

UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA
"Fructuoso Rodríguez Pérez"

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

*Características de la micorrización "nativa" en plantaciones
de cafeto en diferentes condiciones edafoclimáticas*

*Tesis presentada en opción al título académico de Maestro en Ciencias de la nutrición
de las plantas y los biofertilizantes*

Autor: Ing. Eugenio Montilla
Tutor: Dr. C. Ramón Rivera Espinosa
Dr. C. Félix Fernández Martín

La Habana, 2001

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar la micorrización nativa en plantaciones de café, se procedió a estudiar el efecto de la distancia al tallo y la profundidad en que se encuentran las raíces, así como de las etapas fisiológicas de inicio de la fructificación y postcosecha sobre el funcionamiento micorrízico, utilizando para esto plantaciones situadas en cuatro condiciones edafoclimáticas diferentes, a saber sobre suelos Ferríticos, Ferralíticos Rojo Lixiviados de montaña, Ferralíticos Pardo Rojizos y Ferralíticos Rojos los cuales comprenden un amplio espectro de fertilidad de suelos, asimismo se procedió a realizar aislamientos e identificación de los géneros más comunes en estos ambientes. En cada momento de muestreo se seleccionaron seis plantas representativas de la plantación y se tomaron muestras de suelo en las distancias al tallo de 30, 60 y 90 cm. a las profundidades de 0-20 y 20 – 40 cm, evaluándose diferentes variables que evalúan este como: densidad visual, micelio extramático (Meva), porcentaje de colonización y la cantidad de esporas, así como análisis de fertilidad de los suelos. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación simple con arreglo factorial, así como análisis multivariado de componentes principales. Se encontraron bajos valores de las diferentes variables fúngicas estudiadas, indicando una baja actividad micorrízica nativa en cualesquiera de las condiciones edafoclimáticas y no pareciendo estar asociado con el tipo de suelo. Se encontró un efecto importante de las etapas fisiológicas, inicio de la fructificación y post-cosecha, sobre el funcionamiento micorrízico, expresado en disminución de los indicadores de la efectividad de la simbiosis e incremento de la esporulación en post-cosecha y lo contrario en inicio de la fructificación, indicando un comportamiento cíclico de la simbiosis en función de la actividad metabólica del café, encontrándose además una tendencia a disminuir las variables fúngicas estudiadas con la profundidad. Se lograron identificar cuatro géneros en diferentes sitios, siendo *Acaulospora* y *Glomus* los géneros con mayor frecuencia de aparición. Se clasificaron hasta nivel de especies *Sclerocystis sinuosa* en Tope de Collantes y *Acaulospora scrobiculata* en San José de las Lajas.

I. INTRODUCCION

La imperante necesidad de buscar vías que mejoren la eficiencia de utilización de los fertilizantes minerales y el auge adquirido en la implantación de tecnologías cada vez más respetuosa del ecosistema y los recursos naturales, han dado nueva vida e impulso notable a la idea del uso de las asociaciones simbióticas.

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, no solo con un criterio conservacionista y de protección del medio, sino además 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 (Siqueira y Franco, 1988; Patriquin y Moncayo, 1991; Johana Döbereiner *et al.*, 1995).

Uno de los microorganismos más estudiados han sido los hongos micorizógenos arbusculares, los cuales forman asociaciones micorrízicas, a partir de la unión de éstos con las raíces de las plantas. Las mismas están consideradas según Herrera *et al.* (1988) y Barea *et al.* (1991), simbiontes universales, debido a que están presentes de manera natural, aproximadamente en el 85 % de las especies vegetales con interés agronómico.

Varios autores han hecho énfasis en su importancia, beneficios y ventajas (Ferrer y Herrera, 1991; CIAT, 1991; Thomas *et al.*, 1994; MES, 1995; Martínez Viera y Hernández, 1995; Fernández *et al.*, 1997; INCA, 1998, Fernández 1999, Sánchez 2001 y Ruiz 2001). Por otra parte, se han realizado investigaciones que se han referido al aislamiento y clasificación de las especies y cepas (Tester *et al.*, 1987; Ferrer y Herrera, 1991; Sieverding, 1991; Furrázola *et al.*, 1990; Alarcón *et al.*, 1994).

El café, representa un ingreso de divisas elevadas para más de 50 países (Alvarez, 1991) y en el caso de Latinoamérica, un total de 17 de ellos lo cultivan (FAO, 2000) siendo un cultivo que de forma natural desarrolla la simbiosis con los hongos micorizógenos arbusculares, necesitando de éstos para su establecimiento, por lo que es considerado según Sieverding (1991),

un cultivo micótrofo obligatorio o lo que es lo mismo, de alta dependencia micorrízica (Siqueira y Franco, 1988).

Los resultados obtenidos hasta el momento han demostrado la eficiencia del uso de las asociaciones micorrízicas en el cafeto, aunque de forma general circunscrito a la producción de posturas de cafeto, ejemplificado por los trabajos desarrollados tanto en Cuba por Fernández (1999) y Sánchez (2001) como en Brasil por Saggin – Junior (1992) y con muy poca información publicada sobre efectividad y funcionamiento micorrízico en cafetales establecidos (Lopes, 1983).

Basándose en la literatura consultada, no se han realizado ni en Cuba ni en Venezuela, ni en otros países de Latinoamérica investigaciones que permitan establecer tecnologías de manejo de las asociaciones micorrízicas bajo condiciones de plantaciones establecidas, sin embargo su puesta en marcha necesita conocer previamente el comportamiento de las micorrización nativa en dichas condiciones , ya que según Dodd y Thompson (1994), el éxito de la inoculación micorrízica está relacionado no sólo con la efectividad y eficiencia de las cepas a aplicar, sino además con la cantidad y tipo de propágulos nativos.

En el área de las plantaciones establecidas de cafeto existen muy diversas interrogantes entre las cuales se pueden enumerar:

- Aislamiento e identificación de cepas nativas.
- Criterios de selección de cepas eficientes.
- El efecto del nuevo ambiente edáfico sobre la eficiencia simbiótica en plantaciones provenientes o no de posturas micorrizadas.
- Influencia de la ubicación del sistema radical sobre el funcionamiento micorrízico.
- Efecto de la fisiología del cultivo sobre el funcionamiento de la simbiosis.
- Vías de inoculación micorrízica.

Precisamente el presente trabajo se enmarca en varios de los aspectos planteados, como un trabajo inicial en esta temática con la siguiente hipótesis.

“La influencia de la ubicación de las raíces sobre el funcionamiento fúngico y la dependencia de este con las etapas fisiológicas de inicio de la fructificación y post-cosecha, son elementos importantes para la caracterización de la micorrización nativa y su funcionamiento en las plantaciones de cafeto”.

Los objetivos del trabajo fueron los siguientes:

1. Caracterizar la influencia de la ubicación de las raíces sobre el funcionamiento de la micorrización nativa en plantaciones situadas en 4 condiciones edafo-climáticas diferentes.
2. Evaluar el efecto del inicio de la fructificación y la etapa post-cosecha sobre el funcionamiento micorrízico.
3. Aislamiento e identificación de géneros de hongos micorrizógenos arbusculares predominantes en estas localidades.

Novedad Científica:

Por primera vez en el país se realiza un trabajo sobre caracterización del funcionamiento micorrízico nativo en diferentes condiciones edafo-climáticas, en función de evaluar la influencia de la ubicación de las raíces y de las etapas fisiológicas de inicio de la fructificación y post-cosecha sobre este funcionamiento.

Se realizaron además aislamientos en diferentes condiciones edafo-climáticas que aportan un material valioso para futuros trabajos de selección de cepas de HMA eficientes y que contienen algunos ya realizados pero en otras condiciones edáficas.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II. 1. Aspectos generales sobre las micorrizas

II. 1.1. Concepto

El funcionamiento de un ecosistema terrestre depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo. No sólo los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes son propulsados por microorganismos, sino que, además, los componentes de la microbiota del suelo protagonizan diversas acciones que producen beneficios para las plantas con las que se asocian. Entre otras acciones, los microorganismos facilitan la captación de nutrientes, producen fitohormonas que favorecen el enraizamiento, protegen a la planta contra patógenos, incrementan la resistencia/tolerancia de la planta a la sequía o salinidad, descomponen sustancias tóxicas en el ecosistema y mejoran la estructura del suelo.

Se acepta que en los sistemas suelo-planta existen tres grupos principales de microorganismos beneficiosos, que son claves en el contexto de la sostenibilidad de los mismos: Los hongos formadores de micorrizas, las especies de rizobiáceas y las rizobacterias promotoras del crecimiento (Barea, 2001)

Se conoce con el nombre de micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas (tanto cultivadas como silvestres) y ciertos hongos del suelo. Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales

Las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas y se conoce su existencia desde hace más de cien años; estimándose que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (Hernández, 2001). Etimológicamente, la palabra se ha formado del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “Rhiza” (raíz).

De acuerdo con Plenchette (1982), citado por Fernández (1999), el vocablo Micorriza fue utilizado por vez primera por el botánico de origen alemán Albert Bernard Frank en 1885 para designar “ la asociación de hifas a los órganos

subterráneos de las plantas superiores”. Al ser un fenómeno tan extendido el término «micorrizas» se ha convertido al nivel de usuarios en el nombre con el que se designan a los hongos implicados en su formación, aunque tal denominación no sea muy correcta, esas mismas rutinas coloquiales han llevado a acuñar términos como «micorrizar»: poner en contacto los hongos micorrízicos con plantas y «micorrización»: para indicar el establecimiento de la simbiosis.

Siqueira y Franco (1988); Lacasa (1990); Ferrer y Herrera (1991); Sieverding (1991), plantearon que la asociación era conocida desde 1835, pero se consideraban inicialmente organismos parásitos. Los estudios realizados por el científico alemán Frank fueron confirmados a través de técnicas de las ciencias modernas y constituyeron las bases de la micorrizología que se expandió por el mundo, representando hoy día una importante rama interdisciplinaria de las Ciencias Biológicas, con grandes posibilidades de explotación comercial, aumentando la producción de alimentos y reduciendo los costos y el impacto de los sistemas modernos de producción sobre el medio ambiente.

Al respecto Siqueira y Franco (1988), Fernández 1999, Sánchez 2001 y Ruiz (2001), plantearon que la definición más moderna del término micorrizas es: “Simbiosis endofítica, biotrófica y mutualista prevaleciente en la mayoría de las plantas vasculares nativas y cultivadas; caracterizadas por el contacto íntimo y la perfecta integración morfológica entre el hongo y la planta para la regulación de funciones y el intercambio de metabolitos, con beneficios mutuos.

Varios autores han hecho énfasis en su importancia, beneficios y ventajas (Ferrer y Herrera, 1991; CIAT, 1991; Thomas *et al.*, 1994; MES, 1995; Martínez Viera y Hernández, 1995; Fernández *et al.*, 1997; INCA, 1998). Por otra parte, se han realizado investigaciones que se han referido al aislamiento y clasificación de las especies y cepas (Tester *et al.*, 1987; Ferrer y Herrera, 1991; Sieverding, 1991; Furrázola *et al.*, 1990; Alarcón *et al.*, 1994).

II. 1. 2. Clasificación de las micorrizas

Con base a diferentes criterios tomados por diversos autores las micorrizas han sido clasificadas de la forma siguiente:

Según Peyronel *et al.* (1969), citados por Fernández (1999), con el objetivo de identificar a las micorrizas, tomando en consideración la distribución geográfica de los simbiontes presentes, su morfoanatomía y ultraestructura, las mismas se clasifican de la siguiente manera: Ectomicorrizas, Ectendomicorrizas y Endomicorrizas.

De acuerdo con Harley y Smith (1983), se admiten en general cinco tipos de micorrizas:

- Ectomicorrizas: Los hongos que las forman, Basidiomicetes y Ascomicetes, desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta. Se producen principalmente sobre especies forestales y leñosas.
- Endomicorrizas: Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical. Dentro de este grupo existen tres tipos característicos:
 - Orquideomicorrizas (asociadas a Orquidiáceas).
 - Ericomicorrizas (ligadas a la Familia Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectendomicorrizas).
 - Micorrizas arbusculares: Caracterizadas por formar arbusculos intracelulares y sin duda las de mayor difusión e importancia económica y ecológica.

Por su parte, Hemard *et al.* (2001), clasifica las micorrizas en dos grupos siguiendo criterios morfológicos y estructurales en: ectotróficas y endotróficas. Esta clasificación se refiere al lugar donde se encuentra el micelio del hongo en relación a las células radiculares de la corteza.

En la ectotróficas el micelio forma un manto de hifas que rodea la raíz. El desarrollo del hongo en el interior de la corteza es intercelular, dando un aspecto de red, llamada red de Hartig. En cambio, en las endotróficas el hongo no forma manto sobre las raíces, pero las hifas del hongo penetran en el interior de las células de la corteza. En el presente, la terminología convenida para esta clasificación corresponde a la de ectomicorrizas y endomicorrizas.

Las ectomicorrizas o micorrizas formadoras de manto, de acuerdo con Hemard *et al.* (2001), están asociadas con las raíces de muchas especies arbóreas en

las que ocasionan cambios morfológicos en la raíz al producirse la colonización.

Estas pueden incrementar su capacidad de absorción de fósforo (P) al explorar más suelo por medio de hifas que se extienden más allá de la zona radical. Esta acumulación de fósforo es posteriormente liberada al huésped en condiciones de deficiencia de este elemento. También se ha demostrado que este tipo de micorrizas produce fosfatasas extracelulares que pueden servir para reciclar P proveniente de restos vegetales. Son las más comunes en bosques de regiones templadas, especialmente se encuentran en Pinaceae, Betulaceae y Fagaceae.

Las ectomicorrizas se pueden visualizar macroscópicamente pues el hongo rodea a la raíz y forma una capa o manto fúngico. A partir de esta estructura, las hifas se introducen entre las células de la corteza, sin lograr penetrarla y forman de esta manera la “red de Harting” y el “manto” provocando cambios anatómicos evidentes que producen el crecimiento dicotómico, fragmentado de las raíces (Garrido, 1988 y Strullu, 1991).

En las endomicorrizas, el micelio se encuentra principalmente en forma intracelular a la corteza radical y se caracterizan por la penetración intercelular, pero sin formar mantos, ni modificaciones morfológicas evidentes en las raíces, cumplen estas condiciones los tipos de micorrizas: Ericoides, Orquidoides y las arbusculares (Ferrer y Herrera, 1988; citados por Sánchez, 2001). Los mismos autores plantean que las endomicorrizas son difícilmente apreciables a simple vista, y se propagan a través de las raíces, alcanzando el interior de las células corticales, pero sin franquear el endodermo.

Las endomicorrizas son difícilmente apreciables a simple vista. Éstas no forman capas fúngicas externas y se propagan a través de las raíces, alcanzando el interior de las células corticales, pero sin franquear el endodermo.

Las ectendomicorrizas presentan características de los dos tipos de simbiosis anteriores y son de distribución restringida (Sánchez, 2001). Según López y Barceló (2001), los hongos que las producen colonizan de forma dual las raíces: externamente formando el manto cortical e internamente penetrando intracelularmente en cortex.

En la actualidad según Hernández (2001), existen siete tipos de micorrizas que se han clasificado, siguiendo criterios estructurales, funcionales y taxonómicos, en: Ectomicorrizas, Endomicorrizas o Micorrizas Arbusculares (MA), Ectendomicorrizas, Arbutoides, Monotropoides, Ericoides y Orquidioides. En cuanto a las estructuras formadas, al tipo de colonización y a la cantidad de especies vegetales y fúngicas implicadas, se puede decir que las micorrizas arbusculares son las de mayor importancia y las que más ampliamente se encuentran distribuidas (tanto a nivel geográfico como dentro del Reino Vegetal).

Este tipo de micorriza se encuentra en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico (Sieverding, 1991) y está presente en la mayoría de las Angiospermas; siendo las familias *Chenopodiaceae* y *Cruciferae*, las excepciones de mayor importancia. La asociación simbiótica MA se forma en muchas especies perennes leñosas, incluyendo muchas Gimnospermas aparte de las Pináceas (Harley y Smith, 1983).

II. 1. 3. Principales géneros de hongos micorrizicos y plantas hospedantes

Algunos hongos formadores de ectomicorrizas pertenecen a Basidiomycetes (Boletaceae, Agaritaceae), Gasteromycetes, Ascomycetes, Phycomycetes, etc. Se encuentran en Pinaceae, Betulaceae y Fagaceae (Gerdeman, 1975).

Los hongos relacionados con las endomicorrizas son especies principalmente del género *Endogone*, aunque también se encuentran del género *Rhizophagus* y *Pythium*. Estos hongos se caracterizan porque producen, a lo largo de su ciclo de vida, unas estructuras conocidas como arbusculos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos). Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) se ubican actualmente en el orden *Glomales* de la clase *Zygomycetes*, Según Morton y Benny (1990); Walker (1992); INVAM (1999) se estiman alrededor de 171 especies. Las familias y géneros reconocidos hasta el momento son:

Familia: *Glomaceae*:

Géneros: *Glomus*: Son conocidos alrededor de 90 especies (INVAM, 1999).

- *Sclerocystis*: Se conocen en la actualidad 10 especies.

Familia: *Acaulosporaceae*:

Géneros: *Acaulospora*: Se conocen 32 especies. (Walker y Trappe, 1993).

- *Entrophospora*: En la actualidad hay reportadas 4 especies (INVAM, 1999).

Familia: *Gigasporaceae*:

Género: *Gigaspora*: Son conocidas 7 especies (Walker y Trappe, 1993).

- *Scutellospora*: Este género se segregó del anterior y presenta algunas características similares a este, se conocen unas 28 especies (INVAM, 1999).

II. 1. 4. Estructura y funcionamiento de las micorrizas arbusculares

En los hongos micorrizógenos arbusculares se da una situación poco frecuente, ya que no se desarrollan en medio de cultivo artificial. Su desarrollo tiene que ser en presencia de una planta hospedera, debido a la ausencia de síntesis propia nuclear del ácido desoxirribonucleico (ADN) (Burggraaf y Beringer, 1989; Calvet *et al.*, 1993 y Hendrix *et al.*, 1995).

La formación de estas micorrizas se inicia con la activación del micelio del hongo procedente, bien de la germinación de las esporas, o de fragmentos de raíces micorrizadas presentes en la mayoría de los suelos como restos de cultivos anteriores. El micelio activado coloniza los tejidos de la raíz y las células corticales de la misma formando estructuras intracelulares especializadas llamadas “arbusculos”, en los que tiene lugar el intercambio de nutrientes y metabolitos entre el hongo y la planta. La vida de éstos es corta, varía de 4-10 días (Cox y Tinker, 1976; citados por Jones, 1994).

El desarrollo de una micorriza arbuscular típica se produce de la siguiente manera: una hifa que recorre el suelo, procedente de una espora o de otro propágulo se pone en contacto con una raicilla y forma una estructura conocida como “apresorio” sobre las células epidérmicas de la región posterior a la meristemática que raras veces o nunca se coloniza. A partir de este cuerpo se produce una hifa que penetra en la epidermis de la raíz, colonizando paulatinamente la región cortical y pasando a las capas más internas de la corteza, sin llegar a atravesar la endodermis ni penetrar en el meristemo radical (Bonfante-Fassolo y Perotto, 1995).

Otra estructura que ocurre en los géneros de la familia *Glomaceae* son las vesículas (solo en el caso del género *Glomus*), formadas por el hinchamiento de una hifa, generalmente terminal, que contienen numerosas gotas de lípidos y son básicamente órganos de almacenamiento del hongo (Barea *et al.*, 1991; Calvet *et al.*, 1993). El micelio externo o extramático forma una red de micelios estratégicamente distribuidos en el suelo, en busca de nutrientes y agua logrando explorar sitios inasequibles para las raíces no micorrizadas.

La contribución del hongo a la optimización fisiológica de la planta, ejercida fundamentalmente mediante el aporte de nutrientes minerales y su incremento de la concentración y/o contenido de fósforo en el tejido vegetal, es la respuesta de las plantas que más frecuentemente se ha descrito y que universalmente se acepta como principal responsable del “efecto micorriza” (Paulitz y Linderman, 1991), aunque en los últimos años abundan los reportes de incrementos en la concentración de prácticamente todos los elementos esenciales. (Rivera *et al.*, 2001)

Las micorrizas producen otros efectos sobre la fisiología de las plantas que no siempre están relacionados con el aporte de nutrientes, aunque influyen marcadamente. Dentro de ellos se encuentra el mejoramiento de las relaciones hídricas, el incremento de la tasa fotosintética, la resistencia a la salinidad, los cambios en las relaciones hormonales y el incremento de la tolerancia a patógenos, (Gianinazzi-Pearson y Azcón-Aguilar, 1991).

El término simbiosis, representa un proceso sucesivo de intercambios de sustancias nutritivas, metabolitos esenciales, creación de nuevas estructuras, sustancias hormonales, etc; entre dos partes, resultando un beneficio mutuo para ambos (Trappe, 1987). El mutualismo supone una relación beneficiosa para los dos organismos implicados, y tanto el hongo como la planta se ven favorecidos por la asociación.

En estas simbiosis de tipo mutualista, el hongo suministra a la planta compuestos inorgánicos (elementos minerales) que esta necesita para su nutrición (micotrofia) y la planta aporta al hongo heterótrofo los compuestos orgánicos (fotosintatos).

El establecimiento de estas asociaciones implica la creación de fuertes interdependencias, tanto es así que el hongo pasa a ser una parte más del sistema radical, tan perfectamente integrado en el mismo que ve muy

dificultado o incluso imposibilitado su desarrollo sin el concurso de su planta hospedera, y ésta puede tener un rango de dependencia del hongo, que va desde absoluto hasta relativo en mayor o menor grado (Barea *et al.*, 1993).

Este tipo de asociación está regida fundamentalmente por los génomas de la planta y el hongo, influenciada a su vez por el medio ambiente (Krishna *et al.*, 1985; Dehne, 1988 y Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1989). En la penetración y distribución del hongo en las raíces ocurren modificaciones fisiológicas tales como:

1. Incremento de la actividad nuclear, de la masa citoplasmática, generación de nuevos organelos y del grado de vacuolación de las células corticales
2. Aumento de la diferenciación de los tejidos vasculares.
3. Aumento de la tasa fotosintética.
4. Incremento de la síntesis de proteínas, clorofila, sustancias de crecimiento y metabolitos secundarios
5. Activación de los sistemas enzimáticos
6. Favorecimiento de la absorción, traslocación de nutrientes y agua.

El establecimiento del hongo representa un drenaje de fotosintatos desde la parte aérea hasta la zona radical, donde de la parte que toma el simbionte, la mayoría se utiliza para producir energías metabólicas asegurando a través de esta vía su mantenimiento y desarrollo, y el resto se moviliza en forma de azúcares y lípidos de masa fúngica intra y extraradical (Bowen, 1987; Bonfante y Perotto, 1992).

Las hifas absorben el fósforo (P) del suelo a través de un proceso activo, después este se convierte previo proceso de fosforilación en gránulos de polifosfato (2P), los que son transportados por la corriente citoplasmática hasta las vesículas donde pueden ser almacenadas temporalmente o ir directamente hacia los arbusculos, donde es hidrolizado por las enzimas del complejo fosfatasa en fosfato inorgánico (Pi) que a su vez es transferido a la célula vegetal, pasando este por la interfase hongo-planta denominada matriz (Tarafdar y Marschner, 1994). Este proceso de transferencia es mediado por el sistema ATPasa-bomba de protón (Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1986 y Dexheimer *et al.*, 1986).

II. 1. 5. Factores Ecológicos relacionados con la Micorrización

El suelo es un sistema complejo, que está en constantes cambios y transformaciones motivado por la actividad de los microorganismos, los aportes del material vegetal y las condiciones ambientales, los cambios estacionales que modifican las poblaciones de los microorganismos conjuntamente con los procesos químicos en que ocurren (Arines, 1991).

La colonización micorrizica depende de condiciones que determinan las características de los hospederos y del suelo, en particular el potencial fotosintético del hospedero, y la fertilidad, condiciones físicas, contenido de agua y cantidad y calidad del humus y/o materia orgánica presente en el suelo o en los sustratos donde se desarrollen las plantas (Herrera, 1988; Fernández, 1999 y Sánchez, 2001)

Existen diferentes factores ecológicos relacionados con la micorrización, dentro los cuales se encuentran:

II. 1. 5.1. Luz:

Según Furlan y Fortin (1977), la luz presenta un efecto estimulante sobre el proceso de formación de las micorizas vesiculo-arbusculares. Al aumentar la intensidad luminosa, los niveles de colonización son generalmente elevados (Redhead, 1975; citado por Ojeda, 1998) y la diferencia de la micorrización será proporcional al número de raíces cortas, como un mecanismo para garantizar la absorción de los nutrientes en un mayor volumen de suelo como por una mayor disponibilidad de carbohidratos libres en las raíces, sin embargo cuando éste se ve afectado por sombreado, se reduce la micorrización de las raíces.

Bajo sombra de *Khaya grandifolia*, Johnson *et al.* (1980) observaron una respuesta muy similar en café. Este fenómeno, de acuerdo con Moawad (1979), se origina en gran medida debido a la reducción del grado de suministro de metabolitos a las estructuras fúngicas presentes en la raíz y en consecuencia se restringe el desarrollo externo del hongo y por supuesto la translocación de nutrientes a través de la interfase hongo-planta.

II. 1. 5. 2. Temperatura:

La temperatura tiene una acción directa sobre el porcentaje de crecimiento radical y sobre la producción de nuevas raíces. En la misma dirección, ésta juega también un papel muy importante en el establecimiento de las micorrizas, el cual presenta tres fases:

- Germinación de las esporas en el suelo,
- Penetración de las hifas en la raíz,
- Desarrollo dentro de las células de cortex

Las temperaturas óptimas para el crecimiento de las micorrizas varía entre 17 y 27°C para la mayoría de estos hongos, como por ejemplo *Lactarius*, *Amanitas*, y algunos *Boletus*, que tienen un óptimo térmico superior a los 20°C. En algunas especies como ***Glomus*** y ***Gigasporas***, se han observado su germinación a una temperatura de 34°C en zonas sub-tropicales, sin embargo, en condiciones de zonas frías, las especies de ***Glomus*** germinaron a 20°C (Daniels y Trappe, 1980).

Por su parte, Herrera (1988), señaló que la temperatura es uno de los factores climáticos que más incidencia tiene sobre la simbiosis micorrízica, comprobándose que ésta ocurre con mayor intensidad en el trópico, lo que debe conllevar a un proceso de adaptación de los diferentes ecotipos.

II. 1. 5. 3. Agua y Aireación:

Las formaciones micorrizicas están influenciadas por la humedad del suelo y por la aireación. Por su amplio espectro de hospederos, hay muy pocos ambientes naturales que no posean especies micorrizógenas, quizás las excepciones se encuentran en ciertas plantas que habitan en zonas acuáticas y pantanosas (Dhillon y Ampornpan, 1990); Secilia y Bagyaraj, 1992; Solaiman y Hirata, 1995 y Fernández *et al.*, 1997). Daniels y Trappe (1980) reportaron que el contenido de agua por encima de la capacidad de campo favorece la germinación de esporas de hongos micorrizógenos.

Ruiz-Lozano y Azcon (1995) destacaron el papel importante de las micorrizas en las plantas sometidas bajo condiciones de estrés hídrico, logrando que éstas desarrollen una capacidad de absorción superior.

Se presume que el crecimiento miceliar decrece a una baja concentración de oxígeno, debido a que la mayoría de estos hongos micorrizicos son aeróbicos.

En efecto, la formación micorrizica se inhibe en suelos arcillosos, debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación (Barea, 2001). Sin embargo, una vez que las plantas estén micorrizadas la simbiosis se mantiene en cultivos tales como el arroz bajo condiciones de inundación Rivera *et al.*(2000).

II. 1. 5. 4. Suelos y fertilidad:

El efecto del suelo y su fertilidad sobre la eficiencia de los HMA ha sido un aspecto investigado, a escala mundial, donde se han reportado numerosos criterios:

La mayoría de los autores reportan que la eficiencia de los HMA está estrechamente vinculada a los suelos pobres de baja fertilidad y que la aplicación de altos niveles de nutrientes sobre todo de fósforo, disminuyen o inhiben el efecto beneficioso de los HMA (Burckhardt y Howeler, 1985; Siqueira y Franco, 1988; Sieverding, 1991; Orosco y Gianinazzi-Pearson, 1993); sin embargo, Fernández (1999), trabajando en suelos Pardos y Fersialíticos para condiciones de media a alta fertilidad encontró respuesta a la inoculación con cepas eficientes de HMA.

Al respecto, la información más reciente indica que si bien en forma general las condiciones de alta disponibilidad de nutrientes inhiben la micorrización, el fenómeno especificidad suelo-cepa HMA conlleva a que hay especies o cepas adaptadas a mayores requerimientos de nutrientes y por lo tanto la simbiosis micorrizica no se ve restringida solo a condiciones de suelos pobres e inclusive la simbiosis necesita de un óptimo de suministro de nutrientes que puede ser dado por los fertilizantes minerales o por los orgánicos, incluyendo los abonos verdes Ruiz (2001); Rivera *et al* (2001); (Sánchez y Rivera 2001).

El suministro de nutrientes óptimo para una eficiente micorrización es inferior al del óptimo para las plantas no micorrizadas, basado en los incrementos en la eficiencia del proceso de absorción que se presenta en las plantas micorrizadas eficientemente.

La eficiencia de la simbiosis asimismo se ve afectada cuando el suministro de nutrientes es inferior al óptimo para las plantas micorrizadas (Rivera *et al*,

2000) no conllevando solo un menor efecto agrobiológico expresado en el crecimiento y vigor de las plantas, sino a una disminución de las estructuras fúngicas indicativas de una simbiosis eficiente.

Los bosques templados desarrollados en suelos pardos, podsolidados, se componen por árboles formadores de ectomicorrizas. En estos suelos, la presencia de raíces asociadas a micorrizas se detecta especialmente en el horizonte húmico. La cantidad y la calidad de humus, constituyen el factor más importante en la formación de las micorrizas, por lo tanto éstas disminuyen con la profundidad (Herrera, 1987).

Martínez (1986) y Herrera (1991), plantearon que la materia orgánica constituye un elemento importante al considerar la efectividad de los HMA, además de contribuir con la fertilidad y las propiedades físicas de los suelos.

II. 1. 5 .5. El pH:

Las condiciones de acidez de los suelos expresados a través del pH suelen ser uno de los factores relevantes que determinan en muchos casos la eficiencia del endófito, porcentaje de germinación de las esporas y el desarrollo de las micorrizas arbusculares (Green *et al.*, 1976;

Siqueira *et al.*, 1986; Ferrer y Herrera, 1991), expresado a través de los requerimientos edáficos de las especies y/o cepas y se manifiesta en la alta especificidad suelo-cepa eficiente HMA (Fernández, 1999; Sánchez, 2001; Ruiz y Rivera 2001). La relación que se establece entre los rangos de pH del suelo y el efecto de la colonización micorrizógena es verdaderamente complejo, dependiendo no sólo de la especie micótica, sino también del tipo de suelo, la forma en que se encuentran los nutrientes fundamentalmente el fósforo (P), nitrógeno (N) y otros elementos como cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo), boro (B), entre otros .

Potty (1984); Hayman y Tabares (1985); Siqueira y Franco (1988) establecieron que diferentes especies del hongo requieren de un pH óptimo entre 5.5 y 6.0 para su desarrollo.

Timonin (1940); Winter (1951) y Richards (1965), citados por Sánchez (2001), han señalado que la variación del pH en el suelo tiene un efecto importante sobre el aumento o disminución de la flora fúngica y bacteriana. Por su parte, Primavesi (1990) indicó que la microbiota de los suelos tropicales está

adaptada a pH entre 5.3 y 6.1 y que, en los suelos con pH 5.6, la mayoría de los microorganismos benéficos se desarrollan y sus enzimas se activan.

El mismo autor observó que los microorganismos activos en la movilización del fósforo (P) son aerobios y necesitan pH alrededor del neutro para su actividad en la rizosfera. La existencia de determinados microorganismos como los fijadores de nitrógeno (N), agregadores del suelo y movilizadores de nutrientes, son también dependientes del pH, señalando que para los primeros un suelo con pH 4.5 permite su presencia y que el óptimo es de 5,6.

El efecto de la reacción del suelo puede ser muy marcado bajo condiciones de extrema acidez, aunque este en la concentración del ion hidrógeno (H^+) puede ser de menor importancia con relación a la falta de calcio (Ca) y fósforo (P) o la presencia de compuestos de manganeso (Mn) y aluminio (Al) solubles Russell y Russell (1959); citado por Ruiz (2001).

De Miranda y De Miranda (1994) determinaron el efecto de la acidez del suelo sobre la eficiencia de los HMA nativos, estudiaron 25 especies y tres niveles de pH: 4.7; 5.3 y 5.8; la especie *Glomus manihotis* fue la más eficiente en el pH más bajo, *Glomus* spp. y *Entrophospora colombiana* lo fueron a los pH más altos. Por su parte, Cañizares y Azcón-Aguilar (1993) probaron las cepas combinadas procedentes de suelo alcalino con microflora de pH alcalino y ácido en sustratos con pH alcalino y ácido.

Maschio y *et al.* (1994a), comprobando la relación entre los HMA y las características químicas de un suelo ácido degradado, mostraron que el número de esporas aumentó en los suelos con valores de pH 4.2 y contenido de 5.2 ppm de fósforo (P).

Según Hall *et al.* (1977) y Ferrer y Herrera (1991), el contenido alto de fósforo asimilable en el suelo puede provocar concentraciones altas en el interior de las raíces, lo que disminuye la permeabilidad de las membranas y los exudados, afectándose la penetración del hongo en la raíz, por lo que es necesario establecer el nivel crítico de fósforo por encima del cual no hay respuesta positiva a la inoculación.

II. 1. 5. 6. Fertilización mineral:

El uso de inóculos comerciales de HMA de alta calidad es una práctica en ascenso dentro de los paquetes agrícolas, debido a que este producto, al tener

un componente activo biológico, autóctono del suelo, no genera toxicidad y su residualidad redundante en un mejoramiento en la recuperación biológica de la mayoría de los agroecosistemas que han estado expuestos durante mucho tiempo al uso excesivo de fertilizantes minerales y plaguicidas, lo cual ha contribuido al deterioro de los mismos (INCA, 1998).

Es importante señalar que, existe cierta dependencia de endófitos arbusculares respecto del P adicionado como fertilizante. Es un hecho que dosis elevadas de fertilizantes fosforados inhiben la formación de micorrizas reduciendo los beneficios que esta trae consigo (Mosse, 1973; Ruiz, 2001).

En suelos deficientes en fósforo, las micorrizas arbusculares son potencialmente importantes para el funcionamiento adecuado de la fijación simbiótica de nitrógeno por rhizobium, puesto que las micorrizas son capaces de captar el fósforo necesario para producir una correcta nodulación y fijación de nitrógeno. Una combinación de los dos sistemas simbióticos ofrece gran ventaja al implantar estas especies vegetales en suelos marginales (Barea, 1995).

Sieverding (1984a) planteó que existe gran variabilidad entre la eficiencia de las cepas de HMA en dependencia de la fuente de fosfato utilizada, los niveles de fósforo aplicados y el tipo de suelo; mientras que CIAT (1984) reportó que la fuente y el método de aplicar nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), zinc (Zn) y boro (B) no ejercen efectos negativos sobre la colonización de las raíces por los HMA.

Con relación al efecto causado por contacto de los HMA con los fertilizantes minerales, Sieverding y Toro (1989) comprobaron que la cepa *Glomus manihotis* tolera el contacto directo con los fertilizantes minerales, lo que da la posibilidad de aplicación conjunta.

Posiblemente los trabajos más completos publicados hasta el momento lo sean los de Ruiz (2001), encontrando que la inoculación de especies adecuadas por tipo de suelo, resultan altamente efectivos en presencia de la aplicación del 25 al 75 % de las recomendaciones de fertilizantes comúnmente utilizados para obtener altos rendimientos en ausencia de inoculación micorrízica, siendo el porcentaje dependiente del cultivo en cuestión y de la disponibilidad de los elementos del suelo.

Cantidades de fertilizantes superiores a este óptimo y hasta el 100% aunque no disminuyen el rendimiento, inhiben la micorrización, indicando que en esas condiciones la absorción de los nutrientes no ocurre vía micorrización, siendo además menos eficiente el proceso de absorción ya que requiere mayor cantidad de los nutrientes.

Borie y Mendoza (1994) determinaron el efecto del encalado sobre la colonización y número de esporas de HMA en un suelo de alto contenido de Al. Los resultados obtenidos, en ambas fuentes de cal, aumentaron la colonización de las raíces en un suelo con riesgo de acidificación.

Por su parte, Sieverding (1984b) obtuvo que las cepas de mayor respuesta al utilizar fosfatos triples y roca fosfórica fueron *Glomus manihotis* y *Glomus occultum* y que cuando el inóculo se colocó debajo de la estaca de yuca, se incrementó el rendimiento 35% con relación al testigo sin HMA pero con fósforo.

Sieverding y Howeler (1985a) encontraron que la colonización por HMA disminuyó a medida que aumentó la fertilización con fósforo.

Durante los últimos años, se han venido realizando múltiples estudios acerca del papel relevante de las micorrizas en la producción vegetal, tomando en cuenta la necesidad de reducir el uso indiscriminado de fertilizantes minerales (Siquiera *et al.*, 1986; Rosendahl y Rosendahl, 1991; McArthur y Knowles, 1993), INCA, 1998. Los cuales han arrojado resultados positivos y que avalan el incremento en la absorción de los nutrientes que se encuentran en las plantas micorrizadas eficientemente.

II. 1. 5. 7. Planta:

La distribución del sistema radical en el suelo varía de acuerdo al tipo de planta, entre otros. Las plantas tienen diversidad de sistemas radicales, algunas tienen un sistema superior, otras tienen sistemas fibrosos, sistemas secundarios, terciarios, etc.

Los HMA se encuentran, naturalmente, en la mayoría de los ecosistemas terrestres, reportándose que aproximadamente el 95% de todas las especies del reino vegetal son micotróficas (Sieverding, 1991).

Por su parte, Trappe (1987), después de haber consultado más de 3000 publicaciones y reportes, consideró que en las especies vegetales tropicales sólo el 13,4% no forman micorrizas, el 70,9% forman micorrizas con HMA y el 15,7% la forman con otros grupos no arbusculares.

Por otra parte, Tester *et al.* (1987) y Primavesi (1990), han señalado que existen unas pocas familias de plantas que no forman usualmente micorrizas, debido a la existencia de posibles

compuestos fungitóxicos en los tejidos de sus raíces, entre otras causas. Los factores relacionados con la planta, especie, variedad, cultivar, estado nutricional, edad y presencia de compuestos fungistáticos o alelopáticos; ejercen gran influencia sobre la micorrización.

Los HMA en general son poco específicos con el cultivo cuando se comparan con otros sistemas biotróficos, o sea que son considerados universales (Siqueira y Franco, 1988), teniendo un importante papel la especificidad suelo-especie o cepa eficiente, que se traduce que en ese tipo de suelo existe al menos una especie de HMA que se asocia eficientemente con el grueso de las especies vegetales, presentando una importancia secundaria la especificidad suelo-cultivo (Ruiz y Rivera 2001).

Siqueira y Franco (1988), definieron la dependencia micorrizica como: "El grado en que la planta depende del hongo, para su crecimiento o producción máxima, a un nivel de fertilidad determinado"; teniendo en cuenta este concepto agruparon las plantas en:

Micorrízicas obligatorias: Son aquellas que tienen crecimiento extremadamente reducido en ausencia de HMA. Cuando se inoculan, presentan alto grado de colonización y beneficio mutuo con la simbiosis. Incluye plantas con raíces cortas, gruesas y de poco desarrollo de los pelos absorbentes, como por ejemplo la yuca, los cítricos y las leguminosas tropicales entre otras.

Micorrízicas facultativas: Poseen un sistema radical más desarrollado y eficiente para la absorción de agua y nutrientes. Generalmente presentan más bajo grado de colonización que las del grupo anterior, las gramíneas son consideradas en este grupo.

No micorrízicas: Incluye las plantas que no forman micorrizas o poseen colonización pasiva, como ejemplo se pueden citar las crucíferas.

II. 2. Las micorrizas en el cultivo de cafeto (*Coffea arábica*, L.).

II. 2. 1. Origen, distribución y producción del cafeto en el mundo

II. 2. 1. 1. Origen del cafeto

El vocablo café se deriva del árabe “kahwah” (cauá), llegando a nosotros a través del vocablo turco “kahweh” (cavé), con distintas acepciones, según los idiomas, pero conservando su raíz (**INTERNET, 2001**).

El cafeto es oriundo de los bosques tropicales de Etiopía, ubicados a una altitud entre 1600 y 2800 metros sobre el nivel del mar (Maestri y Barros, 1981; citados por Fernández, 1999).

Las plantas de cafetos pertenecen a la familia de las *Rubiaceas* y dentro de ésta, el género *Coffea*, es económicamente el más importante (Cevallos, 1999). El género *Coffea* está representado por más de 100 especies, entre las que se encuentran:

Arabica: Crece en alturas entre 900 y 2.000 metros. Su contenido en cafeína es relativamente bajo (entre un 0,9% y un 1,5%). Su cultivo es más delicado y requiere mayores cuidados. Sus frutos son redondos, suaves, levemente agrios, color achocolatado, de corteza lisa, e intenso perfume.

Robusta o *Canephora*: Más precoz, más resistente y más productiva que la anterior. Se cultiva en terrenos bajos, son plantas de mayor envergadura, costes más bajos y precios, por tanto, más asequibles. Sus granos son menos perfumados, picantes y astringentes, y su contenido en cafeína muy superior (entre un 2% y un 4,5%).

Liberica -Granos voluminosos y planta talluda y alta.

De acuerdo con Carvalho y Monaco (1966) y Van der Graaff (1986), las dos primeras especies son de mayor importancia comercial.

Según Noriega (1988) y Carvalho (1988), la especie arábica es la predominante, representando alrededor del 80% de la producción mundial. En Cuba es la especie de mayor importancia económica (Soto, 1994).

II. 2. 1. 2. Distribución

El cafeto (*Coffea arabica* L.) se introdujo en el continente americano a principios del siglo XVIII procedente de Yemen, hasta los 3000 m en la zona

ecuatorial de baja latitud norte o sur (Setzer, 1952). En América Latina, su distribución abarca desde Cuba a 22^o de latitud Norte hasta el Paraná en Brasil a 26^o de latitud Sur (Gindel, 1962; citado por Fernández, 1999), con algunas plantaciones fuera de estos límites ecológicos (Valencia, 1998), siendo uno de los productos más importante en el mercado mundial, en el que basan su economía más de 50 países (Medina *et al.*, 1984).

Las mejores condiciones climáticas para el cultivo del café se encuentran en el subtropical y en las zonas altas de las regiones tropicales, donde la temperatura y la precipitación son los factores que más favorecen el cultivo del café .

Carvajal (1984), reporta un rango de temperaturas medias anuales entre 17-23°C, como adecuado para el cultivo económico del *Coffea arábica*. Mientras Rena y Maestri (1986), por su parte, consideran que por encima de 24 °C se limita la tasa de asimilación neta del café.

En relación con la precipitación media anual, el cultivo económico del cafeto es propio de la formación Bosque Húmedo de la franja Subtropical, debiendo las precipitaciones de forma general encontrarse entre 1600-1800 mm para el crecimiento del *Coffea arábica*, con mínimo absoluto cercano a los 1000 mm (Carvajal, 1984), considerando Rena y Maestri (1986) que es una especie adaptable partiendo de que crece y produce bien tanto en los Valles de Kenya (800 mm) como en Costa Rica (2000 mm).

En Cuba, el cafeto se cultiva en tres zonas montañosas fundamentales: Oriental, Central y Occidental, encontrándose más del 90% de las plantaciones en las dos primeras.

II. 2. 1. 3. Producción mundial

De acuerdo con Alvarez (1991), el cafeto es uno de los cultivos más importantes del mundo, de ahí que constituya una fuente sustancial de empleo y de divisas para numerosas naciones de Africa, Asia y América Latina.

Tabla 1. Producción a escala mundial en miles de sacos de 60 Kg.

País	1996-97	1997-98	1998-99	Participación(%)
				1997-98
Brasil	28000	23500	35600	33
Colombia	10779	11932	12500	12
Indonesia	7900	7200	6800	6
Vietnam	5500	6667	6333	6
Mexico	5300	4950	4950	5
Costa de Marfil	5333	4080	3750	4
Otros	41082	39346	36867	35
Total	103894	97675	106800	100

Fuente: Tropical Products (1997)

Con excepción de Brasil, Colombia, Kenya e Indonesia, el cafeto no es, por lo general, un cultivo de grandes plantaciones. En la mayoría de las regiones productoras es cultivado por pequeños agricultores y campesinos con producciones diversificadas (Cevallos, 1999). Según los datos de la FAO (2000), los 10 primeros países en producción café verde (Mt) son Brasil (1.824,260), Vietnam (802.500), Colombia (630.000), Indonesia (430.200), Costa de Marfil (365.000), México (353.999), Guatemala (295.200), India (282.000), Etiopía (229.980) y Uganda (205.306). Por su parte, Venezuela ocupa el lugar 22 con una producción 54.720, de acuerdo con la misma fuente.

II. 2. 2. Algunos resultados obtenidos de los efectos de las micorrizas sobre el cafeto.

El cafeto es un cultivo que de forma natural establece simbiosis con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), necesitando de éstos para su establecimiento, por lo que es considerado un cultivo micotrófico obligatorio (Siqueira y Franco, 1988; Sieverding, 1991).

Es un hecho universalmente aceptado que las micorrizas estimulan el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas, especialmente en suelos de baja y moderada fertilidad aunque últimamente se reconoce su efecto inclusive

en suelos de alta fertilidad (Fernández 1999); la micorriza beneficia substancialmente la absorción de nutrientes, especialmente de P y de agua por la planta, aunque en los últimos años ha quedado claro el papel de la misma en la absorción de los diferentes elementos minerales, como el N, Ca, Mg, etc. (George, 2000) y en el potasio (Ruiz, 2001)

Sigueira y Franco (1988) plantearon un esquema general de manejo de las asociaciones micorrízicas, en el cual con razón condicionaban el éxito de la inoculación con HMA, a la existencia de poblaciones bajas de propágulos nativos o a la presencia de especies nativas no eficientes. Los autores, anteriormente mencionados, reportaron que a medida que un ecosistema tuviera una infectividad y efectividad natural alta, la necesidad de la inoculación sería baja y por ende la posibilidad de éxito pequeña; sin embargo, en caso contrario aumentaría la probabilidad de éxito de la inoculación.

López *et al.* (1986) encontraron un bajo índice de colonización en la mayoría de las posturas producidas en viveros comerciales, lo cual indica que por lo general las cepas nativas se encuentran en bajas concentraciones o no son efectivas sugiriendo la factibilidad de realizar la inoculación con cepas de HMA eficientes en esta fase.

Si bien los primeros resultados sobre la temática se reportan en Brasil (Lopes *et al.*, 1983; Lopes *et al.* 1986) donde quedó demostrada la efectividad de la inoculación micorrízica de las posturas del cafeto, es en Cuba donde posiblemente más se ha avanzado en el desarrollo de un manejo de la asociación micorrízica, basado en la inoculación de especies y/o cepas de HMA eficientes por tipo de suelo definiéndose la relación suelo -humus que permita la máxima micorrización, desarrollándose además el manejo conjunto de los abonos verdes y la propia inoculación micorrízica también como fuente de abonos orgánicos, sobre la base del tipo de suelo y su fertilidad asociada (Rivera *et al.*, 2001), lo cual le confiere un alto elemento de practicidad al manejo.

Asimismo los resultados con la co-inoculación de HMA con *azotobacter chroococcum* arrojaron resultados positivos en suelos de alta fertilidad potenciando la acción de las micorrizas, reportándose efectos negativos en suelos Alíticos de muy baja fertilidad y explicado en una competencia por nutrientes (Fernández, 1999), no obstante es necesario continuar estos

trabajos en el amplio espectro de suelos en que se producen posturas de café en Cuba.

Los resultados obtenidos con bacterias solubilizadoras y HMA no fueron positivos como en el caso anterior, no recomendándose las mismas a partir de los resultados obtenidos (Rivera *et al.*, 1995).

Fernández (1999), en su trabajo titulado “ Manejo de las Asociaciones Micorrizicas Arbusculares sobre la Producción de Posturas de Café (C. Arabica L. Var. Catuai) en Algunos Tipos de Suelos”, llegó a las siguientes conclusiones:

- Una respuesta alta y significativa del café a la inoculación con cepas de HMA en Suelos Pardos (alta fertilidad), Suelos Fersialíticos Pardos Rojizos (media fertilidad) y Suelos Alíticos (baja fertilidad), oscilando los incrementos en la producción de área foliar entre 10 y 263 % con respecto a los testigos.
- La eficiencia micorrízica y su correspondiente efecto agrobiológico dependió de la fertilidad o riqueza del sustrato, definido por la propia fertilidad del suelo y de la relación suelo-abono orgánico utilizado, de forma tal que en la medida que aumentó la fertilidad del suelo, la eficiencia micorrízica se logró con las relaciones suelo: humus de lombriz con menores cantidades de abono orgánico y viceversa.
- La coinoculación de *Azotobacter chroococum* y hongos micorrizógenos arbusculares sólo presentó un marcado efecto positivo cuando los viveros se condujeron en suelos Pardos de alta fertilidad, incrementando aún más el efecto alcanzado por la inoculación individual de HMA.
- El efecto de la aplicación simple de *Azotobacter chroococum* fue positivo con incrementos de hasta un 10 %, siempre inferior al de la inoculación con HMA.
- La coinoculación de *Pseudomona fluorescens* y hongos micorrizógenos arbusculares presentó siempre un comportamiento inferior al de la inoculación simple con HMA.
- Establecimiento de una tecnología efectiva y económica para la producción de posturas de café, basada en la inoculación de cepas seleccionadas de HMA, por tipo de suelo y relación suelo: abono orgánico, la

misma permitió adelantar entre 25 y 50 días con respecto al testigo

Por su parte, Sánchez (2001), en su tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, estableció una tecnología efectiva y económica para producir posturas de cafeto micorrizada, basada en el uso de cepas HMA eficientes por tipo de suelo y la utilización de Sorghum o Crotalaria como fuente de abono orgánico "in situ", complementándose o no con bajas cantidades de humus de lombriz en función del tipo de suelo, la cual amplió los primeros resultados obtenidos a un espectro de suelo más amplio y logró incluir el uso de los abonos verdes dentro del manejo de la asociación micorrízica sustituyendo totalmente o parcialmente el abono orgánico (humus de lombriz) en función del tipo de suelo y haciendo menos dependiente esta tecnología de los insumos externos.

II. 3. Consideraciones finales sobre la literatura consultada.

Con base a la información encontrada nacionalmente e internacional sobre los aspectos generales y efectos de las micorrizas sobre el cultivo de cafeto, de forma general, refleja que el mismo posee un mecanismo eficiente de absorción de fósforo, ya que plantaciones productivas pueden extraer cantidades entre 15-45 kg.P₂O₅ ha⁻¹, dependiendo del rendimiento de la plantación (Rivera *et al.*, 1992 y Rivera, 1993), aun en presencia de contenidos relativamente bajos de fósforo disponible en el suelo o de aplicaciones de fertilizantes de un orden similar.

El beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas vesículo-arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y en donde el potencial de explotación de éstas es mucho mayor que en regiones de clima templado.

Por su parte, Koide (1991) y Marschner y Dell (1994) señalaron que la inoculación de las plantas con hongos micorrizógenos provoca de manera general un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes tales como: P, N, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo, B pudiéndose tener en cuenta que estas asociaciones son un factor importante para el incremento de

las posibilidades de las plantas en países tropicales, por las razones siguientes, de acuerdo con Black (1980):

- Los bajos niveles de P asimilable o la alta capacidad de fijación de este elemento en suelo.
- La alta velocidad de los procesos de fijación en suelo y sus respectivas pérdidas. La creciente dificultad de producir fertilizantes fosfóricos solubles, debido a la escasez de los yacimientos, así como su alto costo de producción y precio público.
- El hábito micorrízico vesículo- arbuscular de la mayoría de las especies de interés económico en los trópicos.

Precisamente tomando en cuenta la necesidad de reducir el uso indiscriminado de fertilizantes minerales, durante los últimos años han venido realizándose múltiples estudios acerca del papel relevante de las micorrizas en la producción vegetal (Siquiera et al. , 1986; Rosendahl y Rosendahl, 1991; McArthur y Knowles, 1993; INCA, 1998; Ruiz 2001; Rivera y Ruiz 2001) planteándose

En Cuba, se han logrado establecer tecnologías efectivas y económicas con la aplicación de micorrizas para la producción de posturas, sin embargo bajo condiciones de plantaciones establecidas, no se han podido desarrollar investigaciones al respecto, siendo necesario impulsar los trabajos que permitan evaluar los efectos de la micorrización sobre la productividad y la calidad del cafeto, con la finalidad de establecer tecnologías en esta dirección.

Para un manejo adecuado de la simbiosis micorrízica en agroecosistemas cafeteros es necesario disponer de conocimientos suficientes previos de las poblaciones micorrízicas existentes en los mismos y su caracterización, así como su funcionamiento. Con relación a lo anterior se valoró la necesidad de desarrollar una investigación que permitiera crear bases para el establecimiento posterior de una metodología para la aplicación de las asociaciones micorrízicas bajo condiciones de plantaciones establecidas.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. Condiciones generales bajo estudio

III.1.1 Características edafo-climáticas de las plantaciones seleccionadas.

Los suelos correspondientes a cada localidad se representan en la tabla 2, destacándose suelos de muy baja fertilidad como los Ferríticos, aunque ubicados en condiciones climáticas y de relieve (meseta) muy propicias para el cultivo (tabla 4), los cuales con una aplicación adecuada de fertilizantes orgánicos y químicos (Ochoa *et al* 2000, 2001) se obtienen altas y estables cosechas (tabla 5).

Aparecen asimismo los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña, ácidos y desaturados (< 30% CIC) y con valores importantes de Al^{3+} intercambiable, pero situados también en condiciones climáticas muy apropiadas para el cultivo como un aceptable relieve ligeramente ondulado y donde la aplicación de fertilizantes y el control de la acidez (Rivera *et al*, 1992) permiten magnificas plantaciones (tabla 5)

Los suelos Ferralíticos Pardos Rojizos propios en Cuba de localidades situadas entre 350 y 450 metros sobre el nivel del mar (msnm), son relativamente fértiles con pH y bases cambiables (tabla 2), adecuados para un buen desarrollo del cultivo. En este caso la plantación está situada en un relieve con una ligera pendiente y bajo sombra de *albizia sp.* Y otras leguminosas. Las condiciones climáticas son menos propicias que en las localidades anteriores (tabla 4), aunque al estar la plantación situada muy cercana a un arroyuelo mejora el régimen hidrico del cafeto.

En el caso de la plantación situada sobre suelo Ferralítico Rojo, el mismo se encuentra ubicado en un relieve llano muy adecuado para el cultivo, aunque a muy baja altura, con condiciones climáticas menos favorables.

Estos suelos presentan buenas características de fertilidad con una CIC entre 15-20 $cmol.kg^{-1}$ (Hernández *et.al* 1999) y apropiadas cantidades de bases intercambiables, en los cuales con una fertilización adecuada se obtienen buenas plantaciones (Rivera 1988) con rendimientos entre 1,5-2t. café oro. ha^{-1} (tabla 5) aunque frutos pequeños. En esta localidad el manejo debe ser mucho más exquisito y diseñado para contrarrestar el efecto negativo de las altas temperaturas y precipitaciones que pueden estar mal distribuidas.

Para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo, fueron seleccionadas 4 localidades:

- Pinares de Mayarí, situado a una altitud de 650 msnm, perteneciente a la Provincia de Holguín
- Tope de Collantes, situado a una altitud de 680 msnm, Provincia de Sancti Spíritus
- Jibacoa, ubicado a una altitud de 340 msnm, Provincia de Villa Clara
- San José de Las Lajas, ubicado en la Provincia La Habana a una altitud de 138 msnm.

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados, se tomaron en cada una de las localidades un área plantada de café en producción, con edades que oscilaron entre 5 y 7 años de establecimiento y adecuado estado de la plantación. Los suelos correspondientes a cada localidad y algunas de sus características químicas están reflejados en la tabla 2, así como su ubicación en diferentes tipos de clasificaciones internacionales y de Cuba (Tabla 3).

Tabla 2. Algunas características químicas de los Suelos bajo condiciones de estudio

Suelos	Localidad	pH	M.O(%)	P ₂ O ₅ (mg.100)	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺
					cmol. Kg ⁻¹		
Ferrítico Rojo oscuro	Pinares de Mayarí	5.92	1.82	0.64	0.10	1.86	1.55
Ferralítico Rojo lixiviado	Tope de Collantes	4.33	5.69	1.6	0.20	2.04	0.58
Ferralítico Rojo lixiviado	Tope de Collantes	4.33	5.69	1.6	0.20	2.04	0.58
Fersialítico Pardo Rojizo	Jibacoa	5.10	3.25	9.60	13.12	8.00	1.60
Ferralítico Rojo compactado	San José	6.20	2.7	5.95	0.20	11.4	1.05

Tabla 3. Correlación entre la clasificación de los suelos más ampliamente utilizado internacionalmente y la clasificación de Cuba.

Clasificación cubana*	Soil Taxonomy**	FAO-UNESCO***	World Ref. Base****
Ferrítico Rojo oscuro	Eutrudox	Ferralsol ródico	Ferralsol ródico
Ferralítico Rojo lixiviado	Rhodufalf	Acrisol húmico	Acrisol húmico
Fersialítico Pardo Rojizo	Ustropept	Cambisol crómico	Cambisol crómico
Ferralítico Rojo compactado	Eutrudox	Nitisol ródico	Nitisol ródico-eútrico

Fuentes:

*Hernández (1999); ** Soil Survey Staff (1995) ; *** FAO-UNESCO (1989) y **** World Reference Base (1994)

En la tabla siguiente se presenta la información resumida de precipitaciones y temperaturas medias anuales, destacándose dos localidades con condiciones climáticas óptimas para el cultivo, Pinares de Mayari y Tope de Collantes, sigue en orden el área ubicada en Jibacoa la cual se encuentra en el extremo máximo para el rango de temperaturas adecuadas para el cultivo económico del *Coffea arábica* (Carvajal, 1984) y por último el área ubicada en San José de las Lajas con condiciones más adversas y marginales.

Tabla 4. Comportamiento promedio de las precipitaciones y de las temperaturas

Localidad	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Pinares de Mayari	1650	21.8
Tope de Collantes	2176	20.5
Jibacoa	1700	22.9
San José de Las Lajas	1540	23.5

III.1.2 Estado nutricional y rendimiento de las plantaciones.

Las plantaciones presentaron diversidad en sus rendimientos promedio, siendo posiblemente una consecuencia de las diferencias en las condiciones climáticas (fundamentalmente temperatura media y precipitación) y los marcos de plantación, más que debido a las diferencias relacionadas con el estado nutricional, excepción quizás del sitio de Jibacoa cuyos contenidos de potasio son bajos.

En el caso de Pinares de Mayari, los datos obtenidos son considerados adecuados de acuerdo con los criterios de interpretación específicos para estas condiciones, que se destacaron por mayores porcentajes de P y menores de K en comparación con el resto de las condiciones edafo-climáticas en el país (Rivera,1999).

Tabla 5. Análisis foliar en porcentaje y rendimiento promedio en tonelada de café oro ha⁻¹. año⁻¹ en plantaciones de cafetos representativas de los sitios bajo estudio.

Sitio	N	P	K	Ca	Mg	Rendimiento Tn.ha ⁻¹
Pinares de Mayari	2.50	0.22	1.18	1.35	0.35	2.0
Tope de Collantes	2.61	0.20	1.22	1.32	0.30	2.5
Jibacoa	2.71	0.16	1.19	1.45	0.22	1.2
San José de las Lajas	2.48	0.21	1.20	1.40	0.27	1.8

Los marcos de plantación en las cuatro 4 condiciones en estudio fueron :

Pinares de Mayarí: 2 X 1 m² (5000 plantas. ha⁻¹) .

Jibacoa: 2 X 1 m² (5000 plantas. ha⁻¹)

Tope de Collantes: 2 X 0.40 m² (12500 plantas. ha⁻¹)

San José de Las Lajas: 2 X 0.40 m² (12500 plantas. ha⁻¹)

Cada una de estas plantaciones están bajo sombra, en el caso de Pinares de Mayari bajo *Pinus cubensis*, en Tope de Collantes: *Albizia sp*, en Jibacoa *Leucaena leucocephala* y en San José *Gliricidia sepium*

III. 2. Tratamientos estudiados y metodología de la toma de muestras.

Para complementar los objetivos de caracterización del funcionamiento micorrízico “nativo” se procedió a considerar un grupo de factores como:

- Ubicación de las raíces del cafeto, a partir de la distancia a que se encuentran estas del tallo y la profundidad en el perfil del suelo.
- Etapa fisiológica del cultivo, expresadas como inicio de fructificación y postcosecha.
- Cuatro condiciones edafoclimáticas diferentes.

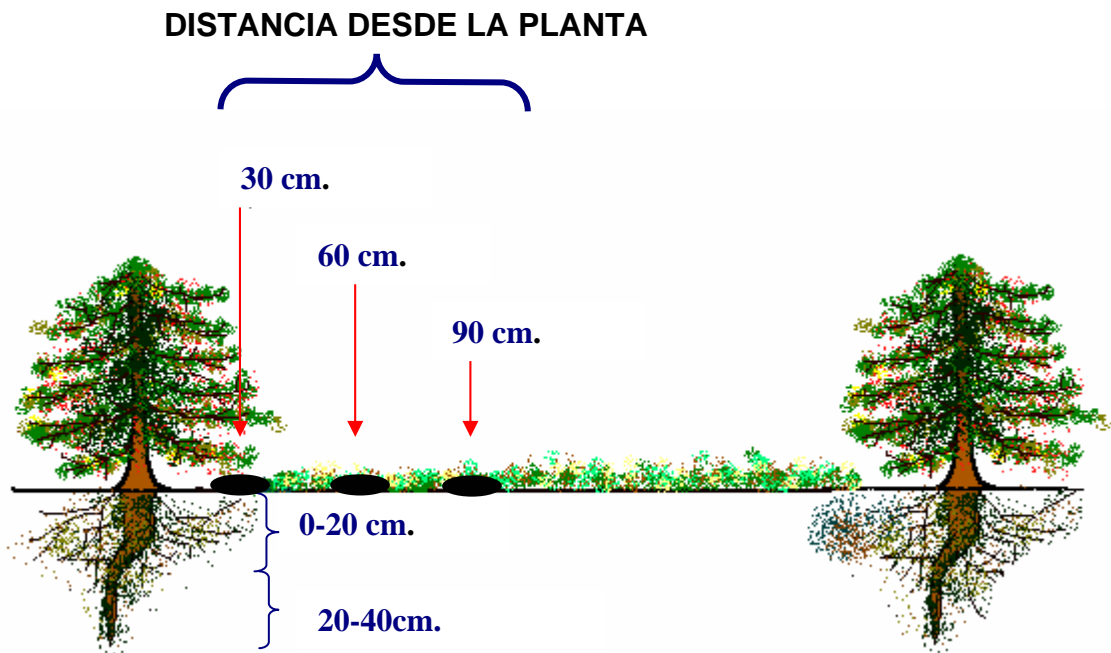


Figura 1. Profundidades y distancias a las cuales fueron tomadas las muestras de suelos

En la figura 1 se esquematiza la manera como fueron tomadas las muestras en los diferentes localidades de estudio.

En cada una de las áreas plantadas de café correspondientes a las 4 localidades (tabla 2) se seleccionaron 6 plantas al azar y en cada una de ellas se tomaron 6 muestras de suelo de aproximadamente 500g por planta 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. Las muestras se realizaron en dos momentos fisiológicos diferentes, en la fase del inicio de la fructificación (Julio) y post- cosecha (enero).

Las muestras fueron tomadas con barrena y recogidas en bolsas de polietileno de capacidad de 500 g, llevadas al laboratorio de Micorrizas del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de Plantas perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el Municipio de San José de Las Lajas, Provincia La Habana.

De forma tal que en cada localidad y etapa de muestreo se dispuso de 6 tratamientos:

- Tratamiento 1. distancia 30cm profundidad 0 - 20cm.
- Tratamiento 2. distancia 30cm profundidad 20 – 40 cm
- Tratamiento 3. distancia 60cm profundidad 0 – 20cm.
- Tratamiento 4. distancia 60cm profundidad 20 – 40cm.
- Tratamiento 5. distancia 90cm profundidad 0 – 20cm.

Tratamiento 6. distancia 90cm profundidad 20 – 40cm.

III. 3. 1. Evaluaciones. Análisis de suelo

El pH en agua

El pH en agua se determinó según el Método Potenciométrico, en una relación de solución 1:2.5 y los valores del mismo fueron determinados con un potenciómetro. Se siguió la Técnica Analítica a continuación:

- Se pasan 20 g de suelo seco al aire y pasado por tamiz de 0.5 mm y se transfieren a un Beaker de 100-150 ml.
- Se añaden 50 ml de agua previamente hervida y fría, se agita con un agitador de vidrio hasta formar una mezcla homogénea. Después se agita a intervalo de 10-15 minutos durante una hora.
- Pasado el tiempo indicado se lee en el potenciómetro el valor de pH.

La materia orgánica (MO)

La materia orgánica se determinó por el Método de Walkley-Black (Combustión Húmeda).

La Técnica Analítica se realizó con base a lo descrito en el Manual de Técnicas Analíticas para Análisis de Suelo, Foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes Químicos (Paneque *et al.*, 2001).

El Fósforo (P)

La determinación de fósforo se realizó mediante el Método de Oniani, de uso general en Cuba. El método está basado en la extracción del P con solución 0.1 N de H₂SO₄ con relación suelo- solución de 1: 25 con agitación de 3 minutos.

El Potasio (K), el Calcio (Ca) y el Magnesio (Mg)

Las determinaciones de P, K, Ca y Mg se realizaron siguiendo las Técnicas Analíticas descritas en el Manual de Técnicas Analíticas para Análisis de Suelo, Foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes Químicos (Paneque *et al.*, 2001).

Los resultados correspondientes a este análisis de suelo se ven reflejados en la tabla 2.

III. 3. 2. Evaluaciones fúngicas.

Las siguientes evaluaciones se realizaron a cada una de las muestras tomadas; es decir

En las 36 muestras/planta, en los dos momentos de muestreo y en las cuatro localidades para un total de 288 muestras analizadas por cada variable fúngica.

- **Conteo de esporas**

Se realizó tomando una muestra de 50 g de suelo rizosférico proveniente de diferentes localidades estudiadas, según el método descrito por Gerdemann y Nicolson (1963), el cual se basa en el tamizado y decantado por vía húmeda de los propágulos del hongo. 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.

- **Porcentaje de colonización**

En las submuestras de 100 g de suelo se procedió a extraer las raíces más finas utilizando pinzas de disección y obteniéndose 200 mg de estas.

Se les aplicó la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970), para clarificar y teñir las raicillas. La cuantificación se realizó según el método descrito por Giovannetti y Mosse (1980), en microscopio estereoscópico (20x), basado en el conteo de 100 intersectos de las raicillas con las líneas de una placa de petri cuadrículada (distancia entre líneas de 1cm, de manera que estadísticamente sea confiable y pueda estimarse un porcentaje de colonización correcto.

- **Porcentaje de densidad visual (D.V.)**

Se determinó mediante el método propuesto por Herrera (1988). Extrayendo las raicillas de forma similar a como se describió para el porcentaje de colonización Las raicillas teñidas fueron colocadas al azar sobre una caja de petri plástica cuadrículada con líneas separadas por 1 cm. Se consideró como interceptos cada vez que una raicilla pasó por encima de una línea de evaluación y dos cuando coincidió sobre la línea o pasó dos veces sobre ella.

La evaluación de cada intercepto se realizó ubicando la intensidad de la colonización en 6 niveles:

Nivel de evaluación	0	1	2	3	4	5
% de intensidad observado	0	1	2.5	15.5	35.5	47.5

Teniendo el número de interceptos encontrados en cada nivel de evaluación, se procedió a calcular el % DV de la forma siguiente:

1°. Se multiplicó el número de interceptos contados en cada nivel (Z), por el porcentaje de intensidad de colonización correspondiente, dándonos los valores de A.

$$A_0 = Z_0 * 0\%$$

$$A_1 = Z_1 * 1\%$$

$$A_2 = Z_2 * 2.5\%$$

$$A_3 = Z_3 * 15.5\%$$

$$A_4 = Z_4 * 35.5\%$$

$$A_5 = Z_5 * 47.5\%$$

2°. Con los datos de A calculados se procedió a calcular el porcentaje de densidad visual (% DV):

$$\% D.V. = \sum Z_{0-5} / \sum A (\# \text{ interceptos}) \times 100$$

- **Micelio Extramático Arbuscular (Meva)**

Se determinó según el método de Herrera *et al.* (1986), el cual consiste en el estudio de una submuestra en la que previamente se ha eliminado todas las arcillas y partículas más gruesas. Se colocó glicerina y una cantidad de submuestra (limo), en el rango de 0.040-0.060 mg en un cubre-objetos de 22 X 22 mm² y se procedió al conteo de las intersecciones que se produjeron entre los fragmentos de hifas y cuatro líneas que se obtuvieron por desplazamiento de la platina del microscopio. Se multiplicó el promedio obtenido de las 4 líneas por el factor de conversión 0.000745 para expresar el resultado en mg de micelio extramático. Se extrapoló el resultado obtenido al peso inicial de la muestra de suelo.

III. 4. 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 (INVAM) (<http://invam.caf.wvu.edu>) y la Colección Fotográfica del Departamento de Biofertilizantes del Instituto de Ecología y Sistemática (IES) de esporas de hongos Glomales, por los especialistas del departamento de Biofertilizantes del IES, mediante el Método propuesto por Herrera (1994) .

En muy poco de los casos la identificación se pudo llevar hasta nivel de especie, quedando en su mayoría al nivel de género y describiéndose en esos casos algunas de las principales características de dichos aislamientos. Este material constituye un punto de partida para los posteriores trabajos de identificación relacionados.

III. 5. 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), completamente aleatorizado por cada localidad y época de muestreo siendo los factores la distancia de las raíces al tallo de la planta y la profundidad en que se encuentran las mismas. Cuando se encontraron diferencias significativas bajo estudio entre los tratamientos se docimaron los mismos mediante la prueba de Duncan al 5 %.

También se aplicó un análisis de componentes principales para conocer la distribución espacial de los tratamientos en función de las dos épocas fisiológicas y variables de mayor contribución a la dispersión de los mismos. La tabla a continuación indica la leyenda de los tratamientos a través de las componentes principales consideradas de mayor peso a la diferenciación entre ellos. Los tratamientos fueron representados por números de 1-12, siendo los números impares correspondientes a las combinaciones en la etapa de inicio e fructificación y mientras que los números pares corresponden a la etapa de post-cosecha.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1 Caracterización del funcionamiento micorrízico en las diferentes condiciones edafoclimáticas.

Después de haber realizado el análisis de varianza con arreglo bifactorial (3x2) formando un total de 6 tratamientos correspondiente a distancia x profundidad, se encontró en las 4 localidades y en los dos momentos fisiológicos (inicio de fructificación y post-cosecha), interacción insignificativas y no significativas en las diferentes características fúngicas evaluadas, como pueden observarse en las tablas a continuación.

En el caso de interacción significativa los resultados se discutieron teniendo en cuenta los tratamientos y en el caso contrario los resultados se discutieron por factores independientes.

IV.1.1 Sitio Pinares de Mayarí

En la etapa fisiológica de inicio de la fructificación se encontró solo interacción significativa de la variable número de esporas (tabla 6) indicando además una disminución importante de estas estructuras con la profundidad del sistema radical. En el resto de las variables se presentó una tendencia a disminuir las mismas con la profundidad, con disminuciones importantes en la densidad visual y el porcentaje de colonización aunque fue solo significativa en esta última.

El factor distancia del sistema radical al tallo, no presentó un efecto significativo sobre ninguna de las variables fúngicas estudiadas indicando una homogeneidad de las mismas en función del mismo.

Tabla 6. Sitio Pinares de Mayari. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de inicio de la fructificación

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# esporas
30 X 0 -20	29.67	3.04	0.73	15 ^b
30 X 20 - 30	16.17	1.75	1.00	10 ^c
60 X 0 - 20	28.67	3.23	1.01	20 ^a
60 X 20 - 40	12.83	3.31	0.56	5 ^d
90 X 0 - 20	33.33	3.15	0.93	9 ^{cd}
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				
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}	

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

En la etapa de post-cosecha (tabla 7) solo se encontró efecto significativo de la profundidad sobre el número de esporas, aunque existió una tendencia ligera en todas las variables. En relación con el factor distancia este tampoco mostró efectos sobre las variables estimadoras del funcionamiento fúngico.

Tabla 7. Sitio Pinares de Mayari. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de post-cosecha

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# espora
30 X 0 -20	32.00	2.37	0.54	18
30 X 20 - 30	29.00	2.37	0.45	15
60 X 0 - 20	32.16	2.54	0.66	23
60 X 20 - 40	29.66	2.46	0.57	17
90 X 0 - 20	31.33	3.18	0.52	21
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***

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

Si bien la información existente sobre el funcionamiento micorrízico del cafeto se circunscribe fundamentalmente a posturas (Antunes, 1988; Vaast y Zasoski, 1991; Sagigin _Junior *et al.*, 1992; Fernández 1999 y Sánchez 2001), 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.

En este sentido los valores obtenidos en la densidad visual y el porcentaje de colonización fueron bajos e indicativos de una baja efectividad micorrízica, propia de las micorrizaciones nativas las que de forma general no garantizan una simbiosis eficiente. Los valores de esporas fueron bastantes bajos e indicaron una baja cantidad de estas estructuras en la plantación y están en correspondencia con los bajos valores obtenidos en densidad visual y porcentaje de colonización y fueron inclusive menores a los

reportados por Sánchez (2001) en suelos dedicados a la producción de posturas de cafeto.

Uno de los objetivos del trabajo era 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 reportan los mayores beneficios para ambos simbiontes y se alcanzan los mayores valores de densidad visual, porcentaje de colonización y micelio extramático y una zona de disminución y finalmente desaparición de la simbiosis asociada con la senectud de la planta y por ende, de las posibilidades de la planta de garantizar los productos del su metabolismo necesarios para el crecimiento de las estructuras fúngicas y a vez la no necesidad de las plantas de nutrientes en este periodo final.

En este periodo de disminución de la simbiosis, la esporulación se incrementa como mecanismo de supervivencia de la especie. En el caso de los cultivos perennes, por analogía se debe esperar una alternancia en su funcionamiento en función de dos momentos fisiológicos contrastantes como el inicio de la fructificación, donde el área foliar es alta (Cannell, 1971, Rivera y Sam, 1983) y por tanto también es alto el metabolismo, la producción de fotosintatos y su traslado al sistema radical (Cannell, 1971) y la etapa de post cosecha donde el área foliar es mínima y donde 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 (Cannell, 1971; Rivera y Sam, 1983; Rivera, 1988).

Precisamente el análisis multivariado realizado (tabla 8 y figura 1) persigue encontrar la influencia de las etapas fisiológicas sobre el funcionamiento micorrízico. En la tabla 8 se muestra la formación de dos componentes que explican entre ambas el 71,16 % de la variación total.

Tabla 8. Contribución a la distribución espacial - temporal y correlaciones entre las variables y los componentes principales en Pinares de Mayari

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

La primera componente está asociada fuertemente con el porcentaje de colonización, mientras que la segunda con el Meva y la densidad visual, ambos estimadores del funcionamiento micorrízico (Herrera, 1995; Fernández, 1999 y Sánchez, 2001).

En la propia figura se presenta la distribución espacial temporal de los tratamientos donde se puede observar asimismo la formación de dos grupos en función de la componente II. El primer grupo ubicado en la parte positiva correspondiente al momento post-cosecha, el cual presentó menores valores de Meva, porcentaje de colonización y densidad visual y mayores de esporas, ocurriendo un efecto inverso en la etapa de inicio de fructificación.

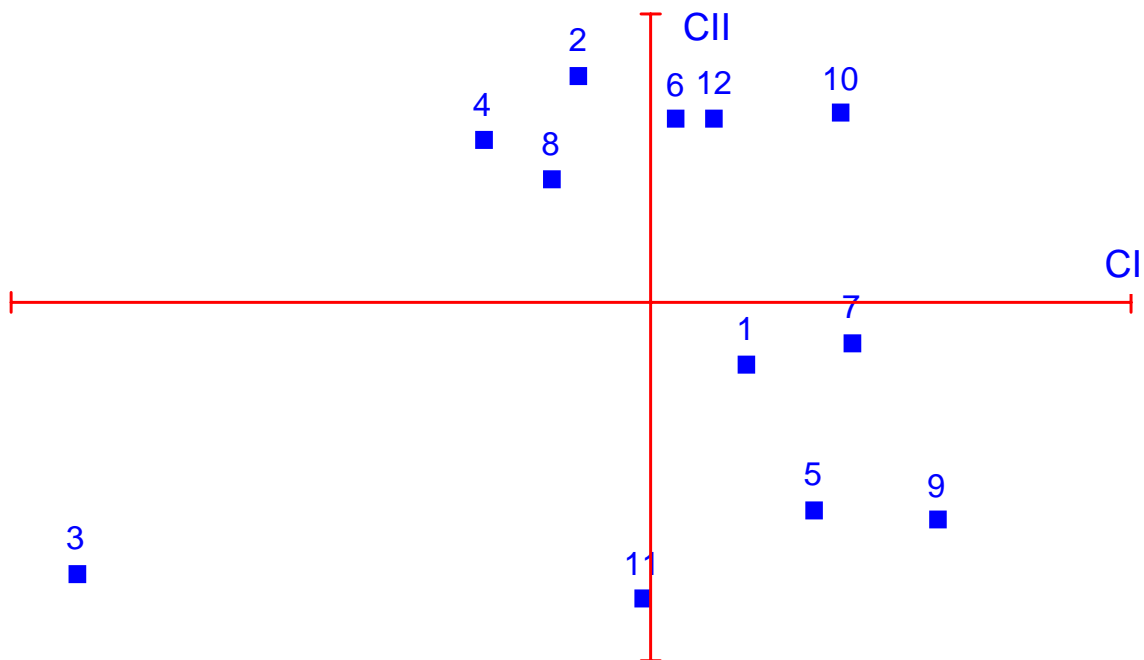


Figura 1. Distribución espacial – temporal de los tratamientos en Pinares de Mayarí.

Lo anterior también se expresa en que en la componente II se encontró una relación inversa precisamente entre estos estimadores del funcionamiento (Densidad visual, Porcentaje de colonización y Meva) y el número de esporas, indicando que cuando las esporas aumentan disminuyen los mismos y mostrando por tanto el efecto de la etapa fisiológica sobre el funcionamiento simbiótico en el café, de forma tal que en post-cosecha etapa en la cual hay una disminución del metabolismo de la planta y de fotosíntesis a las raíces y conlleva a una disminución de las estructuras fúngicas inherentes al intercambio, arbusculos y micelio, y presumiblemente la actividad micorrízica incrementándose por tanto la esporulación como mecanismo de supervivencia.

IV.1.2 Sitio Tope de Collantes

En el muestreo realizado al inicio de la fructificación (tabla 9) se encontró un efecto significativo de la profundidad sobre el micelio extramático (Meva), de forma tal que este disminuya con la profundidad del sistema radical e indicando una menor capacidad de absorción con la misma. El número de esporas asimismo presentó una disminución

relativamente importante aunque no fue significativa. El resto de las variables no presentó un efecto definido, indicando una relativa homogeneidad.

La distancia en que se encuentra ubicado el sistema radical tampoco presentó un efecto definido, indicando homogeneidad de estos indicadores en función de este factor.

En la etapa de post-cosecha (tabla 10) prácticamente todas las variables presentaron un efecto de la profundidad, disminuyendo estas con la misma, siendo estadísticamente significativa para el número de esporas, el porcentaje de colonización y el micelio (Meva), con una tendencia asimismo en la densidad visual.

Asimismo en este sitio existió una tendencia a disminuir el funcionamiento con la distancia de muestreo del sistema radical, siendo significativa en el porcentaje de colonización, la densidad visual y el Meva, e inclusive las esporas también presentaron una tendencia, de forma tal que a 30 cm del tronco los indicadores del funcionamiento fúngico fueron mayores que a 90 cm.

Tabla 9 Sitio Tope de Collantes. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de inicio de fructificación

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# esporas
30 X 0 -20	37.33 ^a	2.33	1.21	235
30 X 20 - 30	17.67 ^c	1.85	0.47	164
60 X 0 - 20	24.33 ^{bc}	2.68	0.91	183
60 X 20 - 40	28.67 ^{ab}	2.88	0.63	172
90 X 0 - 20	30.17 ^{ab}	2.31	1.23	202
90 X 20 - 40	31.33 ^{ab}	1.93	0.57	146
Es x	3.48 ^{***}	0.37 ns	0.10 ns	37.40 ns
Factor distancia				
30		2.09	0.84	199
60		2.79	0.77	177
90		2.13	0.89	174
Es x		0.26 ^{ns}	0.07 ^{ns}	26.45 ^{ns}
Factor profundidad				
0 - 20		2.44	1.12 ^a	206
20 - 40		2.22	0.56 ^b	161
Es x		0.21 ^{ns}	0.06 ^{***}	21.59 ^{ns}

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

Tabla 10 Sitio Tope de Collantes. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de post-cosecha

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# esporas
30 X 0 - 20	29.83	2.07	0.53	284
30 X 20 - 30	27.33	2.13	0.47	163
60 X 0 - 20	27.00	2.01	0.36	182
60 X 20 - 40	21.83	1.88	0.30	169
90 X 0 - 20	20.50	2.00	0.50	206
90 X 20 - 40	18.00	1.70	0.26	145
Es x	1.20 ns	0.10 ns	0.04 ns	35.21 ns
Factor distancia				
30	0.51 ^a	2.10	0.51 ^a	224
60	0.33 ^b	1.95	0.33 ^b	176
90	0.39 ^b	1.85	0.39 ^b	175
Es x	0.03 ^{***}	0.07 ns	0.03 ^{***}	24.89 ns
Factor profundidad				
0 - 20	25.78 ^a	2.03	0.47 ^a	224 ^a
20 - 40	22.39 ^b	1.90	0.35 ^b	159 ^b
Es x	0.69 ^{***}	0.05 ns	0.02 ^{***}	20.33 ^{***}

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

En esta condición edafoclimática los valores obtenidos de casi todas las variables estudiadas fueron bajos e indicativos de una simbiosis no eficiente de acuerdo con los criterios obtenidos en posturas (Fernández, 1999; Sánchez, 2001) y comentados con anterioridad, exceptuando las cantidades de esporas que si bien fueron bajas y como tal no garantizan una micorrización efectiva, fueron muy superiores a los obtenidos en Pinares de Mayarí (tablas 7) y por Sánchez 2001 para concentraciones de esporas nativas en diferentes suelos.

El análisis de componentes principales (tabla 11) realizado para evaluar la influencia de las etapas fisiológicas sobre el comportamiento de la micorrización nativa permitió encontrar dos componentes que entre ambas extrajeron el 86,05 % de la variación total.

Tabla 11. Contribución a distribución espacial - temporal y correlaciones entre las variables y las componentes principales en Tope de Collantes

Componentes principales		CI	CII
Contribución a la variación total (%)		54.31	31.74
Porcentaje acumulado		54.31	86.05
Variable	Cantidad de esporas	0.48	0.76
	Meva	0.96	-0.08
	% Densidad visual	-0.09	0.96
	% Colonización	0.84	0.27

Las variables Meva y porcentaje de colonización mostraron de forma positiva su contribución en la formación del componente CI. La cantidad de esporas y el porcentaje de densidad visual fueron las variables de mayor peso en la formación del componente CII.

La representación gráfica (figura 3) de la dispersión de los puntos correspondientes a la distribución horizontal-vertical y en las dos etapas fisiológicas de las plantas, refleja una variación espacial entre si donde se observa una tendencia a clasificar los puntos pares en un grupo e impares en otro con respecto a la componente CI, mostrando una diferencia marcada en relación con el momento fisiológico. El grupo de los impares se corresponde con la etapa de inicio de la fructificación presentó valores más altos de las variables Meva y porcentaje de colonización que el grupo de los pares el cual correspondió a la etapa de post-cosecha.

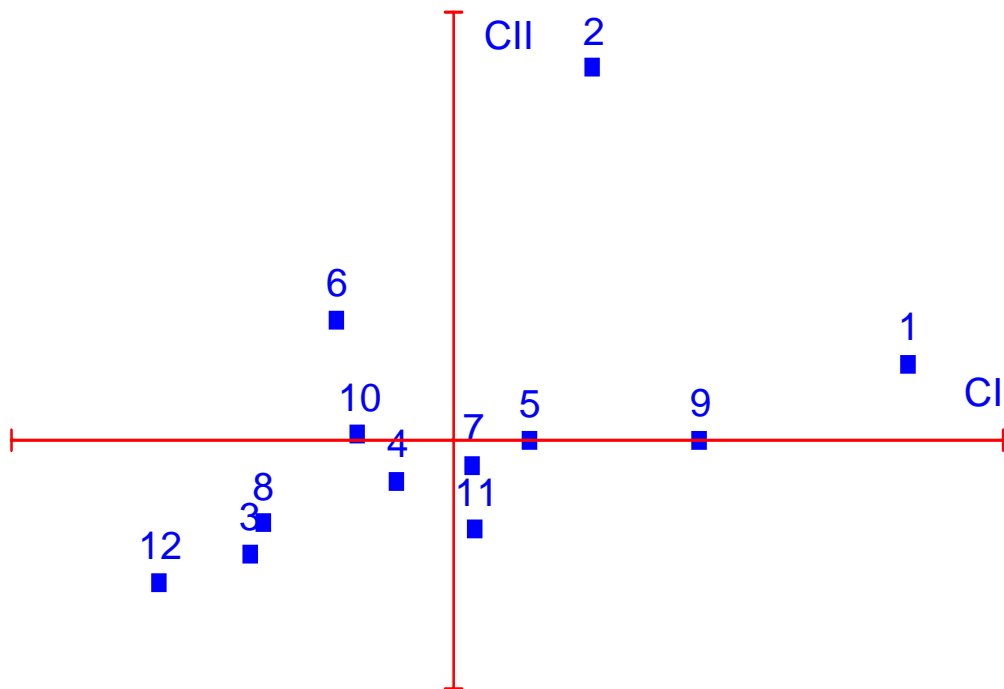


Figura 3. Distribución espacial – temporal de los tratamientos en Tope de Collantes

Con relación al anterior sitio de Pinares de Mayarí, en este también se encontró un efecto importante de la etapa fisiológica sobre el funcionamiento micorrízico, incrementándose las esporas en la etapa post-cosecha producto de la disminución del metabolismo de las plantas y del correspondiente traslado de fotosintatos para el sistema radical y por ende hacia la micorriza, e incrementándose el porcentaje de colonización y el Meva en la etapa de inicio de la fructificación en correspondencia con un mayor metabolismo de las plantas, necesidades de estas y posibilidades de traslado de fotosintatos hacia las raíces.

Sin embargo la densidad visual, que evalúa el grado de estructuras fúngicas en las raíces se apartó de la conducta esperada y además presentada en Pinares de Mayarí, mostrando en este caso valores mayores en post-cosecha.

IV.1.3 Sitio Jibacoa

En la etapa de inicio de la fructificación (tabla 12) se encontró un efecto negativo de la profundidad pero solo significativo sobre la cantidad de esporas y una tendencia a disminución del Meva. En relación con la distancia esta presentó un efecto significativo

sobre el Meva de la siguiente forma 30 cm > 60 – 90 cm y asimismo se presentó una tendencia sobre el 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 que en la de 90 cm.

En la etapa de post-cosecha (tabla 13) 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 12 Sitio Jibacoa. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de inicio de la fructificación

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# 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 ^{***}

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

Tabla 13 Sitio Jibacoa. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de post-cosecha

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# 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			0.81 ^b	17
90			0.62 ^b	26
Es x			0.11 ^{***}	2.71ns
Factor profundidad				
0 - 20			1.03	25 ^a
20 - 40			1.06	18 ^b
Es x			0.09 ns	2.21 ^{***}

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

Los valores encontrados de las diferentes variables fúngicas fueron bajos de acuerdo con los criterios de Fernández (1999) y Sánchez (2001) y fueron indicativos de una baja eficiencia micorrízica si extrapolamos a plantación los criterios obtenidos por estos en condiciones de producción de posturas.

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 Meva).

En cuanto al análisis de los componentes principales (tabla 14) se encontró que dos de las componentes principales explicaron el 73,9 % de la variación total, siendo caracterizado el CI negativamente por la cantidad de esporas y de forma positiva por el

Meva y el porcentaje de densidad visual, mientras que la componente II esta altamente relacionada con el porcentaje de colonización.

Tabla 14. Contribución a distribución espacial - temporal y correlaciones entre las variables y las componentes principales en Jibacoa.

Componentes principales		CI	CII
Contribución a la variación total (%)		41.66	32.28
Porcentaje acumulado		41.66	73.94
Variable	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 4 se puede observar que los tratamientos que se ubicaron a la derecha de los componentes estuvieron caracterizados por las variables Meva, porcentajes de colonización y densidad visual, mientras que los ubicados en la parte derecha presentaron valores superiores en la cantidad de esporas. Bajo 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 los tratamientos (2-8), el tercero por los tratamientos (4-5-7-9-11) y por último el grupo conformado por los tratamientos 6, 10 y 12.

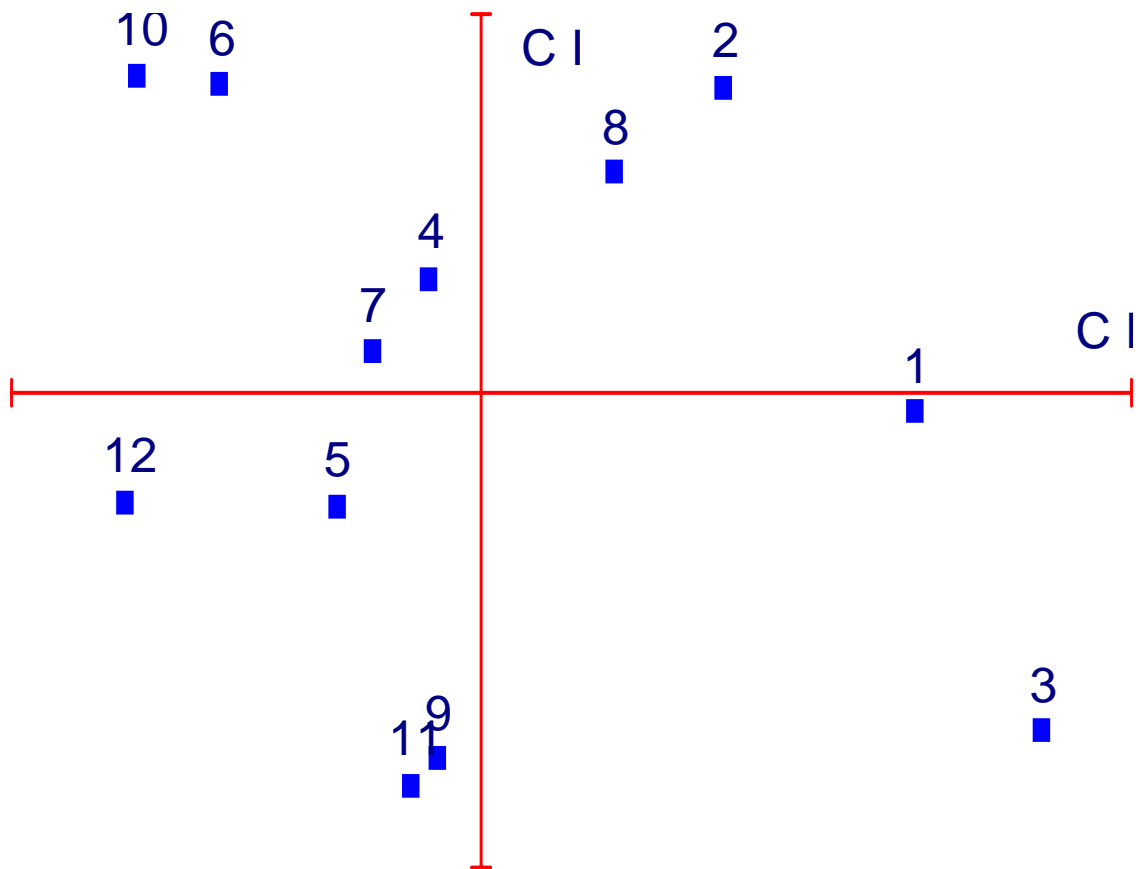


Figura 4. Distribución espacial – temporal de los tratamientos en Jibacoa

El primer grupo presentó mayores valores de Meva 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 Meva 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 Meva y densidad visual indicando una mayor actividad micorrízica, mientras que en post-cosecha se incrementaron las esporas y disminuyeron los anteriores e indicando que en la etapa de baja actividad metabólica (post-cosecha), disminuye el funcionamiento micorrízico y por ende aumenta la producción de esporas como mecanismo de supervivencia del hongo.

IV.1.4 Sitio San José de las Lajas

En la etapa de inicio de la fructificación (tabla 15), se encontraron significativos los términos de interacción para las variables porcentaje de colonización y Meva, aunque en estas no hubo una tendencia clara a favor de los dos factores estudiados. Por otra parte ni el porcentaje de densidad visual ni las esporas, fueron afectadas por la profundidad ni la distancia de muestreo del sistema radical.

En la etapa de post-cosecha (tabla 16) se encontraron los términos de interacción significativa para el porcentaje de colonización, obteniéndose los menores valores asociados con las mayores profundidades en las mayores distancias e inclusive en la zona más superficial en la mayor distancia. Para el resto de las variable solo se encontró efecto de la distancia con el Meva pero en un sentido inusual de incrementar con esta, diferente por completo a la información obtenida en los anteriores sitios.

Los valores obtenidos en este sitio fueron bajos, aunque el porcentaje de colonización presentó valores ligeramente superiores a otros sitios los cuales siguen catalogándose de baja condición de funcionamiento micorrízico de acuerdo con los criterios obtenidos por Fernández (1999) y Sánchez (2001) para posturas de cafeto y discutidos con anterioridad.

Tabla 15 Sitio José de Las Lajas. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de inicio de fructificación

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# esporas
30 X 0 - 20	28.83 ^b	3.61	2.45 ^{ab}	15
30 X 20 - 30	39.50 ^a	3.35	1.00 ^c	8
60 X 0 - 20	34.17 ^{ab}	3.51	2.88 ^a	11
60 X 20 - 40	32.00 ^b	4.92	1.94 ^b	15
90 X 0 - 20	31.50 ^b	3.04	2.42 ^{ab}	11
90 X 20 - 40	31.17 ^b	3.30	2.34 ^{ab}	10
Es x	2.02 ^{***}	0.67 ns	0.04 ^{**}	2.56 ns
Factor distancia				
30		3.48		11
60		4.21		12
90		3.17		10
Es x		0.48 ns		1.81ns
Factor profundidad				
0 - 20		3.39		12
20 - 40		3.86		11
Es x		0.39 ns		1.48 ns

* = significativo para $p < 0.05$

** = significativo para $p < 0.01$

*** = significativo para $p < 0.001$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

Tabla 16 Sitio José de Las Lajas. Influencia de la posición del sistema radical sobre el funcionamiento fúngico del cafeto en la época de post-cosecha

Tratamientos	% Colonización	% Densidad Visual	Meva g/100 g s	# esporas
30 X 0 -20	38.17 ^a	2.12	1.05	29
30 X 20 - 30	40.00 ^a	2.23	0.74	19
60 X 0 - 20	38.50 ^a	1.78	1.00	22
60 X 20 - 40	16.50 ^b	2.08	1.04	20
90 X 0 - 20	20.00 ^b	2.35	1.55	21
90 X 20 - 40	14.33 ^b	2.01	1.25	24
Es x	2.99 ^{***}	0.15	0.12 ns	3.37
Factor distancia				
30		2.18	0.90 ^b	24
60		1.93	1.02 ^b	21
90		2.18	1.40 ^a	22
Es x		0.11ns	0.12 ^{**}	2.38 ns
Factor profundidad				
0 - 20		2.08	1.20	24
20 - 40		2.11	1.01	21
Es x		0.09ns	0.06ns	1.94 ns

* = significativo para $p < 0.05$

*** = significativo para $p < 0.001$

** = significativo para $p < 0.01$

(Medias con letras comunes no difieren significativamente)

En relación con el análisis de componentes principales (tabla 17), se encontró que dos componentes explicaron un alto 84,16 % de la variabilidad. La componente I explicó un 55,59 % de la variación observada y estuvo caracterizada principalmente de forma negativa por la cantidad

de esporas y de forma positiva por el Meva y la densidad visual. La segunda componente CII, extrajo un 28,75% de la variabilidad y estuvo caracterizada de forma negativa por el porcentaje de colonización.

En ambas componentes se evidenció una relación negativa entre la cantidad de esporas y el porcentaje de colonización, comportamiento diferente a lo observado en otros sitios. Según Collins (1991) la colonización y el número total de esporas no siempre se correlacionan positivamente y hay varias razones para explicar éste resultado ya que el

número total de esporas es solo un tipo de propágulo mientras que la colonización mide todas los tipos, es decir esporas, hifas y raíces.

Tabla 17. Contribución a la distribución espacial - temporal y correlaciones entre las variables y las componentes principales en San José de Las Lajas

Componentes principales		CI	CII
Contribución a la variación total (%)		55.59	28.57
Porcentaje acumulado		55.59	84.16
Variables	Cantidad de esporas	-0.87	0.01
	Meva	0.67	0.65
	% Densidad visual	0.91	-0.06
	% Colonización	0.44	-0.85

En la figura 5 se refleja la dispersión espacial temporal de los tratamientos (distancia x profundidad x etapa fisiológica), observándose la formación de dos grupos bien definidos en función de las etapas de muestreo.

El grupo que se encuentra en la parte derecha de la figura corresponde a los tratamientos de la etapa inicio de la fructificación, presentando valores mayores de Meva, porcentajes de densidad

visual y menores cantidades de esporas, sin embargo en la parte izquierda donde se situaron los tratamientos que corresponden al momento post-cosecha ocurre todo lo contrario incrementándose las esporas y disminuyendo las variables que evalúan el funcionamiento micorrízico, lo anterior está también reflejado en los signos diferentes de la variable cantidad de esporas por un lado y Meva y porcentaje de densidad visual por el otro en la componente CI.

La conducta observada en este sitio corrobora el efecto de la etapa fisiológica sobre el funcionamiento fúngico que había sido observada en los anteriores sitios.

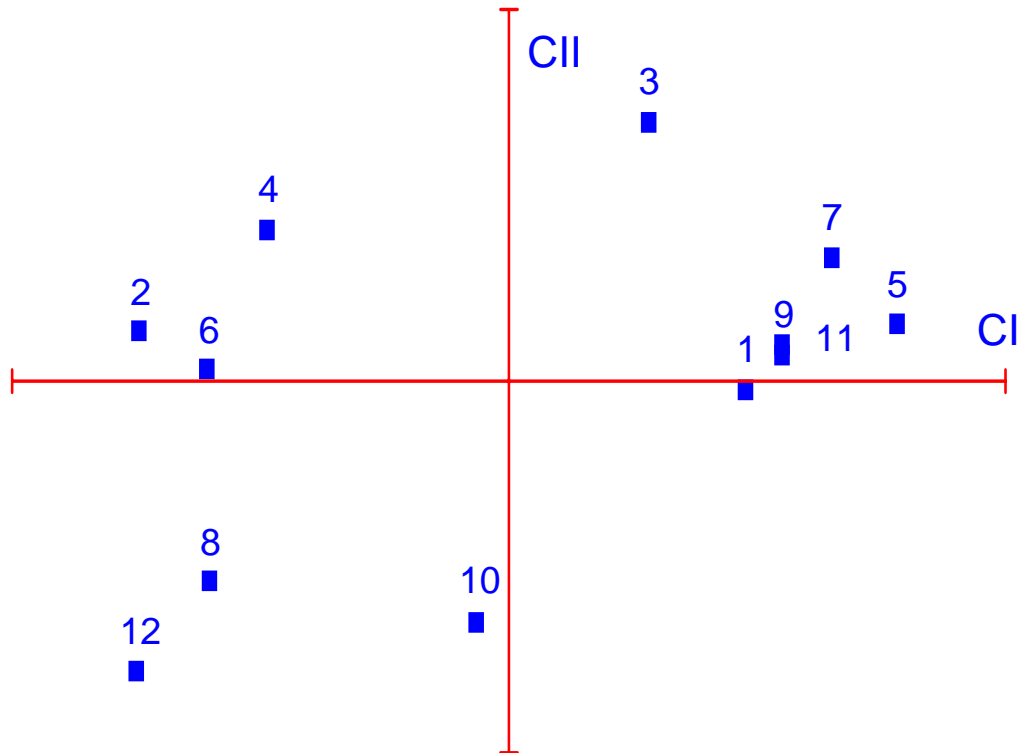


Figura 5. Distribución espacial – temporal de los tratamientos en San José de Las Lajas

IV. 2. Consideraciones Generales.

La información obtenida mostró algunos aspectos generales como los siguientes:

- Bajos valores en general de las variables que caracterizan el funcionamiento fúngico como porcentajes de densidad visual y colonización y micelio extramático (Meva), asociados a una micorrización nativa poco eficiente o efectiva en base a la información obtenida para posturas de cafeto, así como bajos valores de las cantidades de esporas.
- Un marcado efecto de las etapas fisiológicas de inicio de fructificación, caracterizada por un alto metabolismo en la planta, y post-cosecha, 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 Meva presentan valores superiores en su actividad, mientras las acompañan valores menores de esporas, las cuales aumentan en post-cosecha y disminuyendo las variables primeramente mencionadas, conllevando a un funcionamiento cíclico de la micorrización diferente del fenómeno fructificación – cosecha.

- De forma general se encontró un efecto de la profundidad sobre diferentes variables en los sitios.

IV. 3. Aislamientos de géneros y/o especies de HMA en las diferentes condiciones edafoclimáticas.

En todas las plantaciones establecidas de café estudiadas bajo condiciones edafoclimáticas diferentes, se observó la presencia de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, (tablas 18, 19, 20 y 21) alcanzando frecuencias de aparición promedio de 52.06 % y 38.80 %, respectivamente;

Similares resultados han sido encontrados por Furrázola, Herrera y Ferrer (1991), caracterizando las MVA en tres cafetales en Tope de Collantes. Es de señalar que las localidades de Pinares de Mayari y de Tope de Collantes fueron los sitios de mayor diversidad de géneros, destacándose el primero. En los sitios de Jibacoa y San José de Las Lajas se presentó una menor frecuencia de aparición de géneros.

Estos resultados pueden deberse, de forma general, entre otros a los relativamente altos niveles de fertilización anuales empleados en las plantaciones, coincidiendo con lo reportado por diversos investigadores (Colling, 1993; Chu y Diekmann, 1994 y Ruiz, 2001).

Los géneros encontrados en los diferentes sitios han sido reportados en café (.Furrázola Herrera y Ferrer, 1991 y Fernández, 1999) y en bosques (Ferrer y Herrera, 1987), bajo condiciones edafoclimáticas diferentes. Dentro de los géneros *Acaulospora*, *Glomus*, *Scutelospora* y *Entrophospora*, se hallaron especies no identificadas anteriormente, lo que puede constituir una nueva línea de investigación en esta dirección. Para la ilustración de tipos de géneros encontrados en los sitios en estudio, puede observarse en las fotos (ver anexo).

Tabla 18. Identificación de los diferentes géneros y/o especies y sus características principales correspondientes a sitio de Pinares de Mayarí.

Géneros	Características de las esporas
<i>Scutellospora</i> similar a <i>cerradadensis</i>	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> parda verrugosa	Parda de 162 μm con la pared secundaria cubierta regularmente de pequeñas verrugas, contienen gotas de lípidos hialinas de tamaño irregular .
<i>Glomus</i> pardo pequeño Mayarí	Pardas rojizas, globosas a subglobosas de 90-101 μm de diámetro
<i>Glomus</i> 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> parda ancha	Pardo clara, globosa de 87 μm de diámetro con una pared muy gruesa 18 μm , restos de M.O adherida a la superficie de la espora.
<i>Glomus</i> amarillo sucio	Amarilla pardusca, globosa de 86-105 μm de diámetro, abundante M.O sobre la superficie de la espora.
<i>Acaulospora</i> amarilla elástica	Amarilla clara, Globosa de 122-144 μm de diámetro, paredes elásticas. Muestra superficie estriadas.
<i>Entrophospora</i> banca sucia	Blanca, globosa de apariencia sucia por la gran cantidad de M.O en su superficie de 76 μm de diámetro. Hifa de unión con el sáculo esporífero de 8 μm de diámetro.
<i>Acaulospora</i> rara flexible	Hialinas de apariencia mucilaginoso de 90-97 μm de diámetro, sus paredes son flexibles.

Tabla 19. Identificación de los diferentes géneros y/o especies y sus características principales correspondientes a sitio de estudiados Tope de collantes

Géneros	Características de las esporas
<i>Acaulospora</i> amarilla clara	Amarilla clara, globosa de 90-100 μm de diámetro, superficie limpia, pared que cierra su contenido difícil de observar.
<i>Glomus</i> pardo ovoide	
<i>Glomus</i> similar a <i>geosporum</i>	Pardo claras, globosas de 86-97 μm de diámetro, esporóforo de 11-14 μm de grosor y ramificados en la base de las esporas
<i>Acaulospora</i> amarilla elíptica	Amarillas, globosas a elipsoides, 103 –106 μm de diámetro.
<i>Acaulospora</i> amarilla ornamentada	Amarillas de 94-97 μm con la superficie cubiertas de pequeñas verrugas o papilas de forma irregular.
<i>Acaulospora</i> parda gruesa	Parda, Globosa de 126 μm , grosor de la pared de 14.4 μm con cicatriz de 11.52 μm de diámetro.
<i>Sclerocystis sinuosa</i> **	

Tabla 20. Identificación de los diferentes géneros y/o especies y sus características principales correspondientes a sitio de Jibacoa

Géneros	Características de las esporas
<i>Glomus</i> tortuosum-like	Pardas rojizas, globosas, de 180 μm , cubierta por un manto hifal, con hifas de 5-9 μm de diámetro, altamente sinuosas
<i>Acaulospora</i> hialina enana	Hialinas, globosas de 54 μm , grosor total de la pared 4 μm de diámetro de color blanco su contenido
<i>Acaulospora</i> amarilla jibacoa	Globosa amarilla pardusca, 115 μm de diámetro, pared externa que se arruga fácilmente creando la impresión de estrias en su superficie

Tabla 21. Identificación de los diferentes géneros y/o especies y sus características principales correspondientes a sitio de San José de Las Lajas

Géneros	Características de las esporas
<i>Glomus</i> similar a <i>mosseae</i>	Amarilla pardusca, globosa de 250 μm , unión hifal ensanchada en la base de 23.4 μm de grosor, septo alejado de la base a 14.4 μm de diámetro, estructura de pared similar a <i>mosseae</i> .
<i>Acaulospora</i> amarilla	Amarilla, globosas de 126 μm de diámetro.
<i>Glomus</i> blanco sucio	Blanca sucia, globosas a subglobosas de 50 – 108 μm , abundantemente M.O en su superficie, Unión hifal de 7-8 μm de grosor.
<i>Glomus</i> pardo chiquito	Pardas, globosas de 47 a 58 μm , unión hifal de 6-7 μm de diámetro.
<i>Acaulospora scrobiculata</i> **	

** Fueron las únicas especies identificadas del total encontrado en los cuatro sitios en estudio.

V. CONCLUSIONES

1. Se logró en diferentes condiciones edafo-climáticas la caracterización del funcionamiento fúngico mediante los porcentajes de densidad visual y colonización, micelio extramático (Meva) y la cantidad de esporas, alcanzando valores bajos, indicativos de las micorrizas nativas.
2. Se comprobó un efecto significativo de las etapas fisiológicas sobre el funcionamiento fúngico de las micorrizas nativas, donde todas las variables estudiadas excepto la cantidad de esporas, presentaron valores superiores en el inicio de fructificación.
3. Se encontró de forma general la influencia de la profundidad sobre el funcionamiento fúngico de las micorrizas nativas en todos los sitios en estudio.
4. Se lograron identificar cuatro géneros en diferentes sitios, siendo *Acaulospora* y *Glomus*, géneros con mayor frecuencia de aparición.
5. Se clasificaron dos especies: *Sclerocystis sinuosa* en Tope de Collante y *Acaulospra scrobiculata* en San José de Las Lajas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Que los resultados obtenidos sirvan de punto de partida para futuras investigaciones relacionadas con las tecnologías de manejo de las asociaciones micorrízicas en el cultivo de café bajo condiciones de plantaciones establecidas, incluyendo la clasificación de las morfo-especies que quedaron pendientes.
2. Realizar trabajos similares bajo condiciones edafo-climáticas de la República Bolivariana de Venezuela.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Alarcon, A.; P. Rodriguez Y E. Furrázola. Algunos aspectos de interés sobre la flora endomicorrizógena en dos suelos típicos de Granma. **Cultivos Tropicales** 15(3): 70, 1994.
2. Alvarez, R. Del mercado mundial del café. Perjuicios y no beneficios. Periódico Granma, 1991.
3. Antunes V./et al/. Interacao entre diferentes tipos de solo e fungos micorrizicos vesico arbusculares na producao de mudas de café (Coffea arabica, L). **Turrialba**. 38 (2): 117-122. 1988.
4. Arines, J. Aspectos físico- químico de la fijación y movilización biológica de nutrientes en el suelo y su incidencia en la formación y efectos de las micorrizas va EN: Fijación y movilización de nutrientes II. Fijación de nitrógeno y micorrizas Madrid. --- 203-220, 1991.
5. Barea, J.M. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo arbusculares. EN: fijación y movilización de nutrientes II. Fijación de nitrógeno y micorrizas. Madrid,- - 150-173, 1991.
6. Barea, J.M. Las micorrizas arbusculares componente clave en la productividad y estabilidad de agrosistemas. España. Disponible en: [http:// www.csic.es/asociaciones/api/dibulgación/micorrizas.htm](http://www.csic.es/asociaciones/api/dibulgación/micorrizas.htm). [Consulta: mayo, 15 2001].
7. Bonfante-Fassolo, P et Perotto, S. Plants and endomycorrhizal fungi: The cellular and molecular basis of their interaction. In: Molecular signals in plant-microbe communications. Verma DP (eds) CRC press Boca Raton.1992. pp 445-470.

8. Bonfante-Fassolo, P. and S. Perotto. Strategy of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plant. *New Phytol.* 130,13-21, 1995.
9. Bowen, G.D. The biology and physiology infection its development: En *Ecophysiology of va mycorrhizal plants*. C.R.C. press.Boca Ratón, Florida,1987, 27-57 p.
10. Burckhardt, E.A. and R.H. Howeler. Efectos de la inoculación de cepas de micorrizas sobre el crecimiento de la yuca en varios suelos naturales en el invernadero.-- Cali: CIAT, 1985.-- p. 140-153.
11. Burggraaf, A.J.P and J.E, Beringer. Absence of nuclear DNA Synthesis in vesicular Mycorrhizal during in vitro developeent. **New Phytol.** 111(1): 25-33, 1989.
12. Calvet, C./et al/. Germination, early mycelia growth and infectivity of a vam fungus in organic substrate. **Symbiosis.** 14 (1-3): 405-411. 1993.
13. Cañizales, E. G. y R. Azcon-Aguiar. Efectos de diferentes condiciones de pH y microelementos sobre el comportamiento de hongos MA. Resúmenes de BIOFERTRO'93.-- Ciudad de la Habana: IES-EEZ (España), 1993.-- p. 227.
14. Cannell, M.G.R. and P.A. Huxley. Seasonal differences in the pattern of assimilate movement in branches of *Coffea arabica*. **Ann. Appl. Biol.** 64: 345 – 357, 1969.
15. Cannel, M.G.R. Seasonal patterns of growing and the development of *Arabica Coffea* in Kenya. **Kenya Coffea** 35: 139 – 142, 1970.

16. Cannell, M. G. R. Production and Distribution of Dry Matter in Trees of *Coffea arábica* L in Kenya as affected by Seasonal Climate Differences and the Presence of Fruits. *Ann Appl. Biol. (Wellesbourne)* 67:99-120, 1971.
17. Carvajal J. F. Cafeto, cultivo y fertilización./ J. F. Carvajal-Berna: Ed. Instituto Internacional de la Potasa, 1984, 254 p.
18. Carvalho, A y Mónaco, L.C. Botánica y mejoramiento En: Cultivo y abono del cafeto. La Habana ed. Revolucionaria. 1966. p. 40-54.
19. Carvalho, A. Principles and practices of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arábica*. En: *Coffee vol 4. Agronomy*. R, J Clakke and R. Macrae. Elsevier Applied Science. 1988. p. 129-165.
20. Cevallos, M. Embriogénesis somática en el cultivo del cafeto (*Coffea spp.*). Determinación de marcadores morfo-histológicos y moleculares, 1999, 133 p.
21. Chu, E. Y. e U. Diekmann. Efeito das actividades agrícolas em população de fungo endomicorrízico nativo do solo da Amazonia Oriental.-- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994.-- p. 11.
22. CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). Cassava program. Soils and plant nutrition.-- Cali: CIAT, 1984.-- p. 25-57.
23. CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). Pudriciones radiculares de la yuca. Progresos de su control. **Actualidades de la Sanidad Vegetal** 1(3): 21-23, 1991.
24. Colins, N. Can Fertilization of soil select less mutualistic micorrhizac. **Ecological Applications**, 3(4). Ecological Society of America, 1993, pp 749 – 757.

25. Cox, G.C y Tinker, P.B. Translocation and transfer of nutrient in vesicular-arbuscular mycorrhizal. I. The arbuscule and phosphorus transfers: a quantitative ultrastructural study. **New Phytol.** 77, 371-378. 1976.
26. Daniels, B.A y Trappe, J.M. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia.* 72, 457-471. 1980.
27. De Miranda, J. C. and De Miranda. Efeito da acidez do solo no eficiencia de fungos micorrizicos vesiculo- arbusculares nativos de solo de cerrado.--- Florianopolis, Univer. Federal Sta Catarina, En: Resumen de V REBRAM, 1994,--13p.
28. Dehne, H.W. Influence of soil, cultivation and host plant genotype on the occurrence of va mycorrhizal fungi in different crops. En: Abstracts, Second European Symposium on Mycorrhizae, Institute of Landscape Ecology, Prague. 1988. p 25-26.
29. Dexheimer, J./et al/. Approche cellulaire du fonctionnement des endomycorrhizies á vésicules et arbuscles: les plasmalemmes de l'interface. En: Gianninazzi-Pearson, V. et Gianninazzi, S. Physiological and Genetics aspect of Micorrhizae. INRA. Paris. 1986. p 277-283.
30. Dhillon, S.S et Ampornpan, L.A. Influence of mycorrhizal association and inorganics nutrients on early growth of rice. *Int. Rice Res Newslett.* 15: 16-17. 1990.
31. Dobereiner Johanna, S. Urquiaga y R.M.Boddey. Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. *Fertilizer Research* 42: 339- 346,1995.
32. FAO-UNESCO (1989):Soil map Of the world. Revised Legend. ISRIC,Washington, 138p.

- 33.FAO. Datos estadísticos. Disponible en: <http://apps.fao.org/inicio.htm>. [Consulta: junio, 22-2001]
- 34.Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares (MA) sobre la producción de posturas de cafetos (*C. arabica* L.) en algunos tipos de suelos. (Tesis de Doctorado).-- La Habana: INCA, 1999.-- 118 p.
- 35.Fernández, F.; R. Gómez; M. Martínez y L. Pijeira. Tecnología de recubrimiento de semillas con biofertilizantes micorrizógeno, alternativa sostenible de bajo costo. Resúmenes de III Encuentro Nacional Agricultura Orgánica.-Villa Clara: INCA, 1997a -p. 76-77.
- 36.Fernández, F/et al/. The effect of commercial arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculants on rice (*Oryza sativa*) in different types of soils. *Cultivos Tropicales*. 18 (1): 5-9. 1997b.
- 37.Ferrer, R. Y R. Herrera. Breve reseña sobre los biofertilizantes.-- Ciudad de la Habana: IES-CITMA, 1991.-- 50 p.
- 38.Ferrer, R. y R. Herrera. Micotrofia en la sierra del Rosario. EN: Ecología de los bosques siempre verdes de la sierra del Rosario. Proyecto Mab#1. La Habana, Cuba 627-669,1988.
- 39.Furlan, V y Fortin, J.A. Effects of light intensity of the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae on *Allium cepa* by *Gigaspora calospora*. **New Phytol**. 79, 335-340. 1977.
- 40.Furrazola, E./et al/. Algunas especies de la familia **Endogonaceae** asociadas a eco y agroecosistemas de montañas. Resúmenes del V Congreso latinoamericano de Botánica. La Habana. 1990, p 5.

41. Garrido, J.M y Ocampo. Infection between *Glomus mosseae* and *Erwinia caratovora* and its effect on the growth of tomato plant. **The New Phytologist**, 1988, 110:551-555.
42. Gerdemann, J.W y Nicolson, T.H. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans Br. **Mycol. Soc.** 46, 235-244. 1963.
43. Gianinazzi-Pearson, V et Gianinazzi, S. The physiology of improved phosphorus nutrition in mycorrhizal plants. In: Physiological and Genetics aspect of Mycorrhizae (V.G-Pearson & S.G. eds.) INRA Paris. 1986. pp 101-109
44. Gianinazzi-Pearson, V y Gianinazzi, S. The physiology of improved phosphorus nutrition in mycorrhizal plants. In: Physiological and Genetics aspect of Mycorrhizae (V.G-Pearson & S.G. eds.). INRA Paris. 1989. pp 101-109.
45. Gianinazzi-Pearson, V., y C. Azcon-Aguilar. Fisiología de las micorrizas vesículo-arbusculares. En Fijación de nutrientes II. Fijación de N y micorrizas,. Consejo superior de investigaciones Científicas,1991.- - 160-178p.
46. Gindel, J. Ecological behavior of the coffee plant under semi-arid condotions. Coffee. **Turrialba** (costa rica) 4, 49-63. 1962.
47. Giovannetti, M. and B. Mosse. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infections in root. **New phytol.** 489-500, 1980.
48. Green, N.E./et al/. The enfluence of pH on thegermination of vesicular -arbuscular mycorrhizal spores. **Micologia.** 68, 929-933, 1976.

49. Hall, I. R.; R. S. Scott and P. D. Johnstone. Effect of grassland "Muia and Taimor" white clavers to phosphorus New Zealand. **J. Agric. Research** 20: 349-355, 1977.
50. Harley, J.L y Smith, S.E. Mycorrhizal Symbiosis. Ed. Academic Press. New York. 1983, 483p.
51. Hayman, D.D y M, Tabares. Plant growth responses to vesicular -arbuscular mycorrhizas XV. Influence of soil on the sembiotic effesience of different endophytes. **New Phytol.** 100 :367 -377,1985.
52. Hemard, C. Aspectos generales sobre las micorrizas. Disponible en: <http://www.forestal.uchile.cl/curso/fivegh/mico.htm>. [Consulta: julio, 22-2001]
53. Hendrix, J.W /et all/. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems En: The significance and regulation of soil biodivresity. Collins, Robertson & Klg (eds). Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands. 1995
54. Hernández, A. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR, 1999. p.64.
55. Hernández, A.J./et al./ Caracterización de suelos dedicados a viveros en la zona de Tope de Collantes. Informe Técnico. Instituto de Suelos, (Ciudad Habana), 11p., 1999.
56. Hernández, A. Aspectos generales sobre las micorrizas arbusculares. Disponible en: [http:// www. Terralia.com/ revista 14/ pagina 12 htm](http://www.Terralia.com/revista14/pagina12.htm). [Consulta : junio, 21- 2001].
57. Herrera, R. A./et all/. Características de identificación del micelio extramátrico de MVA. Cuantitacación del micelio externo .1986. p.3.

58. Herrera, R. A.; R. L. Ferrer; L. Ruiz; F. Fernández; N. Medina; E. Furrázola; M. O. Orozco; J. R. Cueto; M. J. García; L. Exposito; E. Pouyu; L. Ojeda; A. R. Valdez; R. Rivera y C. Sánchez. Perspectivas para la generalización del uso de las MA en la agricultura cubana.-- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994.-- p. 37.
59. 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.
60. Herrera, R.A./et al/. Estrategia de Funcionamiento de las Micorrizas VA en un Bosque Tropical. Biodiversidad en Iberoamerica: Ecosistemas, Evolución y procesos sociales (Eds. Maximina Monasterio). Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII ,diversidad biológica, Mérida, 1995.
61. INCA. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícola). Dossier del producto Ecomic[®]. Resultados de las campañas de validación.-- La Habana: INCA, 1998. – 45p.
62. INVAM. International Culture Collection of arbuscular and vesicular mycorrhizal fungi. Species Descriptions from reference culture, Names and authorities of fungi in Glomales. 1-5, 1999.
63. Johnson, C.R./et al/. Effects of soil phosphates level and shade on plant growth and mycorrhizas. New Zealand Journal Botanic. 14, 333-340 1980.
64. Jones, E, J. Arbuscular mycorrhizal and plant utilization of organic phosphorus in soil. Institutt for bioteknologi fag. Norges Landbruk shoys kole. Department of biotechnological science agricultural university of nor way. Doctor science theses 16-70, 1994.

65. Koide, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytol.** 117:365-386. 1991.
66. Krishna, K.R /et al/. Genotype dependent variation in mycorrhizal colonization and response to inoculation of pearl millet. **Plant and Soil.** 86: 113-125. 1985.
67. LACASA, LA. Fertilización de origen biológico.--Ciudad de la Habana: CIDA, 1990.-- 43 p.
68. Lopes, E.S /et al/. Problemas no desenvolvimento e na colonizacao micorrizica natural de mudas de café en vivero. En: Reuniao Brasileira sobre micorrizas 1. Lavras. 1985. Anais Lavras FAEPE, 1986. p 156.
69. López, E. S. V. de Toledo, A. C. P. Wuthe *et al.* Efeitos do fungo micorrízico *Gigaspora margarita* no-desenvolvimiento de mudas de cafeeiro c.v.. Mundo Novo en condicoes de campo. In: Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 10; Pogos de Caldas, 1983. Anais. Río de Janeiro, IBC/GERCA, 1983 p.122-3.
70. López, C. E. Y A. Barceló. Las Micorrizas. Disponible en: [http:// www. Ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/Encuentros 55.html](http://www.Ciencias.uma.es/publicaciones/encuentros/Encuentros_55.html). [Consulta]: junio, 21- 2001
71. Maestri, M y Barros R.S. Café. En: Ecofisiologia de cultivos tropicales. Costa Rica. IICA. 1981. 50p.
72. Marschner, H y Dell, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil.** 159, 89-102. 1994.

73. Martinez Viera, R. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo.-- Ciudad de la Habana: Ed. Científico Técnica, 1986.-- p. 22-70.
74. Martinez Viera, R. Y G. Hernández. Los biofertilizantes en la agricultura cubana. II Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica.-- La Habana: ACAO, 17-19 de mayo de 1995.-- p. 43.
75. Maschio, L. M. A.; D. G. Auer e S. Gaiad. Relacao entre fungos MA e características químicas de um solo degradado sob recuperacao florestal.-- Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, 1994.-- p. 79.
76. McArthur, D.A.J y Knowles, N.R. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on the response of potato to phosphorus deficiency. **Plant Physiology**. 107:147-160. 1993.
77. Medina, A. /et al/. Coffee breeding and related evolutionary aspects in plant, breeding a vis prees connetient, 1984 .-- 157p.
78. Moawad, M. Ecophysiology of vesicular-arbuscular mycorrhizae in the tropics. En: The soil-roots interface. Academic Press. London. 1979 p 197-209.
79. Morton, J and G.L. Benny. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes). A new order Glomales, two new suborders, Glomaceae and Gigasporaceae, two new families, Acauslosporaceae and Gigasporaceae, With an emendation of Glomaceae Mycotaxon , 37 , 471-491,1990 .
80. Mosse, B. Advances in the study of va micorrhiza. **Ann. Rev. Phytopath.** 11, 171-196. 1973.

81. Noriega, C. Determinación del material foliar representativo del estado nutricional del cafeto, época de muestreo y levantamiento nutricional del cultivo en la Sierra Norte de Puebla. Tesis de ingeniero Agrónomo. México: Univ Autónoma de Chapingo. 1988. 22 p.
82. Ochoa, M y R .Rivera .La fertilización fosfórica del *Coffea arabica* L en un suelo Ferrítico Rojo Oscuro. Parte I. Fertilización mineral. **Cultivos Tropicales** 21(1) :73-79,2000.
83. Ochoa M, R. Rivera,C. Bustamante *et al.* La fertilización fosfórica en el *Coffea arabica* L en suelo Ferrítico Rojo Oscuro. Parte II. Fertilización órgano-mineral. *Cultivos Tropicales* 21(2):2001
84. Ojeda, L. Efecto de micorrizas Vesículo Arbusculares del genero *Glomus* en la producción de leguminosas forrajeras promisorias en la cuenca pecuaria El tablón. Tesis para optar por el grado de doctor en ciencias Agrícolas. La Habana, 1998,-- 125p
85. Orosco, M. O y V. Geaninazzi - Peacson. Estudio sobre la actividad fisiológica alcalina y succinato deshidrogenasa de las MVA en técnicas de nutrición fosfatada en plantas de soya. Resúmenes de Bioferto' 93.-- Ciudad de La Habana: IES - INRA SGAP. 1993.-- p. 226.
86. Paneque,V. */et.al./*. Manual de Técnicas Analíticas para Análisis de Suelo, Foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes Químicos. 2001
87. Patriquin, D.G y F. Moncayo. Cerrando el ciclo de los nutrientes. Conceptos obtenidos de la agricultura orgánica. Ed. A. Zapata y R. Espinel. Sistemas agropecuarios sostenibles y desarrollo rural para el trópico. Memorias II Seminario Taller Internacional. CIPAV (Cali), p 101-121, 1991.

88. Paulitz, T.C. and R.G Liderman. Interaction between (va) mycorrhizal and fluorecens Psedomonas in the Rhizosphere. **Phytopathology**, 78:1567.---1991.
89. Peyronel, B; Fassi, B; Fontana, A y Trappe, J.M. Terminology of micorrhizae. **Mycologia**, 61. 410-411. 1969.
90. Phillips, D.M y Hayman, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55. 158-161. 1970.
91. Plenchette, C.H. Les Endomicorrhiziens a vesicules et arbuscule (va): Un potentiel a exploiter en agriculture. **Phytoprotection** 63, 86-108. 1982.
92. Potty, V.P. Plan microbe inter -relationship in tuber crop. **Indian Farming** 33(12): 41-42,1984.
93. Primavesi, Ana. Manejo ecológico do solo. Agricultura em regioes tropicais.--- Sao Paulo. 1990.---164-197p.
94. Redhead, J.F. Endotrophic mycorrhizae in Nigeria. Some aspect of the ecology of the endotrophic mycorrhizal association of *Khaya grandifolia* C.D.C. *Endomycorrhizas*. Academic Press. London. 1975. p 447-459.
95. Rena B. A. y M. Maestri. Fisiología do cafeeiro. En A.B.R. Rena *et al.* Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986.- 447p.
96. Richards, B. N. Mycorrhiza development of loblolly pine seedling in relation to soil reaction and the supply of nitrate. **Plant and Soil**, 22:187-199, 1965.

97. Rivera R. y Ofelia Sam. Estudio preliminar de la interacción crecimiento vegetativo, crecimiento del fruto y el estado nutricional en *Coffea Arábica L* (var. Caturra) a plena exposición solar. **Cultivos Tropicales** 5(3):389-406, 1983.
98. Rivera R. Nutrición, fertilización y balance del fertilizante nitrogenado (^{15}N) para el cafeto en un suelo Ferralítico Rojo compactado./ R. Rivera - Tesis de grado (Doctor en Ciencias Agrícolas), INCA, 1988-110 p.
99. Rivera, R, C.Bustamente, C.González *et al.* Sistemas de fertilización, abonamiento y enmiendas para el cafeto con altas densidades de plantación. Informe final de etapa. Resultado 003-04-86. La Habana, INCA P.68, 1992.
100. Rivera, R.A./*et al.*/ Efecto de la coinoculación *Azospirillum brasilense* y hongos micorrizogénos va en el cultivo del arroz. En: Informe del trabajo anual de 1992 sobre Biofertilizantes. INCA. Documento Interno. La Habana. 1993 a. 15 p.
101. Rivera, R.A./*et al.*/ Sistemas de fertilización NPK para plantaciones bajo poda sistemática. Informe final de etapa. Resultado 003-04 PCT Desarrollo Integral de la Montaña. La Habana. INCA. 1993 b. 57 p.
102. Rivera, R. /*et al.*/ Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos (v.a) y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de las posturas de cafeto. **Cultivos Tropicales** 18(3): 15-23, 1997.
103. Rivera, R. / *et al.*/ Manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción de posturas de cafetos .1999.-- 32p.
104. Rivera,R., D. Garcia y K. Fernandez. Efecto de las aplicaciones de *Azospirillum brasilensis* y HMA sobre la nutrición, aprovechamiento del fertilizante nitrogenado y rendimiento del arroz. XII Seminario Científico del INCA. 2000.

105. Rivera, R y L. Ruiz. Efectividad de la simbiosis micorrizica, suministro de nutrientes y nutrición de las plantas. XV Evento Latinoamericano de ciencia del suelo. Sociedad Cubana de la ciencia del suelo boletin #4. 2001 p 113.
106. Ruiz, L. Y R. Rivera. La importancia del tipo de suelo en la selección de especies eficientes de HMA en la Horticultura Tropical. 41 Reunión Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical y 8^{va} Sociedad Mexicana de Horticultura, **Horticultura Mexicana**. Vol. 8 p. 368, 2001.
107. Rosendahl, C.N y Rosendahl, S. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) to salt stress. **Environ. Exp. Bot.** 31 (3): 313-318. 1991.
108. Ruiz-Lozano, J.M y Azcón, R. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. **Physiologia Plantarum**. 95: 472-478. 1995.
109. 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** 16 (1): 39-46. 1992.
110. Secilia, J y Bagyaraj, D.J. Selection of efficient vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice (*Oryza sativa* L.) **Plants Biol. Fertil. Soils**. 13: 108-111. 1992.
111. Setzer, J. Sobre ecología do café. **Boletin da Superintendencia do Sevicios do Café**. 27 (302), 313-322. 1952.
112. Sieverding, E. and D. E. Leiber. Influence of crop rotation and intercropping of cassava with legumes on VA mycorrhizal symbiosis of cassava. *Plant and Soil* 80(1): 143-146, 1984

113. Sieverding, E. and R. H. Howeler. Function of VAM for cassava growth. -- Cali: CIAT, 1985.-- p. 321-339.
114. Sieverding, E. and T. S. Toro. Effect of mixing VAM inoculum with fertilizer on cassava nutrition and VAM fungal association. **Agriculture Ecosystems and Environment** 29(1-4): 397-401, 1989.
115. Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 1991. 371 p.
116. Sieverdig, E. Yield response of cassava to field inoculation with VA-mycorrhiza in acidic soils.-- USA: North American Conference on Mycorrhizae, 1984b.-- p. 241. . **Angewandte Botanik** 8(3-4): 283-294, 1984b.
117. Siqueira , J.D. Biotecnologia do Solo. Fundamentos e perspectivas. Ciências Agrárias nos trópicos brasileiros. Serie Agronomía, 1988, 125-166.
118. Siqueira, J.O y A. Colozzi-Fhilo,. Micorrizas vesiculo a arbusculares en mudas de cafeeiro. II. Efeito do fosforo no estabelecimento e funcionamento da simbiosis. **R. Bras. Ci. Solo. Campinas.** 10 (3), 31-38. 1986.
119. Smith, S.E y Bowen, G.D. Soil temperature, mycorrhizal infection and nodulation of *Medicago truncatula* and *Trifolium subterraneum*. **Soil. Biol. Biochem.** 11, 469-473. 1980.

120. Soil Survey Staff. Claves para la taxonomía de suelos, versión 1994. Traducción de: Carlos A. Ortiz. Primera edición en español. 1995. Publicación especial 3. Sociedad Mexicana de ciencia del suelo (SMCS). Chapingo, Mexico, 1995, 306 p
121. Solaiman, M.Z y Hirata, H. Effects of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Rice Growth and N,P,K Nutrition under different water regimes. **Soil Sci. Plant Nutr.** 41 (3) 505-514. 1995.
122. Soto F. Crecimiento de posturas de cafetos (*C.arabica L.*) influido por diferentes condiciones de aviveramiento. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana. 1994. 174 p.
123. Strullu, D.G. Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivées. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 1991
124. Tarafdar, J.C y Marschner, H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus. **Soil Biology Biochem.** 26 (3): 387-395. 1994.
125. Tester, M.; S.E. SMITH and F. A. Smith. The phenomenon of nonmycorrhizal plants. **Ca. J. Bot.** 65: 419-431, 1987.
126. Thomas, L.; B. C. Mallesha and D. J. Bagyarat. Biological control of Damping off of Cardamon by the VA mycorrhizal fungus *G. fasciculatum*. **Microbial. Reseach** 149(4): 413-417, 1994.
127. Timonin, M. J. The interaction of higher plants and soil microorganisms. I. Microbial population of rhizosphere of seedling of certain cultivated plants. **Canad J. Res.** 18:307-317, 1940.

128. Trappe, J. M. Phylogenetic and ecologic aspect of mycotrophy in the Angiosperms from an evolutionary standpont.-- Boca Ratón: CRC Press, 1987a.-- p. 5-25.
129. Trappe, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En: Safir, G.R Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. CRC ress. Boca Raton. 1987b, p 5-25.
130. Tropical products.. Situation of the production of Coffe. Annual Report, 1997, 11p.
131. Vaast, P and R. J. Zasoskí. Effect of nitrogen Sources and micorrhizal inoculation with different species on Growth and nutrient composition of yoreng Arabica Seedlings. **Café Cacao Thé**. 35: 2, 121-128, 1991.
132. Valencia, G. Factores que afectan la productividad del cafeto EN: Manual de nutrición y fertilización del café, Instituto de la potasa y el fósforo (INPOFOS), Quito Ecuador 1-2.—1998.
133. Van der Graff. Coffees, coffea sp. En: Breeding for durable resistance in perennial crops. FAO (Roma) Cap 6. 1986. p 49-74.
134. Walker, C. and J.M.Trappe. Names and epithetis in glomales and endonales. Mycol. Res 97,339-344.1993.
135. Walker, C. Systematic and Taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (glomales): a possible way forward. Agronomie 12 (10), 887-897. 1992.
136. Winter, A. G. Untersuchungen über die O kologie and Massenwechsel bodenbewohnender mikroskopischer pilze. **Arch. Mikrobiol** 16:136-142, 1951.