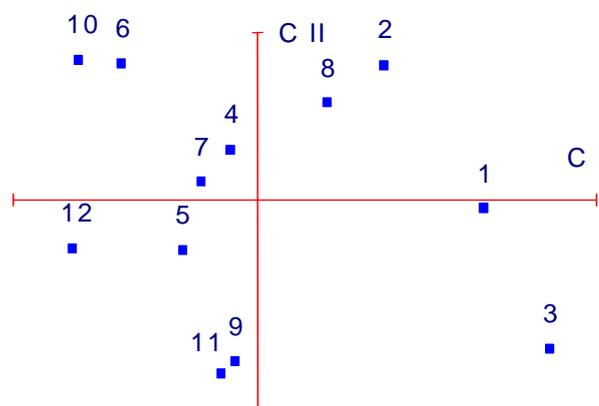


Figura 3. Distribución espacial-temporal de los tratamientos en Jibacoa

El primer grupo presentó mayores valores de ME y porcentaje de densidad visual, y el grupo cuatro lo fue en la cantidad de esporas; el resto de los grupos presentaron valores intermedios en dichas variables.

Es de señalar que los propios signos diferentes de las variables esporas por un lado y porcentaje de densidad visual y ME por el otro en el componente CI, fueron indicativos de la influencia de la etapa fisiológica sobre el funcionamiento micorrízico, corroborándose también en este sitio que en la etapa de inicio de fructificación se favorecieron los mayores valores de ME y densidad visual, indicando una mayor actividad micorrízica, mien-

tras que en poscosecha se incrementaron las esporas y disminuyeron los anteriores e indicando que en la etapa de baja actividad metabólica (poscosecha) disminuye el funcionamiento micorrízico y, por ende, aumenta la producción de esporas como mecanismo de supervivencia del hongo.

Caracterización de las especies aisladas en las plantaciones de Pinares de Mayarí y Jibacoa. En la Tabla XI se pueden observar todos los datos sobre dicha caracterización.

CONSIDERACIONES GENERALES

La información anterior mostró algunos aspectos generales como los siguientes:

- ★ Bajos valores en general de las variables que caracterizan el funcionamiento fúngico, tales como porcentajes de densidad visual y colonización y micelio extramático (ME), asociados a una micorrización nativa poco eficiente o efectiva de acuerdo con la información obtenida para posturas de cafeto, así como bajos contenidos de esporas.
- ★ Un marcado efecto de las etapas fisiológicas de inicio de fructificación, caracterizada por un alto metabolismo en la planta y poscosecha, caracterizada por un bajo metabolismo en la planta, sobre el funcionamiento micorrízico y la cantidad de esporas, de forma tal

que al inicio de la fructificación las variables porcentajes de colonización y densidad visual y ME presentan valores superiores en su actividad, mientras las acompañan valores menores de esporas, las cuales aumentan en poscosecha y disminuyen las variables primeramente mencionadas.

- ★ En la etapa de inicio de fructificación el fenómeno es inverso, ya que la planta se encuentra en una etapa de alta actividad metabólica. Lo anterior condiciona un comportamiento cíclico de la simbiosis y es un elemento importante a tener en cuenta en el manejo de estas y en el desarrollo de vías para micorrizar eficientemente las plantaciones.
- ★ En las plantaciones de cafeto estudiadas, se observó la presencia de esporas del orden Glomales y Diversisporales, pudiéndose apreciar tres familias: Glomaceae, Acaulosporaceae y Gigasporinaceae. Los géneros con mayor pertinencia fueron: *Acaulospora* y *Glomus*, alcanzando frecuencias de aparición promedio de 52.06 y 38.80 %, respectivamente.
- ★ Debe señalarse que en la localidad de Pinares de Mayarí, se encontró una mayor diversidad de géneros y especies en relación con la de Jibacoa (Tabla XI y Figuras 4 y 5). Similares resultados han sido encontrados, caracterizando las micorrizas arbusculares en tres cafetales en zonas similares a la de este estudio (5).

Tabla XI. Identificación de los diferentes géneros y/o especies y sus características principales correspondientes a los sitios estudiados

	Características morfológicas de las esporas
Pinares de Mayarí	
<i>Scutellospora</i> sp ₁ (similar a cerradadensis)	Blancas opacas, de 216-450 µm, suspensor de 32-50 µm, pardo claro y escudo de germinación de 79- 108 µm de diámetro
<i>Acaulospora</i> sp ₁ (parda verrugosa)	Pardas de 162 µm con la pared secundaria cubierta regularmente de pequeñas verrugas, contienen gotas de lípidos hialinas de tamaño irregular
<i>Glomus</i> sp ₁ (pardo pequeño Mayarí)	Pardas rojizas, globosas a subglobosas de 90-101 µm de diámetro
<i>Glomus</i> sp ₂ (pardo ovoide)	Pardo rojizas, ovoides de (108-137)x (64-75) µm de diámetro. Su contenido está cerrado por un septo formado por la pared laminada
<i>Acaulospora</i> sp ₂ (parda ancha)	Pardo claras, globosas de 87µm de diámetro con una pared muy gruesa 18 µm, restos de MO adherida a la superficie de la espóra
<i>Glomus</i> sp ₃ (amarillo sucio)	Amarillo parduscas, globosas de 86-105 µm de diámetro, abundante MO sobre la superficie de la espóra
<i>Acaulospora</i> sp ₃ (amarilla elástica)	Amarillo claras, globosas de 122-144 µm de diámetro, paredes elásticas. Muestra superficie estriadas
<i>Entrophospora</i> sp ₁ (blanca sucia)	Blancas, globosas de apariencia sucia por la gran cantidad de MO en su superficie de 76 µm de diámetro. Hifa de unión con el sáculo esporífero de 8 µm de diámetro
Jibacoa	
<i>Glomus</i> sp ₄ (<i>tortuosum</i> -like)	Pardo rojizas, globosas, de 180 µm, cubierta por un manto hifal, con hifas de 5-9 µm de diámetro, altamente sinuosas
<i>Acaulospora</i> sp ₄ (hialina enana)	Hialinas, globosas de 54 µm, grosor total de la pared 4 µm de diámetro de color blanco su contenido
<i>Acaulospora</i> sp ₅ (amarilla)	Globosas amarillo parduscas, 115 µm de diámetro, pared externa que se arruga fácilmente creando la impresión de estrias en su superficie
<i>Acaulospora</i> sp ₆ (rara flexible)	Hialinas de apariencia mucilaginoso de 90-97 µm de diámetro, sus paredes son flexibles



Figura 4. Esporas encontradas en Pinares de Mayarí 1 y 2
1 *Glomus* "pardo pequeño", **3** *Entrophospora*
"blanca sucia", **4** posible *Acaulospora rara*
"flexible", **5** *Glomus* "pardo ovoide", **6** detalle
de los componentes de pared de *Scutellospora* sp.
Mayarí similar a *Scutellospora Cerradensis*, **7**
Acaulospora "parda verrugosa" **8** *Acaulospora*
"amarilla elástica"

REFERENCIAS

1. Read, D. J. y Perez-Moreno, J. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems-a journey towards relevance?. *New Phytologist*, 2003, vol. 157, p. 475-492.
2. Smith, S. E. y Read, D. J. Mycorrhizal symbiosis. San Diego : Academic Press. 1997.
3. Frías, J. T.; Olalde, V. y Ferrera-Cerrato, R. Avances en el conocimiento de la biología de las micorrizas. Universidad de Guanajuato. 2004, 302 p.
4. Herrera, R. A. /et al./ Funcionamiento de las micorrizas vesículo-arbusculares en bosques tropicales En: Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No 1. 1971-1987. ROSTLAC, UNESCO. Capítulo 19-21-29, 447- 670, 1988.
5. Furrázola, E. /et al./ Algunas especies de la familia *Endogonaceae* asociadas a eco y agroecosistemas de montañas. En: Resúmenes del Congreso Latinoamericano de Botánica (5:1990:La Habana). 1990, p. 5.
6. Caliente, R.; Cano, C.; Ferrol, N.; Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. M. Analyzing natural diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in olive tree (*Olea europaea* L.) plantations and assessment of the effectiveness of native fungal isolates as inoculants for commercial cultivars of olive plantlets. *Applied Soil Ecology*, 2004, vol. 26, p. 11-19.
7. Sánchez, C. Uso y manejo de los HMA y los abonos verdes en la producción de posturas de café [Tesis de grado]; Estación de Café Jibacoa, 2001, 103 p.
8. Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en raíces y tubérculos en dos tipos de suelos. [Tesis de grado]; INIVIT, 2001, 100 p.
9. Rivera, R. y Fernández, K. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso el Caribe. La Habana:MINREX, 2003. p. 166.

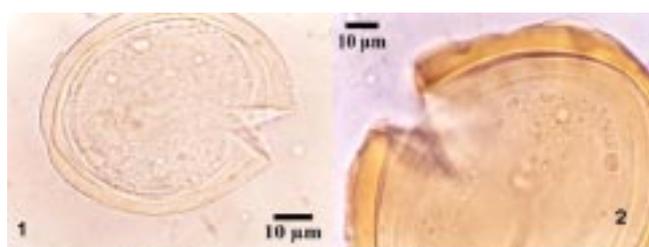


Figura 5. Especies de HMA encontradas en Jibacoa.
1 *Acaulospora* "hialina enana", **2.** *Acaulospora*
"amarilla"

10. Fernández, F.; Rivera, R.; Hernández, A.; Herrera, R. A. y Fernández, K. Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y diferentes relaciones suelo: humus de lombriz sobre el crecimiento del café (*Coffea arabica*. L) var. Catuaí bajo la etapa de vivero en Cuba. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 2005.
11. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares (MA) sobre la producción de posturas de café (*C. arabica* L.) en algunos tipos de suelos. [Tesis de Doctorado]; INCA, 1999. 118 p.
12. Koide, R. T. y Mosse, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 2004, vol. 14, p. 145-163.
13. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Agrinfor, 1999. 64 p.
14. Rivera, R. /et al./ Sistemas de fertilización, abonamiento y enmiendas para el café con altas densidades de plantación. Informe final de etapa. Resultado 003-04-86. La Habana, INCA, p. 68, 1992.
15. Paneque, V. /et al./ Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos, 2001.
16. Gerdemann, J. W. y Nicolson, T. H. Spore of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans Br. Mycol. Soc.*, 1963, vol. 46, p. 235-244.
17. Herrera, R. A.; Furrázola, E., Ferrer, R. L.; Fernández, R. y Torres, Y.. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 2004, vol. 35, no. 2.
18. INVAM. International culture collection of arbuscular and vesicular mycorrhizal fungi. Species descriptions from reference culture, names and authorities of fungi in Glomales. Disponible en: <http://invam.caf.wvu.edu>, 2005.
19. Hodge, A. Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. *New Phytologist*, 2003, vol. 157, p. 303-314.
20. Vaast, P. y Zasoski, R. J. Effect of nitrogen sources and mycorrhizal inoculation with different species on growth and nutrient composition of young Arabica seedlings. *Café Cacao Thé*, 1991, vol. 35, no. 2, p. 121-128.
21. Saggin-Junior, A. /et al./ A Infestacao do solo com fungos micorrizicos no crescimento pos-transplante de mudas de cafeeiro nao micorrizadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 1992, vol. 16, no. 1, p. 39-46.
22. Rivera, R. Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado (¹⁵N) para el café en un suelo Ferralítico Rojo compactado. [Tesis de grado]; INCA, 1988. 110 p.

Recibido: 5 de noviembre de 2004

Aceptado: 24 de agosto de 2005