

**Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas
Universidad Agraria de la Habana**

Maestría: Nutrición de las plantas y Biofertilizantes.

Titulo. “Efectividad de la inoculación de cepas de HMA en la producción de posturas de cafeto sobre suelo Ferralítico Rojo compactado y Ferralítico Rojo lixiviado de montaña”

Autor: Ing. Jose Pedro Joao

Tutor: Dr. C. Ramón Rivera Espinosa

I. INTRODUCCION

El cafeto es uno de los cultivos de mayor importancia económica en el mundo, su producción mundial es bastante elevada, pues el café es un producto de alta demanda mundial de ahí que constituye una gran fuente de empleo y de divisas, para muchas naciones de África, Asia y América Latina (Alvarez,1991).

Los principales países productores se han visto en los últimos años en la necesidad de desarrollar nuevas técnicas para la producción intensiva del cafeto, teniendo como elemento primordial las altas densidades de plantación , siendo para esto importante la producción de una gran cantidad de posturas en los viveros, para satisfacer las necesidades crecientes de siembra.

Es importante destacar la optima calidad que debe tener las plantaciones, para llegarse a una caficultura realmente intensiva. Por eso hay que garantizar una producción de posturas de alta calidad en los viveros, porque estas serán las responsables de una mayor o menor producción en el futuro (Guerra,1974).

En la actualidad las investigaciones van dirigidas a la creación de nuevas alternativas que impliquen la disminución de los costos de producción, sin afectar la calidad de las posturas de cafeto.

Debido al encarecimiento de los fertilizantes químicos y a las escasas reservas naturales de algunos nutrientes, bien así como los grandes consumos energéticos para la fabricación de los fertilizantes, el uso de las alternativas, se imponen no solo como una necesidad en la producción agrícola sino también en la agricultura científica del futuro, sin afectar la ecología y con una factibilidad económica (Altieri,1997).

Esta imperante necesidad de buscar alternativas que mejoren la eficiencia de utilización de los fertilizantes minerales y el auge adquirido en la implantación de tecnologías cada vez mas respetuosas del ecosistema y los recursos naturales, han dado nueva vida e impulso notable a la idea del uso de los biofertilizantes o biopreparados basados en los microorganismos del suelo que intervienen en la nutrición de las plantas y a partir del uso del Rhizobium algunos ya se emplean de manera comercial (Martínez-Viera et al 1986;INCA, 1998).

Uno de estos biofertilizantes son los preparados a partir de propágulos de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), cuya eficiencia se encuentra en alto grado condicionada a múltiples factores vinculados al dinamismo del sistema suelo-planta. Varios autores han hecho énfasis en su importancia, beneficios y ventajas (Ferrer y Herrera, 1991; Fernández et. al. ,1997; INCA, 1998); otros trabajos se han referido al aislamiento y clasificación de las especies y cepas (Tester et. al.,1987; Ferrer y Herrera,1991; Furrázola et. al., 1992), algunos como Sieverding,1984, Howeler,1985;Rivera et.al.,1999) han puesto de relieve el carácter específico selectivo de las cepas respecto al cultivo y al suelo.

No pocos investigadores han dedicado su atención al papel de los HMA en la nutrición vegetal, con énfasis en lo que respecta al fósforo (Safir,1980; Ruiz Martínez,1984; Ahiabor e Hirata, 1994; INCA, 1998; Fernández, 1999; Sánchez et. al., 2000), aunque en los últimos años se intensifican los resultados sobre los efectos beneficiosos de la simbiosis en la absorción de prácticamente todos los elementos minerales esenciales, George (2000) y Ruíz (2001).

Las asociaciones micorrízicas, conformadas por algunos hongos del suelo y las raíces de las plantas, están consideradas como la simbiosis universal (Herrera et al.,

1988; Barea et al., 1991), ya que cerca del 85% de las especies vegetales con interés agronómico las poseen de forma natural.

Estas asociaciones confieren a las plantas las siguientes ventajas:

- Una mayor capacidad de absorción radical
- Un notable aumento en la toma de nutrientes (N, K, Cu, Zn, B, Mo, Fe y en especial el ión Fosfato).
- Aumenta la resistencia al stress hídrico.
- Una mayor resistencia al ataque de nemátodos y enfermedades en general (Marschner y Dell, 1984).

El cultivo del cafeto acepta la simbiosis de forma natural, con los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), necesitando de estos para su establecimiento, por lo que se considera un cultivo micótrofo obligatorio, que tiene alta dependencia micorrízica para lograr un ritmo adecuado de absorción de nutrientes (Sieverding, 1991).

El momento adecuado para la inoculación con los hongos micorrizógenos es en el vivero, para los cultivos que así se propagan inicialmente, combinándose en esta fase del cultivo cantidades bajas del inoculante, cepas eficientes y altamente competitivas con una tecnología eficiente y sencilla.

Con la inoculación con HMA, en el cafeto algunos autores como Siqueira et al., 1983; Antunes et al., 1988 y Saggin-Junior et. al., 1994, han encontrado una respuesta exitosa, obteniéndose posturas más vigorosas, con mayor supervivencia en la fase de establecimiento de la plantación e incluso se mantiene su efecto positivo sobre el rendimiento de café en las cosechas de la plantación.

Teniendo en cuenta las características de los suelos dedicados a la producción de posturas de café, así como los criterios generales sobre la efectividad de los hongos MA en función de la fertilidad de los suelos (Siquiera y Franco, 1988) y de algunos aislamientos de cepas realizados (Furrazola et al., 1990) y de los trabajos realizados por Fernández (1999) y Sánchez (2001) se acometió el presente trabajo con la siguiente hipótesis:

La inoculación de cepas adecuadas de hongos micorrizógenos permitió la obtención de posturas vigorosas, con ahorros de abono orgánico y/o fertilizante mineral, una mayor eficiencia económica y disminuyendo la dependencia de insumos externos al sistema.

Persiguiendo el mismo, los siguientes objetivos:

- Estudiar la efectividad de la inoculación con diferentes cepas de HMA sobre la producción de posturas de café en dos tipos de suelo (Ferralítico rojo compactado y Ferralítico rojo lixiviado de montaña) y su dependencia con las diferentes relaciones suelo: abono orgánico y niveles de fertilizante fosfórico.
- Estudiar el funcionamiento de la asociación micorrízica en las posturas de café a través de los índices foliares de las plantas y diferentes parámetros fúngicos y su dependencia con los distintos factores estudiados.
- Contribuir al desarrollo de una tecnología eficiente de producción de posturas de café basada en el manejo de la inoculación micorrízica.

II. Revisión Bibliográfica.

2.1 Aspectos generales de las micorrizas.

Según Plenchette (1982), el término micorriza, fue utilizado por primera vez por el botánico alemán Albert Bernard Frank (1881), para definir “La asociación de hifas a los órganos subterráneos de las plantas superiores”. Para eso, utilizó el vocablo griego “Mykos” (hongos) y del latín “rhiza” (raíz).

Las asociaciones micorrízicas se encuentran distribuidas, desde los polos hasta los trópicos (Mosse, 1973; Perry et al., 1990), formando asociaciones con las especies vegetales en la mayoría de los ecosistemas terrestres, exceptuándose algunas plantas de zonas pantanosas y acuáticas (Solaimán y Hirata, 1995). El surgimiento de las micorrizas se remonta desde hace millones de años, siendo tan antiguas como las mismas plantas, lo cual se pone de manifiesto en la existencia de estructuras fúngicas similares a las micorrizas actuales.

La asociación da lugar a un nuevo órgano que tiene morfología y fisiología propia y que algunos autores como Letacon y Obaton (1983), Dommerges y Mangenot, (1970); Strullu, (1991) y Allen, (1992) llamaron hongo-raíz.

Dommerges y Mangenot (1970) y Palma et al., (1993) plantearon que la asociación micorrízica en un sentido más estricto, resulta la unión íntima entre huésped y hospedero, donde intervienen factores como la virulencia del hospedero y la reacción de defensa del macrosimbionte, mucho menos severo y de carácter temporal con relación a los microorganismos patógenos típicos.

Entre las funciones que se le atribuyen a las asociaciones micorrízicas se destacan las siguientes:

- El incremento de la superficie absorbente del sistema radical a través de un aumento significativo del mismo y por ende un incremento en la adsorción con eficiencia de la toma de nutrientes.
- El aumento de la tolerancia a las toxinas.
- Solubilización de ciertos elementos nutritivos.
- Resistencia a condiciones adversas (sequía, salinidad, etc.).
- Selectividad de la absorción y cierta protección contra los patógenos radicales.

Peyronel et al., (1969), tomando en consideración la distribución geográfica de los simbiontes, su morfoanatomía y ultraestructura reclasificaron las micorrizas de la siguiente manera:

- Ectomicorrizas .
- Endomicorrizas.
- Ectendomicorrizas.

Las ectomicorrizas: se pueden visualizar microscópicamente. Se caracterizan por la penetración intercelular del micelio fúngico en la corteza radicular que forma la “ red de Harting “ y el “ manto” que se desarrollan alrededor de los segmentos de raíces colonizadas, provocando cambios anatómicos evidentes que producen el crecimiento dicotómico de las raíces (Strullu, 1991; Allen, 1992).

Las endomicorrizas: se caracterizan por la penetración inter e intracelular, sin formación de manto ni modificaciones morfológicas evidentes en las raíces. Cumplen con estas condiciones las micorrizas ericoides, orquidoides y las micorrizas vesículo-arbusculares, siendo los dos primeros tipos de distribución restringida a los taxones hospederos que le dan el nombre y el tercero, el de más amplia distribución geográfica (Siqueira, 1985; Allen, 1992).

Las Ectendomicorrizas: presentan características de uno y otro grupo antes mencionados y tienen una distribución muy restringida.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares, según Walker (1992), se ubican actualmente en la clase Zygomycetes, orden glomales, formando las siguientes familias y géneros:

Familia: Glomaceae

Géneros: Glomus

Sclerocystis

Familia: Acaulosporaceae

Géneros: Acaulospora

Entrophospora

Familia: Gigasporaceae

Generos: Gigaspora

Scutellospora

Las micorrizas del tipo arbuscular (MA) constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta, tanto por el número de hospederos, como por su distribución. Más del 95% de las especies vegetales existentes están micorrizadas de forma nativa y a su vez en 95% de los casos estas micorrizas son del tipo arbuscular (Barea et al., 1991; Read et al., 1992) constituyendo las más apropiadas para desarrollar programas basados en agricultura de bajos insumos (Bonfante y Perotto, 1995).

Ellas han sido encontradas desde los trópicos hasta el Ártico y debido a su amplio espectro de hospederos, existen muy pocos ambientes naturales que no las exhiban, siendo dos posibles excepciones la mayoría de las plantas que crecen en

ambientes acuático y los bosques estrictamente ectomicorrízicos (Siqueira y Franco, 1988; Solaiman e Hirata, 1995).

El interés agronómico, en general, con respecto a los hongos micorrizógenos arbusculares, estriba en la capacidad de las hifas externas de las raíces colonizadas para absorber nutrientes del suelo y translocar estos nutrientes a la parte aérea de las plantas, promoviendo un mayor desarrollo de las mismas. (López y Lombardi, 1981; Botello y Ferrera-Cerrato, 1987; Bertha et al., 1990). Su efecto repercute tanto sobre nutrientes móviles (Mosse, 1983; Koide, 1991; Johansen et al., 1992; Cliquet y Stewart, 1993; Marschner y Dell, 1994) como de baja movilidad (Guildon y Tinker, 1983; George et al., 1994).

El aumento de la absorción de nutrientes, no es entre tanto, la única forma en que las micorrizas pueden beneficiar el desarrollo de las plantas. Bethlenfalvay et al., (1984) consideran a los hongos micorrizógenos arbusculares como prerequisite para la supervivencia y el crecimiento de las plantas en suelos áridos, debido a su importancia en la nutrición fosfórica de las plantas y en la absorción de agua.

Ellos pueden aumentar la resistencia a la deficiencia hídrica (Safir et al., 1971; Siqueira, 1985), incrementando su tolerancia a la sequía debido fundamentalmente al aumento de la conductividad estomática o tasa de transpiración (Auge, 1989; Druge y Shonbeck, 1992). Existen considerables evidencias de que las plantas micorrizadas incrementan su tolerancia a diferentes estrés, como pueden ser los daños ocasionados por el trasplante (Menge et al., 1978) y la salinidad del suelo (Ojala et al., 1983).

Además, aumentan la tolerancia a patógenos (Schenck y Kellan, 1978) dependiendo de la naturaleza de estos y del tipo de enfermedades que provoquen.

Es de resaltar la incidencia sobre los ataques de hongos fitopatógenos, principalmente de los géneros *Fusarium* (Wyss et al., 1991), *Rhizoctonia* y *Phytophthora* (Marx, 1969; Bagyaraj, 1984) y nemátodos, siendo su efecto positivo frente al género meloidogine de significativa importancia (Schonbeck, 1979; Ingham, 1988). La resistencia a las infecciones bacterianas es de menor magnitud, produciendo también una disminución del daño que estas causan (Strullu, 1991). Se ha encontrado además que las plantas micorrizadas producen una estimulación de la producción de fitoalexinas, que son compuestos antimicrobianos de bajo peso molecular, y que forman parte de los mecanismos de defensa de las plantas frente a patógenos. Estos productos aparecen como resultado de la síntesis “ De Novo”, inducida por la presencia de patógenos u otro elicitador, en este caso los hongos micorrizógenos (Wyss et al., 1991). Otro beneficio producido por las micorrizas es su capacidad de producir factores de crecimiento (Tinker, 1980; Asa, 1992).

Para que se desarrollen los hongos que forman asociaciones del tipo arbuscular se necesita de una planta, debido a que el mismo no tiene capacidad de síntesis nuclear propia de ácido desoxirribonucleico (ADN) (Hendrix et al., 1995; Burggraaf y Beringer, 1989 y Calvet et al., 1993), y por ende no puede multiplicarse de por sí.

El proceso se inicia a partir de una hifa de penetración, que puede ser originada o emitida desde una espora germinada (propágulo más numeroso en el suelo), una raicilla infectada o un propio segmento de hifa, que active su crecimiento bajo determinadas condiciones químicas-físicas del suelo (Bianciotto et al., 1989).

Esta se desarrolla y al realizar contacto con la planta, forma una estructura llamada apresorio, que le sirve de sostén en la fase primaria de la infección, penetrando a la

raíz por los pelos absorbentes o células epidérmicas situadas detrás de la región meristemática (Bonfante y Perotto, 1995).

El desarrollo de las hifas ocurren en las células del cortex, en el interior de la capa de células que colindan con el endodermo. Estas se ramifican intensamente de manera dicotómica con el propósito de llegar a formar rápidamente las estructuras arbusculares. En los arbusculos ocurren los procesos de intercambio de nutrientes entre el huésped y el miceto; una vez alcanzado la madurez fisiológica de este proceso (7-15 días), estos son destruidos en el interior de las propias células. Por lo tanto, el hongo nunca llega a penetrar hasta el cilindro central.

Seguidamente, surgen las vesículas, que son órganos formados en la corteza debido al hinchamiento de una Hifa, generalmente terminal, cuando las micorrizas se encuentran estabilizadas. Estas contienen en su interior gránulos de lípidos, cuya función principal es ser material de reserva.

2.2 La Simbiosis.

La Simbiosis significa 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).

En el caso de las asociaciones micorrizicas, se encuentran regidas fundamentalmente por los genomas de la planta y el hongo, modelada a su vez por el medio ambiente (Krishna et al, 1985, Dehne, 1988, Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1989).

Las hifas, a través de un proceso activo absorben el P del suelo, convirtiéndose este después de un proceso de fosforilación en gránulos de polifosfato (2P), los que son

transportados por la corriente citoplasmática hasta la vesícula, donde pueden ser almacenadas temporalmente o ir para los arbusculos directamente.

En los arbusculos 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).

Simultáneamente en el sentido contrario desde la planta hacia el hongo vía floema, ocurre la transferencia de carbohidratos provenientes de la fotosíntesis. Estos van en forma de sacarosa y son hidrolizados a través de una enzima llamada invertasa, convertidos en dos monómeros, que a su vez se descomponen posteriormente y se fosforilan en moléculas de triosa-P, para ser transferidos al simbionte vía arbusculos (Letacon y Obatón, 1983).

2.3. Factores que afectan la presencia y eficiencia de las micorrizas arbusculares

2.3.1 Factores biológicos

Ciertos componentes de la microbiota del suelo, como hongos, bacteria y actinomicetos, pueden actuar como parásitos, antagonistas y comensalistas, en relación a los hongos micorrízicos. En el primer caso se tiene los hiperparásitos, como el Rhizidiomycopsis, Phytochytrium, Anquillospora e Humicola, que parasitan esporas, tubo germinativo y micelio, inviabilizando los propágulos de los hongos MA en el suelo. También el hongo Stachybotrys chartarum y los actinomicetos del suelo inhiben la germinación de esporas, produciendo estos últimos sustancias volátiles, con elevado poder fungistático.

Se conoce además que las esporas de los hongos HMA pueden ser parasitadas por hongos del género Chytridiaceus (Paulitz y Menge, 1986) y ciertas amebas, que al parecer juegan un papel importante en el control de la dinámica de las poblaciones de esporas (Boyetchko y Tewari, 1991).

Por otra parte, determinadas bacterias y Actinomicetos favorecen la germinación de esporas, y aquellas productoras de enzimas pectolíticas favorecen el establecimiento del hongo MA en las raíces. Además ocurren relaciones sinérgicas entre hongos HMA y Rizóbium, bacterias solubilizadoras de fósforo, azotobacter, azospirillum y otras bacterias rizosféricas (Corbera y Hernández 1997, Rivera et al., 1997; Ruiz et al., 1997).

Ames, 1989 y Tylka et al., 1991 estudiaron el efecto de algunos Actinomicetos sobre la germinación de esporas de HMA, encontrando cierta especificidad en los mecanismos de aceleración de los procesos germinativos de estos hongos. De forma general, los HMA se interrelacionan con estos grupos de microorganismos que conviven en la rizosfera; es por ello que otros microorganismos tienen relaciones de tipo sinérgicas con ellas en el ecosistema (Finlay, 1985 y Siqueira y Franco, 1988).

Katznelson et al, 1962; Ames et al, 1984, y Garbaye y Duponnois, (1991) definieron la zona hifosférica o micorrizosférica como la región en las raíces de las plantas micorrizadas en íntimo contacto entre microorganismos presentes y micelio extramatricial del hongo.

Según Garbaye, (1991) una amplia variedad de organismos viven en la zona micorrizosférica, aprovechando la gran cantidad de compuestos orgánicos que son liberados por las plantas.

Las interrelaciones microbianas que mayor importancia revisten para los hongos MA, son las que se presentan con las denominadas bacterias micorrizoféricas especializadas como es el caso de las solubilizadoras de fósforo (BSF) y otras bacterias rizosféricas nitro fijadoras, denominadas como bacterias estimuladoras del crecimiento vegetal (PGPR)(García y Ocampo, 1989). Estas bacterias se encuentran en la rizosfera de cultivos como: la soya, papa, maíz, cafeto, remolacha, caña de azúcar, flores, arroz y plantas nativas que viven en condiciones difíciles (Kleopfer et al., 1980).

2.3.2 Factores Climáticos

Las variables climáticas como el efecto estimulante de la luz, la temperatura y la cantidad y distribución de las lluvias, representan otro grupo de factores que actúan sobre las micorrizas (Hayman, 1974 y Furlan, 1977). Durante el desarrollo del proceso de formación de las micorrizas arbusculares la ausencia de la luz, tanto por sombra o por poca iluminación, no solo reduce la infección micorrizica de las raíces y por ende la normal producción de esporas, sino que también puede afectar la respuesta de las plantas a esta asociación.

Este fenómeno 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 (Moawad, 1979).

Según Siqueira, 1988 la reducción de la intensidad luminosa produce una caída en la fotosíntesis y en la tasa de micorrización de las raíces. Las variables antes

mencionadas controlan la distribución espacial y temporal de las poblaciones vegetales superiores, ejercen influencia marcada sobre las características físicas y químicas del suelo y controlan, de forma directa la distribución geográfica de los varios tipos de micorrizas, sus variaciones estacionales y composición cualitativa y cuantitativa, en los ecosistemas distribuidos a través del planeta.

2.3.3 Factores físico- químicos.

El nivel de humedad del suelo, la aireación, la inundación y la compactación influyen en el desarrollo de las micorrizas. Los suelos con elevado tenor de humedad o sujetos a la inundación, por lo tanto con aireación deficiente, son generalmente desprovistos de micorrizas, porque los hongos micorrizicos son aeróbicos obligatorios. No obstante esto diversos autores como, Dhillion y Ampornpan, (1990) Secília y Bagyaraj, (1992) y Fernández et al., (1997) plantean que los hongos MA forman simbiosis con plantas acuáticas, y el cultivo del arroz, admitiéndose de forma general que su desarrollo es lento en suelos anegados .

La influencia que tiene la falta de agua sobre la infección micorrízica dentro y fuera de la raíz es diferente. Daniels y Trappe (1980) anunciaron que el contenido de agua por encima de la capacidad de campo favoreció la germinación de esporas de hongos micorrizógenos.

La formación de micorrizas juega un papel importante en el crecimiento de las plantas bajo condiciones de "stress hídrico", sobre todo en aquellas plantas que se exponen un largo periodo de tiempo a la falta de agua. Estas plantas logran desarrollar una capacidad de absorción superior, que les permite a su vez una mayor absorción del agua y nutrientes que ya bajo esta situación no se moverían por efecto de masa sino por un aumento de la "pseudo difusión", ocurriendo de hecho

una irrigación en la planta que mantuviera a las hifas del hongo aún en condiciones adversas, desarrollándose satisfactoriamente la asociación planta-HMA (Ruiz-Lozano y Azcon, 1995).

Mengue y col (1978), indicaron que la infección micorrízica era importante en el transplante de las plantas de semillero a suelo, ya que estas asociaciones aumentan la capacidad de absorción de las plantas.

Safir y col (1972) y Sánchez et al., 1990 indicaron que las plantas deficientes en fósforo (P) fueron muy susceptibles a la falta de agua, demostrando que en plantas de *Glycine max* bien nutridas en P se produce una mayor conducción de agua producto de un buen desarrollo del micelio externo.

Fitter, (1988) y Sieverding et al., (1989), determinaron que la cantidad de agua necesaria para producir un 1g de materia seca fue mucho más baja en plantas con asociaciones micorrízicas que en plantas no micorrizadas.

La temperatura del suelo es otro factor físico de gran importancia para las micorrizas, ella interviene en la sobrevivencia de los propágulos y en el establecimiento y funcionamiento de la simbiosis, pero tanto los hongos ectomicorrizicos, como los MA, exhiben elevada capacidad de ecoadaptación a la temperatura.

Un factor de gran importancia es el pH del suelo, que determina en muchos casos la eficiencia del endófito, porcentaje de germinación de las esporas y desarrollo de los HMA (Green et al., 1976) y la propia distribución de las especies y cepas en los ecosistemas.

La relación que se establece entre los rangos de pH del suelo y la efectividad micorrízica es verdaderamente complejo, dependiendo no solo de la especie

micótica; sino también del tipo de suelo, forma en que se encuentran los nutrientes fundamentalmente el P, N y otros elementos como Cu, Zn, Mo, B etc., y en menor importancia el tipo de especie de planta sobre la que se desarrolla.

Según Siqueira, 1988 en general el encalado de los suelos minerales ácidos elimina los factores fungistáticos y favorece el establecimiento de las MA, especialmente de aquellas formadas por especies del género *Glomus*, que con pocas excepciones, prefieren suelos con pH próximo al neutro, al contrario de lo que es observado por la mayoría de las especies de los géneros *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Entrophospora*, que prefieren pH más o menos ácido.

El encalado de los suelos minerales ácidos, no cultivados, puede por lo menos temporalmente, reducir la formación de micorrizas, pues la elevación del pH puede tener efectos adversos sobre la infectividad de los hongos nativos, naturalmente adaptados a las condiciones ácidas. Modificaciones en el pH interfieren en el índice de ocurrencia de las especies y densidad de esporas en la rizosfera, en la proporción de diferentes hongos en las raíces y en la germinación de las esporas.

2.4 Papel de las micorrizas arbusculares en la nutrición vegetal

Tomando en cuenta la necesidad de reducir el uso indiscriminado de fertilizante químicos, se han venido haciendo en los últimos años múltiples estudios acerca del papel relevante de la simbiosis micorrízica en la producción vegetal (Siqueira et al, 1986; Rosendahl, y Rosendahl, 1991 y Mcarthur y Knowles, 1993).

En los suelos tropicales, deficientes en fosfato (P) asimilable, tiene una importancia especial el uso de las asociaciones micorrízicas arbusculares, por el beneficio que producen en el crecimiento de las plantas. En este tipo de suelo es mucho mayor el

potencial de explotación de las micorrizas con relación a las regiones de clima templado (Fredeen et al, 1989 y Sieverding, 1991).

La inoculación de las plantas con hongos micorrizógenos provoca generalmente un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes tales como: P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo, B (Koide, 1991 y Marschner y Dell, 1994).

Black (1980) plantea diversas razones por las cuales, el uso de las asociaciones micorrízicas, particularmente en suelos tropicales, adquieren gran importancia.

- Los bajos niveles de fósforo asimilable o la alta capacidad de fijación de este elemento en el 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 micotrófico arbuscular de la mayoría de las especies de interés económico en los trópicos.

El transporte de nutrientes en las plantas micorrizadas se basa en tres procesos, absorción o captación a partir del suelo, traslocación a través de las hifas del hongo y transferencia al hospedero.

Estudios realizados con P^{32} muestran que las plantas micorrizadas tienen el mismo acceso a las fuentes fosfóricas que las no micorrizadas, pero las primeras utilizan con mayor eficiencia fosfatos de baja solubilidad, como aquellos que forman sesquióxidos de Fe, Al, Ca, predominantes en los suelos tropicales y rocas

fosfóricas (Siqueira y Paula, 1985; Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1990; Bolan, 1991).

Cress et al., (1979) demostraron que las hifas fúngicas tienen mayor afinidad por el ión fosfato, cuando la concentración de éste en solución es baja.

Rhodes y Gerdenman (1975) determinaron mediante P^{32} , que el micelio puede extenderse en el suelo hasta una distancia de 7 cm de la raíz. Un pelo radical puede poner a disposición de una raicilla los nutrientes y el agua que se encuentran hasta 2 mm de la epidermis, mientras que las hifas del micelio extramátrico de las micorrizas pueden hacerlo hasta 80mm, lo que representa para la misma raicilla, la posibilidad de explorar un volumen de suelo 40 veces mayor (Hetrick,1991).

La formación de micorrizas arbusculares induce cambios fisiológicos en las plantas, los cuales contribuyen a su vez a mejorar la absorción de nutrientes; Hayman (1983) los resumió de la siguiente manera:

- a) Las raíces se mantienen funcionales por más tiempo cuando están micorrizadas.
- b) Las raíces micorrizadas pueden absorber fósforo del suelo cuando este elemento se encuentra en concentraciones tan bajas, que no puede ser absorbido por las no micorrizadas.
- c) Las raíces colonizadas son más activas porque contienen mas energía metabólica.

2.4.1 Nutrición Fosfórica

El fósforo es uno de los nutrientes fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las funciones que realiza no pueden ser ejecutadas por ningún otro elemento y se requiere de un adecuado suplemento para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima.

Los hongos micorrizógenos juegan un papel vital en la toma de P presente en los suelos (Harley y Smith, 1983 y Trimble y Knowles, 1995). Por otra parte la concentración del ión fosfato en los suelos tropicales es generalmente baja y en la zona del suelo donde crecen y se desarrollan las raíces (unos pocos milímetros de distancia) ocurre un rápido agotamiento del P, debido al suministro inadecuado del mismo provocado por la alta capacidad de fijación del elemento en el propio suelo (Brandy, 1984, Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1983). Este efecto se ve atenuado a través de las hifas externas del hongo micorrízico, que son capaces de explorar más allá de esa zona de deficiencia y tomar los fosfatos que hasta ese momento, físicamente, eran inasequibles para la planta (Fixen, 1997).

Los mecanismos de la toma de este elemento por el hongo se desconocen, sin embargo se sabe que este elemento se toma en forma de ortofosfato primario (H_2PO_4) y también como ión fosfato secundario (HPO_4), (Espinosa, 1999) y se transporta a través de la hifa en forma de polifosfatos.

El fósforo penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radicales de la raíz y de las micorrizas. Este elemento presenta una baja solubilidad y un movimiento restringido en la mayoría de los suelos tropicales, donde reacciona con otros constituyentes del suelo como los óxidos de Hierro, Aluminio y Calcio, e interactúa con los coloides, (Beatón, 1997).

Se ha comprobado que la humedad excesiva del suelo disminuye la longitud total de las raíces y su actividad metabólica, lo que puede ser un factor muy importante en la baja respuesta encontrada al fósforo en suelos con altos contenidos de humedad.

Bolan et al., (1987) plantean la posibilidad de que las plantas micorrizadas no utilicen las mismas fuentes de fósforo que las plantas no micorrizadas sin embargo estudios con P^{32} en suelos, mostraron que las plantas micorrizadas tienen el mismo acceso que las no micorrizadas, pero utilizan con mayor eficiencia los compuestos de baja solubilidad como fosfatos de Hierro, Calcio y Aluminio predominantes en los suelos ácidos de los trópicos y en las rocas fosfatadas(Siqueira, 1985,Fernández,1996).

Guerrero(1996), refiriéndose a las micorrizas arbusculares, agrega que el proceso de colonización se ve afectado por el nivel de nutrientes del suelo, donde en los de moderada o baja fertilidad la colonización se ve favorecida, en tanto, que para suelos de alta fertilidad y ricos en fósforo y nitrógeno, el establecimiento del hongo es lento. Plantea también que la colonización en suelos con bajos contenidos de fósforo está correlacionada con aumentos del contenido de exudados en la rizosfera, lo que estimula la germinación y el crecimiento del simbionte.

Los hongos micorrizógenos deben ser considerados en el diseño de sistemas agrícolas sostenibles, no solo como sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales, sino también como componentes inseparables de los agroecosistemas, donde pueden tener efectos positivos o negativos en el funcionamiento de las plantas (Collins y Pflieger, 1992). Frecuentemente se cita que la eficiencia de las micorrizas depende del nivel de fósforo en el suelo, y que no son de esperar efectos positivos a niveles altos de fósforo asimilable. Aunque esto es cierto en general,

depende de las características de los suelos y de la fiabilidad del extractante para estimar el fósforo asimilable en el suelo.

Numerosos investigadores (Abbott y Robson, 1984; Tinker, 1980; Howeler et al., 1982; Grahan, Leonard y Menge, 1982; Bolgiano, Safir y Warneke, 1983; Schwab, Menge y Leonard, 1983; Son y Smith, 1988) han encontrado una disminución de la eficiencia de los hongos micorrizógenos, en la medida que aumentan los niveles de fósforo en el suelo, sin embargo, a niveles muy bajo de este elemento en el suelo, la asociación tampoco es efectiva para ambos, ya que el hongo absorbe el fósforo lábil a igual concentración que la raíz de la planta (Mosse, 1981).

Pacovsky et al., (1986 a) realizaron estudios con plantas de soya (*Glicine max.L*) y Sorgo (*Sorghun Vulgare*), inoculadas con distintas especies de hongos micorrizógenos (*Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus sp*) y sin inoculación con la aplicación de dosis crecientes de **P**. Estos estudios condujeron a importantes conclusiones acerca del funcionamiento micorrízico que a seguir se plantean.

- Se observó que las plantas micorrizadas con las distintas cepas de MA presentaban similares niveles de colonización
- En las plantas no inoculadas el contenido de P se incrementó exponencialmente, sin embargo en las micorrizadas el incremento fue logarítmico siguiendo el propio desarrollo fúngico.
- Las plantas micorrizadas crecieron de 3 a 6 veces más que el control absoluto (sin P), igualando el crecimiento de las plantas no micorrizadas y que recibieron la dosis alta del elemento, con solo la mitad del P aplicado.

- Las plantas micorrizadas presentaron los mismos niveles de P que las que tenían la dosis más alta sin inocular, las mismas concentraciones de Mn y Fe, pero mayor presencia de Zn, Cu, Mo, y B.

Se pudo afirmar que las plantas tratadas con P y sin micorrizas difieren anatómicamente y fisiológicamente de las inoculadas, sin embargo utilizan la misma fuente de fosfatos solubles del suelo.

2.4.2 Absorción de otros elementos

Al igual que el fósforo, el nitrógeno tiene una importancia extrema para el crecimiento de las plantas. Los hongos micorrizógenos aunque no son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico (N_2), favorecen su adquisición a través de efectos indirectos y de un aumento en la absorción del nitrógeno del suelo, ampliando el área de exploración radical en las plantas micorrizadas. Tal como ocurre con el fósforo, tanto las hifas como las raíces micorrizadas son capaces de absorber nitrógeno en varias formas y transferirlo para la planta (Siqueira, 1985; Fernández, 1996).

Las plantas micorrizadas absorben fundamentalmente los iones amonio (NH_4^-) que son asimilados en forma de glutamina, a partir del complejo enzimático de la glutamin-sintetasa(GS), transformados en trehalosa y translocado de esta manera (Strullu,1991).

Se ha señalado también la actividad de la nitrato reductasa (NR), implicada en la asimilación de nitrato (NO_3^-), que aunque es pequeña, parece ser suficiente para asegurar el crecimiento en niveles comparables a los obtenidos con la nutrición amoniacal.

Por lo tanto, los hongos micorrizógenos poseen la capacidad de absorber tanto amonio (NH_4^-) como nitrato (NO_3^-). Sus efectos son mayores sobre la absorción de NH_4^- , el cual, al contrario del NO_3^- , se difunde más lentamente por la rizosfera. Además, los hongos absorben NH_4^- a concentraciones más bajas que las raíces y lo asimilan más rápidamente por la vía ya explicada (Baath y Spokes, 1989).

El potasio (K) y el magnesio (Mg), son comúnmente encontrados en altas concentraciones en las plantas micorrizadas, aunque aún no se ha encontrado el mecanismo de transporte directo de estos iones por parte de las micorrizas arbusculares. En algunos casos, la elevada toma de estos nutrientes coincide con un efecto indirecto para eliminar deficiencias de fósforo.

Diversos trabajos experimentales sugieren la participación activa de las hifas de las micorrizas arbusculares en el proceso de absorción de potasio en suelos deficientes de este elemento (Sieverding y Toro, 1988).

Furlan et al., (1989) reportan que la producción de esporas es mayor en plantas fertilizadas con potasio, mientras Johnson et al., (1980) plantean que altos niveles de este elemento reducen la colonización micorrízica de las raíces de las plantas.

Declerk (1993), encontró que la simbiosis micorrízica incrementó la cantidad de potasio en los brotes de plantas de plátano, en comparación con las plantas no micorrizadas. Generalmente el incremento en la colonización de las raíces por hongos micorrízicos viene acompañado de un incremento en la concentración de Azufre, Potasio, Cobre y Zinc.

Habte y Aziz (1985) señalaron un aumento de la absorción de nutrientes tales como Potasio, Azufre, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeseo y Zinc, en plantas de *Sesbania grandiflora* inoculadas con *Glomus fasciculatum* y *Glomus mosseae*.

Janos (1987) y Stribley (1987) observaron un efecto positivo de las micorrizas para la nutrición con potasio, zinc y calcio.

2.5 Origen y distribución del Cafeto

El cafeto tiene su origen de las montañas de Abisinia (Etiopía), que se encuentran ubicadas a una altitud entre 1600 y 2800msnm (Maestri y Barros, 1981).

Las plantas de cafeto pertenecen a la familia de las rubiaceas y dentro de esta al género coffea, Sección Eucoffea y sub-sección Erythrocoffea, estando representado por algunas especies, en las que se destacan Coffea arábica y Coffea canephora, primera y segunda especie en importancia a nivel mundial respectivamente (Carvalho y Mónaco, 1966 y Van Der Graaff, 1986).

En el mundo predomina la especie arábica, representando alrededor del 80% de toda la producción mundial.

El café es uno de los artículos más importantes en el mercado mundial, de ahí que constituya la fuente principal de divisas para numerosas naciones de África y América Latina, existiendo 50 países del tercer mundo que lo cultivan (Colmenares 1978 y Álvarez, 1991).

Las plantaciones de cafeto en el continente americano se distribuyen desde Cuba a 22 grados de latitud norte hasta Paraná, Brasil, a 26 grados de latitud sur (Gindel, 1962).

El cafeto se cultiva en altitudes extremas, desde el nivel del mar en la península Arábica (Yemen), hasta los 3000 m en la zona ecuatorial de baja latitud norte o sur (Setzer, 1952).

2.5.1 Propagación del Cafeto

La propagación , no es mas que la reproducción de las plantas controladas o no por el hombre para perpetuar una determinada especie. Esta se logra de forma natural o a través de diversas técnicas dependientes de la clase de planta de que se trate, existiendo dos formas para ello: la sexual , a través de la semilla y la asexual, mediante propágulos vegetativos.

El cafeto se reproduce mediante su semilla, pudiéndose también emplear técnicas de estacas, injertos y más recientemente el empleo de cultivo de tejidos meristemáticos.

La semilla de cafeto es capaz de germinar desde que es colectada, y dependiendo de las condiciones de almacenamiento puede mantener el poder germinativo hasta cuatro años (Bendaña, 1962 y Morales et al., 1990).

Por lo general esta presenta una germinación lenta, ocurriendo la emergencia en las épocas calientes a los 50 o 60 días después de la siembra y en la estación fría hasta 90 días (Went, 1957).

La propagación de la semilla se puede realizar en dos tipos de viveros, en uno de ellos directamente sobre el suelo o cantero y en el otro utilizando recipientes o envases, fundamentalmente de polietileno (Fernández, 1980; Morales y Duc Son, 1982; Morales y Jerez, 1982 y Carvajal, 1984).

En Cuba se han utilizado las dos tecnologías, la primera según Morales y Soto (1988) tiene la posibilidad de producir mayor cantidad de plántulas por unidad de superficie y menor riesgo de afectación en el momento del traslado, sin embargo Fernández (1980) alcanzó los mejores resultados al aplicar la segunda pues las plántulas dispusieron de un mayor espacio vital en el cantero, además de ser más

económica su aplicación al reducir la fuerza laboral en el llenado de bolsas y por otra parte, al eliminar el alto precio del polietileno utilizado para la elaboración de las bolsas del costo de la postura.

2.5.2 Efecto de las micorrizas arbusculares sobre el café

Las asociaciones micorrizógenas son importantes para el desarrollo normal de las plantaciones de café (López et al, 1983; Caldeiras et al, 1983; Fernández et al, 1989 y Fernández , Siqueira, 1989) en condiciones naturales.

Autores como López y Costa, 1986 y Colozzi-Filho y Siqueira, 1986, evidenciaron un bajo índice de colonización en los viveros comerciales de café, lo que indicaba un alto potencial para la inoculación con hongos formadores de MA seleccionado. Se han utilizado numerosos hongos para promover el crecimiento y desarrollo del café en sus primeras etapas (López et al, 1983 a; Sousa et al, 1989; Siqueira et al, 1993 y Saggin- Junior et al, 1994 ; Fernández 1999 y Sanchez 2001).

La especificidad simbiótica de los hongos micorrizógenos pueden variar de una especie fúngica a otra de acuerdo a las condiciones bióticas y abióticas presentes (Smith y gianinazzi- Pearson, 1988). Generalmente las especies nativas no resultan eficientes para el desenvolvimiento del café por dos razones principales:

1. La distribución de estos hongos en el ecosistema no es homogénea, existiendo sitios donde la población autóctona es demasiado baja para obtener una producción óptima de biomasa vegetal.
2. La asociación no es solamente poco efectiva sino que existe un elevado parasitismo (Sieverding, 1991).

Los hongos micorrizicos introducidos en los ecosistemas han sido generalmente efectivos y altamente infectivos, a partir de la alta concentración fúngica presente en

los inoculantes, y al utilizar cepas o especies adecuadas por tipo de suelo. De este modo es sumamente importante evaluar las distintas cepas de HMA que se utilizan en los diferentes ecosistemas, de manera que se cree una estrategia o programa, donde se empleen de manera efectiva estas asociaciones.

En Trabajos realizados por Fernández et al., 1992 ; Fernández, 1999 en suelos Fersialítico, pardo y alíticos, del macizo Guamuhaya, estos autores encontraron una positiva y consistente respuesta en todos los suelos estudiados con determinadas combinaciones de cepa de HMA - relación suelo: abono orgánico, con incrementos significativos en la producción de área foliar fundamentalmente.

La respuesta a la inoculación con HMA en los diferentes tipos de suelos permitió expresar que existió una alta dependencia de la efectividad y la eficiencia de la micorrización con la relación suelo: abono orgánico, siendo esta última dependiente del tipo de suelo y su fertilidad asociada.

Se encontró además, que a medida que ocurrían incrementos en la fertilidad de los suelos se originaban las mayores eficiencias micorrízicas con las menores aplicaciones de abono orgánico. Es decir, en suelos de baja fertilidad (alíticos) , las condiciones más propicias para lograr un efecto positivo y significativo de la micorrización , estuvieron asociadas a las mayores dosis de abono orgánico (3:1), en suelos de media fertilidad (Fersialíticos Pardos Rojizos) con la relación 5:1 y en los pardos de alta fertilidad, generalmente con las menores aplicaciones de abono orgánico (suelo:humus-7:1).

Las investigaciones realizadas por Sánchez et al., (2000), en el propio macizo de Guamuhaya, pero con suelos Fersialíticos rojos lixiviados y Pardos gleyzados, y con menos variación de fertilidad entre los mismos, permitieron complementar la

valoración realizada sobre la dependencia de la eficiencia de la micorrización con la fertilidad del suelo y la relación suelo:humus de lombriz. Se encontró una consistente respuesta positiva a la inoculación. Se observó también como en los dos suelos las mejores posturas micorrizadas se encontraron en la relación suelo:humus de 5/1, en la cual no solo se manifestó el mayor efecto de la micorrización, sino que además, el sustrato aportó las cantidades adecuadas de nutrientes que permitieron que las plantas micorrizadas crecieran satisfactoriamente.

Así mismo otro de los aspectos importantes encontrados ha sido el de la especificidad suelo-especie eficiente (Rivera et al., 1999) lo cual conlleva a que el criterio fundamental para seleccionar las especies o cepas adecuadas que se deben inocular sea el tipo de suelo en que se desarrollan las posturas.

Es decir a partir del tipo de suelo se seleccionan las especies o cepas mas adecuadas para la inoculación y estas serán efectivas cuando se apliquen en presencia de cantidades adecuadas de abono orgánico que está a su vez también dependiente del tipo de suelo y su fertilidad asociado.

III. Materiales y métodos

Con el fin de cumplimentar los objetivos planteados se realizaron 2 experimentos. Se escogieron dos sitios representativos de los tipos de suelos Ferralítico rojo compactado y Ferralítico rojo lixiviado de montaña, utilizados ampliamente en la producción de las posturas de cafetos, en la provincia de la Habana y en la región central del país.

Experimento I

Se desarrolló durante dos campañas de viveros en el área del INCA (provincia de la Habana 95-96 y 96-97), durante el período experimental de diciembre a junio, utilizando la variedad caturra y la tecnología de siembra en bolsas de polietileno negro de 8 cm de diámetro por 22 cm de alto, para trasplante. En un suelo de tipo Ferralítico rojo compactado (FRC) según Hernández et al., 1999, con un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de 2x2x4.

Se estudiaron dos niveles del factor sustrato con las relaciones de suelo: cachaza 3:1 y 5:1, dos niveles del factor fertilización fosfórica (OP y $\frac{1}{2}$ P) y cuatro niveles del factor hongo micorrizógeno arbuscular (HMA), (*Glomus clarum*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus vesiculiferum* y un tratamiento sin inocular).

En el segundo periodo, se incluyó un nivel de micorrizas constituido por el Concentrado de Cepas Nativas (CCN), empleando en este caso un nivel mayor en el factor micorrizas. Se estudió además el comportamiento del tratamiento recomendado en los instructivos técnicos: Norma técnica (Cuba, Minagri, 1987).

Cada tratamiento estuvo conformado por 60 bolsas siendo utilizada para evaluar 10 bolsas por tratamiento.

Experimento II

Se desarrolló durante dos campañas de viveros (1995-96 y 1996-97) en el período comprendido entre diciembre y junio en el vivero de la estación de investigaciones de café en Jibacoa.

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 tratamientos y tres réplicas, resultantes de la inoculación de las semillas de cafeto con dos cepas de hongos micorrizógenos (*Glomus intraradices* y *Acaulospora scrobiculata*) sobre un sustrato conformado por una relación suelo: humus de lombriz 3:1 y 5:1 con dos testigos de referencia compuesto por las relaciones de suelo : humus de lombriz 3:1 y 5:1 sin inoculación de cepas de HMA .(Tabla 1), en un suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña.

Cada parcela estuvo conformada por 120 plantas, de las cuales se evaluaron 24 al finalizar el período experimental.

Tabla 1: Principales características de los experimentos realizados.

EXPTOS.	OBJETIVO	ZONA	PERIODO	SUELO	TECNOLOGIA
1	S:C,Fosforo,HMA	INCA	1995-96 1996-97	FRC	Bolsa
2	S:H, HMA	Jibacoa	1995-96 1996-97	FRL- Montaña	Bolsa

Leyenda : S:C : Suelo:Cachaza; S:H: Suelo Humus de Lombriz; HMA: Inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares.

Zonas: INCA- FRC: Ferralítico rojo compactado

Jibacoa-FRLm: Ferralítico rojo lixiviado de montaña .

3.1 Obtención e inoculación de los hongos micorrizógenos arbusculares empleados.

El inóculo para los experimentos se produjo en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), mediante la reproducción de las cepas certificadas en canteros multiplicadores con plantas de *Sorghun vulgare*, sobre un sustrato de suelo: cachaza 3:1 según Herrera (1991). Pasado 90 días se procedió a extraer el inoculante con las siguientes características de calidad micorrícicas: raicillas infectadas (60% y 20 esporas por gramos del inóculo), con un grado de pureza superior al 95%.

El inóculo se aplicó en el momento de la siembra debajo de la semilla a razón de 10g por bolsas, de acuerdo con la metodología descrita por Sieverding (1991).

En la tabla 2 se pueden apreciar las distintas cepas de hongos micorrizógenos empleadas en cada experimento.

El concentrado de Cepas Nativas se obtuvo a través del uso de una malla de 44 micras de apertura donde después de cernido una muestra de suelo de la zona, se obtuvieron los propágulos de las cepas autóctonas

Tabla 2: Relación de cepas de HMA, utilizadas en cada experimento.

Cepas de Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA)	Experimento.
<i>Glomus clarum</i> (Nicolson y Schenck)	1
<i>Glomus fasciculatum</i> (Gerdeman y Trappe)	1
<i>Glomus vesiculiferum</i>	1
Concentrado de Cepas Nativas (CCN)	1
<i>Acaulospora scrobiculata</i> (Trappe)	2
<i>Glomus intraradices</i> (Schenck y Smith)	2

Análisis del suelo : Previo al comienzo de cada experimento se tomaron muestras compuestas del suelo en cada zona, para el análisis químico inicial de fertilidad, y se les determinó : pH al H₂O y en KCl, por método potenciométrico.

materia orgánica (%), por el método de Walkley-Black

P asimilable por el método de Bray-Kurtz 2

K, Ca, Mg intercambiable (NH₄AC-1N pH₇) todos de acuerdo con Black (1965).

En la tabla 3 se presentan las características químicas de los suelos en que se ejecutaron los experimentos.

Tabla 3. Características químicas de los suelos (0-20 cm de profundidad).

Exptos.	Tipo	Campaña	pH	MO (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fertilidad
1	FRc	1995-96 y 1997-98	6.0 (H ₂ O)	3.0	4.30	5.0	12.0	1.1	Media
2	FRLm	1995-96 y 1996-97	4.72 (KCl)	2.80	7.45	8.29	5.70	0.89	Baja

Los contenidos de P₂O₅ ; K₂O; están expresados en mg.100 g de suelo⁻¹. Ca⁺⁺; Mg⁺⁺, están expresados en cmol. Kg⁻¹

De forma general los suelos que se emplearon en función de sus características químicas y físico-químicas en la actividad de preparación de los sustratos para su posterior uso en viveros, se pueden agrupar en suelos de fertilidad media correspondiente a los Ferralíticos rojos compactados y suelos de fertilidad baja correspondientes a los Ferralíticos rojos lixiviados de montaña.

3.2 Evaluaciones:

Altura de las plantas: Se midió con una regla graduada desde el cuello de la planta hasta el ápice en cm.

Número de pares de hoja: Se determinó este índice en cada uno de los muestreos realizados, considerando una hoja completamente formada cuando tuviera entre 5-10 cm² de área foliar .

Área foliar: Esta variable se estimó utilizando el método desarrollado por Soto (1980), a partir de las dimensiones lineales de las hojas y de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$AF = \text{Largo} \times \text{ancho} \times 0.64 + 0.49$$

Análisis foliar: En todos los experimentos se tomaron las hojas correspondientes a las 10 plantas de cálculo por tratamiento. En todos los casos se determinó el % de N, P y K por digestión H₂SO₄-Se y posterior análisis químico.

Análisis de la raíz: En 3 de los 4 experimentos se tomaron las raíces de las mismas 10 plantas de cálculo que utilizaron para el análisis foliar por tratamiento, y se los determinó el % de N, P y K por digestión H₂SO₄ –Se y posterior análisis químico.

Masa seca: En esos mismos experimentos se determinó la masa seca aérea (hojas), radical y total de las 10 plantas de cálculo de cada tratamiento.

Índice de extracción: Se calculó a partir de los datos de masa seca de cada órgano y el correspondiente contenido de cada elemento(% N, P, K).

$$\text{Extracción de N, P, K (mg planta}^{-1}\text{)} = \frac{A \cdot B \cdot x \cdot 1000}{100}$$

A = Masa seca del órgano a evaluar en g.

B = Porcentaje del elemento en el órgano

100 = Expresión Porcentual

1000 = Para convertir de g a mg . planta⁻¹

Porcentaje de colonización: Se tomaron muestras de raicillas de los distintos tratamientos y se le aplicó la metodología descrita por PHillips y Hayman (1970); para clasificar y teñir las raicillas. La cuantificación se realizó según el método descrito por Giovannetti y Mosse,(1980); en un microscopio estereoscopio (20x) basado en conteo de al menos 100 intersecciones de las raicillas con las líneas de una placa de petri cuadrangular (Destacar entre líneas de 0.5 pulgadas) de manera que estadísticamente sea fiable y pueda estimarse un porcentaje de infección correcto equivalente al peso de raíces de la muestra.

Masa de Endófito Arbuscular (EA): Se aplicó la metodología descrita por Herrera et al.; (1995), la cual se basa en la cuantificación de los segmentos infectados y teniendo en cuenta los niveles de infección (densidad u ocupación visual), y al ser referido al peso inicial de las raicillas, permite conocer la masa del simbionte. Los valores fueron expresados como mg de EA.g de suelo⁻¹.

Índice de eficiencia: Fue empleado para determinar el efecto de la inoculación micorrízica, a partir de la fórmula propuesta por Siqueira y Franco (1988) y utilizada por Rivera et al., (1997).En este caso se aplicó a las variables área foliar y a las extracciones de N, P, K, tomando como testigo de referencia las plantas no inoculadas en el mismo nivel de fertilidad o relación suelo:cachaza.

La fórmula empleada para el área foliar es la siguiente:

$$IE(\%) = \frac{A.F. Inoculado - A.F. Testigo referencia}{A.F. Testigo Referencia} \times 100$$

3.3 Análisis Estadístico: En todos los casos los resultados experimentales fueron sometidos al análisis estadístico correspondiente (Anova), aplicándose la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan referidos por Cochran y Cox (1990) con $P < 0.001\%$ como criterio comparativo entre los distintos tratamientos en los casos donde se encontró diferencias significativas.

Valoración económica: Para el análisis de la rentabilidad económica se comparó la norma técnica vigente con las mejores variantes obtenidas en cada experimento y llevados en la inoculación de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en una relación adecuada de suelo : abono orgánico.

IV. Resultados y Discusión

4.1 Efecto de los tratamientos sobre el crecimiento de las posturas de cafeto

4.1.1 Enfoque general del análisis de los resultados

Después de realizados los análisis estadísticos en cada uno de los experimentos, para las diferentes variables, se encontró en todos los casos interacciones significativas de máximo orden entre los factores en estudio (Tabla 4), lo que conllevó a realizar la discusión de los resultados experimentales a partir del análisis estadístico de la interacción general.

Tabla. 4 Interacciones encontradas entre los factores estudiados en las Variables altura, área foliar y pares de hojas.

EXPERIMENTO	INTERACCION DE MÁXIMO ORDEN	SIGNIFICACIÓN
1	AXBXC	***
2	AXB	***

4.1.2 Efecto de los HMA sobre el crecimiento de las posturas

-Variables morfológicas.

Si bien en los experimentos y años de repetición se evaluaron diferentes variables morfológicas como el área foliar, la altura y los pares de hojas y en las diferentes tablas (5, 6, 7, 8) aparecen los análisis estadísticos correspondientes, la discusión e interpretación de los resultados se hará en base al comportamiento del área foliar basado en:

- Es la variable morfológica que mejor respuesta al crecimiento integrado de las posturas de acuerdo con lo anterior expuesto por Rivera et al., (1997) y

corroborados por Fernández (1999) y Sánchez (2001), en trabajos específicos realizados en posturas de cafeto.

- Los mayores valores (cm^2) que presenta en relación con la altura (cm) o los pares de hojas, permite que se exprese con mayor claridad los efectos de los diferentes tratamientos bajo estudio, así como desde un punto de vista cualitativo cualquier efecto sobre el crecimiento de las posturas o planta del cafeto, se refleja primero en el área foliar que en las otras dos variables (Rivera et al, 1993).
- Los resultados encontrados en estos experimentos y por otros autores en esta temática de producción de posturas (Soto 1994; Fernández 1999; Sánchez 2001) presentaron efectos similares de los tratamientos bajo estudio sobre cualesquiera de éstas variables, pero mejor expresados sobre el área foliar.

Lo anterior no significa que cuando se presente la información obtenida al respecto no se comente brevemente o no se haga alusión a lo encontrado con la altura o los pares de hojas.

En la tabla 5 se presentan los efectos de los tratamientos sobre la variable área foliar, altura y pares de hojas en el primer año del experimento desarrollado sobre el suelo Ferralítico rojo compactado (experimento 1), donde se puede observar diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre los tratamientos. Los mayores valores de área foliar se encontraron con la inoculación de la cepa *Glomus fasciculatum* y *Glomus vesiculiferum* bajo las condiciones de relación suelo: cachaza 5:1 y sin aplicación de fósforo, presentando valores óptimos para el desarrollo de posturas de acuerdo con los resultados reportados por Fernández,

(1999) y Sánchez (2001) y con índices de eficiencia de 37-38% que indica un efecto importante de la micorrización sobre el crecimiento.

Tabla 5 : Comportamiento del área foliar, altura y pares de hojas de las cepas inoculadas en el suelo Ferralítico rojo compactado (1995-96

	AxBxC	Area foliar (cm ²)	IE (%)	Altura (cm)	Pares de hojas (#)	E.A (mg.g)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	328.60 e	-0.4	26.00 b	7.10 abc	15.86 d
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	290.20 g	-13.7	23.60 c	6.60 bcde	8.02 hi
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	352.40 d	6.2	22.80 cd	6.70 bcd	20.66 b
4	3/1 0P Sin inocular	330.20 e		22.80 cd	6.50 cde	11.98fg
5	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	257.80 i	-18	19.70 gh	6.00 ef	10.86 g
6	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	232.60 i	-31	19.70 gh	6.30 def	4.06 j
7	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	276.60 h	-10	19.60 gh	6.50 cde	10.52 g
8	3/1 1/2P Sin inocular	306.40 f		21.00 gh	6.70 bcd	8.24 h
9	5/1 0P <i>Glomus clarum</i>	399.20 b	32	26.00 b	7.20 ab	17.96 c
10	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	435.60 a	38	27.80 a	7.40 a	24.4 a
11	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	434.20 a	37	26.90 ab	7.10 abc	23.42 a
12	5/1 0P Sin inocular	270.00 h		20.60 fgh	6.10 def	7.84 hi
13	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	376.80 c	19	22.20 cde	6.40 de	20.9 b
14	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	323.20 e	5.8	20.00 fgh	6.30 def	13.26 ef
15	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	361.20 d	15	21.10 efg	5.70 f	14.72d e
16	5/1 1/2P Sin inocular	304.40 f		19.14 h	6.20 def	7.4 hi
17	3/1 NPK Sin inocular	275.20 h		21.40 f	6.50 cde	6.38 i
	Esx	3.55 ^{***}		0.50 ^{***}	0.20 ^{***}	0.578 ^{***}
	Cv (%)	2.43		7.04	9.96	7.52

* medias con letras desiguales difieren para P < 0.001, según dócima de Duncan.

Legenda:

3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de Fósforo.

La inoculación con *Glomus clarum* en éstas mismas condiciones de sustratos presentó un comportamiento ligeramente inferior al de las anteriores especies, pero superior al de los restantes tratamientos, con un índice de eficiencia del 32 %.

Los resultados alcanzados en el siguiente año en que se repitió este experimento (tabla 6) presentaron un comportamiento muy similar al anterior, es decir un efecto significativo de los tratamientos sobre cualesquiera de las variables estudiadas, obteniéndose los mayores efectos de la inoculación de cepas de HMA sobre el área foliar con las especies *Glomus fasciculatum* y *Glomus vesiculiferum* en las condiciones de relación 5:1 suelo- cachaza y sin aplicación de fertilizante fosfórico, con altos índices de eficiencia entre 61 y 67 %. La inoculación con *Glomus clarum* si bien presenta un efecto positivo su comportamiento fue inferior al de las anteriores especies.

Se observó en las dos repeticiones un consistente efecto positivo y significativo de la inoculación con especies de HMA, donde de forma general los mayores valores se obtuvieron en los tratamientos inoculados y los menores en los no inoculados.

Con respecto a las cepas utilizadas, Barros,1987 consideró que las especies de hongos que conforman la familia Glomaceae, poseen de manera general un rango amplio de distribución funcional, predominando en ecosistemas de alta y media fertilidad en donde resultan extremadamente competitivas. También se conocen que algunas especies de esta familia pueden adaptarse a condiciones más bajas de fertilidad.

Tabla 6 : Comportamiento del área foliar, altura y pares de hojas de las cepas inoculada en el suelo Ferralítico rojo compactado (1997-98).

	AxBxC	Area foliar (cm²)	IE (%)	Altura (cm)	Pares de hojas (#)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	396.60 ef	0.2	29.00 cd	7.00 abcde
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	357.70 i	-9.6	21.60 kl	6.70 cdef
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	387.10 fg	-2.1	25.80 ghi	7.00 abcde
4	3/1 0P Nativas	368.90 h	-6.7	27.00 efg	7.20 abcd
5	3/1 0P Sin inocular	395.70 ef		25.60 hi	7.10 abcde
6	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	414.00 e	7	23.30 j	7.30 abc
7	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	380.70 g	-1.6	18.60 mn	7.40 ab
8	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculatum</i>	404.30 e	4.4	22.20 jk	7.00 abcde
9	3/1 1/2P Nativas	414.10 d	7	27.90 de	6.60 def
10	3/1 1/2P Sin inocular	387.00 fg		21.70 kl	6.60 def
11	5/1 0P <i>Glomus c.</i>	397.70 e	35	30.50 b	7.30 abc
12	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	491.20 a	67	32.00 a	7.60 a
13	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	474.90 b	61	29.30 c	7.30 abc
14	5/1 0P Nativas	297.80 j	1.3	20.80 l	6.50 ef
15	5/1 0P Sin inocular	293.80 j		18.20 n	6.30 f
16	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	466.20 b	22	26.40 fgh	7.10 abcde
17	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	451.40 c	19	18.90 mn	6.80 bcdef
18	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	475.30 b	25	25.10 i	7.00 abcde
19	5/1 1/2P Nativas	355.20 i	-6.8	27.60 ef	6.70 cdef
20	5/1 1/2P Sin inocular	380.80 g		19.60 m	6.90 bcdef
21	3/1 NPK Sin inocular	367.30 h		24.70 i	7.10 abcde
	Esx	3.24 ^{***}		0.41 ^{***}	0.20 ^{***}
	Cv (%)	2.58		5.33	8.94

* medias con letras desiguales difieren para P< 0.001, según dócima de Duncan.

Leyenda: 3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de Fósforo.

Las cepas utilizadas de HMA en estos experimentos: *Glomus clarum* ., *Glomus fasciculatum* y *Glomus vesiculiferum* , concordando con lo expuesto anteriormente, tuvieron su mejor comportamiento cuando se presentaron condiciones de menores disponibilidades de nutrientes en el sustrato, con una conducta muy similar entre el *Glomus fasciculatum* y el *Glomus vesiculiferum* los cuales en esas condiciones presentaron los mayores efectos agrobiológicos sobre el desarrollo de las posturas de cafeto.

Así mismo en este segundo año se evaluó el uso del concentrado de cepas nativas (CCN), (Herrera et al., 1991) originando efectos muy inferiores a los encontrados con las cepas más eficientes aplicadas, corroborando con resultados encontrados inicialmente por Fernández (1999) en otros suelos. Todo lo cual apunta a que la metódica de concentración de cepas nativas sin conocer previamente la cantidad de propágulos nativos iniciales no tiene por qué resultar efectiva.

El enfoque de uso del concentrado de cepas nativas se basa en que las cepas nativas, lógicamente se encuentran adaptadas al ecosistema. Sin embargo hay dos aspectos a tener en cuenta: primero lo adaptado no es sinónimo de eficiencia y segundo, la cantidad de propágulos nativos iniciales puede ser tan baja que el procedimiento de concentración no logre una cantidad adecuado de propágulos en el inoculante.

Si bien la respuesta a la inoculación es dependiente no solo de la infectividad y eficiencia de la cepa aplicada, sino además de la existencia y cantidad de propágulos nativos (Siqueira y Franco, 1988) muchas de las evaluaciones que se han hecho de estos en los suelos dedicados a viveros de cafeto han reflejado bajas concentraciones (Siqueira et al, 1987; Sánchez 2001) no garantizándose una

infección natural eficiente o en la proporción necesaria para provocar un buen nivel de colonización y de eficiencia simbiótica, y precisamente esto explica la consistente respuesta positiva a la inoculación con cepas eficientes de HMA por tipo de suelo, encontrados en este experimento o por otros autores (Rivera et al., 1999).

En la tabla 7 se presentan los resultados encontrados con la inoculación de cepas eficientes en el suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña (Sánchez, 2001).

Se puede observar que la inoculación de ambas cepas produjo efectos muy positivos sobre el área foliar de las posturas y aunque no existen diferencias significativas entre el área foliar de los tratamientos inoculados en las relaciones suelo: humus de 3:1 y 5:1, las importantes diferencias entre los índices de eficiencia en ambas condiciones demuestra que la efectividad de la micorrización fue muy diferente en ambas relaciones.

Por otra parte, hubo también incrementos significativos en las demás variables como: la altura , # de pares de hoja y la masa seca total.

Similares resultados fueron alcanzados en producción de posturas de cafetos micorrizados por Fernández et al. (1992), utilizando la cepa *Acaulospora scrobiculata* en suelos Alíticos aún de condiciones más bajas de fertilidad y por Sánchez (2000) inoculando esta misma cepa y el *Gl intraradices*, en suelos con características similares a lo que utilizamos, corroborando lo expresado por Barros (1987) acerca de que la cepa *Acaulospora scrobiculata* mantiene un buen comportamiento en suelos de baja fertilidad.

Tabla 7 Efecto de la inoculación con HMA sobre la producción de área foliar y Endófito arbuscular en un suelo Ferralítico Rojo lixiviado de montaña.

	Tratamientos	Campaña 1995-1996			Campaña 1996-1997		
		Area foliar (cm ²)	I:E (%)	E.A (mg.g)	Area foliar (cm ²)	I.E (%)	E.A (mg.g)
1	3/1 <i>Glomus intraradices</i>	512.00 a	9	24.1 b	506.50 a	11	23.60 c
2	3/1 <i>Acaulospora scrobiculata</i>	518.50 a	10	25.3 b	496.16 a	9	24.20 c
3	3/1 sin inocular	469.50 b		17.00 d	455.00 b		17.20 de
4	5/1 <i>Glomus intraradices</i>	521.12 a	52	31.20 a	497.83 a	45	32.00 a
5	5/1 <i>Acaulospora scrobiculata</i>	497.12 ab	45	30.30 a	484.00 ab	41	29.20 b
6	5/1 sin inocular	342.51 c		18.17 c	343.00 c		18.40 d
ES x		17.73***		0.67***	15.01***		0.89**
CV (%)		9.40		5.77	10.09		6.87

* medias con letras desiguales difieren para P < 0.05, según dócima de Duncan.

Leyenda: 3/1 y 5/1 : Relación suelo: humus de lombriz.

Sánchez en el 2000 al valorar el comportamiento mostrado por la cepa *Glomus intraradices*, la consideró muy promisoría para estas condiciones de suelo; sin embargo Ruiz-Martínez (1999) la informó como la cepa más eficiente en los cultivos de malanga boniato y yuca en un suelo pardo con carbonato, con un nivel de fertilidad muy superior.

Por los resultados que obtuvimos, consideramos a ambas cepas como altamente efectivas en estas condiciones de suelo, lográndose posturas que cumplen con los requisitos establecidos por Soto (1994) para considerar una postura de optima

calidad ; siendo los valores encontrados en los tratamientos inoculados muy superiores que los recomendados en las normas técnicas.

- Influencia de la relación suelo: abono orgánico del sustrato y dosis de fósforo sobre la eficiencia de la micorrización.

De forma general la micorrización resulta eficiente, cuando las plantas se desarrollan en condiciones de suministro no óptimo de nutrientes, especialmente de aquellos elementos que tienen poca movilidad como el caso del P y responden a los mecanismos de difusión (Harley y Smith, 1983), de manera que exista una ganancia neta para la planta con esta asociación y la energía y productos del metabolismo de la planta que son utilizados para el desarrollo de las Micorrizas, serán largamente retribuidos por los incrementos en adsorción y en la tasa de crecimiento neto (Marschner y Dell, 1994, Smith et al, 1994).

Para producir optimas posturas de cafeto se recomienda la utilización de suelo: abono orgánico de 3:1 ricas en abonos orgánicos y nutrientes los cuales son complementados inclusive con fertilizante mineral cuando se utiliza cachaza o estiércol (Cuba, Minagri, 1987) o solo se aplica la relación 3:1 cuando se utiliza humus de lombriz (Rodríguez, 1992).

Cuando se utilizó la inoculación con hongos micorrizógenos, se presentó una mayor respuesta a la micorrización en las relaciones 5:1, que aportan menores contenidos de nutrientes, que la relación 3:1, óptima para garantizar un adecuado crecimiento cuando se trabaja con posturas no micorrizadas, aunque no se excluyen respuestas positivas con la dosificación de 3:1 en suelos de muy baja fertilidad y también comportamientos adecuados para la relación 7:1 en el caso de suelos de muy buena fertilidad natural (Fernández 1999).

Al inocular cepas de *Glomus fasciculatum* , Fernández (1999) en un suelo Fersialítico pardo rojizo (alta fertilidad) y una relación suelo: humus de lombriz 7:1, obtuvo valores de área foliar altos, con un índice de eficiencia de hasta un 86%. Es decir, cuando utilizamos especies eficientes, podemos lograr posturas más vigorosas, pero teniendo en cuenta la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes en el sustrato, dependerá entonces la relación suelo: Abono Orgánico más apropiada para lograr su mayor efecto.

En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados del área foliar , altura y # de pares de hojas, de los experimentos realizados en el suelo Ferralítico rojo compactado donde se encontraron los mayores efectos de la inoculación con los HMA en aquellos tratamientos cuyo sustrato el 5:1, fundamentalmente donde no se aplicaron fertilizantes fosfóricos, presentando el *Glomus fasciculatum* y el *Glomus vesiculiferum* los mayores efectos y efectividad micorrízica.

Se observó que la inoculación con las tres cepas de HMA (*Gl clarum*, *Glomus fasciculatum* , *Gl vesiculiferum*) tuvieron su menor efecto en los tratamientos con la relación suelo abono orgánico 3:1. Esta conducta debe estar relacionado con un exceso de nutrientes, fundamentalmente de P que por su parte afectó la micorrización, indicando que las cepas inoculadas no participan activamente sobre el crecimiento de las posturas en estas condiciones de altos suministros de nutrientes, lo cual se demuestra por los bajos índices de eficiencia (-2 a -31 %) . Estos resultados coinciden con lo planteado por Howeler, 1985; Orozco y Gianinazzi-Pearson, 1993 y corroborados por Fernández 1999, Sánchez 2001 y Ruiz 2001 de que la aplicación de altos niveles de nutrientes, disminuyen o inhiben el efecto beneficioso de los HMA.

Es decir en presencia de una relación suelo: abono orgánico con altos niveles de disponibilidad, la inoculación de cepas eficientes para ese suelo no presentó efectividad demostrando que para lograr el efecto de la inoculación no solo se debe inocular cepas adecuadas por tipo de suelo, sino que hay que tener en cuenta las condiciones de disponibilidad de nutrientes en el sustrato para lograr una simbiosis efectiva.

El nivel de disponibilidad de fósforo en el sustrato expresado a través de las dos dosis de fertilizante fosfórico estudiado en el experimento 1 (tabla 5 y 6) presentó un comportamiento muy similar al de la relación suelo: cachaza.

En cualesquiera de los años estudiados la aplicación de fertilizante fosfórico aún cuando fue la mitad de la dosis recomendada en el instructivo técnico (Cuba, Minagri, 1987), redujo la efectividad de la micorrización, siendo los efectos negativos de esta aplicación más pronunciados en presencia de la relación suelo: cachaza de 3:1 más rica en abono orgánico y por tanto en nutrientes.

Es decir el factor fertilizante fosfórico se comportó de forma similar al factor suelo: abono orgánico y en concordancia con los criterios más generales que relacionan disponibilidad de nutrientes y efectividad micorrízica, siendo en este caso la respuesta específica a la no aplicación de fertilizante fosfórico por lograr una máxima efectividad micorrízica una consecuencia de los altos valores de fósforo que se encuentran en este tipo de suelo y los aportes realizados por la cachaza material rico en este nutriente (Rivera, 1988).

En la tabla 7 se muestra el efecto producido por la inoculación de cepas eficientes de HMA sobre el área foliar de las posturas de cafeto en los dos años bajo estudio en el suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña en las relaciones suelo: humus de

lombriz de 5:1 y 3:1. En la relación 5:1 se presentaron los mayores índices de eficiencia de las cepas, obteniéndose efectos muy similares cuando se utilizaron *Glomus intraradices* o *Acaulospora scrobiculata* y que oscilaron entre 45 y 52 % dependiente del año en cuestión.

Las cepas *Glomus intraradices* y *Acaulospora scrobiculata* alcanzaron los mayores índices de eficiencia en el suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña , que presentó los niveles más bajos en contenidos nutricionales. Estos resultados coinciden con los criterios generales sobre la eficiencia de la micorrización expuestos por Duke et al (1994) y Miranda et al (1994) quienes demostraron que la fertilidad de los suelos y la disponibilidad de nutrientes actúan inversamente sobre el nivel de eficiencia de éstos hongos y que la cepa *Acaulospora scrobiculata* puede presentar una buena efectividad en suelos con rangos de fertilidad bajos.

Siempre el fenómeno de micorrización fue más efectivo cuando las plantas se desarrollaron en condiciones de más baja disponibilidad de nutrientes, en estos casos ejemplificados por la relación más alta de suelo: abono orgánico estudiada, donde existió una mayor ganancia neta para las plantas con ésta asociación. El hongo utilizó los productos del metabolismo de la planta para realizar sus funciones y a su vez le retribuyó a ésta con el incremento en la absorción y traslocación de nutrientes, necesarios para realizar sus funciones vitales (Siqueira y Franco, 1988; Marschner y Dell; 1994).

Hay que destacar la marcada especificidad que mostraron las cepas en los dos tipos de suelo, quedando claramente definido a través del desarrollo de las posturas de cafeto el alto grado de influencia del suelo sobre el efecto y eficiencia de las cepas en cuestión, aspecto este que regula la recomendación de cepas para obtener una

alta respuesta a la micorrización y que se conoce como especificidad suelo- cepa eficiente de HMA (Rivera et al 1999).

- Parámetros fúngicos.

A la excepción del segundo año del experimento I, en los demás se determinaron distintos parámetros fúngicos como fueron el porcentaje de colonización radical (P.C) y el Peso del endófito arbuscular (E.A). El Endófito Arbuscular (E.A.) es la variable más representativa para predecir los diferentes comportamientos micorrízicos de las plantas de cafeto (Fernández, 1999; Sánchez, 2001).

En esta variable (E.A) se cuantifican mediante niveles visuales de ocupación fúngica la intensidad con la que el microorganismo coloniza el interior radical, a diferencia del porcentaje de colonización que solo expresa la presencia del simbiote en la raíz. (Herrera et al, 1995).

En los experimentos considerados, encontramos una relación estrecha entre el efecto que produjo la inoculación sobre los parámetros micorrízicos en general y la respuesta en la producción de área foliar.

De forma general se encontraron los mayores valores tanto micorrízicos como de área foliar en los tratamientos inoculados, así como diferencias significativas entre los distintos sustratos estudiados y los tratamientos testigos (tablas 5 y 6).

Por los resultados obtenidos concluimos que existió una estrecha relación entre el efecto que ocasionó la inoculación sobre los parámetros micorrízicos en general y la respuesta en la producción de área foliar.

En la medida que la inoculación resultó ser más eficiente se encontró un mayor efecto sobre la producción de área foliar y los parámetros micorrízicos (mayores valores de E.A), siendo consecuencia de la relación suelo: abono orgánico y dosis

de fertilizante fosfórico de los tratamientos y de su efecto sobre la eficiencia simbiótica.

El *Glomus fasciculatum* aplicado en el suelo Ferralítico rojo compactado (de fertilidad media), presentó los mayores valores de E.A y área foliar siendo de 24.40 mg.g de suelo⁻¹ y 435.60 cm² (Expto 1) y en el caso del *Gl intraradices* oscilaron entre 31.20 – 33.0 mg.g⁻¹ y 506.12 cm² (expto 2).

Todos estos resultados fueron obtenidos en las combinaciones cuya relación suelo: abono orgánico, en estos casos suelo: cachaza y suelo: humus de lombriz aportaban menores cantidades de nutrientes y es por supuesto una consecuencia de que las plantas micorrizadas absorben más eficientemente los nutrientes, garantizando sus requerimientos nutricionales que fueron similares al de las no micorrizadas, pero con un menor suministro de nutrientes en el sustrato o medio donde se desarrollan.

Esto corrobora lo planteado por Barea et al. (1991), en que como criterio general, los HMA con una buena eficiencia logran una mayor absorción de nutrientes en condiciones de suelo con baja disponibilidad de nutrientes. Estas mismas cepas tuvieron sus peores comportamiento con las relaciones 3:1 dado por el efecto negativo de la alta disponibilidad de nutrientes sobre la efectividad de la simbiosis aunque se debe destacar que la efectividad de las simbiosis también se afecta por aplicaciones insuficientes de nutrientes como fue el caso de las relaciones 7:1 en los suelos bajo estudio lo cual fue reportado por Sánchez (2001).

En el caso de la cepa *Gl clarum* encontramos los mayores valores de E.A y área foliar obtenidos con su inoculación, igualmente en los tratamientos con la mayor relación suelo: cachaza (5:1) y sin aplicación de fertilizante fosfórico.

Los resultados alcanzados con la inoculación de la cepa *Gl. vesiculiferum*, al igual que en los casos anteriormente planteados, presentó un mejor comportamiento con la relación 5:1 sin la aplicación de P, presentando un comportamiento muy similar al de la inoculación de *Glomus fasciculatum*. De manera general los valores absolutos encontrados tanto del endófito como de área foliar de las cepas *Gl clarum* fueron inferiores al del *Gl fasciculatum* y *Gl vesiculiferum* en la relación óptima suelo: cachaza de 5:1 y ausencia de aplicación de fertilizantes fosfóricos. El *Gl vesiculiferum* obtuvo sus mayores valores fúngicos y de área foliar para este tipo de suelo de 23.42 mg.g de suelo y 434.20 cm².

Hay que destacar también que hubo diferencias significativas, no solo entre los tratamientos inoculados, sino también y fundamentalmente entre estos y los testigos correspondientes a la norma técnica. Se pone de manifiesto una vez más la estrecha relación que existe entre la relación suelo: cachaza, la producción de área foliar y los valores fúngicos encontrados.

En sentido general los valores de los testigos en las dos repeticiones realizadas en el suelo Ferralítico rojo compactado, tanto del endófito como de área foliar, siempre fueron inferiores a los tratamientos inoculados con las cepas de HMA.

Por otra parte los valores absolutos de los parámetros en análisis, relacionados con el concentrado de cepas nativas (Expto. I), en muy pocos casos superaron los valores de los tratamientos inoculados con las cepas certificadas y tuvieron valores casi aproximados con los testigos (tabla 6).

Según Siqueira et. al., (1987) la respuesta a la inoculación es dependiente no solo de la infectividad y eficiencia sino también de la existencia y cantidad de propágulos nativos, y en los suelos dedicados a viveros de cafeto se han obtenido por lo

general bajas concentraciones, no garantizándose por tanto una colonización natural eficiente.

En la tabla 7 se presenta el efecto producido por la inoculación de las cepas *Gl Intraradices* y *Acaulospora scrobiculata* en el suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña . Se observó que no hubo diferencia significativa entre las dos cepas con la misma proporción de suelo: humus de lombriz, pero sí con relación a sus respectivos testigos sin inocular (3:1 y 5:1).

En cuanto a la masa del Endófito , las dos cepas mostraron un comportamiento similar. Los mayores valores que oscilaron alrededor de 30.0- 33.0 mg.g⁻¹ se encontraron igualmente en los tratamientos inoculados con la mayor relación suelo: humus de lombriz y los menores valores en los testigos sin inocular.

Es decir en los tratamientos inoculados en la relación 5:1 con mayor efectividad de la micorrización (área foliar) se encontraron los mayores valores del Endófito Arbuscular (EA), estableciéndose como es lógico una relación directa entre la eficiencia micorrizógena obtenida y los valores de la masa del Endófito encontrados.

Estos resultados permiten plantear que la masa del endófito es un indicador adecuado para evaluar la eficiencia micorrízica y expresar el grado de funcionamiento de la simbiosis.

En los tratamientos no inoculados tanto los valores de área foliar como de endófito arbuscular, fueron más bajos, indicativas de la baja micorrización natural alcanzada por las posturas y por ende en presencia de una baja micorrización natural las plantas necesitan de un mayor suministro de nutrientes para alcanzar su óptimo desarrollo, siendo por tanto necesarias las relaciones ricas en aportes de abono orgánico.

Sin embargo los valores del endófito arbuscular indicativos de una micorrización eficiente difirieron entre ambos suelos, siendo mayores en la medida que la fertilidad del suelo disminuyó, sugiriendo que en esas condiciones las plantas necesitaron incrementar las estructuras fúngicas necesarias para mantener una absorción adecuada de nutrientes.

Similares resultados encontró Fernández (1999), quien al trabajar con suelos Alíticos aún de menor fertilidad, obtuvo que en dichos suelos los valores indicativos de una micorrización eficiente ascendieron hasta 38.0 mg.g^{-1} .

El análisis conjunto de la información permite plantear una alta relación entre el efecto agrobiológico encontrado y el funcionamiento fúngico expresado por la masa del endófito.

4.2 Influencia de la simbiosis en la nutrición mineral de las posturas.

4.2.1 Contenidos de N, P y K.

Uno de los aspectos más importantes desde el punto de vista de funcionamiento y eficiencia de las micorrizas, es el papel que desempeñan en los mecanismos de absorción de los nutrientes. Por esto es que una de las variables que miden la calidad o eficiencia de una determinada colonización micorrizógena, son los tenores de nutrientes que se alcanzan en los distintos órganos de la planta, fundamentalmente el fósforo (Marschner et al, 1994) .

Este es uno de los elementos más importantes en el funcionamiento de la simbiosis HMA- Planta, ya que gran parte de la traslocación de P hacia la planta, se realiza a través de las hifas de los HMA, incidiendo directamente en la absorción de los elementos como el ión fosfato que tienen poca movilidad y dependen de los mecanismos de difusión para ser tomados por la planta. Estos aspectos quedaron

demostrados por autores como Brady, 1984, Dexheimer et al, 1986 y Gianninazzi-Pearson et al, (1988); siendo este el metabolito clave en el intercambio hongo-planta con la célula vegetal.

Desde hace algunos años se reporta un efecto directo de las micorrizas sobre la absorción de las formas amoniacales y de algunos elementos menores (Barea et al, 1991 y Strullu, 1991).

Así mismo en los últimos años se refuerza la evidencia experimental sobre la influencia directa de la micorrización sobre la absorción de los diferentes elementos minerales a través de evaluaciones isotópicas o del incremento en las concentraciones de los elementos (George 2000).

En trabajos más recientes de Fernández (1999); Sánchez (2001) y Ruiz (2001), en posturas de cafeto y en raíces y tubérculos respectivamente con una influencia muy importante sobre la absorción del potasio sobre todo en raíces y tubérculos, lo cual permitió plantear que la simbiosis funciona más como un mecanismo de garantizar los requerimientos nutricionales de las plantas sin mostrar una preferencia de por sí por un elemento y siendo una consecuencia de los requerimientos nutricionales de las plantas y de la disponibilidad de los elementos en el sistema (Rivera 2000).

En las tablas 8 y 9 se presentan los contenidos de N, P, K en las posturas de cafeto donde se evidenció que de forma general los mayores valores, tal como en el caso del área foliar y demás variables, se observaron en los tratamientos con la mayor relación suelo: cachaza (5:1), inoculadas con cepas eficientes de HMA, y donde no se aplicaron fertilizantes fosfóricos, es decir en aquellas condiciones apropiadas para una micorrización eficiente.

Tabla 8: Contenidos de NPK (%) en las hojas de las posturas de cafeto en los tratamientos (1995-1996)

	AxBxC	N (%)	P (%)	K (%)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	2.43 ab	0.25 b	1.90 b
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	2.33 c	0.21 cdef	1.80 c
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	2.00 ghi	0.18gh	2.02 a
4	3/1 0P Sin inocular	2.13 ef	0.23 c	1.76 cde
5	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	2.03 gh	0.23 c	1.71 def
6	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	1.92 ij	0.17 h	1.48 h
7	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	2.07 fg	0.19 efgh	1.69 efg
8	3/1 1/2P Sin inocular	2.02 gh	0.20 defg	1.70 def
9	5/1 0P <i>Glomus clarum</i>	2.45 ab	0.27 ab	1.82 bc
10	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	2.47 a	0.28 a	2.01 a
11	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	2.37 bc	0.27 ab	1.98 a
12	5/1 0P Sin inocular	1.87 j	0.17 h	1.47 h
13	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	2.18 de	0.22 cd	1.57 g
14	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	1.87 j	0.21 cde	1.65 f
15	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	2.23 d	0.19 efgh	1.90 b
16	5/1 1/2P Sin inocular	1.83 j	0.20 defg	1.78 cd
17	3/1 NPK Sin inocular	1.97 hi	0.18 fgh	1.77 cde
	Esx	0.03***	0.01***	0.03***
	Cv (%)	2.42	5.98	2.6

* medias con letras desiguales difieren para $P < 0.001$, según d \acute{o} cima de Duncan.

Leyenda: 3/1 y 5/1: Relaci3n suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de F3sforo.

En el caso del P los valores oscilaron entre un 0.17 % a 0.28 % en la parte a \acute{e} rea, entre 0.15 a 0.22% en la ra \acute{i} z . Mientras para el nitr3geno y el potasio fueron para la parte a \acute{e} rea entre 1.83- 2.47% y 1.47-2.02%, y la ra \acute{i} z entre 1.42 a 2.07 y 1.23 a 1.79 respectivamente.

Los valores m \acute{a} s bajos se registraron en los tratamientos testigos sin inocular y los mayores en los tratamientos inoculados en presencia de condiciones adecuadas para lograr una alta efectividad micorr \acute{i} zica

Esto significa que los procesos de micorrizaci3n con las cepas seleccionadas, influyeron de manera positiva en la absorci3n de los nutrientes, evidenci \acute{a} ndose una

relación íntima entre la eficiencia simbiótica con el crecimiento de la postura y la absorción de nutrientes. En los tratamientos testigos no inoculados, el sistema no garantizó los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

Tabla 9 : Contenidos de NPK (%) en las raíces de las posturas de cafeto en los distintos tratamientos (1995-1996).

	AxBxC	N (%)	P (%)	K (%)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	1.91 c	0.17 fgh	1.69 b
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	1.74 e	0.18 defg	1.39 g
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	1.80 d	0.16 hi	1.57 cd
4	3/1 0P Sin inocular	1.67 fg	0.15 i	1.23 h
5	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	1.67 fg	0.18 efgh	1.19 i
6	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	1.64 g	0.18 defg	1.24 h
7	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculatum</i>	1.72 ef	0.20 bc	1.43 f
8	3/1 1/2P Sin inocular	1.57 h	0.19 cdef	1.53 d
9	5/1 0P <i>Glomus clarum</i>	2.05 a	0.21 ab	1.69 b
10	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	2.07 a	0.22 a	1.77 a
11	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	1.97 b	0.20 bc	1.79 a
12	5/1 0P Sin inocular	1.49 i	0.15 i	1.48 e
13	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	1.82 d	0.18 defg	1.67 b
14	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	1.42 g	0.15 i	1.55 cd
15	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	1.52 i	0.19 bcd	1.58 c
16	5/1 1/2P Sin inocular	1.80 d	0.17 gh	1.67 b
17	3/1 NPK Sin inocular	1.70 efg	0.18 efgh	1.47 ef
	Esx	0.02***	0.00***	0.01***
	Cv (%)	1.72	4.40	1.67

* medias con letras desiguales difieren para $P < 0.001$, según dócima de Duncan.

Leyenda: 3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de Fósforo.

Koide en 1991 planteó que el mayor tenor de P en los tejidos de la parte aérea y el mayor crecimiento de las posturas inoculadas con HMA indica la elevada efectividad del hongo para el cafeto. Eso puede resultar de la capacidad de esta simbiosis de mantener una mayor capacidad de absorción dada por la presencia de micelio

externo efectivo, capaz de explorar de modo eficiente el P y otros nutrientes del sustrato transfiriéndolo para la planta.

En los tratamientos inoculados con cepas efectivas, hubo una relación directa entre la eficiencia simbiótica, el área foliar y la producción de masa seca (Tabla 10).

Tabla 10. Área foliar y masa seca de los diferentes órganos de la planta de café en el suelo Ferralítico rojo compactado (1995-1996)

	AxBxC	Area foliar (cm ²)	Masa seca raíz (g.p)	Masa seca aérea (g.p)	Masa seca Total (g.p)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	328.60 e	0.63 b	2.60 e	3.23 ef
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	290.20 g	0.40 gh	2.85 c	3.26 e
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	352.40 d	0.59 c	2.98 b	3.56 c
4	3/1 0P Sin inocular	330.20 e	0.50 de	2.85 c	3.35 d
5	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	257.80 i	0.46 ef	2.25 h	2.71 i
6	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	232.60 i	0.41 gh	2.35 g	2.76 i
7	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	276.60 h	0.54 d	2.67 d	3.21 ef
8	3/1 1/2P Sin inocular	306.40 f	0.44 fg	2.72 d	3.16 f
9	5/1 0P <i>Glomus clarum</i>	399.20 b	0.67 a	3.04 b	3.72 b
10	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	435.60 a	0.68 a	3.15 a	3.81 a
11	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	434.20 a	0.68 a	3.14 a	3.83 a
12	5/1 0P Sin inocular	270.00 h	0.38 h	2.25 h	2.63 j
13	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	376.80 c	0.50 de	2.34 g	2.84 h
14	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	323.20 e	0.46 ef	2.50 f	2.96 g
15	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	361.20 d	0.37 h	2.35 g	2.72 i
16	5/1 1/2P Sin inocular	304.40 f	0.48 ef	2.78 c	3.28 de
17	3/1 NPK Sin inocular	275.20 h	0.41 gh	2.58 e	2.99 g
	Esx	3.55***	0.01***	0.02***	0.03***
	Cv (%)	2.43	4.62	1.57	1.40

* medias con letras desiguales difieren para p< 0.001, según dócima de Duncan.
Leyenda: 3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de Fósforo.

4.2.2 Extracción de N, P y K.

En la tabla 11 se aprecian las extracciones de N,P,K realizadas por las posturas en los distintos tratamientos en el experimento I. Se observa que al igual que en las demás variables, en los tratamientos inoculados con HMA se incrementaron la eficiencia de la absorción de N, P y K de las posturas, presentando valores de hasta 91.73 mg de N, 8.70 mg de P y 75.47 mg de K por planta. Las menores extracciones siempre se obtuvieron en los tratamientos testigos (sin inocular).

Tabla 11 : Extracción de NPK (mg . plantas) encontradas en los distintos Tratamiento del experimento 1 (1995-96) en suelo Ferralítico rojo compactado.

	AxBxC	N (mg.planta)	P (mg.planta)	K (mg.planta)
1	3/1 0P <i>Glomus clarum</i>	75.33 c	6.18 de	60.06 c
2	3/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	73.64 cd	6.06 de	57.05 d
3	3/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	70.07 de	5.91 ef	69.22 b
4	3/1 0P Sin inocular	69.18 e	6.56 c	56.43 d
5	3/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	53.42 h	5.01 gh	43.98 g
6	3/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	54.07 h	4.94 gh	39.89 h
7	3/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	64.48 f	6.37 cd	52.95 e
8	3/1 1/2P Sin inocular	61.76 fg	5.94 ef	53.07 e
9	5/1 0P <i>Glomus clarum</i>	88.42 ab	8.10 b	66.89 b
10	5/1 0P <i>Glomus fasciculatum</i>	91.73 a	8.70 a	74.10 a
11	5/1 0P <i>Glomus vesiculiferum</i>	87.40 b	8.05 b	75.47 a
12	5/1 0P Sin inocular	47.67 i	4.07 i	38.65 h
13	5/1 1/2P <i>Glomus clarum</i>	60.10 g	5.28 g	45.05 g
14	5/1 1/2P <i>Glomus fasciculatum</i>	53.18 h	4.80 h	48.28 f
15	5/1 1/2P <i>Glomus vesiculiferum</i>	58.17 g	5.24 g	50.49 ef
16	5/1 1/2P Sin inocular	59.66 g	5.69 f	59.75 cd
17	3/1 NPK Sin inocular	57.76 g	5.31 g	51.84 e
	Esx	1.27***	0.12***	0.99***
	Cv (%)	3.33	3.34	3.09

* medias con letras desiguales difieren para $p < 0.001$, según dócima de Duncan.

Leyenda: 3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza. 0P y 1/2 P: Niveles de Fósforo.

Se observó también que los mayores valores de extracción se obtuvieron con los tratamientos con la mayor relación suelo: cachaza, donde no se aplicaron fertilizantes fosfóricos. Dicho comportamiento es similar al alcanzado por el área foliar y la masa del endófito en las diferentes proporciones del sustrato.

Por su parte en la tabla 12 (Expto II) se presentan las extracciones de (N, P, K) de las posturas, indicando una estrecha relación entre la absorción de los nutrientes y la efectividad de la micorrización, obteniéndose precisamente altos valores de extracción en aquellos tratamientos donde la micorrización fue más efectiva.

Tabla 12: Extracciones de NPK (mg. Planta⁻¹) encontradas en los distintos tratamientos del experimento II (Campaña 1995-1996) en suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña

	Tratamientos	M. seca total (g.pl ⁻¹)	N (mg.pl ⁻¹)	P (mg.pl ⁻¹)	K (mg.Pl ⁻¹)
1	3/1 <i>Glomus intradices</i>	4.80a	99.08a	11.47a	116.33a
2	3/1 sin inocular	4.30b	82.77b	10.01b	114.54a
3	5/1 <i>Glomus intradices</i>	4.75a	94.98a	10.87ab	115.34a
4	5/1 sin inocular	3.40c	64.89c	7.44c	88.22bc
	ES x	0.102**	1.42***	0.32**	1.71***
	CV (%)	5.54	3.98	5.75	3.58

* medias con letras desiguales difieren para P < 0.001, según dócima de Duncan.
 Leyenda: 3/1 y 5/1: Relación suelo-cachaza.

Las extracciones que realizaron las posturas en el tratamiento donde la micorrización fue más eficiente (5:1) fueron similares al de los tratamientos 3:1 sin micorrizar y del orden de 94 – 99 ; 10.87 – 11.47 y 116 mg de N, P y K por planta respectivamente, e indicando que las posturas micorrizadas con cepas eficientes absorben los nutrientes con mayor eficiencia ya que necesitan de un sustrato con

menor cantidad de nutrientes y se logran posturas con similares absorciones de éstos.

Los índices de eficiencia obtenidos reflejaron una alta y significativa participación de la micorrización en la nutrición de las plantas para los tres macroelementos estudiados, lográndose incrementos de hasta un 46% en la absorción del Nitrógeno y del Fósforo en las posturas crecidas en los Ferralíticos rojo lixiviados de montaña.

De forma general la micorrización influyó positivamente sobre la absorción de los tres macronutrientes, aunque con mayores efectos sobre el nitrógeno y el fósforo; esto se corresponde con los criterios expresados por Rivera (2000) que señala este efecto como consecuencia de los requerimientos nutricionales de las posturas y de las disponibilidades de estos elementos en el suelo, más que de una preferencia de por sí de la micorrización.

Es importante señalar que la inoculación con las cepas eficientes de HMA incrementó los contenidos de cualesquiera de los tres elementos, indicando que no solo la micorrización está ligada con la nutrición fosfórica, como lo plantean diferentes autores (Hall et al., 1977; Kang, 1980; Howeler, 1982 y 1983; Sieverding y Howeler, 1985 ; Kato, 1987; Sieverding y Gálvez, 1988; Larez et al. 1992); sino que además con la nutrición de los otros macroelementos y sugiriendo que una vez que las plantas están micorrizadas, este mecanismo incrementa la absorción de los elementos en general.

4.3 Valoración económica

La aplicación de una nueva tecnología que implique cambio en la composición de los sustratos e inoculación con cepas de hongos micorrizógeno, desde el punto de vista práctico acarrea cambios en las labores productivas referentes al montaje de los

viveros de cafeto. Los resultados alcanzados en este trabajo indican que con las tecnologías propuestas para ambos suelos, Ferralítico rojo compactado y Ferralítico rojo lixiviado de montaña se pueden producir posturas de optima calidad, superiores a las producidas en el tratamiento más comúnmente utilizado en la producción de posturas (3:1 suelo: abono orgánico), reduciéndose considerablemente los volúmenes de materia orgánica a utilizar.

En la tabla 13 se presenta a manera de ejemplo el calculo de los gastos según la tecnología que se aplique en el suelo Ferralítico rojo compactado, basándose en la producción de 100000 postura. En ese análisis se incluyó los valores que se reportan en la carta tecnológica de vivero (vigente) sobre los costos de los diferentes materiales y actividades que se relacionan con el montaje de viveros.

Se comparó la variante tecnológica de mejor resultado en este tipo de suelo, frente a la norma técnica 3:1, se destaca que en este se disminuyeron significativamente los gastos en 1261.07 pesos para producir una postura de optima calidad, (Tabla 14).

Al realizar los respectivos análisis de factibilidad económica se determinó que en la nueva variante que se propone se disminuyen los gastos incurridos y el costo por pesos, siendo para la norma técnica de \$ 0.214, mientras para variante que proponemos solo se invierte \$ 0.201 para ganar \$ 1.00 (Tabla 15).

En esta valoración se tuvo en cuenta los adelantos de 15 días que implicó la inoculación, siendo calculados estos valores a partir de las diferencias encontradas en el crecimiento.(emisión de pares de hojas) entre los tratamientos inoculados con cepas eficientes y el testigo de producción.

Tabla 13 Relación de gastos según la tecnología que se aplique en base a 100000 posturas

actividades	Fondo de salario	Materia orgánica y pestic.	Féertiliz. HMA (Costo)	Otros materiales.	Amortización.	Total de gastos
Acondicionam. del área	24.00			5.93		29.93
Preparación de tierra	946.03			1877.66	441.30	3264.99
M. Orgánica	a)206.00 b)137.00	1380.00 920.00		624.60 311.90		2210.60 1368.90
Preparación de la mezcla	172.80			16.16		188.96
Fertilización o micorrización	a)16.71 b)16.71		195.39 429.57	44.00 44.00		256.10 490.28
Construcción de canteros	116.74			108.95		225.69
Llenado y acanterado de las bolsas	2074.56			1967.60	109.28	4151.44
Siembra y acondicionam.	383.44			513.40		896.84
Atenciones culturales	a)2744.72 b)2456.00			110.46 101.25		2855.18 2557.25
Control fitosanitario	a)983.79 b)901.81	344.84 316.10		529.52 485.39	42.00 38.50	1915.00 1741.88
Extracción de posturas	33.60					33.60

Leyenda: a) Normas técnicas. b :suelo cachaza relación 5:1 + HMA

Tabla 14 Gastos incurridos para producir 100000 posturas y el costo de producción de una, en las diferentes tecnología

Indicadores	Normas técnicas	Relación suelo cachaza 5:1 + HMA
Salarios	7702.36	7262.69
Vacaciones (9.09%)	700.14	660.18
Subtotal	8402.5	7922.9
Seguridad social (12%)	1008.3	950.7
Materiales	8311.09	7687.09
Otros gastos	3662.55	3562.68
Gastos totales	21384.44	20123.37
Costo de prod. de una postura (pesos)	0.214	0.201

Tabla 15 Análisis de la factibilidad económica para producir 100000 posturas en ambas tecnologías

Indicadores	Normas técnicas suelo cachaza 3:1			Suelo cachaza 5:1 + HMA		
	Año I	Año II	Total	Año I	Año II	Total
Ingresos	30000	30000	60000	30000	30000	60000
Egresos	21384.44	21384.44	42768.88	20123.37	20123.37	40246.74
Saldo	8615.56	8615.56	1723.12	9876.63	9876.63	19753.26
Costo:Beneficio			0.713			0.671

V. Conclusiones

1. Los resultados demuestran una alta respuesta del cultivo a la inoculación con las cepas eficientes de HMA para ambos tipos de suelos, obteniéndose un mayor crecimiento y desarrollo de la posturas, que quedó reflejado en el área foliar con incrementos entre 61 y 67 % con relación al testigo.
2. Se encontró que las condiciones más adecuadas para lograr una micorrización efectiva estuvieron asociadas con las relaciones suelo: abonos orgánica y dosis de fertilizantes que aportaron menores cantidades de nutrientes.
3. Se destacó la cepa *Glomus fasciculatum* entre las cepas empleadas en el suelo Ferralítico rojo compactado, con valores superiores en las distintas variables de crecimiento estudiadas en los tratamientos donde no se aplicó el fertilizante fosfórico y con una relación suelo cachaza 5:1, y el *Glomus intraradices* y la *Acaulospora scrobiculata* en el suelo Ferralítico rojo lixiviado de montaña en presencia también de la relación suelo: humus de lombriz 5:1.
4. Los tratamientos inoculados con cepas adecuadas de HMA por tipos de suelos; con la relación suelo : Abono orgánico 5:1, tuvieron además de una mayor área foliar, una mayor extracción de N, P y K, así como valores superiores de masa seca de la raíz y hojas.
5. Con la utilización de la relación suelo:abono orgánico 5:1 y la inoculación con HMA se disminuyen los gastos para la producción de 100000 posturas en \$1261.07.

VI. Recomendaciones

1. Que sea una practica generalizada la inoculación de cepas adecuadas de HMA en los viveros de cafeto, sobre suelos Ferralítico rojo compactado y Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña y en una relación suelo : Abono orgánico de 5:1 y sin aplicación de fertilizantes fosforico.
2. Profundizar en futuras investigaciones sobres las causas que llevaron a que la inoculación con el concentrado nativo fuera inferior al de la inoculación con cepas específicas por tipos de suelos.
3. Utilizar estos resultados en la educación Pre y Postgrado.

VII. Referencias Bibliográficas

1. Abbot, L. K y Robson, A. D. The effect of va Mycorrhizae on plant growth. In : va mycorrhiza. Eds. CLI POWELL and DJ BagyaraJ. CRC, Press, Boca Ratón, FLORIDA, p 113-130, 1984.
2. Ahiabor, B. D. and H. Hirata. Characteristic responses of VAM fungi in Andosol soil with different fertilities. **Mycorrhiza** 5(1): 63-70, 1994.
3. Allen, M. Specificity in Mycorrhizal Symbiosis: Community-Ecological Consequences an Practical Implications. En: Mycorrhizal Funtioning. An Integrative Plant-Fungal Process. Chapman & Hall. New York London.1992
4. Allen, M. Specificity in Mycorrhizal Symbiosis: Community-Ecological Consequences an Practical Implications. En: Mycorrhizal Funtioning. An Integrative Plant-Fungal Process. Chapman & Hall. New York London.1992
5. Altieri, M.A. Agroecología. Bases científica para una agricultura sustentable. CLADES. ACAO. Tercera Edición. La Habana. p 249. 1997.
6. Alvarez, R. Del mercado mundial del café. Perjuicios y no beneficios. Periódico Granma. Año 27. No 137. Junio 28. 1991.
7. Alvarez, R. Del mercado mundial del café. Perjuicios y no beneficios. Periódico Granma. Año 27. No 137. Junio 28. 1991.
8. Ames, R.N. Mycorrhizal development in onion in response to inoculation with chitin-decomposing actinomycetes. **New Phytol.** 112: 423-427. 1989.
9. Antunes V./et al/. Interacao entre diferentes tipos de solo e fungos micorrizicos vesiculo arbusculares na producao de mudas de café (Coffea arabica, L). **Turrialba.** 38 (2): 117-122. 1988.

10. ASA. Mycorrh. Zae in sustainable Agriculture. Special Publication. No. 54. Madison, Wisconsin: USA . 1992.
11. Auge; R.M Do va Mycorrhizae enhance Transpiration by Affecting host phosphorus content. J. Plant. Nutr. 12:743-753; 1989.
12. Baath, E y Spokes, j. The effect of added nitrogen and phosphorus on mycorrhizal growth response and infection in *Allium schoenoprasum*. **Can. J. Bot.** 67: 3221-3232. 1989.
13. Bagyaraj, D.J. Biological interaction with va Micorrhizal fungi. En: Micorriza. Boca Raton: CRC Press: 131-153. 1984.
14. Barea, J.M /et al/. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas va. En: Fijación y Movilización de Nutrientes. Madrid. Tomo II. p 150-173. 1991
15. Barea, J.M/ et al. / Morfología , Anatomía, Citología de las Micorrizas VA./ J.M. Barea et al./ En : Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes. Madrid. 1991. T-2, P 150- 173.
16. Barros, A. Micorrizas vesículo arbusculares em cafeeiros da regio sul do estado de Minas Gerais. Tesis presentada para optar por maestría. Lavras. Minas Gerais. P 97. 1987.
17. Beatón, J. El análisis de suelo como herramienta para monitorear posibles problemas ambientales Instituto de la potasa y el fósforo. INPOFOS, 28:3-5, 1997.
18. Bendaña, F.E. Fisiología de las semillas de café. Problemas relativos al almacenamiento. Café. Servicios técnicos de café y cacao. (Costa Rica) 4 (15), 93-96. 1962.
19. Bertha, Alet al. 1 Morphogenetic Modifications induced by the Mycorrhizal Fungus *Glomus* Strain E3 in the root system of *Allium Porrum* L. *New Phytol.* 114:207-215. 1990.

20. Bethlenfalvay; G.J. Dakessian, S. and Pacosky; R.S. mycorrhizas in a Southern Californian Desert, Ecological Implications. *Can.J.Bot.* 62, 519-24. 1984.
21. Bianciotto, V /et al/. Germination process and hyphal growth of a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus. **Allionia**. 29: 17-24. 1989.
22. Black, R. The role of mycorrhizal symbiosis in the nutrition of tropical plant. En: *Tropical Mycorrhizal Research*. Mikola, P (ed) Clarendon Press. Oxford. London. p 191-202. 1980.
23. Bolan, N.S /et al/. Effects of VAM on the availability of iron phosphates to plants. **Plant Soil**. 22: 401-410. 1987.
24. Bolan, N.S. A critical review of a role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. **Plant Soil**. 134: 189-207. 1991.
25. Bolgiano, N. C. / et al. /. Mycorrhizal infection and growth of onion in the field in relation to phosphorus and water availability; *Journal of The American Society for Horticultural Science* 108, 819-825, 1983.
26. Bonfante-Fassolo, P y Perotto, S. Strategy of arbuscular mycorrhizal fungus when infecting host plant. **New Phytol**. 130, 13-21. 1995.
27. Botello; j.j Y R. Ferrera- Cerrato. Efecto de la Endomicorriza va sobre Cebolla (*Allium Cepa* L.) en un Andosol de México. *Rev. Lat. AMER. Microbial* 29: 97-102, 1987.
28. Boyetchko, S.M y Tewari, J.P Parasitism of spore of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus dimorphicum*. **Phytoprotection**. 72, 27-32. 1991
29. Brady, N.C. *The Nature and Properties of soils*. 9th ed. Macmillan Publishing Co. New York. NY. 1984.
30. Burggraaf, A.J.P y Beringer, J.E. Absence of nuclear DNA synthesis in vesicular arbuscular mycorrhizal during in vitro development. **New Phytol**. 111 (1): 25-33. 1989.

31. Caldeira, S.F./et al/. Associacao de micorriza vesiculo arbuscular em café, lima e capim gordura. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasilia 18 (3), 223-228. 1983.
32. Calvet, c /et al/. Germination, early mycelia growth and infectivity of a vam fungus in organic substrate. **Symbiosis.** 14 (1-3): 405-411. 1993
33. Carvajal, J.F. Cafeto, Cultivo y Fertilización. Berna. Instituto Internacional de la Potasa. p 251. 1984.
34. Carvalho, A y Mónaco, L.C. Botánica y mejoramiento En: Cultivo y abono del cafeto. La Habana ed. Revolucionaria. p 40-54. . 1966.
35. Cliquet, J.B y Stewart, G.R. Ammonia assimilation in zea mays L. Infected by a Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus Glomus Fasciculatum. *Plant Physiol.* 101, 865- 871,1993.
36. Cochran, W and G. Cox. Diseños experimentales. México Editorial Trellas.132,135.—1990.
37. Collins, Nancy y F.L. PflegeR. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. Universidad de Minesota. 71-99, 1992.
38. Colozzi-Filho, A y Siqueira, J.O. Micorrizas vesículo arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de Gigaspora margarita e adubacao fosfatada no crescimento e nutricao. **R. bras. Ci. Solo.** Campinas 10 (3), 199-205. 1986.
39. Corbera, J. y Annia Hernández. Evaluación de la asociación HMA-RHIZOBIUM sobre el crecimiento y rendimiento de la soya (Glicine Max. L.). *Cultivos Tropicales* 18(1) : 10-12,1997.
40. Cress, W.A, Throneberry, G.O y Lindsay,D.L. Kineties of Phoshorus Absorption by Mycorrhizal and non Mycorthizal Tomato roots. *Plant Physiol,* 64: 484-487, 1979.
41. Daniels, B.A y Trappe, J.M. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, Glomus epigaeus. **Mycologia.** 72, 457-471. 1980.

42. Declerck, S. / et al. / Comparative effects of two strain of VAM on growth and nutrition of micropropagated banana plants (*Musa Acuminata* Colla C. V. Giant Cavendish). 9th North American Conference on Mycorrhizae, 1993.
43. 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. p 25-26. 1988.
44. Dexheimer, J./et al/. Approche cellulaire du fonctionnement des endomycorrhizies á vésicules et arbuscules: les plasmalemmes de l'interface. En: Gianninazzi-Pearson, V. et Gianninazzi, S. Physiological and Genetics aspect of Micorrhizae. INRA. Paris. p 277-283. 1986.
45. Dhillion, 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.
46. Dommergues, Y y Mangelot F. Les associations mycorrhiziennes. En: *Ecologie Microbienne du sol.* Ed Masson et C^{ie}. Paris. p 656-675. 1970.
47. Druge; V. y D. Schonbeck. Effect of Vesicular- Ambuscular Mycorrhizal Infection on Transpiration, Phoptosynthesis and Gtrowth of flax (*lirum usitissimun*) in relation to cytokinin Levels. *J. Plant. Physiol.* 141:40-48.1992.
48. Duke,S.E./et al/. Local reduction of mycorrhizal arbuscule frequency in enriched soil microsities. **Can. J. Bot.** 72, 998-1001. 1994.
49. Espinosa, J. Funciones del fósforo en las plantas. *Informaciones Agronómicas.* Instituto de la potasa y el fósforo. INPOFOS, 36:9-10, 1999.
50. Fernádes, A.B. y Siqueira, J.O. Micorrizas vesiculo-arbuscular em cafeeiros da regioa sul do Estado de Minas Gerais. *Pesq Agrop. Bras. Brasilia.* 24 (12): 1489-1498. 1989.

51. Fernández J. Estudio comparativo de diferentes modalidades de aviveramiento de plantas de cafeto. **Ciencia y Técnica en la Agricultura. Café y Cacao.** 2 (2), 17-25. 1980.
52. Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*c. arabica L. var. Catuaí*) en algunos tipos de suelos. / F. Fernández. Tesis de grado (Dr. En Ciencias Agrícolas), INCA 102 p., 1999.
53. Fernandez, F. Uso, manejo y comercialización de los Hongos micorrizógenos va. Curso de postgrado. INCA. 1996.
54. Fernández, F./et al/. Comparación de tres técnicas para evaluar la actividad micorrízica en plantaciones de cafeto en la región central de Cuba. **Cultivos Tropicales.** 11, 85-88. 1989.
55. Fernández, F./et al/. Efectividad de tres hongos formadores de micorrizas (va) y una cepa de bacteria solubilizadora de fósforo sobre el crecimiento de posturas de cafeto. (*Coffea arabica L.*) *Cultivos Tropicales.* 13(1): 28-32. 1992.
56. 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. 1997
57. Ferrer, R. y R. Herrera. Breve reseña sobre los biofertilizantes. --- Ciudad de la Habana. IES, CITMA, p50. 1991.
58. Finlay, R.D. Interaction between soils micro-arthopods and endomycorrhizal associations of higher plants. In: Ecological Interactions in Soils. Ed A.H Fitter. Oxford .UK -319- 332 pp 1985.
59. Fitter, A.H. Water relation of red clover *Trifolium pratense L.* as affected by VAM infection and phosphorus supply before and during drought. **J. Exp. Bot.**39: 595-603. 1988

60. Fixen, P. Cuál es la mejor forma de aplicar fósforo al suelo. *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la potasa y el fósforo. INPOFOS, 27:1-3, 1997.
61. Fredeen, A.L /et al/. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in Glycine max. **Plant Physiol.** 89: 225-230. 1989.
62. 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.
63. Furlan, V. / et al. / Effects of N, P and K on formation of vesicular-arbuscular Mycorrhizae, growth and mineral content of onion. *Plant and soil*, 113, 167-174. 1989.
64. Furrázola, 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.
65. Furrázola, E.; R. Herrera Y R. L. Ferrer. Ubicación taxonómica de cinco cepas de hongos micorrizógenos vesículo- arbusculares cultivados en el cepario del IES-ACC. Resúmenes de BIOFERTRO'92.-- Ciudad de la Habana: IES, p. 37. 1992.
66. Garbaye, J y Duponnois, R. Specificity and function of mycorrhization helper bacteria (MHB) associated with the Pseudotsuga menziessi-Laccaria laccata symbiosis. **Proc.** International Symbiosis Congress. Jerusalem. Israel. 1991.
67. Garbaye, J. Biological interactions in the mycorrhizosphere. **Experientia.** 47, 370-375. 1991.
68. García-Garrido, J.M y Ocampo, J.A. Effect of VA mycorrhizal infection of tomato on damage caused by Pseudomonas syringae. **Soil Biology Biochem.** 21: 165-167. 1989.
69. George; E./ et al./.. Contribution of Mycorrhizal Fungi to Micronutrient uptake by Plants. In: *Biochemistry of metal micronutrients in the mizosphere*. EDS: J.A. Mantley, de Crowley and DG Luster. P93-109; CRS Press; Boca Ratón. 1994.

70. Gianinazzi-Pearson, V y Gianinazzi, S. Cellular and Genetics aspects of interaction between host and fungal symbionts in mycorrhizae. **Genome**. 31: 336-341. 1989.
71. 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. pp 101-109. 1986.
72. Gianinazzi-Pearson, V y Gianinazzi, S. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. **Plant and Soil**. 71: 197-209. 1983.
73. Gianinazzi-Pearson, v. and S. Gianinazzi. Phosphorus metabolism, in mycorrhizal, En: nitrogen phosphorus and utilization by fungi Cambridge University press, Cambridge, 227-241, 1990
74. Gindel, J. Ecological behavior of the coffee plant under semi-arid condotions. *Coffee*. **Turrialba** (costa rica) 4, 49-63. 1962.
75. Giovannetti, M y Mosse, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol**. 84, 489-500. 1980.
76. Grahah, J.H. /et al./ Interacción of Light Intensity And And Soil Temperature with Phosphorus Inhibición of Vesicular-arbuscular Mycorrhiza Formation. *New phytologist*. 91, 683-690, 1982.
77. Green, N.E./et al/. The influence of Ph on the germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. **Mycologia**. 68, 929-933. 1976.
78. Guerrero, A. G. Variantes ecológicas para favorecer la reducción del período de aviveramento en Café (*Coffea Arabica* L. Var. Caturra). Tesis de diploma. 1996.
79. Guildon; A y P.B. Tinker. Interactions and heavy Metals in plants. II the effects of interactions on the uptake of copper. *New Phytol*. 95:263-268; 1983.

80. Habte, M. y Aziz, T. Responses of sesbania Grandiflora to Inoculated of Soil with Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi. Applied and Enviromental Microbiology. Sept.. p701-703. 1985.
81. 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.
82. Hamel, C.; C. NESSER; U. Barrantes-Cartin and D. L. SMITH. Endomycorrhizal fungal species mediate N transfer from soybeen to maize in non-fumigated soil. **Plant and Soil** 138:41-47, 1991.
83. Harley, J.L y Smith, S.E. Mycorrhizal Symbiosis. Ed Academic Press. New York. p 483. 1983.
84. Harley, J.L y Smith, S.E. Mycorrhizal Symbiosis. Ed Academic Press. New York. p 483. 1983.
85. Hayman , D. S. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. Canadian Journal of Botany. 50 : 944-963. 1983.
86. Hayman, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. Effects of light and temperature. **New Phytol.** 73, 71-80. 1974.
87. Hendrix, J.W /et al/. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems En: The significance and regulation of soil biodivresity. 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.
88. Herrera, R.A./et al/. Caracterización y dinámica de las fitomasas de raíces y micorrizas vesiculo-arbusculares en la Sierra del Rosario. En: Ecología de los Bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba. Proyecto MAB No 1. 1971-1987. ROSTLAC, UNESCO. Capítulo21, p 447-472. 1988.
89. 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.
90. 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.
91. Herrera, R.A./et al/. Informe de Dpto de Ecología de Suelos. IES. ACC.1991.
92. Hetrick, B. A. D. Mycorrhizas and root architecture experiential. 47 : 355-362. 1991.
93. Howeler, R. H. Aspectos prácticos de la investigación de micorrizas vesículo-arbusculares demostrados en el cultivo de la yuca.-- Cali: CIAT, p. 44-61. 1985.
94. Howeler, R. H. La función de micorrizas vesículo arbusculares en la en la nutrición fosfórica de la yuca.--Cali: CIAT, 30-1983.
95. Howeler, R. H. Mycorrhizae associations. Important for cassava grown on soils low in P. **Cassava Newsletter** 11: 10-11, 1982.
96. INCA. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícola). Dossier del producto Ecomic®. Resultados de las campañas de validación.-- La Habana: INCA, 1998. —45p
97. INCA. (Instituto Nacional de Ciencias Agrícola). Dossier del producto Ecomic®. Resultados de las campañas de validación.-- La Habana: INCA, 45p. 1998.
98. Inghan, R.E. interactions Between Nematodos and Vesicular Ambuscular Fungi. In Biological Interctions in soil. EDS. CA Edwards, B.R. Stinner, and S Rabatin. Pp 169-182. 1988.
99. Janos, D. P. Va Micorrizas in Humid Tropical Ecosystems. In: SAFIR GR (ed) Ecophysiology of Va Mycorrhizal Plants. Crc Press, Boca Ratón, Fla, p 107-134. 1987.

100. Johansen; A./et al./Hyphal transport of N-Labelled Nitrogen by a vesicular Mycorrhizal Fungus and its effect on depletion of inorganic soil. *New phitol* 122, 281-288.1992.
101. 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
102. Kang, B. T. Effect of phosphate fertilization and inoculation with VA-mycorrhizal fungi on performance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Field Crops Research** 3(1): 83-94, 1980.
103. Kato, O. R. Efeito de MA no crescimento e nutricao da mandioca em solo adubacao com doses crescente de superfosfato triple.-- Brasil: Escola Superior de Agricultura Larvas, p. 197. 1987.
104. Katznelson, H./et al/. The rizosphere effect of mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of yellow birch seedlings. **Can. J. Bot.** 40, 377-382. 1962.
105. Kleopfer, J.M /et al/. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. **Phytopathology**. 70: 1078-1082. 1980.
106. Koide, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytol**. 117:365-386. 1991.
107. 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.
108. Larez, C. R.; A. Sotillo e Isabel Mimbela. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* C.) a la aplicación de micorrizas, P y K en condiciones de invernadero. Resúmenes de BIOFERTRO'92.-- Ciudad de la Habana: Univ. Oriente, Venezuela, p. 46. 1992.
109. Letacon, L y Obaton, M. Faune et Flore do sol les organismes symbiotiques faune et flores auxiliaires en agriculture. Ed ACTA. Paris. p119-113. 1983.

110. 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. p 156. 1986.
111. Lopes, E.S./et al/. Efeitos do fungo micorrízico Gigaspora margarita no desenvolvimento de mudas de cafeeiro cv. Mundo novo en condicoes de campo. En: Cong. Bras. Pesq. Caff., 10, Pocos de Caldas. Rio de Janeiro. 1983. 1983 p.
112. Lopez, E. L. Y Lombardi, M.L.C.O. Os Microorganismos do solo e o Aproveitamento do Fosfóro pelas Plantas. Mesa Redonda sobre Adubação Fosfatada do Brasil. Xx VIII Congresso Brasileiro de Ciencia do solo. Salvador 30 de Agosto a 5 de Setembro de 1981.
113. Maestri, M y Barros R.S. Café. En: Ecofisiologia de cultivos tropicales. Costa Rica. IICA. p 50. 1981.
114. martinez Viera, R. Ciclo biológico del nitrógeno en el suelo.-- Ciudad de la Habana: Ed. Científico Técnica, 1986.-- p. 22-70.
115. Marschner, H y Dell, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**. 159, 89-102. 1994.
116. Marschner, H y Dell, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**. 159, 89-102. 1994.
117. Marx; D.H. The influence of ectotropic Mycorrhizae fungi on the resistance of pine moots to pathogenic infection. II-Production, Identification and Biological Activity of Antibiotic Produced by Leucopaxillus Cerealis var Piccina . *Phytopathology*, 59:411-17,1969.
118. 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.
119. Menge, J.A./et al/. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under tree nutrient regimes. **New Phytol**. 81, 553- 559. 1978.

120. Menge, J.A/ et al. /. Mycorrhizal Fungi increase Growth and reduce transplant injury in avocado. California. Agric. 32.6-7.1978
121. Miranda, J.C.C y Harris, P.J. The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi during the early stages of mycorrhizal formation. **Plant and Soil**.166, 271-280. 1994.
122. Moawad, M. Ecophysiology of vesicular-arbuscular mycorrhizae in the tropics. En: The soil-roots interface. Academic Press. London .197-209 p . 1979.
123. Morales, D /et al/. Informe Final del resultado 003-02-03 sistemas de producción de posturas mediante semilla. INCA. 65p. 1990.
124. Morales, D et Duc Son. Estudio comparativo de diferentes métodos para la obtención de plántulas de café. **Cultivos Tropicales**. 4 (2):281-292. 1982
125. Morales, D y Jerez, E. Influencia de la humedad del suelo sobre el crecimiento del café medido a los 8 meses en viveros al sol. **Cultivos Tropicales**. 4 (4): 675-683. 1982.
126. Morales, D y Soto, F. Conferencias sobre viveros de café impartida a los ingenieros del plan Turquino. Santiago de Cuba, Enero 1988.
127. Mosse, B. Advances in the study of va micorriza. **Ann. Rev. Phytopath.** 11, 171-196. 1973.
128. Mosse, B. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Research Bul 194. HAWAII. Institute of Trop. Agric. And Human. Resources Univ. of HAWAII. 82 P. 1981.
129. Mosse,B. Advances in the stuay of va Mycorrhiza. Ann. Rev. Phitopath 11. 171-196.1983.
130. Ojala; J.C/ et al/. Influence of Mycorrhizal Fungi on the Mineral Nutrition and yield of onion in saline soil . Agron. J. 75:225-258.1983.
131. Orosco, M. O y V. Geaninazzi - Peacson. Estudio sobre la actividad fisiológica alcalina y succionato deshidrogenasa de las MVA en técnicas de nutrición

- fosfatada en plantas de soya. Resúmenes de Biofetro' 93.-- Ciudad de La Habana: IES - INRA SGAP. p. 226. 1993.
132. Packovsky, R.S./et al/. Nutrient and growth interactions in soybeans colonized with *Glomus fasciculatum* and *Rhizobium japonicum*. *Plant and Soil*. 92, 37-45. 1986.
133. Palma, J.M /et al/. Superoxide dismutase in vesicular-arbuscular mycorrhizal red clover plants. **Physiologia Plantarum**. 87 (1) 77- 83. 1993.
134. Paulitz, T.C y Menge, J.A. The effects of mycoparasite on the mycorrhizal fungi *Glomus deserticola*. **Phytopatology**. 76, 351- 354. 1986.
135. Perry, D.A /et al/. Species migration and ecosystem stability during climate change; the belowground connection. **Conservation Biology** 4, 266-274. 1990.
136. Peyronel, B; Fassi, B; Fontana, A y Trappe, J.M. Terminology of micorrhizae. **Mycologia**, 61. 410-411. 1969.
137. 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.
138. Plenchette, C.H. Les Endomicorrhiziens a vesicules et arbuscule (va): Un potentiel a exploiter en agriculture. **Phytoprotection** 63, 86-108. 1982.
139. Primavesi, Ana. Manejo ecológico do solo. Agricultura em regioes tropicais .--- Sao Paulo. 164-197p. 1990.
140. Read, D.J/J.M. Barea et al./ Mycorrhizas in Ecosystems. Oxford Cab. Internacional, 1992.
141. Rhodes, L.H y Gerdenman, J.W. Phosphate uptake Zones of Mycorrhizal and non Mycorrhizal onions. *New Phytologist* 75: 555-561. 1975.

142. 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.
143. Rivera, R./et al/. Efecto de la coinoculación Azospirillum brasilense y hongos micorrizogenos va en el cultivo del arroz. En: Informe del trabajo anual de 1992 sobre Biofertilizantes. INCA. Documento Interno. La Habana.. 15 p. 1993.
144. Rivera, R., F. Fernández, C. Sánchez et. al, Manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción de posturas de cafetos en Cuba. En R. Rivera (ed). El cultivo del cafeto en Cuba. Investigaciones y resultados.1999.
145. Rivera, R. Disponibilidad de nutrientes y fertilización en los sistemas agrícolas micorrizados: Resultados en la producción de posturas de cafeto y de raíces y tubérculos. XII Seminario Científico del INCA. Libro de Resúmenes. P. 102, 2000.
146. Rodríguez, I. Certificado de Introducción del resultado científico técnico "Utilización del humus de lombriz en la producción de posturas de cafeto". Dirección Nacional de Café y Cacao. 1992. 1p.
147. 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.
148. Ruiz M , L. Efecto de la inoculación con micorrizas sobre la respuesta de la yuca (*Manihot esculenta*) a la fertilización fosfórica. **Cienc. Téc. Agric. V. Trop.** 7(2): 39-52, 1984.
149. Ruiz. L, O. Carvajal y G.Hernández. El uso de las micorrizas, el Azotobacter y la fosforina como alternativa para la fertilización de las viandas de Cuba. *Agrotecnia de Cuba.* 27(2),1997.
150. 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.

151. Safir, G. R. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and crop productivity.-- New York: Academic Press, 1980.
152. Safir, G.R./et al/. Nutrient status and mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. **Plant Physiology**. 49, 700-703. 1972.
153. Safir, G.R; Boyer, J.S. y Gerdenman, J. W. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science*. 172: 581-583.1971.
154. Saggin-Junior, A./et al/. Interacao fungos micorrizicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo nao fumigado. **R. bras. Ci. solo**. 18, 27-36. 1994.
155. Sánchez, C. Manejo de las asociaciones micorrizicas arbusculares en la producción de posturas de cafetos (*C. arabica* L.) en algunos suelos del Escambray (Tesis de Doctorado).-- La Habana: INCA.103, 2001.
156. Sánchez, C.; R. Rivera; C. González; R. Cupull; R. Herrera y M. Varela. Efecto de la inoculación de HMA sobre la producción de posturas de cafetos en tres tipos de suelos del macizo montañoso de Guamuaya. **Cultivos Tropicales** 21 (3): 5-13p -2000.
157. Sanchez-Díaz, M /et al/. Effect of water stress on photosynthetic activity in the Medicago-Rhizobium-Glomus symbiosis. **Plant Science**. 71: 215-221. 1990.
158. Schenck, N.C; Kellan; M.K. the influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae on disease development. Gainesville, Univ. Florida 16p (boletín 789, Technical).1978.
159. Schonbeck; F. Endomycorrhiza in relation to Plant diseases. In: Soil Borne Plants Pathogens. Eds. Schapper and Gam Academic Press. New York. 1979.
160. Schwab, S. M. / et al. / Comparison of stages of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation in sudangrass grown at two levels of phosphorus nutrition. *American Journal of Botany*, 70, 1225-1232. 1983.

161. 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.
162. Setzer, J. Sobre ecología do café. **Boletim da Superintendencia do Sevicios do Café.** 27 (302), 313-322. 1952.
163. Sieverding, E y Galvez, A.L. Soil and phosphate sources affect performance of va mycorrhizal fungi with cassava. **Angew. Botanik.** 62, 273-293. 1988.
164. Sieverding, E y Toro, S. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza V. Performance of diferente VAM fungal species with cassava. *J. Agronomy & Crop Science.* 161, 322-332. 1988.
165. Sieverding, E. Aspecto de la Taxonomia y la identificación de hongos formadores de MVA. CIAT. Cali. Colombia. 128 p-1985.
166. Sieverding, E. Posibilidades de aumentar la producción de yuca en suelos ácidos de regiones montañosas con el uso de hongos micorrízicos. **Suelos Ecuatoriales** 14(1): 190-198, 1984.
167. Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft fur techniische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. p 371 . 1991
168. Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft fur techniische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. p371. 1991.
169. Sieverding, E./et al/. Biomass production and nutrient concentration in spores of va mycorrhizal fungi. **Soil. Biol. Biochem.** 21, 69-72. 1989.
170. Siqueira, J. O y A. Franco. Biotecnología do solo Fundamentos e Perspectivas. *Ciencias nos Tropicos Brasileiros. Serie Agronomía.*, p235. 1988.

171. Siqueira, J.D. importancia e potencial das associações micorrizicas para a agricultura/ J.O. Siqueira. Minas gerais. Empresa de Pesquisa Agropecuaria. 20p.1985.
172. Siqueira, J.O y Franco, A.A. Biotecnologia do solo. Fundamentos e Perspectiva. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasilia, D.F . p 235. 1988.
173. Siqueira, J.O./et al/. Comportamento diferenciado de fungos formadores de micorrizas vesiculo-arbusculares em relacao a acidez do solo. **R. Bras. Ci. Solo.** 10. 11-16. 1986.
174. Siqueira, J.O./et al/. Crecimento de mudas e producao de cafeeiro sob influencia de fungos micorrizicos e superfosfato. **R. Bras. Ci. Solo.** Brasilia. 17 (1), 53-60, 1993.
175. Siqueira, J.O./et al/. Micorrizas vesiculo arbusculares en mudas de cafeeiro produzidas no sul do estado de minas gerais. **Pesq. Agrop. bras.** Brasilia. 22 (1), 31-38, 1987.
176. Siqueira, J.O./et al/. Ocorrencia de micorrizas vesiculo-arbusculares em agroecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasilia. 24, 1499-1506. 1989.
177. Siqueira, J.O./et al/. Spores, germination and germ tubes of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **Can. J. Microb.** 31, 965- 972. 1985.
178. Smith, S.E y Gianinazzi-Pearson, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiology. Plant. Mol. Biol.* 39, 221-244. 1988.
179. Smith, S.E./et al/. Nutrient Transport in mycorrhizas: Structure, Physiology and Consequences for efficiency of the symbiosis. **Plant and Soil.** 159, 103-113. 1994.
180. 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.

181. Solaiman; H.Z. y H. Hirata. Effectus of Indígenos arbuscular mycorrhizae Fungi on Rice Growth and N,P,K. Nutrición under Different water Regimen. Soil sei. Plant Nutro 41(3) 505-514.1995.
182. Son, C. L. Y Smith, S. E. A Comparison of Winter Sown Tomato Plant Growth with Restricted and Unlimited Water. Supply Hort. Scic. 58(4) : 475-481, 1988.
183. 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. 174 p. 1994.
184. Soto, F. Estimación del área foliar en ***Coffea arabica L.*** a partir de las medidas lineales de las hojas. **Cultivos Tropicales**. 2 (3), 115-128. 1980.
185. Strullu Souza, C.A.S./et al/. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (***Coffea arabica L*** cv. Catuai) micorrizadas nas condicoes de viveiro comercial, em substrato com e sem materia organica e diferentes dosis de superfosfato simple. **Ci. Prat.** Lavras. 13 (3), 269-278. 1989.
186. STribley , D. P. Mineral Nutrition. Ecophysiology of Va Mycorrhizal Plants. Ed. G:R SAFIR. P 57-70. Crc Press. Boca Ratón. 1987.
187. , D.G. Les mycorrhizes des abres et plantes cultivees. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 1991.
188. Strullu, D.G. Les mycorrhizes des abres et plantes cultivees. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 1991.
189. TArafdar, J. C. y Marschner, H. Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of va mycorrhizal activity in the inorganic and organic phosphorus. **SOIL BIOLOGY BIOCHEM.** 26 (3) : 387-395. 1994.
190. Tester, M.; S.E. Smith and F. A. S. The phenomenon of nonmycorrhizal plants. **Ca. J. Bot.** 65: 419-431, 1987.
191. Tinker, P.B.Role of rhizosphere Microorganisms in Phosphorus uptake by Plants. In: The role of Phosphorus in Agriculture. EDS. F.E. Klasawuch et al. Am. Soc. Agronomy. Tenesse Valley Authority. Pp 654. 1980.

192. 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 Press. Boca Raton. p 5-25. 1987.
193. Trimble, M.R y Knowles, N.R. Influence of van and phosphorus on growth, carbohydrate partitioning and mineral nutrition of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus L.*) plants during establishment. **Can. J. Plant Science.** 75: 239-250. 1995.
194. Tylka, G.L./et al/. Axenic germination of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi effects of selected Streptomyces species. Phytopatology. 81, 754-759. 1991
195. Van der Graff. Coffees, coffea sp. En: Breeding for durable resistance in perennial crops. FAO (Roma) Cap 6. p 49-74. 1986.
196. Walker, C. Systematics and Taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (glomales): a possible way forward. **Agronomie** 12 (10), 887-897. 1992.
197. Went, F.W. The experimental control of plant growth. New York. The Ronald Press, p164-168. 1957.
198. Wyss, P/et Al./ Phytoalexins responses in elicited by a Pathogen (Rhizoctonia Solani) but moot by a Mycorrhizal Fungus (Glomus Mosseae in soybean moots. Experiential 47:395-399;1991.