



0036 34
171

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ECOLOGIA Y COMPORTAMIENTO DE LA
ENDOMICORRIZA-ARBUSCULAR
EN EL
CULTIVO DE CAFE
(*Coffea arabica* L.)

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (*Biología*)

PRESENTA

DORA TREJO AGUILAR

DIRECTOR DE LA TESIS:
TESIS CON
FALLA DE CUBRIM

DR. RONALD FERRERA CERRATO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Dedicatoria

A mi esposo

Por todos los años de mi vida que he compartido con él, apoyándome siempre en el ejercicio de mi profesión, por no escatimar tiempo y esfuerzo para salir adelante como familia. Gracias por comprenderme. Sin ti nunca hubiera sido lo que hoy soy.

A mis Hijos

Por ser la alegría de mi vida y motivo de superación, con todo mi amor a ellos, quienes siempre han sabido esperar y alentarme en la culminación de este trabajo.

A mis amigos de siempre

En especial al M en C. Samuel Cruz Sánchez, Biol. Héctor Narave Flores, D.C. Guadalupe Vázquez Reyes y Dra Rosario González Riveros, porque aun cuando nuestras actividades profesionales nos han separado físicamente, el recuerdo de los gratos momentos compartidos, permanece en mi corazón.



Agradecimientos

Al Dr. Ronald Ferrera-Gerrato, por permitirme conocer el maravilloso mundo de los microorganismos y su aplicación en la agricultura; por su confianza, motivo por el cual me he realizado profesionalmente, sin su apoyo moral y técnico nunca lo hubiera logrado. Gracias por su amistad y enseñanzas, es usted una persona extraordinaria y su consagración a la ciencia lo ubicará para siempre dentro de los principales científicos de México. Es un honor para mí ser una más de sus discípulos.

Al Ing. Javier Castañeda Guerrero, por el apoyo incondicional, entusiasta y siempre oportuno, que brindó durante el periodo que fungió como Director de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. Gracias ingeniero por permitirme formar parte de su equipo, por confiar en mí y alentarme en la formación del grupo de investigación en el área de microbiología. A usted mi más profundo reconocimiento y admiración.

Al Biol. Miguel A. Escalona Aguilar, por su participación incondicional y desinteresada en mi trabajo, por animarme en los momentos difíciles, por estar siempre dispuesto a colaborar. Gracias por tu paciencia, enseñanzas y por ser mi amigo.

Al Ing. Andrés Rivera Fernández, por compartir sus amplios conocimientos de casticultura y estadística, por sus valiosas ideas para enriquecer esta investigación y por las horas invertidas en el análisis y revisión de este escrito.

A la Ing. Elizabeth Hernández Acosta, porque juntas nos iniciamos en el conocimiento de la endomicorriza, por tu apoyo incondicional y por todos los momentos gratos y difíciles que compartimos.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo
de café (*Coffea arabica* L.)

A todos mis queridos estudiantes, quienes han trabajado en el Laboratorio de microbiología, a Liza, Vicky, Margeruz y Heriberto quienes participaron directamente en la realización de este trabajo, así como a: Gaby, Eva, Liliana, Yisel, Lali, Adrián, José, Graciano, Gerardo y Juanita, gracias por compartirme su tiempo y juventud.

A los M. en C. Alfredo Echegaray Alemán, Lucía Varela, fregoso, Jesús Pérez Moreno, Rosa María Ramírez Tama, así como a los Drs. Arturo Estrada Torres y Roberto García Espinoza, por el valioso tiempo que invirtieron en la revisión de este documento.

A los Ingenieros Manuel Castañeda Armenta y Antonio Contreras Jiménez por sus valiosas aportaciones al trabajo escrito, así como al M. en C. Juan Ruiz Ramírez por el apoyo en los análisis estadísticos.

De manera especial a los M. en C.: armen González Chávez, Jesús Pérez Moreno y Roberto Quintero Lizoola y al Ing. Alejandro Marcon.



CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE CUADROS	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Generalidades del café	3
3.1.1. Fisiología de la planta.....	3
3.1.1.1. Fenología.....	3
3.1.2. Sistema radical.....	5
3.1.3. Condiciones ambientales.....	5
3.1.4. Manejo del cultivo.....	6
3.1.4.1. Vivero.....	6
3.1.4.2. Campo.....	7
3.1.4.2.1. Sistemas de producción.....	7
3.1.4.2.2. Prácticas de cultivo.....	8
3.1.5. Variedades de café y sus características botánicas.....	13
3.2. Generalidades de las micorrizas vesículo-arbuscular	14
3.2.1. Definición e importancia.....	14
3.2.2. Factores que influyen en la simbiosis.....	15
3.2.2.1. Relación hésped-endomicorriza arbuscular.....	15
3.2.2.2. Relación suelo-endomicorriza arbuscular.....	18
3.2.2.3. Relación medio ambiente endomicorriza-arbuscular.....	19
3.2.3. Fisiología.....	23
3.2.4. Micorriza vesículo arbuscular en café.....	24



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

3.2.4.1. Respuesta de la planta de café a la inoculación de diversos géneros de hongos endomicorrizicos.....	24
3.2.4.2. Efecto del fósforo en el desarrollo de las plantas micorrizadas.....	28
3.2.4.3. Estudios ecológicos en la asociación café-hongos endomicorrizicos.....	32
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1. Descripción del área de estudio.....	33
4.2. Estudio ecológico.....	36
4.2.1. Trabajo de campo.....	36
4.2.1.1. Selección de áreas de muestreo.....	36
4.2.1.2. Descripción de las fincas estudiadas.....	37
4.2.1.3. Muestreo de raíces y suelo.....	37
4.2.2. Trabajo de laboratorio.....	41
4.2.2.1. Claro y tinción de raíces.....	41
4.2.2.2. Porcentaje de colonización.....	41
4.2.2.3. Número de esporas en el suelo.....	41
4.2.2.4. Análisis físico-químico de suelo.....	42
4.3. Estudio tecnológico.....	42
4.3.1. Efecto de la inoculación de dos cepas endomicorrizicas en cuatro variedades de café (Experimento1).....	42
4.3.1.1. Obtención de hongos endomicorrizicos.....	42
4.3.1.2. Variedades de café.....	42
4.3.1.3. inoculación y siembra.....	42
4.3.1.4. Manejo de plantas en vivero.....	43
4.3.1.5. Diseño experimental.....	43
4.3.1.6. Evaluación de variables.....	43



4.3.2.Efecto de dos cepas endomicorrizicas, materia orgánica y roca fosfórica en la variedad Typica durante su desarrollo en vivero (Experimento 2).....	45
4.3.2.1.Obtención de cepas de hongos endomicorrizico-arbuscular.....	45
4.3.2.2.Variedades de café.....	45
4.3.2.3.Manejo de la planta en el vivero.....	45
4.3.2.4.Preparación del sustrato y llenado de contenedores.....	46
4.3.2.5.Inoculación y trasplante.....	46
4.3.2.6.Diseño experimental.....	47
4.3.2.7.Variables evaluadas.....	48
4.3.3.Efecto de la fertilización orgánica sobre el desarrollo de la endomicorriza vesículo-arbuscular en la variedad (Experimento 3).....	48
4.3.3.1.Obtención de las cepas.....	48
4.3.3.2.Sustrato utilizado.....	48
4.3.3.3.Siembra e inoculación.....	49
4.3.3.4.Manejo de las plantas en vivero.....	49
4.3.3.5.Fertilización.....	49
4.3.3.6.Diseño experimental.....	49
4.3.3.7.Variables evaluadas.....	51
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
5.1.Ecología de la endomicorriza vesículo arbuscular bajo tres sistemas de producción de café.....	52
5.1.1.Análisis del comportamiento de la endomicorriza en los sistemas cafetaleros.....	58
5.2.Efecto de la inoculación de dos cepas endomicorrizicas durante la fase de vivero (Experimento 1).....	59
5.2.1. Dinámica del comportamiento endomicorrizico en cuatro variedades de café.....	59
5.2.2.Efecto final de la simbiosis micorrizica en las variedades estudiadas.....	70



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

5.2.2.3. Efecto de la interacción variedad-cepa.....	72
5.2.2.4. Absorción de fósforo por las plantas inoculadas.....	79
5.2.2.5. Colonización y población de los hongos endomicorrizicos.....	79
5.3. Efecto de dos cepas endomicorrizicas, materia orgánica y roca fosfórica en la variedad Typica durante su desarrollo en vivero (Experimento 2).....	82
5.3.1. Efecto del sustrato.....	83
5.3.2. Efecto de la cepa.....	85
5.3.3. Efecto de la interacción cepa-sustrato.....	87
5.3.4. Efecto de la roca fosfórica.....	91
5.3.5. Efecto de la interacción roca fosfórica-sustrato.....	96
5.3.6. Efecto de la interacción roca fosfórica y cepas.....	96
5.3.7. Efecto de la interacción sustrato cepa, adición de roca fosfórica.....	101
5.3.8. Contenido de fósforo en el follaje y raíz.....	102
5.3.9. Porcentaje de colonización y número de esporas.....	102
5.4. Efecto de diferentes niveles de P-N y su interacción con la simbiosis micorrizica en plantas de café (Experimento 3).....	102
5.4.1. Efecto de Fósforo.....	105
5.4.2. Efecto del Nitrógeno.....	106
5.4.3. Efecto de cepa.....	106
5.4.4. Efecto de la interacción fósforo y nitrógeno.....	109
5.4.5. Efecto de la interacción fósforo y simbiosis.....	109
5.4.6. Efecto de la interacción nitrógeno y simbiosis.....	109
5.4.7. Efecto de la interacción nitrógeno- fósforo y simbiosis.....	111
6. CONCLUSIONES.....	117
7. LITERATURA CONSULTADA.....	119
8. APÉNDICE.....	130



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Etapas de desarrollo de la planta de café.....	4
Fig. 2. Localización del los sitios de estudio de acuerdo al muestreo.....	34
Fig. 3 .Gráfica del área de estudio (Estación Coatepec).....	35
Fig.4a. Finca representativa de una plantación a exposición directa de la luz solar (variedad Caturra).....	38
Fig.4.b Finca representativa de una plantación a exposición directa de la luz solar, con un suelo totalmente deteriorado (variedad Caturra).....	38
Fig. 5a. Finca representativa del sistema de producción sombra tradicional (variedad Typica).....	39
Fig. 5b. estado general de la planta libre de maleza y suelo con alta cantidad de materia orgánica (variedad Typica).....	39
Fig. 6a . Finca representativa del sistema de producción rústico. (variedad Typica).....	40
Fig. 6b. Plantas con manejo restringido, nótese lo excesivo de la maleza y el estado de la planta (variedad Caturra)	40
Fig. 7. Porcentaje de colonización en plantas de café con diferentes sistemas de manejo en verano e invierno	53
Fig. 8. Número de esporas en verano e invierno con diferente manejo.....	54
Fig. 9. Dinámica de crecimiento de la variedad Catimor bajo el efecto de la inoculación micorrizica.....	60
Fig. 10. Dinámica de crecimiento de la variedad Caturra con de la inoculación micorrizica.....	61
Fig. 11. Dinámica de crecimiento de la variedad Catuai con la inoculación micorrizica.....	62
Fig. 12. Dinámica de crecimiento de la variedad Gamica con la inoculación micorrizica.....	63
Fig. 13. Comportamiento térmico durante 1992-1993.....	65
Fig. 14. Efecto de la simbiosis en la variedad Caturra.....	71
Fig. 15. Incremento respecto al testigo por efecto de la cepa en las variedades estudiadas.....	73
Fig. 16. Incremento de altura respecto al testigo en cuatro variedades de café.....	75
Fig. 17. Incremento de volumen de raíz respecto al testigo en cuatro variedades de café.....	76
Fig. 18. Incremento de peso seco respecto al testigo en variedades cuatro variedades de café.....	77
Fig. 19. Incremento de área foliar respecto al testigo en cuatro variedades de café.....	78
Fig. 20. Incremento en el contenido de fósforo en plantas de café inoculadas con hongos endomicorrizicos.....	80

Fig. 21. Incremento con respecto al testigo (100 % suelo) en sustratos con diferentes contenidos de materia orgánica.....	84
Fig. 22. Incremento en el desarrollo y crecimiento de las plantas de café por efecto de las cepas.....	86
Fig. 23. Altura y expresión de la simbiosis en relación con el contenido de materia orgánica.....	88
Fig. 24. Efecto de la simbiosis sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas en un sustrato 100% suelo mas roca fosfórica.....	89
Fig. 25. Porcentaje de colonización en relación a la incorporación de materia orgánica y su expresión en el incremento de altura.....	90
Fig. 26. Incremento en altura con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.....	92
Fig. 27. Incremento en área foliar con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.....	93
Fig. 28. Incrementos en volumen de raíz con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.....	94
Fig. 29. Incrementos en peso seco con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.....	95
Fig. 30. Incremento en altura con respecto al testigo por efecto de la interacción sustrato-cepaa-roca fosfórica.....	97
Fig. 31. Incremento en volumen de raíz con respecto al testigo por efecto de la interacción sustrato-cepaa-roca fosfórica.....	98
Fig. 32. Incremento en área foliar con respecto al testigo por efecto de la interacción sustrato-cepaa-roca fosfórica.....	99
Fig. 33. Incremento en el contenido de fósforo en la parte aérea con respecto al testigo por efecto de la interacción sustrato-cepaa-roca fosfórica.....	100
Fig. 34. Incremento en el contenido de fósforo en la raíz con respecto al testigo por efecto de la interacción sustrato-cepaa-roca fosfórica.....	103
Fig. 35. Respuesta de las plantas a la inoculación y adición de nitrógeno y fósforo.....	104
Fig. 36. Porcentaje de decremento con respecto al testigo por efecto de la aplicación de dosis crecientes de N.....	107
Fig. 37. Porcentaje de Incremento con respecto al testigo en el crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto de <i>Glomus</i> sp Zac-19.....	108
Fig. 38. Efecto de dosis crecientes de fósforo sobre el por ciento de colonización.....	110



Fig. 39. Decrementos respecto al testigo en el crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto de la interacción Nitrógeno simbiosis.....112

Fig. 40. Área foliar en plantas de café bajo el efecto de la interacción N-P-simbiosis.....115

Fig. 41. Volumen de raíz en plantas de café bajo el efecto de la interacción N-P-simbiosis.....116

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Guía para la fertilización de cafetales con bajo uso de fertilizantes..... 10

Cuadro 2. Resumen de algunos efectos generales de las prácticas agronómicas en poblaciones de hongos endomicorrizicos..... 22

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos utilizados para conocer el efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos sobre cuatro variedades de café..... 43

Cuadro 4. Variable, técnica y época de evaluación del efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos en cuatro variedades de café..... 44

Cuadro 5. Descripción de tratamientos utilizados para conocer el efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos, la adición de roca fosfórica y el sustrato en la variedad Typica 47

Cuadro 6. Variable, técnica y época de evaluación del efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos, la adición de roca fosfórica y el sustrato sobre la variedad Typica 48

Cuadro 7. Descripción de tratamientos utilizados para determinar el efecto de la fertilización inorgánica en el desarrollo de la endomicorriza arbuscular..... 50

Cuadro 8. Variable, técnica y tiempo de evaluación del efecto de la fertilización inorgánica sobre el desarrollo de la endomicorriza en la variedad Typica..... 51

Cuadro 9. Análisis físico y químico de los suelos con cultivo de café en tres sistemas de producción..... 52

Cuadro 10. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de vigor a los 262 días después de la inoculación 66

Cuadro 11. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de vigor a los 292 días después de la inoculación 66

Cuadro 12. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de sanidad a los 262 días después de la inoculación 68



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 13. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de sanidad a los 292 días después de la inoculación	68
Cuadro 14. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de clorosis a los 262 días después de la inoculación	69
Cuadro 15. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de clorosis a los 292 días después de la inoculación	69
Cuadro 16. Efecto de la variedad sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas.....	70
Cuadro 17. Efecto de la cepa sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas.....	70
Cuadro 18. Efecto de la interacción variedad-cepa en el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.....	72
Cuadro 19. Porcentaje de colonización total en las cuatro variedades estudiadas.....	79
Cuadro 20. Número de esporas en 100g de suelo en cada una de las variedades estudiadas.	81
Cuadro 21. Efecto del sustrato sobre el desarrollo y crecimiento de plantas de café.....	83
Cuadro 22. Efecto de la cepa sobre el desarrollo y crecimiento de plantas de café.....	85
Cuadro 23. Efecto de la interacción entre cepa y sustrato sobre el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.....	87
Cuadro 24. Efecto de la interacción entre la adición de roca fosfórica y sustrato sobre el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.....	96
Cuadro 25. Efecto de la interacción entre cepa, sustrato y roca fosfórica en el desarrollo de plántulas de café.....	101
Cuadro 26. Número de esporas en 100g de suelo en los tratamientos estudiados.....	102
Cuadro 27. Efecto de la adición de diferentes niveles de N sobre el crecimiento de plántulas de café.....	106
Cuadro 28. Efecto de la cepa en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.....	106
Cuadro 29. Efecto de la interacción N y simbiosis en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.....	109
Cuadro 30. Efecto de la interacción Nitrógeno - fósforo - simbiosis en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.....	113



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo
de café (*Coffea arabica* L.)

I. INTRODUCCION

En las últimas décadas la agricultura ha sido rentable desde el punto de vista económico, con ayuda de la tecnología que se ha ido generando, especialmente con el uso de fertilizantes y pesticidas. Sin embargo, su impacto ecológico ha sido devastador y de baja eficiencia, en virtud de que los agroquímicos requieren para su elaboración del consumo de energéticos fósiles.

Este hecho ha llevado a la búsqueda de alternativas que permitan el desarrollo de los cultivos con una tecnología redituable, sin deterioro del ambiente.

En este sentido, el aprovechamiento adecuado de los recursos que la naturaleza nos ofrece juega un papel fundamental en la agricultura.

La endomicorriza vesículo arbuscular representa un potencial considerable en la sustitución de fertilizantes inorgánicos ya que esta asociación mutualística, es generalizada a la mayoría de los cultivos.

Existen evidencias de que plantas colonizadas por la endomicorriza presentan un incremento en la capacidad de absorción de nutrimentos minerales especialmente aquellos poco móviles como son el P, Zn y Cu, pero también otros como S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cl, Br, y N, traduciéndose esto en un mejor crecimiento y desarrollo de la planta, así como una mayor tolerancia a enfermedades, salinidad y metales pesados entre otros efectos benéficos.

Aunque sus uso en la agricultura resulta bastante promisorio, se ha restringido solo para aquellas plantas que pasan por la fase de vivero, debido a la dificultad que hasta este momento se tiene para la producción masiva de este biofertilizante.

El café es un cultivo que requiere de una estancia en el vivero antes del trasplante y desde 1897 Jansen reportó que la planta de café presenta un elevado grado de micotrofia (Lopes et al., 1983). Por lo que el uso de esta simbiosis en vivero ha sido considerado importante ya que promueve un rápido desarrollo y mayor supervivencia al trasplante, al tener la planta un sistema biológico, que permite una mejor adaptabilidad durante el cambio de habitat.



Sin embargo la eficiencia de la endomicorriza arbuscular está sujeta a diversos factores, entre los que destacan los climáticos, edáficos y de compatibilidad con el hospedero.

En México se cultivan aproximadamente siete variedades de café y se maneja en diversas formas, lo cual repercute en el rendimiento del cultivo, calidad del fruto, deterioro o conservación del ecosistema, así como en el desarrollo de la simbiosis.

Acorde al uso y aprovechamiento de la simbiosis micorrizica que este cultivo presenta es necesario mostrar especial atención a la interacción que se establece entre el manejo-planta-endomicorriza.

Por las razones anteriormente mencionadas, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos

2.OBJETIVOS

- A) Analizar el comportamiento de la endomicorriza arbuscular en plantas de café bajo tres diferentes sistemas de producción.
- B) Determinar la eficiencia de dos copas de hongos endomicorizicos en el crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de café.
- C)Evaluar el efecto del substrato y la adición de roca fosfórica en la eficiencia y desarrollo de dos copas de hongos endomicorizicos en la variedad Typica que es la más comúnmente utilizada en México.
- D)Estudiar el efecto que tiene la adición creciente de fósforo y nitrógeno inorgánico sobre el comportamiento de la endomicorriza arbuscular.



3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. GENERALIDADES DEL CAFÉ (*Coffea arabica*).

3.1.1. Fisiología de la planta

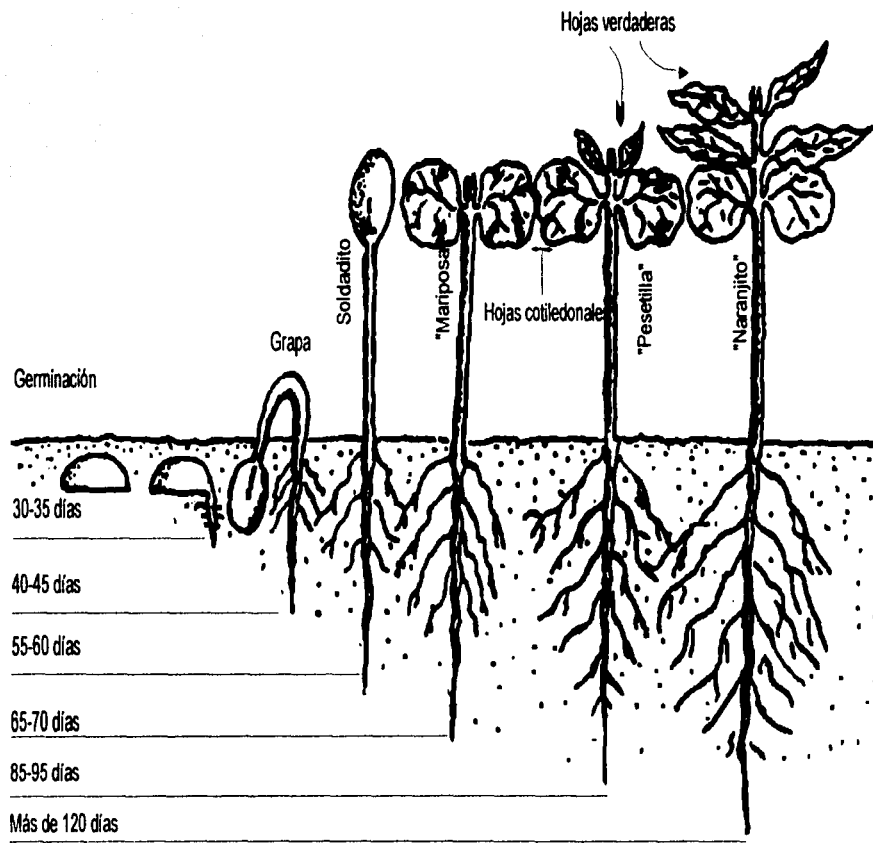
3.1.1.1 Fenología

López (1990) identifica dos etapas importantes: juvenil y madurez de la planta de café. La primera comprende diversas fases: a) semillero; b) vivero; c) establecimiento en campo y crecimiento vegetativo. Durante la etapa de semillero se observan siete fases que en total comprenden 120 días dependiendo de las condiciones ambientales (Fig. 1).

La semilla carece del período latente, así que si se coloca en un medio que presente condiciones satisfactorias de humedad, calor y aireación puede germinar. La temperatura óptima es de 30°C a 32°C y los tiempos de germinación varían de acuerdo con la temperatura del lugar. Se han registrado períodos de germinación entre los 30 y 40 días. Posteriormente se presenta el estado de soldadito en donde el tallo se encuentra recto y las hojas permanecen encerradas al pergamino. Después aparece el estado de mariposa y presenta las hojas cotiledóneas bien abiertas; estos dos últimos estados son los recomendados para el trasplante. Después de los 90-120 días aparece el estado de pesetilla (Coste, 1963; INMECAFE, 1979; INMECAFE, 1990; Castillo et al., 1994).

Las primeras ramificaciones plagiotrofas aparecen cuando la planta tiene de 5 a 6 pares de hojas y cuenta con una altura de 20-30 cm. A los dos años, el café alcanza cerca de 1 metro de altura y posee numerosos pares de ramas. En el tercero o cuarto año llega a medir de 1.50 a 1.70 metros, entonces florece y entra en un período de producción (Coste, 1963).

El tiempo transcurrido entre la floración y la maduración es de 6 a 8 meses, dependiendo de las condiciones climáticas, los métodos de cultivo, la genética etc; la producción por café es de 120 a 715 Quin/ha y la época de cosecha se realiza durante los meses de septiembre a marzo (Coste, 1963; INMECAFE, 1990; Castillo et al., 1994).



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Figura 1. Fases del café en semillero en días (López, 1990).





3.1.2. Sistema radical.

El sistema radical está formado por un eje, raíces axiales y ramificaciones laterales con función de fijación, alimentación hídrica y nutrición respectivamente. El desarrollo de la raíz depende de diversos factores entre ellos la estructura del suelo la aireación, drenaje, riqueza hídrica y mineral, así como las prácticas de cultivo. Generalmente más de 80 % de las raíces se encuentran en la capa superior del suelo y a 30 cm de profundidad del suelo. El volumen de suelo explotado por el café es de 12 a 15 metros cúbicos y el desarrollo superficial de las raíces depende en gran manera del clima (Coste, 1969)

La cantidad y distribución de las raíces en el suelo indican la capacidad de la planta para captar agua y nutrientes, esta información es necesaria para determinar donde y cuando aplicar el fertilizante y las labores para la eliminación de malezas (López, 1990)

Suárez de Castro (1961) encontró que el mayor número de raíces absorbentes se localizan entre los primeros 20 cm de profundidad y a 15 cm del tronco, sin embargo éstas se llegan a encontrar hasta los 100 cm, disminuyendo conforme aumenta la distancia al tronco.

3.1.3. Condiciones ambientales

La especie arábica es resistente a las temperaturas altas siempre y cuando no sean muy extremosas. Temperaturas por abajo de 13°C causan muerte de hojas y brotes, provocando defoliaciones. Por arriba de 35°C, la transpiración aumenta, deshidrata los tejidos, se marchita y si el tiempo de exposición a estas temperaturas se prolonga, las hojas se caen. Cuando se inician las primeras lluvias la planta emplea toda su energía en reconstruir el follaje lo cual trae como consecuencia una baja en la producción de frutos, la temperatura óptima está comprendida entre 22°C y 26°C (Coste, 1969). En México las temperaturas óptimas oscilan entre los 18°C a 22°C, con máximas en verano por abajo de los 30°C. (Barrientos, 1990, Castillo et al., 1994).

El café prospera entre 1500 y 1800 mm de precipitación con un régimen que comprende un periodo de relativa sequía, lo que coincide con una fase de reposo vegetativo (Coste, 1963).



Castillo et al. (1994) mencionaron que la precipitación media anual requerida por este cultivo es de 1800 a 2000 mm, distribuidos en el año y que precipitaciones superiores a los 3000 mm deterioran la calidad física del café oro y la calidad de taza.

El agua de rocío representa un aporte importante durante la época de sequía. (Coste, 1963)

Por naturaleza, el café se encuentra en lugares sombreados. Por mucho tiempo se pensó que era una planta heliofoba, sin embargo actualmente se ha visto que es posible cultivarlos a sol y que los rendimientos son elevados aun en cultivo intensivo (Coste, 1963). Esta planta requiere de 1500 a 2500 horas efectivas de luminosidad y ésta es importante en cuanto a su intensidad, duración diaria y distribución en el año (Castillo et al., 1994).

Los vientos son nocivos para el cultivo, ya que ocasionan rotura de ramas, caída de hojas, marchitamiento de hojas y brotes; y los daños son aún mayores cuando las reservas hídricas del suelo son escasas. (Coste, 1963; Castillo et al., 1994)

Las características del suelo que tienen mayor influencia en el desarrollo del café corresponden a textura y profundidad. Se caracterizan por ser profundos, permeables, friables y de textura franca, con buena aereación con un espacio poroso de 60%, la raíz puede extenderse y crecer adecuadamente aún cuando sea pobre, desde el punto de vista nutricional. En cuanto al pH puede encontrarse en intervalos de 4.5 a 5.0. (Coste, 1963, Castillo et al., 1994)

3.1.4. Manejo del cultivo

3.1.4.1. Vivero

La fase de vivero comprende dos etapas: semillero y vivero. La siembra de la semilla se recomienda durante los meses de marzo a mayo lo que permite tener plantas en fase de mariposa o de primer par de hojas en los meses de junio o julio. (López, 1990). El sustrato recomendado que se coloca en el semillero debe presentar las siguientes características: buena retención de humedad y drenaje, pH ligeramente ácido, libre de patógenos, para lo cual es recomendable el uso de Dazomet (Castillo et al., 1994). La siembra se realiza a chorrillo en banda con una distancia de 10 cm entre surcos y a una profundidad de 1 a 2 cm (Sánchez, 1991). Es conveniente el uso de la sombra desde la etapa de semillero, para la elaboración del cobertizo se



recomienda el uso de materiales tales como: hojas de plátano, pezma o helecho, hojas de palma, puntas de caña de azúcar, costales de desecho, mallas de plástico con 50% de sombra (López, 1990)

En el caso de manejo de vivero el trasplante de la planta, se realiza durante la fase de mariposa a fin de evitar un crecimiento excesivo de la raíz así como deformaciones producidas por el espacio reducido. La planta puede ser establecida en tubos de 18 cm de ancho x 30 cm de alto o directamente en el suelo: El sustrato según recomendaciones de INMECAFE (1979) debe contener una buena cantidad de materia orgánica. López (1992) encontró que las plantas tuvieron un buen desarrollo cuando se trasplantaron en tubos con contenidos de materia orgánica de 50% a 60%.

Durante la fase de vivero es necesaria la utilización de sombra, para obtener plantas sanas y vigorosas es necesario realizar fertilizaciones con la fórmula 18-12-6 cada tres meses 5 gramos por tubo (López, 1990). En ocasiones también se requieren nutrimentos foliares con aporte de (5 litros por 100 litros de agua) que complementen la fertilización del suelo, (Castillo et al., 1994). Por otra parte en esta fase se presentan problemas de plagas y enfermedad, para lo cual es esencial la aplicación de plaguicidas, mismos que encarecen los costos de producción.

De manera general la estancia que requiere la planta en vivero es de aproximadamente 18 meses, tiempo en el que la planta reúne las características necesarias para el trasplante a campo, como lo son apariencia sana y vigorosa, que cuente con dos o tres cruces, buen tamaño de raíz y con suficientes raíces secundarias. La mejor época para la realización del trasplante es durante la temporada de lluvias de mayo a agosto. (Carvajal, 1972; Sánchez, 1991; López, 1990; Castillo et al., 1994)

3.1.4.2. Campo

3.1.4.2.1. Sistemas de producción

El agroecosistema cafetalero presenta diversas formas de manejo, en un primer nivel existen dos modos de producción a pleno sol y bajo sombra, éste último se presenta en varias formas que se describen a continuación (Fuentes y Pensado, 1977; Fournier, 1980; Jiménez, 1981; Nolasco, 1985).

a) Rústico.- En este sistema se utiliza la sombra del bosque natural con algunos aclareos y presenta una gran diversidad de especies de árboles, es característico de zonas montañosas y alejadas de centros económicos. Este tipo incluye el 40 % de los sistemas cafetaleros.



b) Tradicional.- Presenta una gran diversidad de árboles frutales y de sombra (Hernández, 1979) éste sistema es el predominante comprende 50 % de los cultivos.

c) Monocultivo o Plantío.- Se incluyen árboles sembrados especialmente para el cultivo del café y con una sola especie de sombra, en general *Inga* spp., este tipo es común entre los grandes y medianos productores y abarca 10 % de ellos.

d) Cultivo a pleno sol .- Es otra forma de cultivo en donde al quitar la sombra se hace producir a la planta de manera intensiva, requiere una buena cantidad de insumos y sólo es factible para grandes productores. Los rendimientos superan en más de 100 % a los obtenidos bajo sombra, sin embargo, el promedio de vida del cafetal se reduce entre 10 y 15 años respecto a cafetales sombreados.

Un segundo criterio propuesto por el Grupo Interdisciplinario del Programa de roya del café INIFAP (1985) para tipificar el nivel de tecnología en el sistema cafetalero distingue tres niveles:

Nivel de Tecnología I.- En el que se practica una poda sanitaria, se regula la sombra una vez por año y se realiza una fertilización obteniendo una cosecha de 1700 kg ha⁻¹ de café cereza.

Nivel de Tecnología II.- Se realiza una poda fitosanitaria fuerte y recepas en más del 3 % de la población de cafetos, acondicionamiento de la sombra una vez por año y control de enfermedades. Eliminación de cafetos viejos, trasplante de cafetos nuevos y reposición de fallas, dos fertilizaciones por año, así como tres limpiezas, con un rendimiento medio de 3500 kg/ha⁻¹ de café cereza.

Nivel de Tecnología III.- Donde se lleva a cabo un programa de regeneración y rejuvenecimiento de la finca en un 30 % de los cafetos, acondicionamiento de sombra, tres fertilizaciones y tres limpiezas por año, más una aplicación de herbicida, control de enfermedades dos veces por año y se emplea equipo motorizado, con una producción de 6250 kg/ha⁻¹ de café cereza.

3.1.4.2.2. Prácticas de cultivo

El control de malezas en las fincas cafetaleras de México se efectúa de manera manual, con el uso de machete o azadón. Sin embargo en fincas a pleno sol se realizan aplicaciones de herbicidas, otras formas alternativas, aún no utilizadas comúnmente por los productores de café y que puedan ser de gran beneficio, son el uso de coberteras leguminosas (Castillo et al., 1994)

En el cultivo de café dos prácticas importantes son a) la regulación de la sombra, ya que permite una adecuada penetración y distribución de la luz y penetración de aire. b) proporcionar materia orgánica, esta debe hacerse cada año, después de la cosecha y antes de la floración (Costé, 1963, Villaseñor, 1973; Castillo et al., 1994.)

Ramírez, (1990) señaló que el objetivo de la poda del cafeto es el de mantenerlo con mas tejido productivo y mínimo tejido improductivo. En nuestro país se realizan tres tipos de poda: que son de formación, poda de rejuvenecimiento y poda fitosanitaria.

El café es susceptible al ataque de plagas y enfermedades lo cual puede limitar considerablemente la producción. Entre los principales problemas a nivel nacional, se tiene la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.) y la broca del grano de café (*Hypothenemus hampei*, Ferr.). Actualmente los métodos de control se han concentrado en el químico y cultural (Regalado y Villanueva, 1990).

El suelo juega un papel importante dentro del agroecosistema cafetalero , ya que es la fuente de nutrimentos indispensable para la producción. La gran mayoría de los suelos cafetaleros de México se caracterizan por tener una topografía accidentada lo que aunado con las precipitaciones favorecen el empobrecimiento de estos.

La adición de fertilizantes proporciona los elementos necesarios para una buena producción ya que los suelos por lo general son incapaces de suplir todos los elementos en cantidades suficientes y durante muchos años (Carvajal, 1972).

A través del tiempo se ha investigado sobre la fertilización del cafeto a fin de obtener formulas que permitan una mejor producción de la planta (Barrientos, 1990). López (1990) señaló que la fertilización química en la etapa de semillero permite obtener plantas más vigorosas y que su producción sea más rápida. Para esto se recomiendan tres fertilizaciones: La primera cuando la planta tenga dos pares de hojas verdaderas con .5g / planta de la fórmula 18-12-6, la siguiente cuando la planta tenga cinco pares de hojas o tres meses después de la primera aplicación con la misma cantidad y la tercera cuando la planta tenga ocho pares de hojas o cinco a seis meses después de la aplicación con la misma cantidad. En campo la aplicación de fertilizante será de acorde a las necesidades de la planta y el tipo de suelo.

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Del Valle y Jiménez (1990) recomiendan la fertilización en tres aplicaciones en Guatemala: una en mayo/junio con urea y la fórmula (20-10-10), otra en agosto/septiembre con la misma fórmula y otra mas en octubre/noviembre con urea incluyendo una aplicación adicional de fósforo y potasio que deben hacerse en la época de agosto-septiembre y mayo-junio.

Con base en esto se han establecido diferentes fórmulas en diferentes regiones cafetaleras en México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Guía para la fertilización de cafetales con bajo uso de fertilizantes (Barrientos, 1990)

REGIONES	FORMULA	EN DESARROLLO		EN PRODUCCIÓN	
		EPOCA	DOSIS/ CAFETO	EPOCA	DOSIS/ CAFETO
Córdoba	18-12-00	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	100g	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	200g
Coatepec Tlapacoyan Xicotepetec Zacapoaxtla	18-00-12	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	100g	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	200g
Puerto de Veracruz, Oaxaca, Vertiente del Golfo y Huastecas.	18-12-6	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	100g	2a. Qna. Junio 1a Qna. Oct	200g
Chiapas y Vertiente del pacífico	18-12-6	2a Qna. Abr. 2a Qna. Oct	100g	2a Qna. Abr. 2a Qna. Oct	200g
Chiapas, Centro Norte	18-12-6	1a Qna. Junio 2a Qna. Sept.	100g	1a Qna. Junio 2a Qna. Sept.	200g
Oaxaca, Vertiente del Pacífico, Guerrero y Nayarit	18-12-6	1a Qna. Junio 2a Qna. Sept.	100g	1a Qna. Junio 2a Qna. Sept.	200g

*Qna = Quincena

La fertilización orgánica representa un potencial importante para los cafecultores, pues minimiza los costos de producción y es considerable en suelos de baja fertilidad. (Barrientos, 1990; IICA-PROECAFE, 1992; Castillo et al., 1994).

Entre los subproductos considerados para la fertilización orgánica del café se tienen diferentes tipos de estiércoles, cachaza de caña de azúcar y pulpa de café, esta última incorpora una gran cantidad de nutrimentos y proporciona una buena capacidad de retención de agua.

Carvajal (1972) estimó que el contenido de nitrógeno de la pulpa de café es tres veces más alto que el abono orgánico de establo y el potasio siete veces mayor, aunque el contenido de fósforo no es alto.

Montero (1991), menciona que la pulpa de café contiene 5.3mg q de cenizas, 55.5mg q de Ca, 15mg q de Fe, 100mg q de K, así como algunos elementos esenciales como el Zn, Cu, Mn, Br, etc.

Para evaluar el efecto de la pulpa de café **Barrientos (1990)**, realizó un estudio en la etapa de semillero-vivero comparó la adición de diferentes volúmenes de pulpa de café en relación al suelo con y sin aplicación de fertilizantes inorgánicos. Encontró que a medida que se incrementó la cantidad de pulpa se aumentó la capacidad de campo, el porcentaje de materia orgánica, el pH, el porcentaje de germinación de semilla, la altura, el número de hojas y biomasa; estos últimos fueron mayores cuando no se aplicó la fórmula 18-12-6 a un mismo volumen de materia orgánica que cuando se adicionó fertilizante. Concluyó que el mejor desarrollo de las plantas se obtuvo con las proporciones 30 y 40 % de abono orgánico. Adicionalmente hubo una mejoría en las condiciones fisicoquímicas del suelo.

Pacheco et al., (1992) probaron diferentes niveles de materia orgánica y encontraron que el mejor sustrato fue la mezcla de suelo + pulpa de café en proporción de 3:1.

Rodríguez et al. (1992) evaluaron los sustratos suelo + abono orgánico (estiércol); suelo + lombricomposta y tres tipos de fertilización al suelo, foliar y ambas. Encontrando que la fertilización química no produjo diferencias entre tratamientos y concluyeron que el establecimiento de los viveros de café debe hacerse en el sustrato suelo+ abono orgánico y sin fertilizar.

Función del nitrógeno. El nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila y como forma parte fundamental de dicha molécula, juega un papel importante en la fotosíntesis. La falta de este elemento significa que la planta no utilice la luz para llevar a cabo funciones esenciales como la absorción de nutrientes (**Fertimex-Sep-ALAPA, 1991**). Entre las diversas funciones se tiene la formación de moléculas de proteínas, además de ser un elemento constitutivo de los ácidos nucleicos responsables de la transferencia genética.

La respuesta al N por el café es positiva, aunque ésta depende de las condiciones ambientales y edad de la planta, así como del estado nutricional del café. Estudios realizados en Kenia muestran que la aplicación de 200 lb/acre de nitrosulfato de amonio, tiene un efecto residual y produce un incremento en la



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

cosecha en tanto que un suministro de 400lb/acre merma la producción. Por otra parte, la fuente de N puede causar mayores incrementos o producir transformaciones en la acidez del suelo (Carvajal, 1972).

La deficiencia del nitrógeno ocasiona una disminución del crecimiento y cosecha. Se ha reportado que en el momento de la floración existe una estrecha correlación entre el número de yemas florales y número de hojas en la rama, también ha observado que existe una correlación entre el número de yemas florales área foliar y la adición de este elemento, ya que se traduce en un aumento en la cantidad de azúcares (Carvajal, 1972).

Función del fósforo. El fósforo forma parte de las moléculas que preservan y transfieren energía (ATP, GTP), así como de los ácidos nucleicos de fosfolípidos de coenzimas, tales como dinucleótido de adenina (NAD⁺), fosfo-adenin-nicotinamida-dinucleótido (NADP⁺) (Carvajal, 1972, Bidwell, 1979).

El papel del fósforo es de almacenamiento a nivel molecular. A juzgar por los niveles de suficiencia que se han encontrado, se requieren cantidades pequeñas. El fósforo es trasladado a las hojas adyacentes y a los frutos en crecimiento, cuando el suministro por parte del suelo no es adecuado, el sistema radical no alcanza un buen desarrollo (Huerta, 1962, tomado de Carvajal, 1972).

La respuesta del café al fósforo varía de acuerdo con las condiciones de cada región. En algunos países, la aplicación de este elemento trae consigo aumentos considerables en la cosecha, sin embargo en algunos suelos la adición de este elemento produce una respuesta negativa. En Costa Rica se ha puesto énfasis en el uso de fórmulas con bajo contenido de nutrimentos, excepto para el caso de vivero o almárgo en donde se recomienda aplicar fórmulas con 20% a 24% de P₂O₅ para promover un mejor desarrollo (Carvajal, 1972, Uribe-Hencia y Mestre-Mestre, 1975).

El fósforo promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces así como el de plántulas y ramas de una manera más rápida. Por otra parte ayuda a soportar inviernos rigurosos, aumenta la eficiencia de captación del agua y permite una mayor resistencia a las enfermedades (Del Valle y Jiménez, 1990).

3.1.5. Variedades de café y sus características botánicas

En México 99 % de la producción proviene de la especie *Coffea arabica* y sus variedades más importantes son: Typica, Bourbon, Maragogipe, Caturra, Mundo Novo, Gamica, Catuai y Catimor (Villaseñor, 1973).

Typica.-Se le conoce también como criollo o café arábico, fue la primera variedad en introducirse al continente americano y es la más comúnmente sembrada en México. Presenta forma piramidal y altura variable. Cuando se cultiva en libre crecimiento alcanza hasta 6 m. Tallo ligeramente cónico, flexible y delgado, entrenudos largos; las hojas maduras son de color verde oscuro con nervaduras poco definidas y margen poco ondulado. Las hojas jóvenes son de color bronce, los frutos con pedúnculo corto y forma oval-elíptica. Sensible a la insolación plena y a los vientos, sus frutos pueden ser rojos o amarillos cuando maduros. Se considera una variedad de baja producción (Villaseñor, 1973; Rivera, 1990).

Caturra.-Esta variedad tuvo su origen en Minas Gerais, Brasil, producto de una mutación de la variedad Bourbon; es cilíndrica de porte bajo, tallo fuerte, ramas vigorosas, entrenudos cortos con tendencia a producir ramas secundarias y terciarias, hojas gruesas de color verde oscuro con nervaduras notorias y margen muy ondulado, hojas jóvenes de color verde claro. Tiene un sistema radical bien desarrollado. Es una variedad precoz y soporta exposición a sol, viento y frío, pero es exigente en agua y nutrientes. Sus frutos pueden ser amarillos o rojos. (ANACAFE, 1985; Villaseñor, 1987; Rivera, 1990).

Gamica.-Se deriva de generaciones avanzadas del cruzamiento entre las selecciones mexicanas Mundo novo 15 y Caturra amarillo 13, está constituida por 18 selecciones de porte bajo, con gran capacidad de producción y gran vigor, es de porte bajo, piramidal alargado intermedio entre Mundo novo y Caturra, tallo fuerte, con entrenudos de tamaño medio, ramas fuertes largas y con tendencia a ramificar, hojas maduras, de color verde oscuro con nervaduras notorias y margen de la hoja ondulado, hojas de color verde claro. (Villaseñor, 1987; Rivera 1990)

Catimor.-Es una variedad derivada del cruzamiento de entre Caturra con el híbrido de Timor. Este último es un híbrido natural entre *C. arabica* y *C. canephora*. Se puede describir como una variedad de porte bajo, con follaje menos compacto, algunas de las hojas terminales presentan un color verde claro mientras que otras las presentan color bronce, aunque presenta resistencia a ciertas razas de royas, requiere

mayor estudio en lo relativo a rendimientos en el campo y en beneficio, así como en los tocante a la calidad de la taza, es portadora de genes de resistencia a la roya del café (Villaseñor, 1987; Rivera 1990).

Catuai. Fue formada en Brasil a partir de cruzamientos entre Mondo novo y Caturra, es una variedad de porte bajo, pero mas alta que caturra: sus hojas maduras son de color verde brillante y de forma redondeada, sus frutos pueden ser rojos o amarillos y tiene una alta producción y buena capacidad de adaptación a diversas condiciones ecológicas (ANACAFE, 1985; Rivera, 1990; Castillo et al. 1994)

3.2. GENERALIDADES DE LAS MICORRIZAS VESICULO-ARBUSCULAR

3.2.1. Definición e importancia

La micorriza vesículo-arbuscular es una asociación simbiótica entre las raíces de las plantas y las hifas de los hongos que colonizan la región de la corteza. Son hongos de la familia endogonaceae, los cuales producen estructuras conocidas como vesículas, cuya función es de reserva y arbusculos en donde se lleva a cabo el intercambio de nutrimentos. (Conway y Bagyaraj, 1984; Gianinazzi et al., 1989; Sieverding, 1989).

Estos hongos forman parte importante de la biota microbiana, ya que contribuye de manera fundamental en la nutrición de las plantas, permiten un incremento en la capacidad de absorción del agua y la eficiencia en la entrada y nutrimentos minerales principalmente aquellos no móviles tales como P, Zn y Cu, como también como el S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cl, Br y N, favoreciendo un mayor crecimiento de la planta. Se ha observado que las plantas micorrizadas son también tolerantes a suelos con alta salinidad y toxicidad por metales, tienen una mayor tolerancia a las enfermedades de la raíz, e inducen a la producción de fitohormonas y otros efectos benéficos (Hayman, 1982; Varela y Estrada, 1991; Bethlenfalvay, 1992).

Lo anteriormente expuesto tiene un fuerte impacto en la conservación del suelo. Mas de 100 años de investigación de las micorrizas han demostrado que el conocimiento de la función de éstas es esencial para el entendimiento de la dinámica del ecosistema.

El efecto benéfico de la simbiosis ha sido ampliamente probado, principalmente en plantas de vivero, las cuales crecen mas vigorosas y en menor tiempo, sin la necesidad de utilizar fertilizantes inorgánicos, ello



reduce los costos de producción y manifiesta una mayor supervivencia al trasplante en campo (Jean y Ferrera-Cerrato, 1989; Maronek et al., 1985).

3.2.2. Factores que influyen sobre la simbiosis

Las asociaciones micorrizicas estan reguladas por de la interrelación la planta hospedera y los hongos endomicorrizicos, las condiciones ambientales y edáficas. Diversos factores influyen sobre la ocurrencia y distribución de las asociaciones micorrizicas, entre los cuales figuran : las propiedades de la raiz, factores climáticos y edáficos, organismos del suelo y la compatibilidad en hongos y la planta. Los factores ecológicos son determinantes en la distribución, desarrollo actividad y supervivencia de los hongos micorrizicos. En el caso de las zonas tropicales Sieverding (1989) menciona que los cultivos dependen de la endomicorriza arbuscular para su nutrición y crecimiento dada las condiciones edáficas y climáticas.

3.2.2.1. Relación huésped-hospedero

La endomicorriza arbuscular se ha encontrado en 97 % de las fanerogamas salvo, en las familias Pinaceae, Betulaceae y Fogaceae, que forman ectomicorriza, Ericaceae y Orchidaceae que forman sus tipos específicos de micorrizas y las familias Chenopodiaceae, Cruciferae, Fumariaceae, Ciperaceae, Commemaceae, Urticaceae y Polygonaceae, que han sido consideradas como no micorrizables (Azcon y Barea, 1980).

Los hongos endomicorrizicos no son micosimbiontes específicos, aunque unos pueden ser más eficientes que otros en determinantes hospederos. Pueden ocurrir asociaciones preferenciales cuando las plantas o algunas condiciones ambientales, son óptimas para el desarrollo de hongos micorrizicos (Daniels-Hetrick, 1984). Sin embargo, estas asociaciones preferenciales pueden ser modificadas por las prácticas de cultivo hasta llegar a una heterogeneidad cuantitativa y lograr un nuevo equilibrio con todas las especies se presentan en una baja concentración y entonces todos los hongos presentaran la misma capacidad de colonizar (Daniels-Hetrick, 1984; Sieverding, 1989).

Este nuevo equilibrio puede obtenerse por modificaciones en los sistemas de producción como son policultivos, intercalados, rotación de cultivos con plantas no micotróficas. La diversidad de estos hongos está relacionada con la variedad de especies hospederas. En ecosistemas naturales la variación es mayor, en



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

cambio en ecosistemas intensivos el número de especies es menor (Daniels-Hetrick, 1984; Sieverding, 1989).

Las interacciones micorrizicas no son estáticas. La planta y los componentes fúngicos están constantemente en actividad, las hifas colonizan nuevas células radicales. Debido a que los hongos se han involucrado para cohabitar con los tejidos de las plantas, factores moleculares de éstas, así como de los hongos pueden actuar como claves para desencadenar los estados del ciclo de vida de los hongos. Los eventos de reconocimiento regulan la expresión de los genes; probablemente involucran componentes extracelulares de las plantas y de los hongos (Anderson, 1987).

Las raíces de las plantas excretan una gran variedad de exudados solubles, insolubles y volátiles, algunos de los cuales actúan como mensajeros químicos que participan coordinando la formación de la micorriza. Dichos compuestos pueden moderar la germinación de las esporas, el crecimiento direccional del tubo germinal y la hifa, el porcentaje de crecimiento y ramificación de la hifa y la posición de ésta en los sitios potenciales de entrada en la superficie de la raíz (Koske y Gemma, 1992)

Un aspecto importante observado por Graham et al. (1981), es que el hospedero afectado por factores ambientales, puede tener una influencia importante en el desarrollo de los hongos endomicorrizicos. En el caso del sorgo se ha observado que en suelo pobres en P, sus raíces excretan cantidades crecientes de azúcares y la liberación es menor en suelos en los que se adicionó fósforo. Aparentemente la presencia de azúcares promueve la germinación de las esporas.

La germinación de las esporas e hifas son estimuladas fuertemente en presencia de raíces de plantas, indicando que existen signos de intercambio entre hospederos y hongos en sus respectivas paredes celulares (Gianinazzi-Person y Gianinazzi, 1990). Por otra parte se ha visto que la cantidad de exudados está relacionada con los carbohidratos solubles en la raíz.

La proliferación de las hifas en la raíz es probablemente atribuible a moléculas específicas que estén presentes sólo en los exudados de la raíz de los hospederos. Inmediatamente después de estar en contacto con ellos, los hongos forman apresorios más o menos bien definidos, lo cual indica que el fenómeno de reconocimiento ocurre en estados tempranos de la formación de la micorriza (Gianinazzi-Person y Gianinazzi, 1990).



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Diferencias en la susceptibilidad de los hospederos a la colonización por hongos endomicorrizicos , pueden ser el resultado de una falla de la raíz para estimular el crecimiento de los propágulos o resistencia de la raíz a la colonización (Bevege y Bowen, 1975).

La variabilidad de la respuesta de las plantas a un hongo endomicorrizico en particular, puede deberse al potencial genético, tanto a nivel interespecifico como intraespecifico. La ocurrencia de tal variabilidad esta determinada por la selección genética y deberá ser considerada por ambos simbiosites (Reid, 1984).

Mars y Daniels (1976), sugieren que la pérdida del potencial endomicorrizico en medio de cultivo, se puede deber a que la expresión de los genes que controlan la formación de la micorriza, requieren de ciertos factores de las plantas.

El reconocimiento es definido de como una interacción entre factores, esto quiere decir entonces que las moléculas de las plantas y los hongos participan en eventos cruciales para la formación de la micorriza. Consecuentemente esos eventos de reconocimiento resultan de la expresión de genes que confieren el potencial micorrizico (Anderson, 1988).

Jean (1987), menciona que el genotipo de la planta hospedera para el reconocimiento bioquímico y aceptación de la relación gene-gene, puede determinar el éxito y la eficiencia de la relación simbiótica.

Mosse (1975), revisó el concepto de especificidad y concluyó que: existen numerosas demostraciones de que los hongos endomicorrizicos difieren en su habilidad para provocar el crecimiento de las plantas y las diferencias en la respuesta de los hospederos fueron consideradas para relacionar varios factores determinantes en los hongos: 1) mecanismos de colonización , 2) funciones fisiológicas; 3) efectos del suelo y 4) patógenos del suelo.

Sin embargo Read et al. (1976), consideraron que las especies endomicorrizicas no tienen una especificidad definida, hacia diferente taxa de hospederas, sino mas bien hacia condiciones ambientales favorables



3.2.2.2. Relación suelo-endomicorriza arbuscular

La endomicorriza arbuscular se encuentra en casi todos los suelos, incluyendo aquéllos erosionados, fumigados o alterados por la minería (**Abbot y Robson, 1991**).

Diversos trabajos revelan que los factores edáficos pueden ser determinantes en la supervivencia y desarrollo de la micorriza. Por otra parte estos endofitos pueden tener cierta influencia en la conservación de los suelos (**Sylvia y Williams, 1992**).

Diversos autores mencionan que la endomicorriza arbuscular, crece saprofiticamente en suelos con materia orgánica, lo cual disminuiría el desarrollo de la simbiosis (**Warner y Mosse 1980; St., John et al., 1983; Warner 1984.**)

En condiciones de esterilidad, **Loree y Williams (1987)**, no encontraron correlación entre el contenido de materia orgánica y la densidad de los hongos endomicorrizicos en las raíces.

St. John et al. (1983) mostraron que la cantidad de hifas es mayor en tratamientos que contienen sustratos que contienen materia orgánica que los que solo tienen suelo. Sin embargo **Hayman (1987)**, mencionó que la adición de materia orgánica estimula el desarrollo de la endomicorriza. Raíces de yuca fueron intensamente colonizadas, cuando se aplicó una composta al sustrato (**Sieverding, 1991**). Sin embargo **Alarcón y Ferrera-Cerrato (1995)** observaron, en plantas de casuarina que la asociación micorriza-vermicomposta incrementa el crecimiento de éstas, obteniendo mayores efectos cuando se utilizan niveles bajos de vermicomposta (12.5%)

La calidad de la composta es importante para la formación óptima de la endomicorriza (**Guttlay, 1983**). Un estudio en *Capsicum annun* y *Vigna unguiculata* reveló que la aplicación de abonos frescos pueden disminuir la colonización cuando se aplica en dosis de 5 a 30 t ha⁻¹ (**Brethelt, 1989**).

La temperatura tiene gran significancia en la colonización y esporulación. En temperaturas altas, se presenta un incremento, **Schenck y Schrorder** (tomado de **Daniels-Hetrick, 1984**) observaron que el mayor desarrollo de arbusculas ocurre cerca de los 30°C el de vesículas a los 35°C y la colonización del micelio a los 28 °C y 30°C y que un periodo de frio seguido de una elevación de temperatura incrementa la



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

esporulación, por otra parte la intensidad de la luz y los días largos incrementan la esporulación. El efecto de la temperatura sobre la germinación varía entre especies, pero se ha observado que esta ocurre en rangos de 18°C a 20°C y 25°C a 30°C.

Haugen y Smith (1990), probaron el efecto de altas temperaturas del suelo en la supervivencia e infectividad de *G. intraradices* y encontraron que la temperatura óptima para la colonización fue de 30°C.

El pH óptimo para la germinación de las esporas varía para las diferentes especies algunas encontrándose en valores ácidos y a otros en los alcalinos (**Daniels y Trappe, 1980; Lopes et al., 1983; Porter et al.; 1987 Daniels-Hetrick, 1984**).

Bartolome y Schenck (1990) mencionan que el pH no afecta la germinación pero sí el crecimiento. Así mismo mencionan que existe una variación inter e intraespecífica en la tolerancia de la endomicorriza a la acidez y toxicidad por aluminio.

Aunque el pH es un factor importante, frecuentemente se presentan dificultades para determinar su efecto en la simbiosis (**Menge, 1984**).

La humedad del suelo sobre el establecimiento y función de las endomicorizas se ha estudiado poco, sin embargo algunas observaciones de campo e invernadero sugieren que las esporas de los hongos micorrizicos son inhibidos en su germinación por estrés hídrico, con la subsecuente colonización deficiente de las raíces. La disponibilidad de agua en la planta afecta también la colonización, ya que alteraciones en la corteza de la raíz, por ejemplo la suberización, provoca que las esporas se colapsen y no germinen (**Sierverding, 1991**).

3.2.2.3. Relación medio ambiente endomicorriza-arbuscular

Read et al. (1976) encontraron que la mayor intensidad de la colonización de la endomicorriza está asociada con lugares en donde existe una mayor diversidad vegetal. Las gramíneas son huéspedes particularmente colonizados. Las plantas micorrizadas de vegetaciones naturales tienen una ventaja ecológica, especialmente en hábitat susceptibles a limitaciones hídricas y de fósforo.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Disturbios intempestivos o graduales afectan la presencia de los hongos endomicorrizicos en ecosistemas agrícolas o naturales. Los cambios en abundancia y distribución de los hongos endomicorrizicos pueden afectar en diversas formas: a) Por cambios en el ambiente físico, químico o biológico del suelo, lo que los lleva, ya sea a efectos directos que operan por la vía de alteración en el crecimiento de la planta. b) la alteración puede cambiar la composición botánica del grupo standard o eliminar las plantas hospederas lo que nos llevaría a cambios en la distribución y abundancia de los hongos endomicorrizicos-arbusculares (Abbot y Robson, 1991).

Por otra parte Miller y Mc Gonigle, (1990) mencionaron que los disturbios del suelo reducen considerablemente la colonización de los hongos micorrizicos en plantas de maíz y observaron una reducción en la absorción de Zn y P. Así mismo señalan que los cambios en la efectividad del micelio externo más que en la colonización son responsables de los cambios en la absorción de nutrimentos.

Los pesticidas pueden afectar diferencialmente a las especies de hongos endomicorrizicos. Sieverding y Lehner, (1984) encontraron que el herbicida oxadiazon deprime selectivamente la población de *Gigaspora* y *Sclerosystis* sp. Sin embargo algunos estudios no han reportado efectos adversos sobre los hongos endomicorrizicos (Smith et al., 1981; Johnson y Pflieger, 1992).

Los herbicidas tienen dos tipos de efectos sobre los hongos endomicorrizicos una acción directa del químico y un efecto indirecto por la eliminación de potencial de hospederos (Sieverding y Lehner, 1984).

Estudios realizados en sistemas de producción de yuca revelaron que los herbicidas actúan sobre los hongos endomicorrizicos independientemente de la actividad del herbicida, deprimiendo la colonización y producción de esporas (Sieverding, 1991). Por lo que la acción indirecta de los herbicidas sobre la endomicorriza por eliminación del potencial de hospederos, esto puede ser mejor entendido si se asume que la dinámica de producción de esporas es afectada por la presencia o ausencia de la vegetación existente. Por otra parte se ha visto que con el deshierbe manual la esporulación es más activa (Sieverding, 1991).



Los fungicidas incluyen una gran variedad de compuestos, sus efectos sobre las poblaciones de hongos endomicorrízicos varían, por ejemplo el captán, pueden tener un efecto detrimento o benéfico (Jonhson y Peleger, 1992).

La sensibilidad a los fungicidas dependen de la fase de desarrollo del hongo. Se ha visto que el captafol reduce la colonización pero no la población de las esporas (Nemec, 1980).

Por otra parte han sido reportados efectos positivos de los fungicidas sobre los hongos endomicorrízicos. El control de patógenos de la raíz, permite que éstos puedan tener un mayor habilidad competitiva en los suelos, ya que las raíces están sanas y la ruta de transporte de nutrimentos (tallos y raíces) están protegidos por la acción de los fungicidas. Entonces los hongos endomicorrízicos se benefician debido a que las plantas pueden transportar fotosintetatos en ellos y un efecto similar puede observarse cuando las enfermedades foliares son controladas (Sieverding, 1991).

Fungicidas como el clorotalonil, lastan, bortan y quimtozene (PCNB) inhiben consistentemente el desarrollo de la endomicorriza, otros como el benomyf, carbondazim, thiazendazol, thiofanato y thiofanato metil, reduce la colonización de los hongos (Sieverding, 1991; Johnson y Pflieger, 1992).

Habte et al. (1990) reportaron que el clorotalonil reduce el nivel de colonización y suprime la efectividad de la simbiosis medida en términos de absorción del fósforo. Por otra parte observaron que aunque los niveles tóxicos de este compuesto declinan con el tiempo, un nivel de toxicidad persiste 12.5 semanas después de que el químico ha sido aplicado al suelo.

Los efectos de las prácticas agronómicas no han sido estudiadas bajo condiciones de campo. Sin embargo debido a que las comunidades de hongos endomicorrízicos son afectadas en diferentes formas por las prácticas culturales. Sieverding (1991) lo ha resumido de la siguiente manera: (Cuadro 2)



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 2. Resumen de algunos efectos generales de las prácticas agronómicas en poblaciones de hongos endomicorrizicos.

Prácticas agronómicas	Efectos en la población de los hongos endomicorrizicos		Consecuencia de las prácticas agronómicas
	Densidad	Efectividad	
Monocultivo	+	- 0	- 0 +
Rotación	?	?	?
continua	- 0	0 +	0 +
corta	- 0	0 +	0 +
Intercoscha	+	0 +	0 +
Cultivos mezclados	+	0 +	0 +
Preparación del terreno	- 0 +	- 0 +	- 0 +
Cero labranza	0	0 +	0 +
Labranza	- 0 +	- 0 +	- 0 +
Fertilización	?	?	?
P	- 0 +	- 0 +	- 0 +
N	- 0 +	- 0 +	- 0 +
K	0 +	0 +	? 0 +
Limo	- 0 ?	? 0 +	? 0 +
Abonos verdes	- 0 ?	- 0 ?	0 +
Composta	0 +	0 +	0 +
Incorporación de residuos	0 +	?	0 +
Materia orgánica	- 0 +	0 +	0 +
Pesticidas			
Biocidas generales	-	?	-
Fungicidas	- 0 +	- 0 +	- 0 +
Insecticidas			
Nematicidas	0 +	0 +	0 +
Herbicidas	- 0 +	- 0 +	? 0 +
Agentes de control biológico	0 +	0 +	0 +

- efectos negativos

+ efectos positivos

0 sin efecto

? efecto desconocido



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuando se aplican fertilizantes fosforados y nitrogenados el porcentaje de colonización y el número de esporas se reduce considerablemente. Por lo que se inhibe el efecto de inoculación. **Azcón y Barea (1980)**, afirmaron que en suelos de baja y moderada fertilidad, las endomicorrizas son más persistentes. Agregaron que el fosfato soluble foliar tiene una mayor influencia en la reducción de la colonización, que el fosfato presente en el suelo, por otra parte las referencias en el grado de colonización asociadas con la fertilidad del suelo están relacionadas con el crecimiento de la raíz y se opinan que las raíces están en continuo crecimiento y son menos susceptibles a la colonización que las de crecimiento lento.

3.2.3. Fisiología

Las plantas colonizadas por hongos endomicorrizicas, presentan un mayor crecimiento y desarrollo que aquellas no micorrizadas. La explicación a esto ha sido discutida por diversos investigadores.

Guzmán y Ferrera-Cerrato (1990) señalan que los beneficios de la simbiosis micorrizica se deben a la mayor capacidad de las raíces para absorber fósforo y otros iones poco móviles y que el mecanismo de incremento de la absorción es de carácter físico, debido a la capacidad de las hifas para explorar el suelo ya que de estas pueden extenderse a mayor distancia que los pelos radicales. Por otra parte desde 1950 **Mc Cready** (tomado de **Reid, 1984**), mencionó que el porcentaje de absorción de fósforo por raíces micorrizadas es cinco veces mayor que las no micorrizadas.

Así mismo **Gianninazzi-Pearson y Gianninazzi (1983)** mencionaron que la presencia de los hongos endomicorrizicos dentro de los tejidos de la raíz influye positivamente en varios aspectos de la fisiología de la planta. En la mayoría de los casos el suministro de fósforo es la causa principal del crecimiento y realce en los campos, ya que las plantas micorrizadas tienen diferente cinética de absorción del fosfato que las no micorrizadas. Las hifas externas desarrolladas alrededor de la micorriza, exploran un mayor volumen del suelo y absorben fosfato más allá de la zona radicular y entonces la acumulación de fosfato en las hifas externas del hongo es translocado al micelio interno por un sistema de transporte bien desarrollado y finalmente transferido al tejido del hospedero a través de los arbusculos intracelulares. Cierta actividad enzimática especializada está específicamente asociada con esta ruta alternativa del fosfato en la nutrición de las plantas micorrizadas. Sin embargo, el hecho de que la nutrición por el fosfato se mejore no siempre es suficiente para explicar los efectos observados en la fisiología de las plantas hospederas.

Según Reid (1984) el mecanismo de entrada de nutrimentos a plantas micorrizadas, no puede ser diferente a raíces no micorrizadas y que el enriquecimiento de entrada de estos, puede deberse al aumento de la superficie de área, sin embargo, se ha sugerido que las hifas de los hongos micorrizicos pueden solubilizar elementos no móviles en el suelo.

Cooper (1984) comentó que los hongos ectomicorrizicos producen compuestos hormonales tales como las citoquininas, auxinas, giberelinas, las cuales tienen una influencia positiva en el crecimiento de las plantas. En la endomicorriza la posibilidad de este proceso queda abierto, ya que no ha podido ser comprobado, debido a la imposibilidad de hacerlos crecer en medios de cultivo. Asimismo menciona que la endomicorriza incrementa la entrada de agua a las plantas y aunque los mecanismos no son conocidos suponen que el aumento en el área de absorción provocado por las hifas que intervienen en éste hecho.

Por otra parte, Dissing-Nielsen (1889); Vejsadora et al. (1989) y Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato (1990), han señalado que las leguminosas colonizadas con hongos micorrizicos presentan incrementos en su crecimiento y contenido de fósforo y nitrógeno.

La disminución puede ser activa a través del crecimiento del micelio en el suelo. Powell (Tomado de Daniels-Hetrick, 1984), encontró que un hongo endomicorrizico puede crecer sólo 65 m en 150 años o sea 0.43 m/año, sin embargo esto puede variar de acuerdo con el hospedero, la especie, y si el suelo ya tiene plantas micorrizadas o no. Por otra parte, la diseminación pasiva puede ser atribuida a roedores que transportan esporocarpos o pájaros e insectos, donde se ha encontrado esporas en el tracto digestivo.

3.2.4. La micorriza arbuscular en café.

3.2.4.1 Respuesta de la planta de café a la inoculación de diversos hongos endomicorrizicos

Lopes et al. (1983) mencionan que desde 1897 Janse reportó que las plantas de café son normalmente colonizadas por hongos endomicorrizicos, por la cual proponen la realización de estudios enfocados a la posibilidad de utilizar estos hongos en la producción de plántulas. Ellos estudiaron el efecto de diferentes especies de hongos micorrizicos no desarrollados, naturalmente en café, inoculando esporas de *Gigaspora margarita*, *Glomus heterogama*, *G. fasciculatum*, *G. macrocarpum* y *G. mosseae*, evaluaron los siguientes parámetros: en biomasa, contenido de P, porcentaje de colonización y número de esporas.

Concluyeron que la inoculación de plántulas de café con hongos micorrizicos contribuye a aumentar significativamente la producción de materia seca y los contenidos de P de las plantas de los 9 meses de desarrollo. Encontrándose que la especie más eficiente fue *Gigaspora margarita* y le siguieron en importancia *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* en la promoción del desarrollo y crecimiento de las plántulas. Asimismo, observó que el desarrollo del sistema radical de las plantas inoculadas fue estimulado de manera proporcional al de la parte aérea.

Caldeira et al. (1983), aislaron identificaron y probaron en invernadero hongos endomicorrizicos de café, evaluando: peso seco y fresco del follaje, peso seco de las raíces y contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio de las hojas. Se encontró que *Acaulospora* sp. incrementó el peso en más de 100 % en las plantas de café. Así también, se detectó un aumento de 80 % al 120 % de todos los nutrimentos determinados.

Antúñez et al. (1988), estudió el efecto de diferentes tipos de suelos y la micorriza arbuscular en el crecimiento y desarrollo de plántulas de café, para lo cual probó tres tipos de suelo (arena de cuarzo, latozol rojo oscuro y terra roxa) y cuatro hongos endomicorrizicos (*Glomus macrocarpum*, *Glomus leptotichnum*, *Gigaspora heterogama* y *Gigaspora margarita*). Seis meses después observó que *Gigaspora heterogama* y *Glomus leptotichnum* promovieron el mejor crecimiento y absorción de fósforo y nitrógeno. Reportaron que en arena de cuarzo ninguno de los hongos micorrizicos tuvo efectos benéficos sobre las plantas: la cantidad de fósforo en los suelos no afectó la colonización, aunque influyó la eficiencia de la simbiosis.

Jiménez (1989), con base en algunos datos recopilados, menciona que el café tiene cierta dependencia con algunas especies de hongos micorrizicos entre los cuales se encuentran especies de los géneros: *Acaulospora* y *Glomus*. Por otra parte, señala que en viveros donde se han inoculado varias especies de hongos se ha encontrado un mayor crecimiento de plantas, como es el caso de ensayos realizados con *Gigaspora margarita* en los que se han obtenido crecimientos superiores a 200 % en relación al testigo.

Parra et al. (1990) estudiaron el proceso de colonización y esporulación de hongos endomicorrizicos y evaluaron el efecto de la inoculación de diferentes especies. Probaron 6 tratamientos: 1) suelo cafetalero, 2) Suelo natural + refuerzo de cepas nativas; 3) Suelo desinfectado; 4) Suelo desinfectado+inóculo de *Entrophopora colombiana* y 5) suelo desinfectado + *Acaulospora miriocarpa*. La inoculación se llevó a cabo 2 meses después de la siembra, al momento del trasplante. Realizaron

observaciones durante 5 meses y evaluaron altura, peso seco de la parte aérea, área foliar, longitud total de raíces, esporas/g de suelo, análisis foliar del contenido de N, P, K, Ca y Mg, así como la cuantificación de hongos implicados en la simbiosis. Observaron que ocho días después del trasplante ya se detectaron diferencias significativas en el porcentaje de colonización, encontrando los mayores porcentajes de colonización en los tratamientos con las cepas introducidas: 25.25%, 22.9% y 20.6%, lo cual obedece a que al desinfectar el suelo y eliminar microorganismos se disminuyen los antagonicos y la competencia que pueden ejercer sobre la micorriza, permitiendo de esta manera que se exprese su potencialidad de infección. Sin embargo en suelo naturales sin desinfectar se registraron los porcentajes de colonización más bajos (15,2 %). También detectaron diferencias significativas a los 44, 100 y 172 días. Encontraron que el mayor número de esporas se presenta a los 100 días y que en suelo natural se encontró una gran diversidad de especies. En cuanto a las variables de desarrollo vegetativo encontraron que son eficientes considerando altura, vigor y crecimiento radical. La extracción de N, P, Ca y Mg fué favorecida por la introducción de *G. manihotis*, misma que resultó ser la más eficiente para las variables de desarrollo vegetativo. En este trabajo se encontraron correlaciones altamente significativas entre altura de planta y porcentaje de colonización, longitud de raíz y esporas/g suelo; peso seco de la parte aérea y altura de la planta; área foliar y longitud de raíz; área foliar, número de esporas y porcentaje de colonización.

Fernández et al. (1992) determinaron la efectividad de diferentes cepas de hongos micorrizicos, así como sus combinaciones de fertilización al suelo; materia orgánica (vermicomposta) sobre la productividad y el crecimiento de café de la variedad Catuai, las cuales fueron inoculadas con *Glomus sp.*, *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus manihotis* y una bacteria solubilizadora de fósforo con y sin inoculación y dos niveles de fertilización. Como variables a estudiar anotaron altura, área foliar, porcentaje de colonización y pares de hojas. La cepa más efectiva fue *Glomus manihotis*, la cual produce los mayores porcentajes de colonización en ausencia de fósforo en tanto la cepa menos efectiva mostró valores por debajo de la población micorrizica nativa. No se encontraron efectos entre la combinación de hongos endomicorrizicos y bacterias solubilizadoras de fósforo y el mejor tratamiento fue *G. manihotis* + suelo/ vermicomposta en proporción de 5/10 en ausencia de fósforo. Concluyeron que la colonización produce beneficios sobre el crecimiento de las plantas de café, observaron también que sustratos con altas cantidades de fósforo reducen el efecto de las micorrizas con relación al sustrato que contiene cantidades menores de este nutrimento. La inoculación con *G. manihotis* en ausencia de bacterias solubilizadoras de fósforo y sin aplicación de fertilizante fosfórico o con la cantidad más baja de suelo: materia orgánica, resultaron ser las más promisorias y no se hizo necesaria la esterilización del suelo para llevar a cabo la inoculación con hongos micorrizicos.



Saggin Junior et al. (1992) estudiaron el comportamiento de plántulas de café no micorrizadas e inoculadas cuando fueron trasplantadas al suelo conteniendo diferentes densidades de una mezcla de esporas de hongos endomicorrizicos (0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 gramos). Fueron posteriormente trasplantadas en un suelo fumigado con bromuro de metilo, al suelo se le agregaron estiércol bovino superfosfato simple y cloruro de potasio. El experimento fue conducido por 4 meses, fertilizando al tercer mes con 2 g/maceta de una mezcla de sulfato de amonio y cloruro de potasio en una proporción de 3:1. Encontraron que 0.5g de esporas beneficiaron el crecimiento de las plantas y que, aunque la proporción de inóculo fuera mayor la respuesta era similar. Sin embargo el tiempo de trasplante si fue considerable se observó que las mejores tasas de crecimiento se presentaron si la inoculación se realiza entre los 80 y 120 días, teniendo una reacción considerable si el trasplante se realiza entre los 120-180 días. Al final del experimento se observó que los tratamientos inoculados presentaron 4 veces más biomasa que aquellos no inoculados quienes tuvieron un crecimiento reducido y con bajos niveles de fósforo. Los porcentajes de colonización no se incrementaron proporcionalmente a la densidad de esporas inoculadas lo que mostró que un pequeño volumen de inoculante promueve un buen efecto, las plantas trasplantadas en un suelo que contenga 1.2 esporas /g de suelo resulta en beneficios ya que las plantas se toman fácilmente colonizadas.

González-Chávez y Ferrera-Cerrato (1993) estudiaron el efecto de la inoculación de hongos endomicorrizicos en las variedades de café Catimor, Caturra, Typica y Bourbon, con las cepas *Glomus intraradix* de origen extranjero, *Glomus aggregatum*, *Glomus* sp Zac-19 y un complejo micorrizico de rizosfera de café. La inoculación se realizó en la etapa de "mariposa". Los efectos de la inoculación fueron observados desde los cinco meses de edad, encontrando que los endófitos nativos de cafetal mostraron la mayor eficiencia en el crecimiento y desarrollo, así como *Glomus* sp. Zac-19. Los incrementos en el área foliar obtenidos en las plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 y los complejos micorrizicos de café oscilaron de un 500% a 750%.

Siqueira et al. (1993) estudiaron durante cinco años el efecto de la micorriza vesículo-arbuscular sobre el crecimiento inicial y sobrevivencia de plantas de café en campo. La precolonización en semillero con inóculo múltiple de *Glomus clarum* y *Gigaspora margarita* o con una mezcla de hongos endógenos previamente aislados de campos de café, incrementaron el crecimiento de las plántulas, la incorporación de fósforo y la sobrevivencia en campo. La inoculación micorrizica y la adición de superfosfato al trasplante



incrementó la producción de grano en un promedio 72 % sobre el testigo no inoculado. La productividad se aumentó de manera significativa para los primeros tres años de producción y fué de 420 kg/ha/año. Esto representa un incremento económicamente estimado en 400.00 dolares/ha/año e indica la importancia de la endomicorriza para café cultivado en suelos de baja fertilidad.

Con el propósito de conocer cual es la cantidad óptima para promover un buen desarrollo de las plántulas Siqueira et al. (1994) inocularon plántulas de café de la variedad Mundo novo con diferentes cantidades de esporas de *Gigaspora margarita* en suspensión (0, 50, 100, 200, 400 y 800 esporas/planta) , e inóculo de suelo (200 esporas), ya que se ha observado que cantidades elevadas de inóculo indican tasas elevadas de colonización al inicio, por lo general no se observan diferencias al final, lo cual podría reducir las cantidades de ellas a utilizar en las inoculaciones. Encontraron que los tratamientos que fueron inoculados con menor número de esporas presentaron una fase lag hasta los 30 días, cuando se inició el crecimiento exponencial. La tasa máxima de colonización se alcanzó a los 90 días cuando se aplicaron 200 esporas/planta. Para las plantas que fueron inoculadas con cantidades mayores de 200 esporas/planta la colonización fue lineal y no se observó la fase lag , a los 60 días la colonización fue similar para todos los tratamientos lo que muestra la capacidad de *G. margarita* para colonizar rápidamente las plantas de café.

Estos autores concluyeron que: 1) Una elevada cantidad de esporas incrementa la tasa de colonización pero no influye en la colonización final ni en los beneficios de ésta. 2) 100 esporas/planta resultaron suficientes para asegurar la micorrización. 3) La inoculación después de 140 días incrementó hasta 7.43 veces más el crecimiento de las plántulas. 4) El inóculo del suelo fue más eficaz que la suspensión de esporas y 5) Los aumentos en el crecimiento de las plántulas fueron acompañadas de incrementos en la parte aérea de fósforo y potasio.

3.2.4.2. Efecto de fósforo y otros nutrimentos en el desarrollo de las plantas micorrizadas

Colozzi-Filho, y Siqueira (1986) estudiaron el efecto de la inoculación con *Gigaspora margarita* sobre el crecimiento y nutrición de plántulas de café, adicionando 7 niveles de fósforo (0, 200, 400, 800, 1 600, 3 200 y 4,800 ppm de P_2O_5 como superfósforo triple) en semilleros con suelo fumigado. Para esto utilizaron plantas germinadas en vermiculita y fueron trasplantadas cuando presentaron un primer par de hojas. Se inocularon con una solución de esporas y todos los tratamientos fueron adicionados con 50 ppm de sulfato de amonio cada veinte días después del trasplante, en una tercera aplicación se adicionaron 120 ppm

de K y 0.1 ppm de Mo de nitrato de potasio y molibdato de amonio en solución. 110 días después del trasplante e inoculación se cuantificó la materia seca, porcentaje de colonización, así como contenido de N, K, Co, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe a fin de conocer la cantidad de nutrimentos absorbidos por la planta. Encontraron que la inoculación de plántulas de café con *Gigaspora margarita*, produjo efectos acentuados en el crecimiento y desarrollo de plantas observando efectos positivos con dosis bajas de P_2O_5 y negativos con dosis elevadas, verificando que al momento en que se incrementa el P_2O_5 la respuesta de hongos se reduce. Las plantas con dosis elevadas de P_2O_5 presentaron síntomas de desbalance nutricional manifestados como amarillamiento, enchinamiento, necrosis de los bordes de las hojas y crecimiento reducido. Concluyeron que :

- 1) el efecto de los hongos se acentuó a los 60 días después de la inoculación,
- 2) Los efectos de la inoculación sobre el crecimiento fueron mayores cuando la tasa de colonización fue superior al 30%,
- 3) La magnitud de los beneficios de la simbiosis fue influenciada por el nivel de P adicionado al suelo,
- 4) Los beneficios de la inoculación resultaron en una mayor absorción de nutrimentos, especialmente de P, por lo que la micorriza puede sustituir la fertilización fosfatada del suelo.

Siqueira y Colozzi-Filho (1986) estudiaron el efecto de una adecuada disponibilidad de fósforo sobre el establecimiento y funcionamiento de la simbiosis en plántulas de café de la variedad Mundo novo, para lo cual adicionaron diferentes dosis de P: 0, 200, 400, 800, 1 600, 3 200 y 4 800 ppm. Los hongos fueron inoculados con una suspensión de esporas de *G. margarita*, ciento diez días después de la inoculación se midieron las variables altura, materia seca, porcentaje de colonización y P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu y Mn. Encontraron que las plantas inoculadas presentaron efectos diferentes respecto al crecimiento y nutrición de las plántulas testigo. Así como también se observó que la colonización se incrementa aproximadamente tres veces cuando se adicionan 200 ppm de P_2O_5 , pero cuando se incrementan los niveles de fósforo se presenta un ligero descenso hasta de 800 ppm y crecimiento rápido de las plantas con dosis de fósforo superiores al nivel antes mencionado, alcanzando porcentajes de colonización de un 10 %. El contenido de fósforo en la parte aérea presentó una respuesta positiva muy acentuada a la primera dosis de fósforo (200 ppm) pero tiende a disminuir a dosis de 1 600 ppm, incrementándose nuevamente a partir de esa dosis. También observaron una tendencia de correlación lineal entre el porcentaje de colonización y absorción de fósforo, a medida que se disminuye el nivel de fósforo el porcentaje de colonización se aumenta. Observaron que cuando la tasa de colonización fue menor a 10-15% la micorriza tuvo un efecto negativo sobre la asimilación de fósforo, quedando situada entre 15- y 35%, un efecto positivo y un efecto superior teniendo incrementos hasta de 130%, lo cual indica un alto grado micotrófico. Así mismo presentaron un modelo conceptual que describe las relaciones de la simbiosis *G. margarita-Coffea arabica* en función de la



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

disponibilidad de fósforo de la siguiente manera: cuando el suelo tiene 10 ppm la simbiosis es parasítica, cuando los niveles se encuentran entre 100-300ppm, existe una zona de transición entre el mutualismo y parasitismo y los beneficios de la inoculación se observaron cuando los porcentajes de colonización fueron mayores de 30% y 35% y esto solamente ocurre cuando el nivel de fósforo es menor a 150 ppm. Las plantas inoculadas exigirán diez veces menos fósforo que las no inoculadas, lo cual representa una economía viverista. El propósito de este modelo conceptual ilustra la naturaleza de la relación hongo-planta en función de la disponibilidad de fósforo en el suelo.

Vaast y Zasoski (1991) estudiaron el efecto de diferentes dosis y fuentes nitrogenadas (amonio, nitrato, nitrato de amonio) y diferentes especies de hongos micorrizicos sobre el crecimiento y la composición mineral de plántulas de café, de la variedad Guatemala. Se observó que la dosis de nitrógeno 50, 100 y 200 mg N/kg no tiene ninguna influencia significativa sobre el crecimiento de la parte aérea de las plántulas, pero si se observaron diferencias de crecimiento significativas según las fuentes de Nitrógeno. El crecimiento de las plantas no inoculadas en las que se adicionó amonio y nitrato de amonio presentó incrementos de 41 % y 33% sobre las plantas tratadas con nitrato. La micorrización no presentó una influencia significativa sobre el crecimiento de las plantas en las que se adicionó amonio debido a una inhibición de esta fuente de nitrógeno en la infección micorrizica. Por otra parte observaron que aunque la simbiosis se estableció después de 2 meses de cultivo contribuyó a incrementar la asimilación de N, Ca y Mg. Asimismo reportan que cualquier especie micorrizica presenta un efecto significativo superior al de los testigos no micorrizados, observando las diferencias más notables después de siete meses de cultivo en macetas y que las mejores tasas de crecimiento se presentaron, cuando la inoculación se realizó entre los 80 y 120 días, teniendo un efecto considerable, si el trasplante se realiza entre los 120-180 días. Al final del experimento se observó que los tratamientos inoculados presentaron 4 veces más biomasa que aquéllos no inoculados y tuvieron un crecimiento reducido con bajos niveles de fósforo. Los porcentajes de colonización no se incrementaron proporcionalmente a la densidad de esporas inoculadas, lo que mostró que un pequeño volumen de inoculante promueve un buen efecto. Las plantas transplantadas en un suelo que contenga 1.2 esporas /g de suelo resulta benéfico, ya que las plantas son fácilmente colonizadas.

Vaast y Zasoski (1992) estudiaron el efecto de tres fuentes de nitrógeno y la micorriza vesículo-arbuscular en plantas jóvenes de café, así como los cambios en las propiedades de la rizosfera tales como alta acidez, cationes intercambiables y concentración inorgánica de nitrógeno. Para lo cual probaron tres fuentes de nitrógeno: $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonio), $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrato), $\text{NH}_4, \text{NO}_3\text{-N}$ (amonionitrato). Encontraron que las fuentes

de nitrógeno alteran significativamente el pH de la rizósfera. El amonio disminuyó el pH a 3.83 ± 0.05 , mientras que el NO_3^- lo incrementó a 4.60 ± 0.02 lo cual puede deberse a reacciones de amortiguadores del suelo y la nitrificación que se lleva a cabo en el $\text{NH}_4\text{-N}$. La adición de amonionitrato provocó cambios en el pH similares a la de la fertilización $\text{NO}_3\text{-N}$ aunque en magnitud menor. Mencionan que estos cambios del pH de la rizósfera indican que las plantas de café utilizaron todas las fuentes de nitrógeno con eficiencia diferente. Encontraron también que las diferencias entre el crecimiento y acumulación de nitrógeno fueron significativas entre tratamientos. El amonio produjo mayores incrementos en la biomasa, aunque las diferencias no fueron significativas, sin embargo el porcentaje de nitrógeno no afectó significativamente el crecimiento de las plantas, pero si la acumulación de nitrógeno en la parte aérea. La infección micorrizica presentó bajos niveles de colonización después de 16 semanas de crecimiento. Las condiciones de acidez y de alta disponibilidad de manganeso probablemente disminuyeron los niveles de infección. Por otra parte observaron que la simbiosis llevó un largo tiempo para establecerse quizá debido al lento crecimiento de las plantas; asimismo, encontraron que las fuentes de nitrógeno afectan la colonización micorrizica, siendo las mejores fuentes NH_4 y NH_4NO_3 . Por otra parte la inoculación micorrizica no alteró significativamente la entrada de fósforo y adiciones de 50 y 100 kg- no incrementan el contenido del fósforo en las plantas alimentadas con amonio, que fue ligeramente menor que con las otras dos fuentes de nitrógeno, probablemente debido a una baja disponibilidad de fósforo posterior a la acidificación de la rizósfera.

Saggin-Junior et al. (1994) estudiaron los efectos de la inoculación de hongos micorrizicos vesiculo-arbuscular: *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum* y cuatro aislamientos de *Glomus etunicatum* procedentes de cuatro zonas cafetaleras en Brasil determinaron el crecimiento y contenido de nutrimentos en plantas de café de la variedad Mundo nuevo, para lo cual utilizaron suelo de baja fertilidad no fumigado y fumigado. Adicionaron dosis crecientes de fósforo soluble teniendo como fuente el superfosfato triple (0,200,400,800 y 1600 P mg/g suelo). Utilizaron como testigo plantas no inoculadas e inoculadas en suelo fumigado y no fumigado. Encontraron que las plantas de suelo fumigado presentaron un crecimiento lineal como respuesta a la aplicación de fósforo, mientras que las plantas micorrizadas, en suelo no fumigado mostraron una respuesta cuadrática, al incremento del fósforo en el suelo. Por otra parte observaron respuestas de crecimiento a diferentes cantidades de fósforo y hongos endomicorrizicos en diversos periodos, las plantas inoculadas con *Glomus etunicatum*, procedentes de dos zonas cafetaleras presentaron una respuesta más rápida que las inoculadas con las otras cepas. Al final del experimento (170 días) las plantas micorrizadas incluyendo aquéllas desarrolladas en suelo no fumigado crecieron mejor que las no inoculadas. Sin embargo la promoción del crecimiento estuvo relacionada con los niveles de fósforo. Los efectos del crecimiento fueron maximizados a niveles intermedios de fósforo. Altos contenidos de fósforo, mostraron

efectos depresivos de colonización micorrizica ya que varia considerablemente entre los hongos y fué reducida por altos niveles de fósforo.

3.2.4.3. Estudios ecológicos en la asociación café-hongos endomicorrizicos

López et al. (1983) realizaron un trabajo cuyo propósito fue determinar las especies de hongos endomicorrizicos asociados con el café en una Región de Sao Paulo Brasil y relacionar su distribución y porcentaje de colonización de raíces con datos químicos del suelo. Colectaron suelos y raíces de café de 27 fincas con tres repeticiones en una área de 5 000 m². En cada muestreo se tomaron datos de la edad, manejo y origen, así como las características físico-químicas del suelo. Detectaron 22 especies, encontrando al género *Acaulospora* con 100% de ocurrencia, *Glomus* con 85%, *Gigaspora* con 59.2% y *Sclerocystis* spp con 40.7%. No se encontró una relación definida en este caso entre las características del suelo y la incidencia de los géneros. Sin embargo observaron que la incidencia de *Acaulospora* y *Sclerocystis* no fue afectada por el pH de los suelos en un margen de 4.7 a 6.9. *Gigaspora* solo se encontró en pH por arriba de 6.5 y *Glomus* fue encontrada en menor cantidad en pH por abajo de 5.0. También encontraron una tendencia decreciente en la colonización de las plantas, a medida que estas presentaron mayor edad; en los suelos que no recibieron fertilización de fósforo se tuvieron mayores porcentajes de colonización. En este estudio no se encontró a *Gigaspora margarita*, la cual ha sido considerada muy efectiva en promover el crecimiento de café.

Huerta (1984), colectó suelos de rizósfera de cafetales en 8 localidades de un trayecto Xalapa-Huatusco-Fortín en el estado de Veracruz y encontró entre las especies de hongos endomicorrizicos más importantes las siguientes : *Acaulospora bireticulata*, *A. laevis*, *Glomus claroideum*, *Glomus macrocarpus* var. *macrocarpus*, *G. melanosporus*, *G. monosporus*, *G. mosseae*, *G. pubescens*, *G. radiatus* y *Glomus* sp. Se seleccionó las especies más abundantes y realizó pruebas de propagación utilizando el método de Glederman y Nicolson (1963) y el método de cultivo de raíces de Herpper y Moss, así como el método alternativo de propagación en hidroponia utilizando como huésped plantas de girasol. No obtuvo resultados exitosos en el primer y segundo experimento pero en el tercero encontró plantas que mostraron alto contenido de infección, sin problemas de contaminación y con propagación masiva.

Martínez (1986) estudió la micorriza vesículo-arbuscular en el cultivo de café bajo diferentes condiciones de cultivo: sombra, sol y semillero, en la zona de Coatepec, Ver., encontrando cinco especies de

Endogonáceos. *Glomus macrocarpus* var. *genosporus* y *G. fasciculatus*, las que aparecieron en los tres sistemas de producción, *Sclerocystis rubiformis* sólo a pleno sol, *Gigaspora gigantea* en el cafetal con sombra y *G. pallucida* en semillero.

Fernández et al. (1989) realizaron un estudio en Cuba, analizaron siete plantaciones de café de la variedad Caturra seleccionaron 4 zonas y evaluaron el porcentaje de colonización. Observaron que los más altos porcentajes se encontraron en áreas sombreadas por *Pinus caribea*, lo cual hizo suponer que la presencia de plantas forestales ejerce una influencia positiva en el establecimiento de la infección.

Quintero et al. (1989) de México, evaluaron el grado de colonización natural de hongos endomicorrizicos vesículo-arbuscular en plantas de café *Coffea robusta* en vivero, encontrando que su porcentaje de colonización fue de un 31%. Rangeshwaran et al. (1990) estudiaron el comportamiento de la endomicorriza en 3 plantaciones de café de un año de edad, para lo cual utilizaron raíces y suelo, obteniendo en sus resultados que los porcentajes de colonización varían entre *Coffea arabica* y *Coffea robusta*, siendo mayores en la primera especie.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

Localización.- El área de estudio está comprendida dentro de la cuenca Cafetalera de Coatepec que se localiza en la parte central de Veracruz (Fig.2) entre los 96°56' y 97°00' longitud oeste y 19°28' y 19°30' latitud norte, abarcando un total de 381 000 Ha con una altitud de 1300 m (INEGI, 1988a)

Clima. el grupo de clima de la zona según el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1973), se encuentra entre los (A)C(fm)a(i)g, que pertenece a los semicálidos húmedos, el más cálido de los templados con temperatura media anual mayor de 18°C y la del mes más frío menor de 18°C, con lluvias todo el año. El mes más seco presenta precipitación mayor de 40 mm, con lluvia invernal menor de 18 %. La temperatura media del mes más caliente está por arriba de 22°C *isotermal con poca oscilación* térmica entre 5°C y 7°C. El mes más caliente está antes del solsticio de verano (Fig.3) (Soto, 1986).

Geología. Esta área presenta diferentes materiales volcánicos como son roca extrusiva básica del cenozoico, cuaternario, rocas calizas del mesozoico del cretácico inferior y arenisca del cenozoico terciario.

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

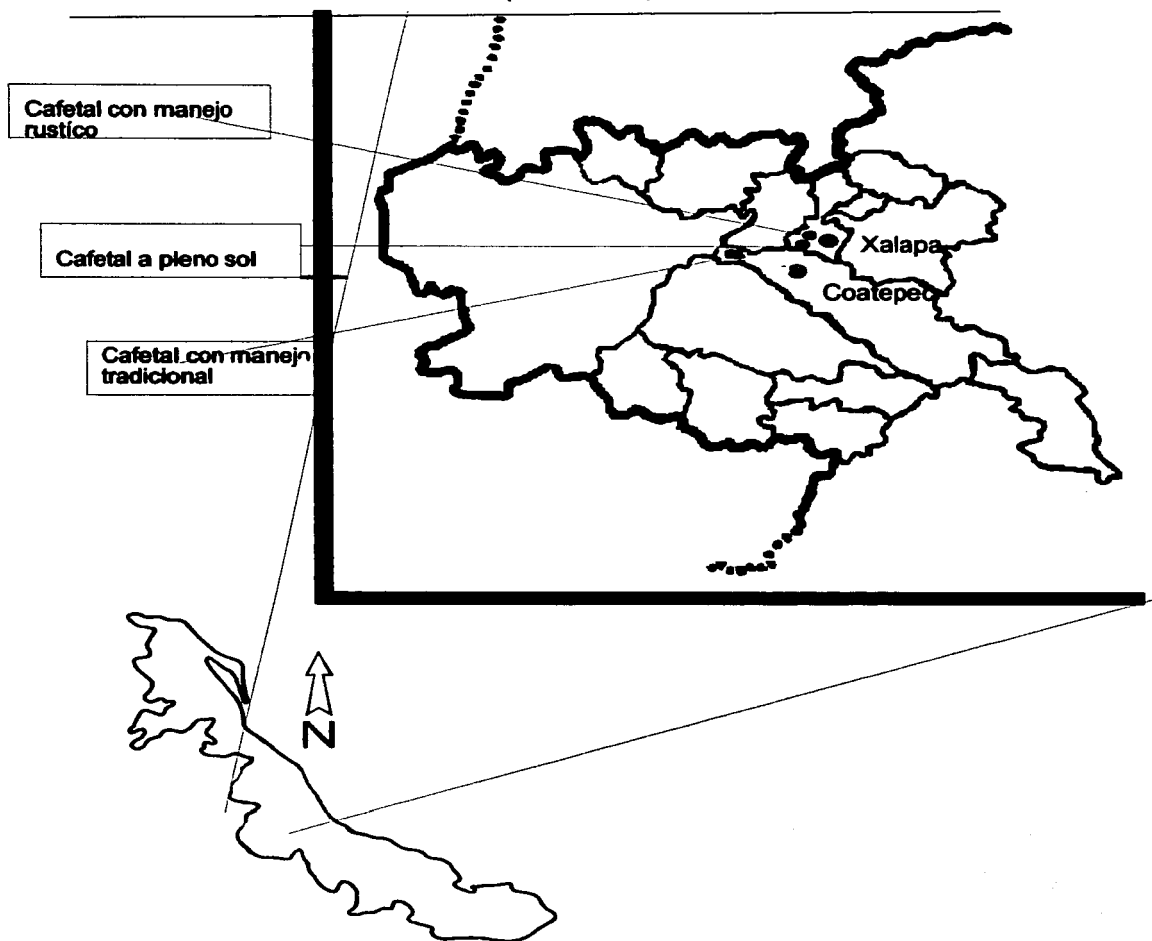
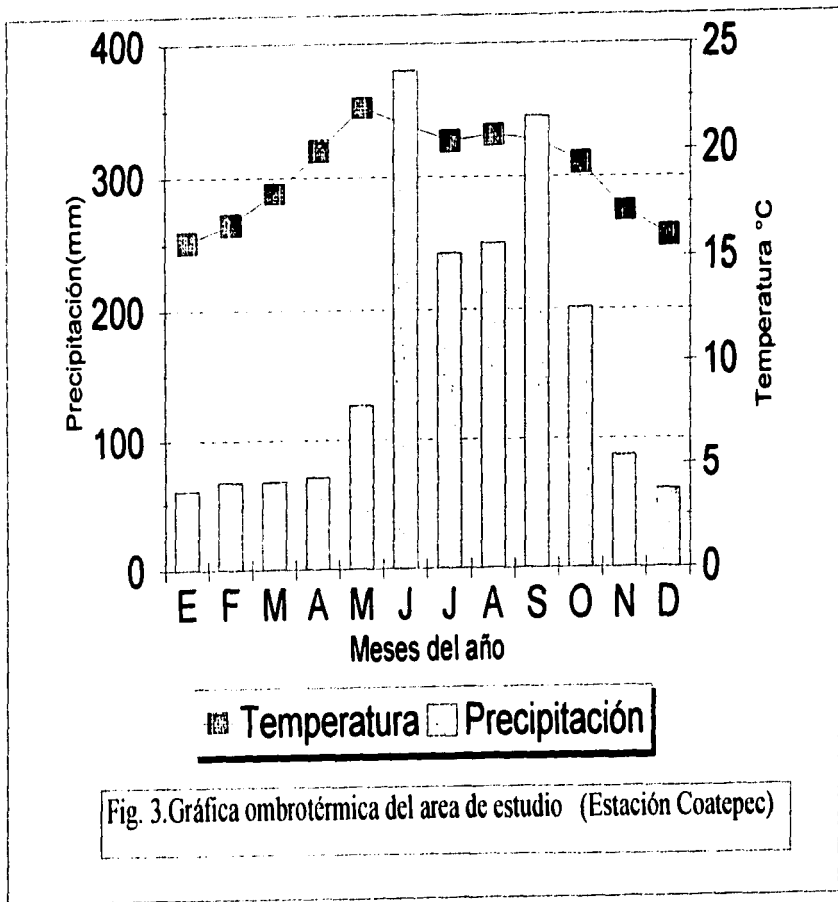


Fig. 2. Localización de los sitios estudiados, de acuerdo al manejo.



Ecología y comportamiento de la endonictoriza-artuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)



Desde el punto de vista geomorfológico está constituido por lomeríos, cerriles y colinas típicas de la Sierra Madre Oriental (Fuentes y Pensado, 1977; INEGI, 1988b) .

Suelos. Los tipos de suelos predominantes en el área son los andosoles los que se caracterizan por retener fósforo, por lo que no puede ser absorbido por las plantas. Presentan una capa superficial negra y son susceptibles a la erosión; también se encuentran presentes los luvisoles, los cuales tienen una acumulación de arcilla en el subsuelo son moderadamente ácidos y susceptibles a la erosión y Redzina con una capa rica de materia orgánica que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal, son poco profundos y generalmente arcillosos así como con moderada susceptibilidad a la erosión (INEGI, 1988c).

Vegetación. En esta área prosperan asociaciones vegetales de bosque alto y mediano caducifolio, aunque también es posible encontrar bosque de pino en las zonas más altas. En la mayor parte del área estudiada se encuentran bosque de encino y liquidambar (Fuentes y Pensado, 1977; INEGI, 1988d).

Uso del suelo. Se puede resumir en tres formas: cañaverales, cafetales y maizales más cultivos asociados con cada uno de ellos. (INEGI, 1988d)

4.2- Estudio ecológico de la micorriza vesículo arbuscular en café

Este trabajo fue realizado en el periodo comprendido entre julio-agosto de 1991 y diciembre-enero de 1992.

4.2.1. Trabajo de campo

4.2.1.1. Selección de áreas de muestreo

Se eligieron tres fincas cafetaleras cultivadas bajo los siguientes sistemas de producción: a) a exposición solar directa, b) sombra tradicional con fertilización y c) rústico sin fertilización

Se tomaron tres repeticiones por cada sistema, las fincas fueron localizadas lo más cercano posible, (2 y 14 km). Se procuró evitar la existencia de variación ambiental entre ellas.

Sieverding (1983), recomienda como área representativa de muestreo 16 m² para emplear muestras al azar de 5 plantas y muestras de suelo y raíces . Propone modificar la forma de obtención de acuerdo a la especie, estado de desarrollo de la planta topografía del terreno y profundidad del suelo.

De acuerdo con lo anterior se muestreó en un transecto de 250 m², en el cual se obtuvo suelo y raíces de 10 cafetos al azar, en tres sitios de cada uno de los tres agroecosistemas cafetaleros

Los muestreos se realizaron en dos épocas, una durante el periodo de lluvias (agosto-septiembre) y otra en sequía (diciembre-enero).

4.2.1.2. Descripción de las fincas estudiadas

- 1) Finca a exposición solar directa, 14 años de establecida, con un programa de rejuvenecimiento, tres fertilizaciones y limpiezas por año, una aplicación de herbicida, control de plagas y enfermedades por métodos químicos, una producción aproximada de 7.5 t ha⁻¹ y una vida productiva de 10 a 15 años (Fig 4a y 4b).
- 2) Finca con sombra tradicional. La sombra está dada por una diversidad de árboles frutales y leguminosas. Se efectúa el acondicionamiento de la sombra una vez al año, existen programas de eliminación de cafetos viejos, dos fertilizaciones y tres limpiezas por año, podas fitosanitarias (según sean requeridas), control de plagas y enfermedades por métodos químicos. El rendimiento promedio en estas fincas es de 3.5 t ha⁻¹ (Fig. 5a y 5b).
- 3) Finca con sombra de montaña, las especies utilizadas para la sombra son características de bosque mesófilo de montaña (*Quercus* spp. *Liquidambar styraciflua* *Pinus patula*, *Platanus macrophylla*, *Platanus mexicana*) con un rendimiento de 0.815 t ha⁻¹ (Fig. 6a y 6b).

4.2.1.3. Muestreo de raíces y suelo

Se emplearon muestras de raíces y suelo en los primeros 20 cm de profundidad y hasta 45 cm de distancia del tronco, ya que Suarez de Castro (1961) encontró que es en esta área donde existe el mayor número de raíces absorbentes. La cantidad de suelo y raíces colectadas por planta fué de aproximadamente un kilo de suelo y 300g de raíces las cuales son fácilmente diferenciables de otras plantas asociadas al café.

Las muestras fueron guardadas en bolsas de plástico para su transporte, después las raíces fueron lavadas y fijadas en formol-ácido acético-alcohol (FAA), para su posterior procesamiento, 200g de suelo fueron enviados al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas para el análisis físico químico.

Para la determinación del porcentaje de colonización y número de esporas se utilizaron muestras de raíces y suelo por separado de cada uno de los sitios.

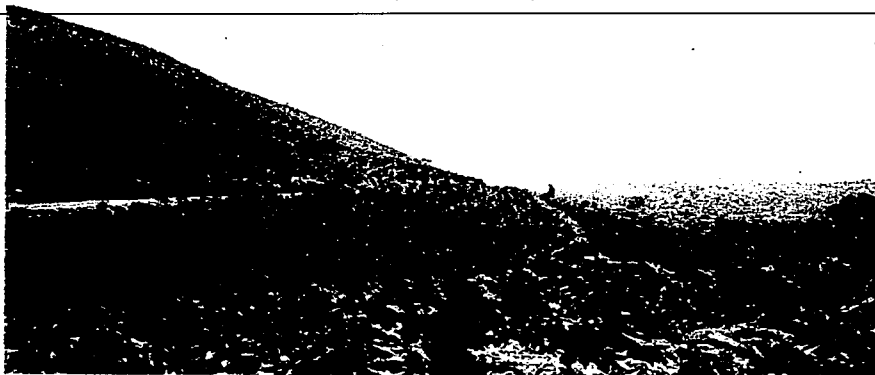


Fig. 4 a. Finca representativa de una plantación a exposición directa de la luz solar (variedad Caturra)



Fig. 4b. Finca representativa de una plantación a exposición directa de la luz solar, en un suelo totalmente deteriorado (variedad Caturra)



Fig. 5a. Finca representativa del sistema de producción sombra tradicional (variedad Typica).



Fig. 5b. Estado general de la planta, libre de malezas y suelo con alta cantidad de materia orgánica (variedad Typica).



Fig. 6a. Finca representativa del sistema de producción rustico (variedad Typica).



Fig. 6b. Plantas con manejo restringido, notese lo excesivo de la maleza y el estado de la planta (variedad Typica)



4.2.2. Trabajo de laboratorio

4.2.2.1. Clareo y tinción de raíces

Las raíces ya fijadas fueron clareadas y teñidas siguiendo la técnica de **Phillips y Hayman (1970)**, modificada de la siguiente manera: las raíces fueron lavadas con agua y clareadas con KOH al 10% durante 10 minutos a 10 lb de presión dos veces. El KOH fue retirado y se aplicó peróxido de hidrógeno al 10% por 3 minutos, se enjuagó con agua destilada y se sumergieron en HCL al 10% por 1 minuto. Las raíces fueron colocadas en una solución de azul tripano al 0.05% durante 5 minutos a 5 lb de presión, finalmente el colorante fue eliminado y se mantuvieron en lactoglicerol limpio.

4.2.2.2. Porcentaje de colonización

Para la evaluación del porcentaje de colonización de las raíces micorrizadas se utilizó la técnica de **Phillips y Hayman (1970)**, para lo cual se realizaron observaciones en el microscopio óptico de 100 segmentos para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones. En la estimación del porcentaje de colonización se revisaron en cada uno de los segmentos tres pasajes equidistantes sobre cada segmento y como una parte de raíz atravesada por el campo óptico y contenía hifas, vesículas o arbusculos, se le dió el valor de uno para cada estructura. Posteriormente se estimó el porcentaje de colonización micorrízico, mediante la ecuación:

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{No. de campos colonizados}}{\text{No. total de campos observados}} \times 100$$

4.2.2.3. Número de esporas en el suelo

La cuantificación de esporas se realizó mediante el método de tamizado en húmedo y decantación de **Gerdemann y Nicolson (1963)**, para lo cual se diluyeron 100 g. de suelo de rizósfera en 1000 mL de agua, agitando por 5 minutos, después se dejó reposar por tres minutos y se tamizó mallas con graduaciones de 500, 250 y 44 μ , la fracción de suelo obtenida en cada tamiz se filtró en papel y se observó para su cuantificación en el microscopio estereoscópico.



4.2.2.4. Análisis físico-químico de suelo

Para el análisis del suelo se preparó una mezcla compuesta por las 30 submuestras tomadas inicialmente. Posteriormente se determinó: la textura del suelo, materia orgánica, pH; porcentaje de carbono orgánico, nitrógeno; relación C/N; fósforo asimilable; calcio, magnesio y potasio intercambiable.

4.3. Estudio tecnológico

4.3.1. Efecto de la inoculación de dos cepas de hongos endomicorrizicos sobre cuatro variedades de café. (Experimento 1). El presente estudio se llevó a cabo de agosto de 1992 a julio de 1993

4.3.1.1. Obtención de cepas hongos endomicorrizico

Los inóculos contenían las cepas *Glomus sp.* Zac-19 y *Glomus aggregatum* FS-39 y fueron proporcionadas por el área de Microbiología del Programa de Edafología del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillos México. La fuente de inóculo consistió en 10g de arena y raíces de frijol colonizadas en 57.5% y 67.2% respectivamente.

4.3.1.2. Variedades de café

Las variedades utilizadas fueron Gamica, Catimor, Caturra y Catuai, todas ellas de porte bajo y con caracteres fenotípicos similares debido a su procedencia genética. La semilla fue proporcionada por el Departamento de Genética del INMECAFE.

4.3.1.3. Inoculación y siembra

El sustrato utilizado consistió en una mezcla de suelo-materia orgánica en una proporción de 40:60 esterilizada en autoclave durante dos horas y media a 120°C. El suelo utilizado para la mezcla presentó inicialmente, 13.82% de materia orgánica y 33ppm de fósforo.

El sustrato se colocó en vasos de unicel con capacidad de 1Kg los cuales fueron desinfectados con alcohol antes de ser llenados con el sustrato.

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

La inoculación se realizó al momento de la siembra colocando 10g del inóculo a cuatro cm de profundidad y la semilla previamente tratada para acelerar la germinación, a tres centímetros, cubriéndolas posteriormente con suelo.

4.3.1.4. Manejo de las plantas en vivero.

Al inicio de la siembra las semillas fueron regadas cada tercer día con aproximadamente 100 ml de agua por cada contenedor, lo que permitió mantener la humedad y aireación. Cuando la planta hubo germinado, los riegos se aplicaron de acuerdo con las necesidades de la misma. Durante el desarrollo del experimento se colocó una malla de media sombra y se retiró a los seis meses. Cabe mencionar que durante todo el experimento se presentó un problema de "requemo" (*Phoma costarricensis*) pero no se aplicó ningún plaguicida para su control.

4.3.1.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial donde la parcela grande estuvo constituida por las cepas de los hongos endomicorrizicos y la parcela chica las variedades. En total se formaron 12 tratamientos y 15 repeticiones. La unidad muestral fue una planta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Descripción de tratamientos utilizados para conocer el efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos sobre cuatro variedades de café.

Tratamiento	Variedad	Hongo endomicorrizico-arbuscular
1	Gamica	Glomus sp.Zac-19
2	Gamica	G. aggregatum FS-39
3	Gamica	Téstigo
4	Catimor	Glomus sp. Zac-19
5	Catimor	G. aggregatum FS-39
6	Catimor	Téstigo
7	Caturra	Glomus sp. Zac-19
8	Caturra	G. aggregatum FS-39
9	Caturra	Téstigo
10	Catuai	Glomus sp.Zac-19
11	Catuai	G. aggregatum FS-39
12	Catuai	Téstigo

4.3.1.6. Evaluación de variables

La metodología y época de evaluación empleada en este experimento se resume en el Cuadro 4 .

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 4. Variable, técnica y época de evaluación del efecto de dos cepas de hongos endomicorrízicos, en cuatro variedades de café.

Variable	Técnica	Epoca
Altura	En cm a partir de la base del tallo	A los 160, 210, 300 y 330 días después de la siembra e inoculación
Número de hojas	cuento visual	A los 160, 300 y 330 después de la siembra e inoculación
Sanidad, vigor y clorosis	Escala subjetiva propuesta por Rivera, 1981	A los 270 y 330 días después de la siembra e inoculación
Area foliar	Mediante la técnica propuesta por Soto, 1980	A los 160, 210 y 330 días después de la siembra e inoculación
Peso seco de la parte aérea	Secado de plantas a temperatura de 70°C a 80°C hasta peso constante	Al final del ensayo
Volumen radical	Método de volumen desplazado utilizando probetas graduadas	Al final del ensayo
Contenido de P foliar	Método de digestión via húmeda (Fetehevers, 1989)	Al final del ensayo
Porcentaje de colonización	Técnica de Phillips y Hayman, 1970	Al final del ensayo
No. de esporas	Técnica de Gerdemann y Nicolson, 1963	Al final del ensayo

Se utilizaron escalas subjetivas para evaluar el comportamiento de las variedades como respuesta a la inoculación. Las escalas fueron propuestas por Rivera 1981; mediante valores arbitrarios, que pudieran reflejar la apariencia de cada planta. Se planteó en un inicio que estos valores serian analizados por estadísticas no paramétricas; sin embargo la estadística paramétrica fue tan contundente que se decidió sólo utilizar los valores de la escala subjetiva como referencia.

Sanidad

0- plantas sanas

1- plantas con daño en un 5%

2 - plantas con un 20% de follaje dañado

3 - plantas con un 40% de daño

4 - plantas con más de 60% de daño

5 - plantas con más de un 60% de daño

Vigor

0 - plantas muertas o próximas a morir

1 - plantas raquíticas con escaso follaje

2 - plantas raquíticas con follaje

3 - plantas moderadamente vigorosas

4 - plantas vigorosas

5 - plantas sumamente vigorosas

Clorosis

0 - plantas amarillas

1 - plantas semiamarillas

2 - plantas verde limón

3 - plantas verdes

4 - plantas verde no intenso

5 - plantas de color verde intenso

Para la determinación de la eficiencia de la endomicorriza se utilizó la ecuación mencionada por Colozzi-Filho y Siqueira, (1986) :

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{\text{altura de plantas inoculadas}}{\text{altura de plantas testigo}} \times 100 \right) - 100$$

4.3.2. Efecto de dos cepas endomicorrizicas, materia orgánica y roca fosfórica en la variedad típica durante su desarrollo en vivero. (Experimento 2). El presente experimento se realizó de noviembre de 1992 a Agosto de 1993

4.3.2.1 Obtención de las cepas de hongos endomicorrizico-arbusculares

Se utilizaron las cepas *Glomus* sp. Zac-19 y *Glomus aggregatum* FS-39, proporcionadas por la Institución mencionada en el experimento 1. La fuente de inóculo consistió en 6 g de arena y raíces de frijol colonizadas en 78.0% y 61.4% respectivamente.

4.3.2.2. Variedades de café

La variedad Típica fue utilizada para este experimento; los cafecultores de la zona establecen en sus fincas un mosaico de variedades predominando la antes mencionada, ésta es una variedad de porte alto. La semilla se cosechó y se benefició ex profeso para el experimento.

4.3.2.3. Manejo de la planta en vivero

El almácigo se estableció en cajas de 50 cm² llenas con arena de río estéril, donde se colocaron las semillas pregerminadas a una distancia de 10cm entre ellas, aquí permanecieron hasta obtener plantas en fase de "mariposa" (cuando presentaron las hojas cotiledóneas Fig:1). Se realizaron riegos frecuentes a fin de mantener el sustrato con una humedad adecuada. Después del trasplante e inoculación, los riegos se continuaron según fuera necesario. Durante el mes de abril se presentó un daño considerable de requemo (*Phoma costarricensis*) lo cual amenazó la supervivencia de las plantas, por lo que fue necesario la



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

aplicación de un fungicida de contacto (oxiclururo de cobre 7.5g en 250 mL de agua) aplicado con pincel en las parte afectadas; los contenedores fueron cubiertos con papel para evitar el efecto del fungicida sobre los hongos endomicorrizicos.

4.3.2.4. Preparación del sustrato y llenado de contenedores

Como se mencionó en la revisión de literatura (Sieverding, 1991) la materia orgánica afecta tanto el desarrollo y la población de los hongos endomicorrizicos como el desarrollo de la planta (López, 1992). Por tal motivo se realizaron diferentes mezclas de materia orgánica en forma de pulpa de café descompuesta, dado que es fácil de conseguir en la zona cafetalera. Se realizaron las mezclas de 100%, 60%-40%, 50%-50% y 40%-60% de suelo - materia orgánica respectivamente. El sustrato se fumigó con bromuro de metilo por 48 h y se aeró durante 15 días. Los contenedores utilizados fueron vasos de unicel de 1Kg de capacidad llenados con 550g de cada una de las mezclas.

Ya que la simbiosis endomicorrizica permite una mejor absorción de fósforo (Siqueira y Colozzi-Filho, 1986; Ferrera-Cerrato 1989, Sieverding 1991) se aplicaron antes del trasplante 30 ppm de roca fosfórica, conteniendo 33ppm de fósforo, las partes por millon fueron aplicadas por una relación de peso de la mezcla. El fósforo determinado para la muestra de suelo utilizado en la preparación de las mezclas fué de 19.7 ppm

4.3.2.5. Inoculación y trasplante

La inoculación se llevó a cabo cuando la planta se encontraba en fase de "mariposa", al momento del trasplante del semillero al contenedor. Para ello se aplicaron arena y raices de frijol micorrizadas.

Las plantas se extrajeron cuidadosamente del almácigo se les enjuagó la raíz para eliminar el suelo excedente y para evitar la deshidratación y se realizó una poda de raíz, para uniformizar la longitud del sistema radical. Posteriormente se colocó la raíz de cada planta en un hoyo, hecho en el sustrato de cada contenedor, y se esparció el inoculo en torno a aquella. Después se presionó el suelo alrededor de la raíz y se aplicó un riego ligero.

4.3.2.6. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño factorial con 24 tratamientos y 15 repeticiones, en la que la unidad muestral fue una planta (Cuadro 5).

Cuadro 5. Descripción de tratamientos utilizados para conocer el efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos, la adición de roca fosfórica y el sustrato en la variedad Typica.

Clave	% de suelo	% de materia orgánica	Cepa endomicorrizica	Roca fosfórica (33 ppm)
AT	100 %			0
Ax	100 %			33
Ax ₁	100 %		<i>Glomus</i> sp. Zac-19	0
Ax ₂	100 %		<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33
Ax ₁ x	100 %		<i>G. aggregatum</i> FS-39	0
Ax ₂ x	100 %		<i>G. aggregatum</i> FS-39	33
BT	60 %	40 %		0
Bx	60 %	40 %		33
Bx ₁	60 %	40 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	0
Bx ₂	60 %	40 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33
Bx ₁ x	60 %	40 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	0
Bx ₂ x	60 %	40 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	33
CT	50 %	50 %		0
Cx	50 %	50 %		33
Cx ₁	50 %	50 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	0
Cx ₂	50 %	50 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33
Cx ₁ x	50 %	50 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	0
Cx ₂ x	50 %	50 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	33
DT	40 %	60 %		0
Dx	40 %	60 %		33
Dx ₁	40 %	60 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	0
Dx ₂	40 %	60 %	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33
Dx ₁ x	40 %	60 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	0
4.3. Dx₂x	40 %	60 %	<i>G. aggregatum</i> FS-39	33

4.3.2.7. Variables evaluadas

La metodología y época de evaluación empleada en este experimento se resume en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Variable, técnica y época de evaluación del efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos, la adición de roca fosfórica y el sustrato sobre la variedad Typica.

Variable	Técnica	Epoca
Altura	En cm a partir de la base del tallo	A los 120 y 150 días después del trasplante e inoculación
Area foliar	Mediante la técnica propuesta por Soto, 1980	A los 180 días después del trasplante e inoculación
Peso seco de la parte aérea	Secado de plantas a temperatura de 70°C a 80°C hasta peso constante	Al final del ensayo
Volumen radical	Método de volumen desplazado utilizando probetas graduadas	Al final del ensayo
Contenido de P foliar	Método de digestión via húmeda (Etchevers, 1989)	Al final del ensayo
Porciento de colonización	Técnica de Phillips y Hayman, 1970	Al final del ensayo
No. de esporas	Técnica de Gerdemann y Nicolson, 1963	Al final del ensayo

Para calcular los incrementos se repitió el procedimiento del experimento anterior. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza factorial mediante el programa MSTAT.

4.3.3. Efecto de la fertilización inorgánica sobre el desarrollo de la endomicorriza arbuscular en la variedad Typica (**Experimento 3**). Este experimento se realizó de marzo de 1993 a julio de 1994

4.3.3.1. Obtención de cepas

Se utilizó la cepa *Glomus* sp. Zac-19. La fuente de inóculo consistió en 10g de arena y raíces de frijol colonizadas con 65 % de colonización.

4.3.3.2. Sustrato utilizado



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Con base en la información obtenida en los experimentos anteriores se utilizó una mezcla de suelo (migajón arenoso) pulpa de café en una proporción 1:1, la cual fue desinfectada con Basamid (BASF), por 24 horas y aireado durante 15 días; como contenedores se utilizaron vasos de unicel con capacidad de 1Kg.

4.3.3.3. Siembra e inoculación

La siembra se hizo directamente en los vasos sin pasar por una fase de vivero a fin de que el sistema radical no se viera afectado por espacio y sufriera deformaciones que repercutieran en el desarrollo de la planta. La inoculación se realizó en la fase de "naranjito" (Fig.1) con 10 g de inóculo de la cepa endomicorrizica *Glomus* sp. Zac-19 la cual fue la más efectiva en los experimentos anteriores.

4.3.3.4. Manejo de las plantas en vivero

Se sembraron dos semillas por maceta a 1.5 cm de profundidad, fueron regadas cada semana con 50 mL de agua aproximadamente. Cuando las plantas presentaron su primer par de hojas se presentó un problema de Damping-off en la base de tallo por lo que fue necesario aplicar oxiclورو de cobre (7.5g. en 250 mL de agua), con un brocha en las partes dañadas, Durante la realización del experimento se presentó un fuerte daño por "requemo" por lo que fue necesario aplicar Bravo 720 (6mL en 3L de agua) a intervalos de 30 días y Cubrezate (4g en 1L de agua) en una ocasión. Esta infección retardó el crecimiento de las plantas e incluso hicieron pensar que las plantas morirán. Sin embargo, hubo recuperación de las plantas debido a que gradualmente fue elevando la temperatura y con ello se minimizó el avance del daño por hongos.

4.3.3.5. Fertilización

Para la fertilización inorgánica se utilizó como fuente de fósforo superfosfato triple y como fuente de nitrógeno urea. La fertilización se llevó a cabo 10 días después de la inoculación y a los tres meses. La determinación de la dosis de fertilizante en ppm se planteó en proporción al peso de suelo de los contenedores. (Cuadro 7).

4.3.3.6. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con 34 tratamientos y 5 repeticiones, teniendo como unidad muestral una planta. Los tratamientos se describen en el Cuadro 7.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos utilizados para determinar el efecto de la fertilización inorgánica en el desarrollo de la endomicorriza arbuscular.

Treatmento	N - P (ppm)	Urea (g)	Superfosfato Triplo (g)
Con micorriza	0 - 0	0	0
Con micorriza	0 - 15	0	3260
Con micorriza	0 - 20	0	4347
Con micorriza	0 - 30	0	6521
Con micorriza	20 - 0	4347	0
Con micorriza	20 - 15	4347	3260
Con micorriza	20 - 20	4347	4347
Con micorriza	20 - 30	4347	6521
Con micorriza	40 - 0	8695	0
Con micorriza	40 - 15	8695	3260
Con micorriza	40 - 20	8695	4347
Con micorriza	40 - 30	8695	6521
Con micorriza	60 - 0	13043	0
Con micorriza	60 - 15	13043	3260
Con micorriza	60 - 20	13043	4347
Con micorriza	60 - 30	13043	6521
Con micorriza Sin micorriza	N P K - 18-12-6		
Sin micorriza	0-0	0	0
Sin micorriza	0-15	0	3260
Sin micorriza	0-20	0	4347
Sin micorriza	0-30	0	6521
Sin micorriza	20-0	4347	0
Sin micorriza	20-15	4347	3260
Sin micorriza	20-20	4347	4347
Sin micorriza	20-30	4347	6521
Sin micorriza	40-0	8695	0
Sin micorriza	40-15	8695	3260
Sin micorriza	40-20	8695	4360
Sin micorriza	40-30	8695	6521
Sin micorriza	60-0	13046	0
Sin micorriza	60-15	13046	3260
Sin micorriza	60-20	13046	4360
Sin micorriza	60-30	13046	6521



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

4.3.3.7. Variables evaluadas

La metodología y el tiempo de evaluación empleada en este experimento se resume en el cuadro 8.

Cuadro 8. Variable, técnica y tiempo de evaluación del efecto de la fertilización inorgánica sobre el desarrollo de la endomicorriza en la variedad típica.

Variable	Técnica	Epoca
Área foliar	Soto(1980)	A los 270 días después de la inoculación
Altura	Con la ayuda de una regla	A los 120 y 270 días después de la inoculación
Peso fresco de la parte aérea y raíz	Balanza granataria	A los 270 días después de la inoculación
Peso seco de la parte aérea	Secadas por 72h a 70°C en la balanza granataria	A los 270 días después de la inoculación
Volumen radical	Mediante el volumen desplaza cuantificado en una probeta de 100mL y 500mL	A los 270 días después de la inoculación
Contenido de P y N foliar	Método de digestión via húmeda (Etchevers, 1989)	A los 270 días después de la inoculación
% de colonización	Técnica de Phillips y Hayman, 1970	A los 270 días después de la inoculación
No de esporas	Técnica de Goderman y Nicolson (1963)	A los 270 días después de la inoculación
Determinación de P y N en el suelo	Técnica de Kitson-Mellon (Etchevers, 1989)	A los 270 días después de la inoculación

Se realizó un análisis de varianza para un diseño completamente al azar mediante el programa MSTAT y se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Ecología de la endomicorriza arbuscular bajo tres sistemas de producción de café

En el presente estudio se encontraron diferencias significativas, en el comportamiento de endomicorriza arbuscular. En las Figs. 7 y 8 se puede observar que el porcentaje de colonización y el número de esporas fue mayor en la finca con nivel de tecnología rústico; por lo que podemos decir que la distribución de la micorriza está fuertemente influenciada por el manejo que modifica al ambiente y éste actúa como agente de selección sobre la micorriza arbuscular en cada uno de los cafetales. Estos datos son similares a los reportados en los cultivos de maíz y cítricos, en donde los valores de colonización y número de esporas mas altos se reportan para sistemas tradicionales (González 1989; Michel y Valdés 1992) mayores porcentajes de colonización y número de esporas encontrados en los diferentes sistemas pueden ser explicados por la influencia de varios factores.

Las características del suelo mostraron ser determinantes, en el desarrollo de los endofitos tal como lo menciona Sieverding (1991)

Las características físico y químicas del suelo presentan diferencias entre los sistemas de manejo, su determinación se presenta en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis físico y químico de los suelos con cultivo de café en tres sistemas de producción.

Determinación	Rústico	Tradicional	A exposición directa a la luz solar
Arena (%)	61.00	35.4	27.80
Limo (%)	27.60	41.2	41.20
Areilla (%)	11.40	23.4	31.00
Clase textural	migajón-arenoso	migajón	migajón-arcilloso
pH	5.90	4.60	6.3
Materia orgánica (%)	24.70	7.35	2.76
Carbono orgánico (%)	14.36	4.27	3.35
Nitrógeno (%)	1.25	3.78	3.01
Relación C/N	11.72	11.30	11.13
Fósforo asimilable (ppm)	5.23	22.45	6.67
Ca intercambiable (meq)	3.6	4.20	5.88
Mg intercambiable (meq)	1.44	5.28	3
P intercambiable (meq)	.63	.72	.60

Análisis realizados en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana

1) En el sistema rústico el contenido de materia orgánica es elevado (Cuadro 9). Altos niveles de materia orgánica están relacionados con un buen desarrollo y supervivencia de la micorriza, lo cual ha sido

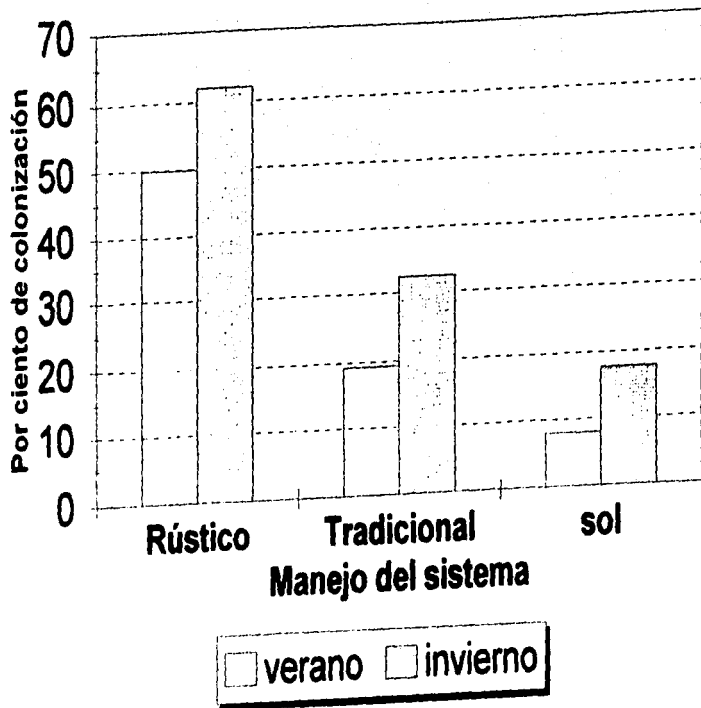


Fig.7 Por ciento de colonización en plantas de café de diferente manejo en verano e invierno.

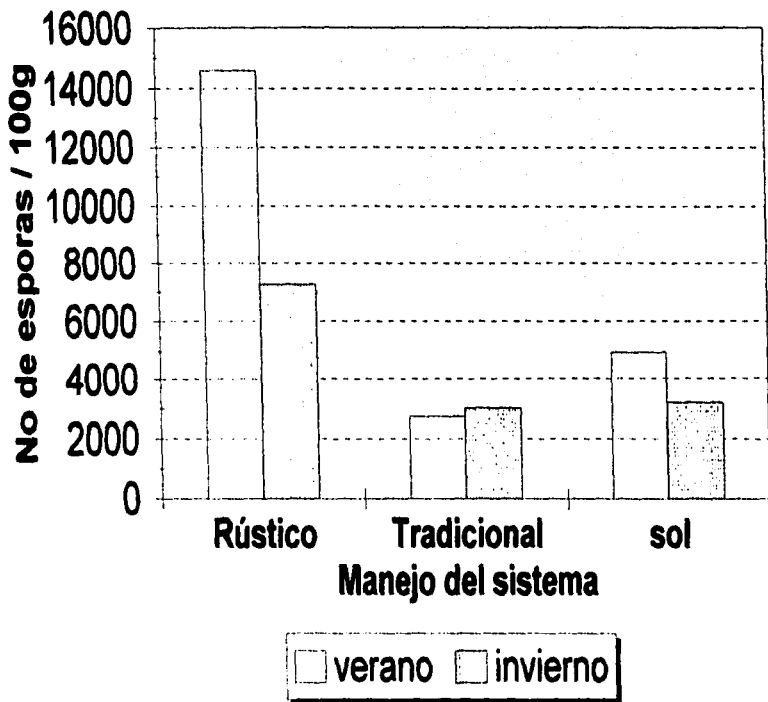


Fig. 8 Número de esporas en diferente manejo en verano e invierno.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo
de café (*Coffea arabica* L.)

confirmado por diversos autores (Hayman, 1987; Sieverding, 1991), aunque otros investigadores señalan que la incorporación de materia orgánica induce a la micorriza a una fase saprofítica, lo que disminuye el desarrollo de dichos hongos en su relación mutualística (Warner y Mosse, 1980; St. John et al., 1983, Warner, 1984).

Es importante destacar que a mayor cantidad de materia orgánica hay una mejor estructura del suelo por tanto una mejor aereación, lo cual va ligado a la necesidades de oxígeno que tienen los hongos, (Griffin, 1972; Alexander, 1984). En cambio en los suelos arcillosos la compactación es mayor y por tanto la circulación de aire está limitada, lo cual concuerda con Manjunath et al (1983) que obtuvieron mejores resultados en suelos arenosos que en suelos arcillosos y lateríticos al hacer pruebas en la absorción de nutrimentos en cítricos.

En cuanto al contenido de materia orgánica se observa una tendencia estrechamente relacionada con el porcentaje de colonización y el número de esporas, fenómeno que se observa en el sistema rústico en donde estos parámetros fueron mayores, lo cual concuerda con la información presentada por Sieverding y Toro (1988).

El contenido de fósforo en el suelo es un indicador importante (Jasper y Davy, 1993 Sieverding, 1991) pues como se puede notar en los sistemas a exposición directa a la luz del sol y sombra tradicional, en donde los suelos presentaban un mayor contenido de fósforo (Cuadro 9), los porcentajes de colonización y número de esporas fueron menores, lo cual es concordante con Deacon (1980) quién establece que la colonización es escasa y hasta inexistente cuando el suelo es rico en nutrimentos.

Por otra parte se ha señalado que, la adición de fertilizantes fosforados y nitrogenados, disminuyen o eliminan la población de hongos endomicorrizico-arbuscular (Gúzman-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990, Sagguin-Junior et al. 1994).

Los análisis de suelo mostraron mayores concentraciones de fósforo en los sistemas con plantas bajo sombra tradicional. Ya que en este sistema se realizan dos fertilizaciones inorgánicas y es muy probable que este permanezca por mas tiempo; debido a la topografía plana del terreno y a la cubierta vegetal de este sistema, en comparación con el terreno a exposición directa del sol en el que la fertilización se realiza en



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

mayor número de veces pero el terreno es accidentado y carece de protección lo que puede originar pérdida del fósforo debido a la erosión hídrica (Cuadro 9)

La humedad del suelo es un factor importante para que se lleve a cabo la germinación de las esporas, así como la colonización (Ferrera-Cerrato, 1989). En el sistema rústico, esta se conserva y es mayor con respecto a los otros sistemas estudiados debido a la capa de maleza que permanece en el agroecosistema por un mayor tiempo en el año y a la capa arbórea cuya densidad es alta. Anderson et al. (1984) encontró una correlación positiva entre la cubierta vegetal y el número de esporas.

Es importante destacar que bajo este sistema de manejo, debido a que la capa arbórea es bastante densa, la entrada de luz está limitada; provocando un escaso crecimiento del estrato herbáceo. La cubierta vegetal puede ser un potencial hospedero para la endomicorriza, al no haber otros hospederos es factible que los hongos tiendan a colonizar con mayor intensidad al hospedero predominante y que la colonización pueda estar también relacionada con este factor. Sin embargo, la poca entrada de luz limita la formación de arbuscúlos (Ferrera-Cerrato, 1989). Los registros de la colonización de estos hongos no revelaron la presencia de las estructuras antes mencionadas.

2) En el sistema a exposición directa de la luz solar, en donde se encuentran porcentajes de colonización y número de esporas contrastantemente bajos al compararlo con el sistema anterior, el contenido de materia orgánica es menor (Cuadro 9). Esto quiere decir que la estructura del suelo no es buena y que tiende a la compactación. Esto favorece un decremento en el crecimiento de las raíces, y por consiguiente disminuye la formación de la endomicorriza (Mulligan et al., 1985; Wallace, 1987; Simmons y Pope, 1988).

Así mismo, se ha demostrado que las alteraciones de la capa superficial del suelo pueden afectar la infectividad de los hongos micorrizicos (Gardner y Malajezuk, 1988, tomado de Jasper y Davy, 1993).

La erosión del suelo es otro factor que puede influir en el bajo nivel de colonización de la endomicorriza en este sistema, tal como menciona Abbot y Robson (1991), que señalan que los niveles más bajos de colonización se encuentran en suelos erosionados y que el reflejo de su insostenibilidad puede



estar determinado tanto por el crecimiento de la planta como por el número de propágulos de los hongos endomicorrizicos.

El contenido de fósforo fue menor en este sistema de cultivo a pesar de que es el sistema con mayor entrada de fertilizantes inorgánicos, debido quizás a que en el terreno se encuentra en una pendiente en donde el P puede ser lixiviado por erosión hídrica.

Otros factores considerables en el porcentaje de colonización reducida que se presenta en el sistema a exposición directa de la luz solar, pueden ser: la temperatura, (Schenck y Smith, 1982 Daniels-Hetrick, 1984), la cual es mayor que en un sistema con sombra y la adición de pesticidas (Sanders, 1990).

3) En el sistema tradicional aunque la cantidad de materia orgánica es mayor que en el sistema a exposición directa de la luz solar, el contenido de fósforo se encontró en mayor cantidad que en los otros sistemas estudiados, lo cual es determinante en el establecimiento de una baja colonización, como se mencionó anteriormente (Ferrera-Cerrato, 1989; Sieverding, 1991; Siqueira et al , 1994).

Aunque en este sistema la aplicación de fertilizante inorgánico se realiza en una proporción menor que en el sistema a exposición directa de la luz solar, (tres fertilizaciones contra dos fertilizaciones por año aproximadamente), cabe señalar que la finca estudiada se encuentra en un terreno plano y que el suelo no es tan susceptible a la erosión por lluvia, el cultivo a exposición directa de la luz solar.

Los factores climáticos son determinantes en el desarrollo y eficiencia de la endomicorriza (Daniels-Hetrick, 1984). Abbot y Robson (1991), demostraron que los cambios estacionales tienen un efecto importante en la micorrización.

El clima en este caso, es similar para los tres sitios estudiados ya que se encuentran en la misma área, sin embargo dentro de cada agroecosistema se dan diferentes microclimas condicionados por la capa arbórea y la densidad de siembra de los cafetos entre otros factores.

En las Figs. 7 y 8 se presenta el comportamiento de la endomicorriza en verano e invierno. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en las dos épocas del año, sin embargo en verano se



**Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo
de café (*Coffea arabica* L.)**

presentó una mayor esporulación y decreció en invierno, tal como ha sido señalado por Wallace (1987) y Simmons y Pope (1988)

Hayman (1970) considera que la esporulación ocurre como respuesta al crecimiento intermitente de la raíz, pero que la producción de esporas probablemente se incrementa después de periodos de crecimiento de estas.

Foth y Turk (1978), señalaron que el crecimiento de las raíces está determinado por diversos factores del medio ambiente.

Braga y Maestri (1987) mencionaron que el agua es un factor que influye en el crecimiento de la raíz. Entonces, de acuerdo con la gráfica hombrotérmica de la región (Fig. 3) antes del verano se tiene una época de lluvias que induce a un mayor crecimiento de la raíz; pero durante el verano existe un periodo de sequía lo cual podría detenerlo y traería como consecuencia una mayor esporulación de acuerdo con lo citado por Hayman (1970); Wallace (1987) y Simmons y Pope (1988).

Por otra parte, los porcentajes de colonización fueron mayores en invierno que en verano, a pesar de que en verano se presenta un periodo corto de sequía, la precipitación reportada para esa época es mayor (Fig.7 y 8) que en el invierno. Sin embargo es de considerarse la elevación de la temperatura.

Sieverding (1991) mencionó que niveles bajos de colonización se presentan en la estación seca, debido a que la falta de agua trae como resultado una menor capacidad de la planta para asimilar nutrimentos y llevar a cabo la fotosíntesis, lo que provoca un decremento en el aporte de fotosintatos necesarios para la endomicorriza, resultando en una baja colonización.

5.1.1 .Análisis del comportamiento de la endomicorriza en los sistemas cafetaleros

La literatura y los resultados obtenidos comprueban que en los ambientes no perturbados, existe un mayor equilibrio para un desarrollo adecuado de la micorriza. Esto contribuye de manera importante en la nutrición de la planta, estructura del suelo, tolerancia a la sequía o enfermedades (Lopes et al. ,1983).



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Sin embargo los rendimientos de grano en cada uno de los sistemas estudiados, no concuerdan con los altos porcentajes de colonización, siendo los mas bajos para el sistema rústico (0.850 kg/ha). Es interesante mencionar que este cafetal presenta un manejo deficiente, debido a que no se practican podas, limpiezas, regulación de la sombra, ni se recepa, actividades importantes en la producción de café.

Es notorio que dentro de los agroecosistemas, la nutrición es un factor que debe ir acompañado de labores de cultivo que permitan alcanzar mejores rendimientos (Barrientos, 1990). Con base en lo anterior se puede plantear que ciertas modificaciones a la tecnología del productor, en donde se omitan los agroquímicos y se empleen eficientemente los recursos bióticos disponibles, daría acceso a mercados de productos "orgánicos" de mejor cotización (IICA-PROMECAFE, 1992).

Con lo anteriormente expuesto podemos decir, que en ecosistemas tropicales, la micorriza arbuscular tiene un papel fundamental en el crecimiento de cultivos como el café; lo cual está en función del manejo del agroecosistema (Siqueira et al. , 1994).

5.2.Efecto de la inoculación de dos cepas endomicorrizicas en cuatro variedades de café (Este estudio se realizo de agosto de 1992 a julio de 1993)

5.2.1. Dinámica del comportamiento de la micorriza durante la fase de vivero.
(Experimento I)

A partir del séptimo mes, después de la inoculación se inició la manifestación de los efectos de la simbiosis en el desarrollo de la planta . Sin embargo, esto no ocurrió para las variables altura, área foliar, número de hojas y volumen radical en el total de la población, por lo que el análisis estadístico, en ese momento no arrojó diferencias significativas entre los tratamientos.

La dinámica de crecimiento de las cuatro variedades inoculadas con los hongos micorrizicos y el testigo se presentan en la Fig.9-12 en donde se observa que hasta los 217 días después de la siembra y la inoculación, aún no se detectan diferencias entre tratamientos. Estos resultan significativamente diferentes hasta los 262 días después de inoculadas.

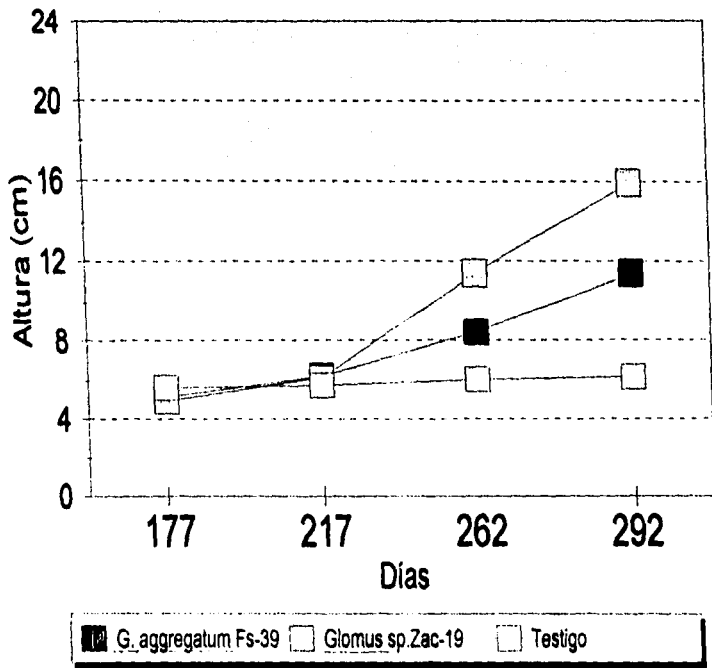


Fig.9. Dinámica de crecimiento de la variedad Catimor con inoculación micorrizica

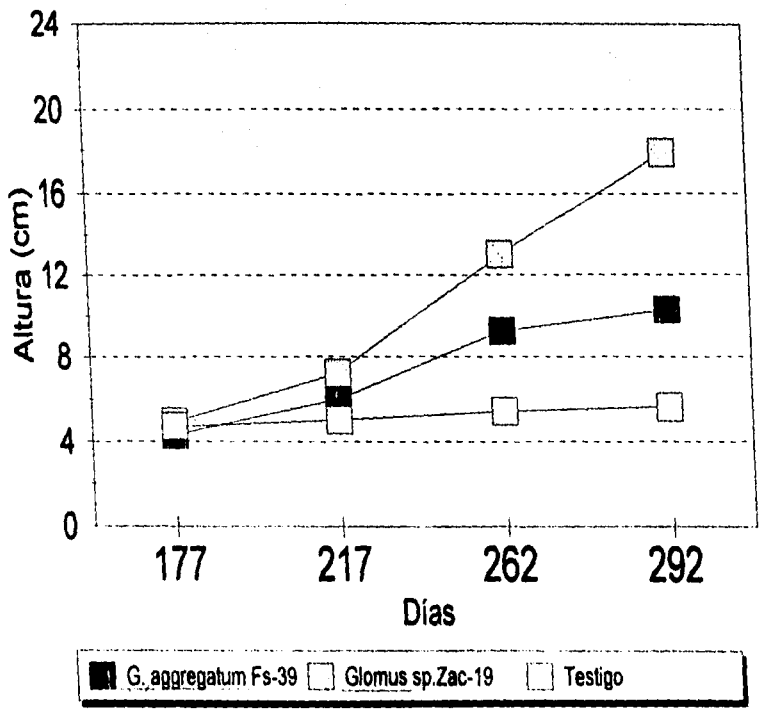


Fig.10. Dinámica de crecimiento de la variedad Caturra con inoculación micorrízica



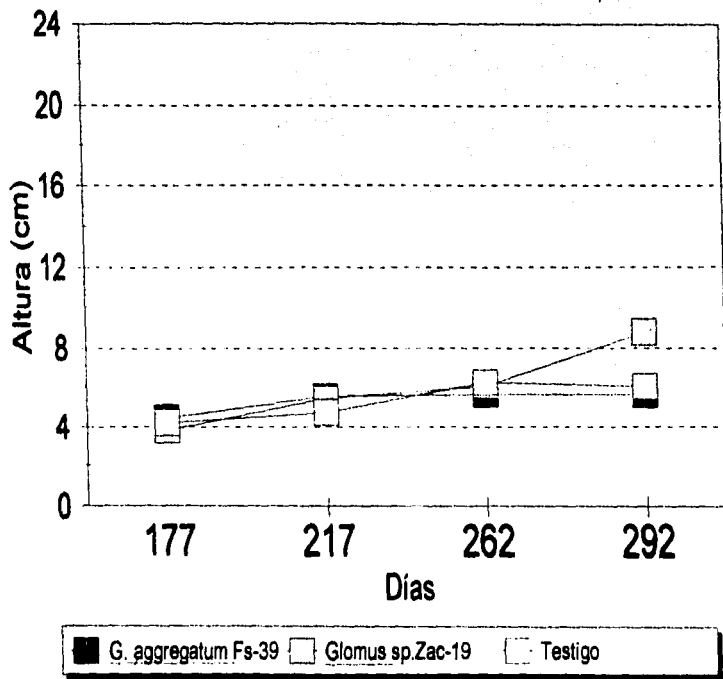


Fig.11. Dinámica de crecimiento de la variedad Catuai con inoculación micorrízica

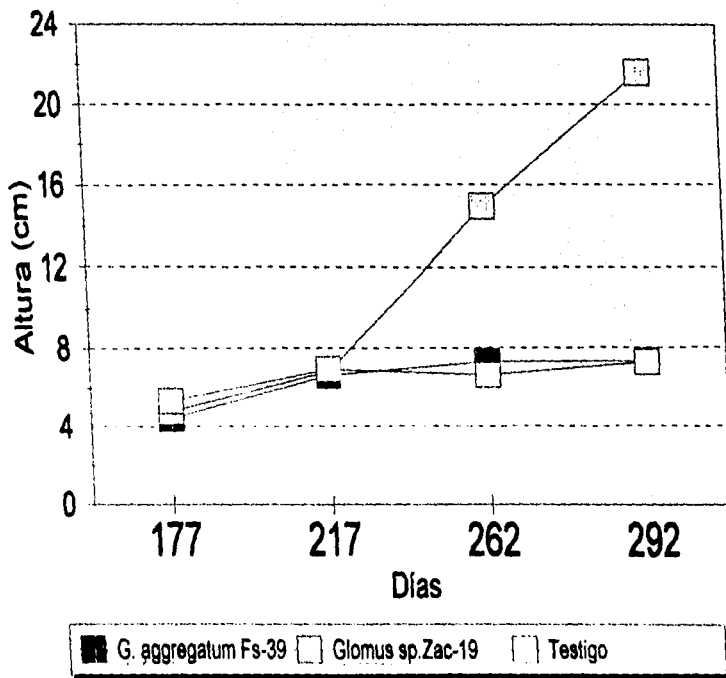


Fig.12. Dinámica de crecimiento de la variedad Garnica con inoculación micorrízica

Incrementos en altura de 115%, 100%, 160%, y 27% con respecto al testigo fueron obtenidos en las variedades Gamica, Catimor, Caturra y Catuai, respectivamente cuando fueron inoculadas con la cepa *Glomus* sp. Zac-19 a los 262 días.

El tiempo de respuesta de las plantas de café a la inoculación, en este experimento coincide con otros estudios realizados en invernadero (Lopes et al., 1983; Vaast y Zasosky, 1992), donde se reporta que en semillero los niveles de colonización son bajos fluctuando del 10% al 11% después de 4 meses de crecimiento, en tanto que a los 7 a 9 meses (210 a 270 días), después de la inoculación aumenta de 50 a 60%.

La cepa de *Glomus aggregatum* FS-39 presentó incrementos en altura menores a los obtenidos con la cepa *Glomus* sp. Zac-19 pero en este caso sólo para las variedades Catimor (90%), Caturra (89%) y Gamica (5%).

A los 292 días se detectaron incrementos en altura de 220.71%, 199%, 160% y 46.66% para las variedades Caturra, Gamica, Catimor y Catuai respectivamente cuando fueron inoculadas con la cepa *Glomus* sp. Zac-19. El efecto de la cepa *G. aggregatum* FS-39 se observó sólo para las variedades Catimor (86%) y Caturra (82%) pero sin cambios para las otras variedades.

El semillero fue establecido fuera de época y las condiciones ambientales, principalmente la temperatura, posiblemente limitó la actividad de la micorriza, como se puede notar en la Fig. 13, el incremento del desarrollo concuerda con una elevación en la temperatura.

En el cuadro 10 se aprecia que a los 262 días los mayores porcentajes de plantas se localizan dentro de las escalas de vigor uno (que se refiere a plantas raquíticas con escaso follaje). Sin embargo, a los 292 días (Cuadro 11), se observa que el mayor porcentaje de plantas están ubicadas en las escalas cuatro y cinco (plantas vigorosas y sumamente vigorosas) que corresponden a los tratamientos inoculados con *Glomus* sp. Zac-19. Para los 292 días las plantas inoculadas se agrupan de la escala tres y cinco encontrándose los más altos porcentajes de plantas vigorosas en Gamica, Catimor y Caturra. En la variedad Catuai no se observó comportamiento diferente entre tratamientos inoculados y el testigo, aunque *Glomus* sp. Zac-19 sí produjo mayor porcentaje de las plantas más vigorosas en Gamica, Catimor, y Caturra.

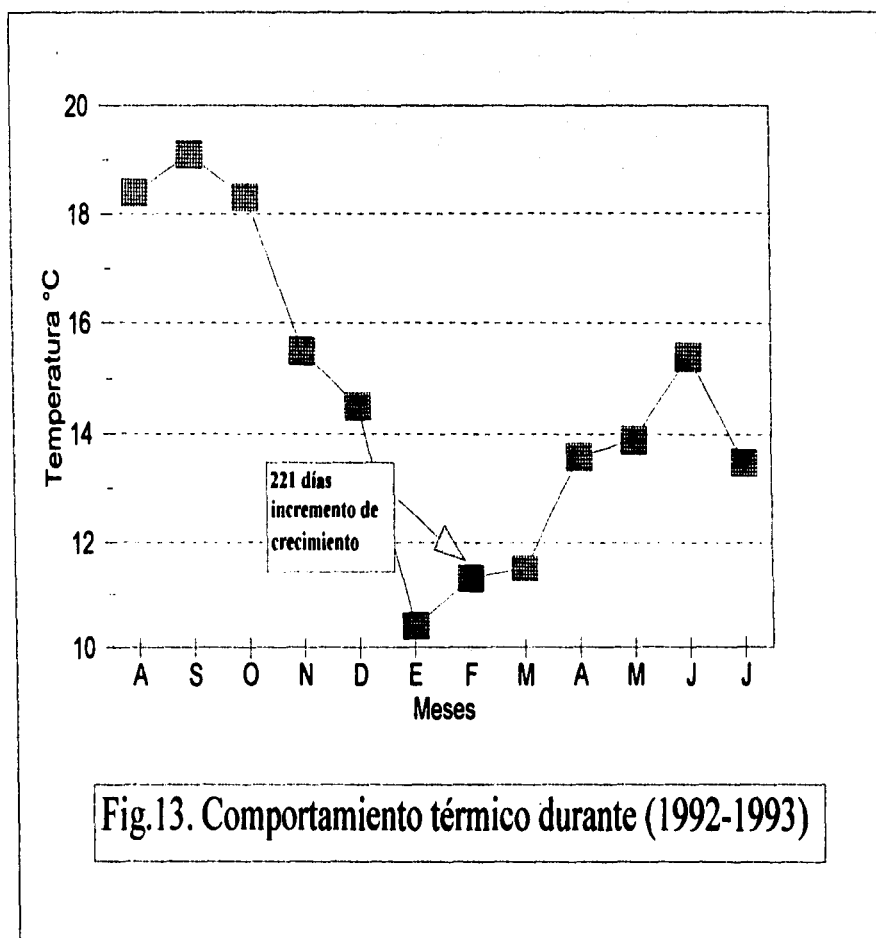


Fig.13. Comportamiento térmico durante (1992-1993)





Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 10. porcentaje de plantas encontradas en la escala de vigor a los 262 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (PORCIENTO)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	15.7	78.9		5.2		
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19		50	38.8	11.1		
	Testigo		94.4		5.5		
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39		95	5			
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19		75	10	5	5	5
	Testigo	5.5	88.8	5.5			
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39		89.4	10.5			
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19		57.8	31.5	10.5		
	Testigo			666	88.8		
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	11.1	83.3	5.			
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19	6.5	87.5	6.25			
	Testigo		86.6	10.8			

Cuadro 11. porcentaje de plantas encontradas en la escala de vigor a los 292 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (Porcentaje)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			26.3	68.4		5.2
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19					50	50
	Testigo			18.7	81.2		
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			5	66.6	25	10
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19				40	26.6	33.3
	Testigo			100			
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			36.8	47.3	15.78	
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19				7.14	50	42.8
	Testigo			100			
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			100			
	<i>Glomus</i> sp. Zao-19			72.7	18.18	9.09	
	Testigo			100			

Una tendencia positiva similar a vigor se observó en la variable sanidad, donde a los 262 días, los mayores porcentajes de plantas con un grado de sanidad dos (plantas con 20% de follaje dañado) se observaron en los tratamientos inoculados con *Glomus* sp. Zac-19. Para las variedades Gármica, Catimor y Caturra (Cuadro12).

En el Cuadro 13 se puede notar que treinta días después (292 días), los mayores porcentajes se localizaron en los grados de sanidad cero (plantas sin daño) y 1 (plantas con un daño de 5%), en las mismas variedades que para vigor, cuando fueron inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19. En este caso se observó un incremento en la tolerancia a patógenos foliares especialmente para *Phoma costarricensis*.

Aunque en porcentajes menores, algunas plantas inoculadas con *Glomus aggregatum* FS-39 también se localizaron en los grados cero y uno , para las variedades Caturra y Catimor. Sin embargo las plantas que no fueron inoculadas, presentaron daño superior a un 20% del follaje, encontrando los mayores porcentajes en la escala 4(60% de follaje dañado) en las variedades Gármica, Catimor y Catuai.

Diversos autores (Ross y Ruthencutler, 1977; Zambolin y Shenck, 1983; Afek et al., 1990; Linderman, 1992) han mencionado que las plantas micorizadas son menos susceptibles al ataque de patógenos de la raíz , aunque los mecanismos mediante los cuales se da este proceso aún no han sido claramente dilucidados. Sin embargo, en este caso se observó mayor tolerancia a patógenos foliares, este hecho puede estar relacionado con la buena nutrición de la planta debido a la simbiosis (Guzmán-Plazola y Ferrera- Cerrato, 1990; Hayman, 1982; Varela y Estrada, 1991), lo que puede permitir una mayor tolerancia al ataque de patógenos.

Los cuadros 14 y 15 se muestra la agrupación de la variable clorosis en donde no se notaron cambios como los manifestados en la variables antes mencionadas.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 12. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de sanidad a los 262 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (Porcentaje)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39				15.78	31.5	47.3
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19			85		5	5
	Testigo			16.6		27.7	55.5
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			30		45	20
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19			55		15	30
	Testigo			6.6	88.88		
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			15.78	73.68	10.5	
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19			73.78	26.31		
	Testigo			26.66			33.3
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			33.3		44.4	22.2
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19			25.4		75	
	Testigo					13.3	86.6

Cuadro 13. porcentaje de plantas encontradas en la escala de sanidad a los 292 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (Porcentaje)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39		13.33	6.6	26.66	40	6.6
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19	80			20		
	Testigo			13.33	26.66	40	20
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	46.66	13.33	40			
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19	46.66	20	6.6	6.6	6.6	
	Testigo			100			
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	33.33		33.33	6.6	33.33	
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19	80		20			
	Testigo			26.66	40	26.66	
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			73.3	20	13.33	
	<i>Glomus</i> sp. Zae-19	18.00	45.45	27.27	9.09		
	Testigo					100	



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 14. porcentaje de plantas encontradas en la escala de clorosis a los 262 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (Porcentaje)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-19				94.73		5.2
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				30	25	45
	Testigo				88.88	5.5	5.5
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39				88.88	5.5	5.5
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				60		40
	Testigo				100		
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39				89.4	5.2	5.2
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				10.5	52.6	36
	Testigo				100		
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39				100		
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				100		
	Testigo				100		

Cuadro 15. Porcentaje de plantas encontradas en la escala de clorosis a los 292 días después de la inoculación.

VARIEDAD	CEPA	ESCALA SUBJETIVA (PORCIENTO)					
		0	1	2	3	4	5
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			26.31	57.89	10.5	5.2
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				20	53.33	26.6
	Testigo				100		
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			6.6	60	20	6.6
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19			20	20	46.6	
	Testigo				100		
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39			20	46.6	26.6	
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19			33.33	13.33	46.6	
	Testigo				100		
Catuai	<i>G. aggregatum</i> Fs-39				100		
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19				100		
	Testigo				86.60	13.3	



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

5.2.2. Efecto final de la simbiosis micorrizica en las variables estudiadas

5.2.2.1. Efecto de la variedad

En las variables estudiadas el factor variedad no mostró diferencias significativas entre las variedades Gamica, Catimor y Caturra, siendo diferente sólo la variedad Catuai a las variedades Gamica y Catimor (Cuadro 16). Presentándose igualdad estadística en la variable altura entre las variedades Gamica, Catimor y Caturra y entre Caturra y Catuai, esta similitud en tamaño entre variedades comprueba que todas presentan el mismo porte, y esto seguramente se debe a que su comparten un mismo patrón genético, ya que derivan de un mismo progenitor (Rivera, 1990).

Cuadro 16. Efecto de la variedad sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas

VARIEDAD	ALTURA	VOLUMEN	PESO SECO	AREA FOLIAR
Gamica	15.19a	8.32 a	2.24a	142.06a
Catimor	12.63 a	7.53 a	2.36a	138.65a
Caturra	11.66 ab	7.83 a	2.31a	144.56a
Catuai	6.77 b	1.61 b	.84b	31.13b

Las ras iguales muestran igualdad estadística (Tukey α 0.05)
Resumen estadístico en el cuadro 1 del apéndice

5.2.2.2. Efecto de la simbiosis

El factor simbiosis manifestó diferencias significativas entre tratamientos donde los mejores fueron aquellos inoculados con las cepas de hongos endomicorrizicos (Fig.14). La cepa *Glomus* sp. Zac-19 superó a *Glomus aggregatum* Fs-39 en todas las variables estudiadas (Cuadro 17).

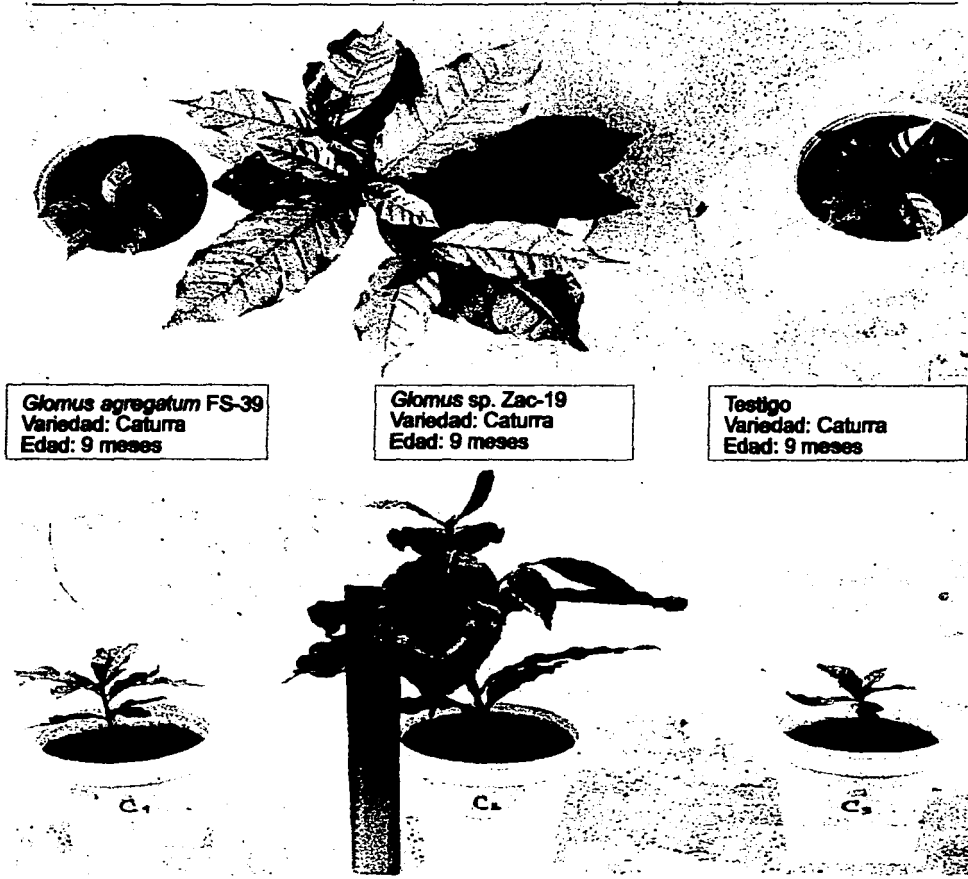
Cuadro 17. Efecto de la cepa sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas de café

Tratamiento	Variable			
	Altura	Volumen de raíz	Peso seco	Area foliar
<i>Glomus aggregatum</i> FS-39	8.43b	4.32b	1.25b	82.95b
<i>Glomus</i> sp Zac-19	17.36a	13.20a	4.04a	225.96a
Testigo	8.77b	1.45c	.38c	33.39c

Las ras iguales muestran igualdad estadística (Tukey α 0.05)
Resumen estadístico en el cuadro 1 del apéndice

Los incrementos obtenidos en las plantas inoculadas con *Glomus* sp. Zac-19 fueron de 94%, 810.97%, 576.74% y 968.51% para altura, área foliar volumen radical y peso seco respectivamente. *Glomus*

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)



Glomus agregatum FS-39
Variedad: Caturra
Edad: 9 meses

Glomus sp. Zac-19
Variedad: Caturra
Edad: 9 meses

Testigo
Variedad: Caturra
Edad: 9 meses

C₁

C₂

C₃

Fig. 14. Efecto de la la simbiosis en la variedad Caturra: observese las plantas inoculadas con Glomus sp



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

aggregatum FS-39 presentó incrementos con respecto al testigo solo para las variables área foliar, volumen radical y peso seco (Fig. 15).

La cepa *Glomus* sp. Zac-19 resultó ser la más efectiva en un trabajo realizado por González-Chávez y Ferrera-Cerrato, (1993) y solo superada por un complejo de endofitos nativos de café.

Es importante destacar que la cepa *Glomus* sp. Zac-19 ha probado ser altamente eficiente, cuando ha sido probada en los cultivos de papaya, (Jean, 1987; Sánchez-Espindola et al., 1993) cítricos, (Torres-Aquino et al., 1992) *Sesbania emerus* (Khalil et al., 1992) entre otros.

5.2.2.3. Efecto de la interacción variedad-cepas

En la interacción cepa-variedad, la simbiosis más eficiente fue aquella establecida entre la cepa *Glomus* sp. Zac-19 y la variedad caturra, para las variables: altura, peso seco y área foliar (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de la interacción variedad-cepas en el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.

Variedad	Cepa	Altura (cm)	Peso seco (g)	Área foliar (cm) ²	Volumen radical (cm) ³
Garnica	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	.51bc	.81bc	40.29cd	1.77cd
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	5.45a	5.45a	341.62a	20.80a
Garnica	Testigo	.45bc	.45bc	44.27cd	2.40cd
Catimor	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	2.12b	2.12b	143.23bc	7.23c
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	4.49a	4.49bc	238.39ab	13.93b
Catimor	Testigo	.47bc	.47bc	34.55d	1.43cd
Caturra	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	1.93bc	1.93bc	114.65cd	6.77cd
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	4.79a	4.73a	290.97a	15.71cb
Caturra	Testigo	.27c	.27c	28.06cd	1.01d
Cataui	<i>G. aggregatum</i> Fs-39	.41c	.41bc	33.62d	1.53cd
	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	1.43bc	1.19bc	32.88d	2.35cd
Cataui	Testigo	.33c	.33c	26.88d	.95d

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey < 0.05)
Resumen estadístico en el cuadro 1 del apéndice

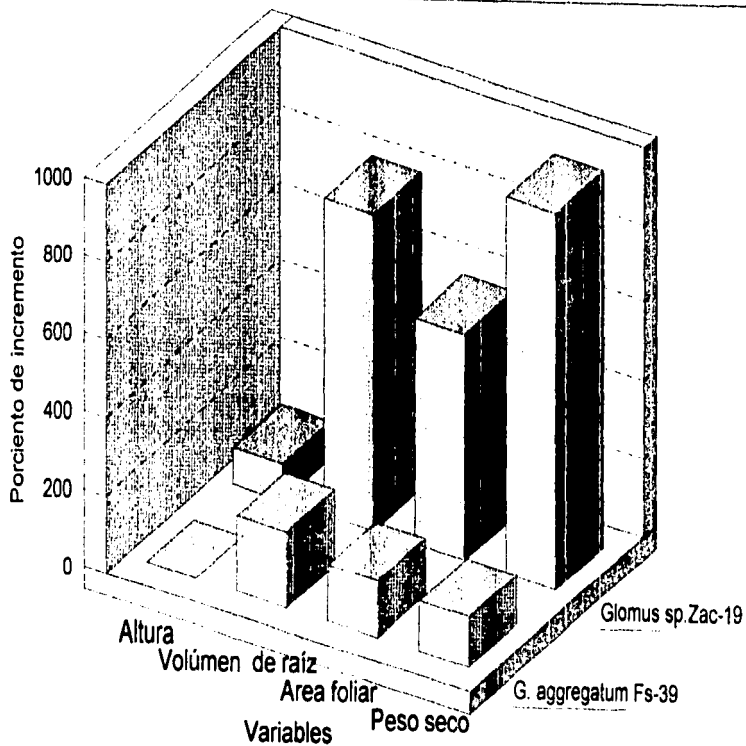


Fig. 15. Incremento respecto al testigo por efecto de la cepa en las variables estudiadas.



Para la variable volumen radical el mejor tratamiento se presentó en la variedad Gamica, cuando se inoculó con *Glomus* sp. Zac-19. Sin embargo los mas altos incrementos con respecto al testigo se presentaron consistentemente en la Caturra (Fig.16-17), cuando se inoculó con la cepa *Glomus* sp. Zac-19.

Los incrementos con respecto al testigo en cada uno de los tratamientos, reflejan la eficiencia del endofito, ya que los valores de cada una de las variables pueden estar influenciadas por las características genéticas de cada una de ellas.

Por otra parte, las variedades Gamica y Catimor también presentaron incrementos considerables cuando se inocularon con *Glomus* sp. Zac-19.

La cepa *G. aggregatum* solo se manifestó de manera constante en las variedades Catimor y Caturra (Figs.16,17,18 y 19). La variedad Catuai no respondió favorablemente a la inoculación micorrizica en las variables estudiadas.

Los resultados anteriormente mostrados indican que cuando los hongos endomicorrizicos no son específicos, ciertos hospederos pueden ser mas eficientes para estimular el crecimiento de los hongos y viceversa (Mars y Daniels, 1976; Anderson, 1988; Bethlenfalvay, 1992).

Aunque las variedades estudiadas tienen un mismo progenitor (Caturra), las variaciones genéticas entre las mismas pudieran estar involucradas en la diferente susceptibilidad al desarrollo del hongo. El hospedero puede ser determinante en el desarrollo ya que el crecimiento del hongo dentro de la raíz tal vez sea atribuido a moléculas específicas que están dentro de los exudados de la raíz del hospedero, donde un fenómeno de reconocimiento hongo-hospedero puede estar implicado (Gianinazzi-Person et al., 1990)

Graham et al. (1981) observó que el hospedero tienen una influencia importante en el desarrollo de hongos endomicorrizicos. Este efecto se encontró en el cultivo de sorgo, en el cual las raíces excretaban cantidades crecientes de azúcares, lo que aparentemente promueve la germinación de esporas y crecimiento del hongo dentro de las células de la raíz.

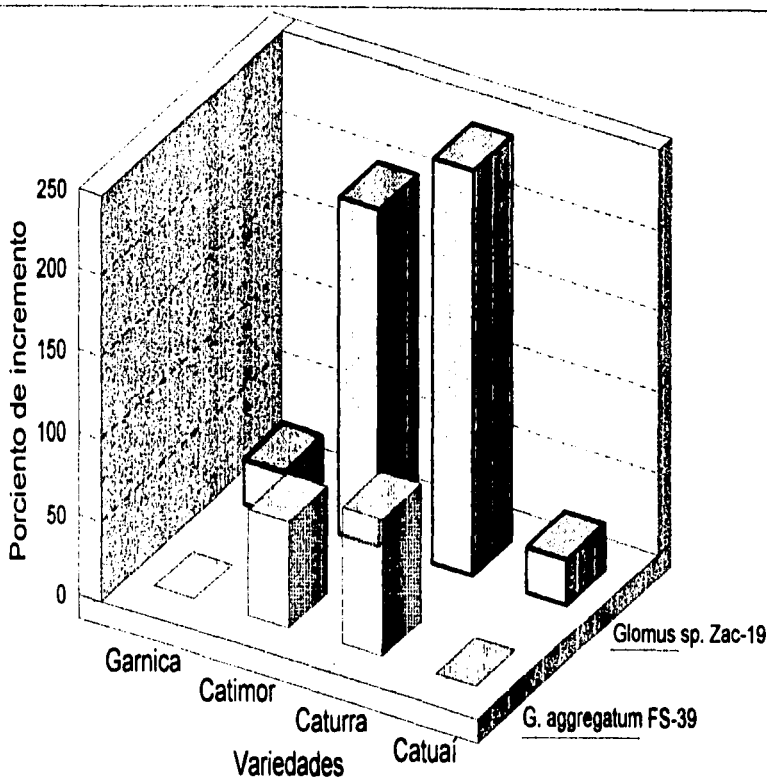


Fig.16. Incremento en altura respecto al testigo en cuatro variedades de café.

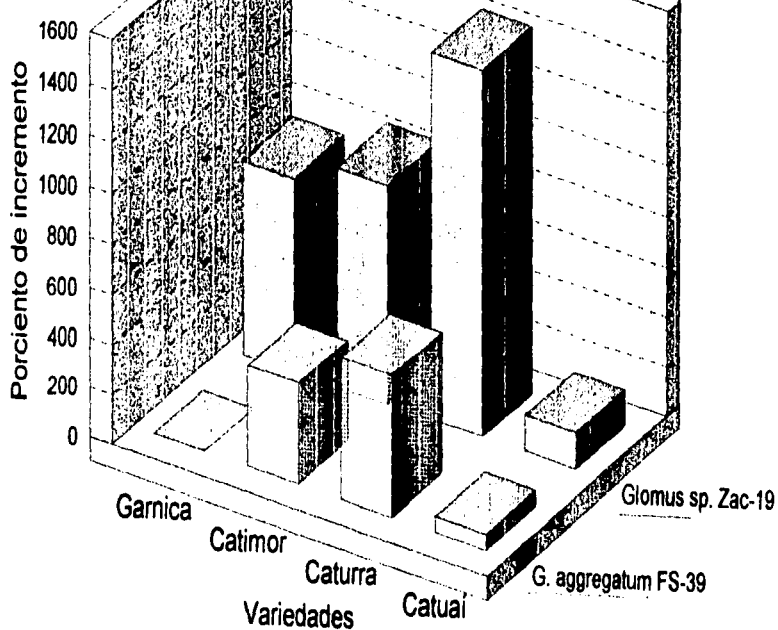
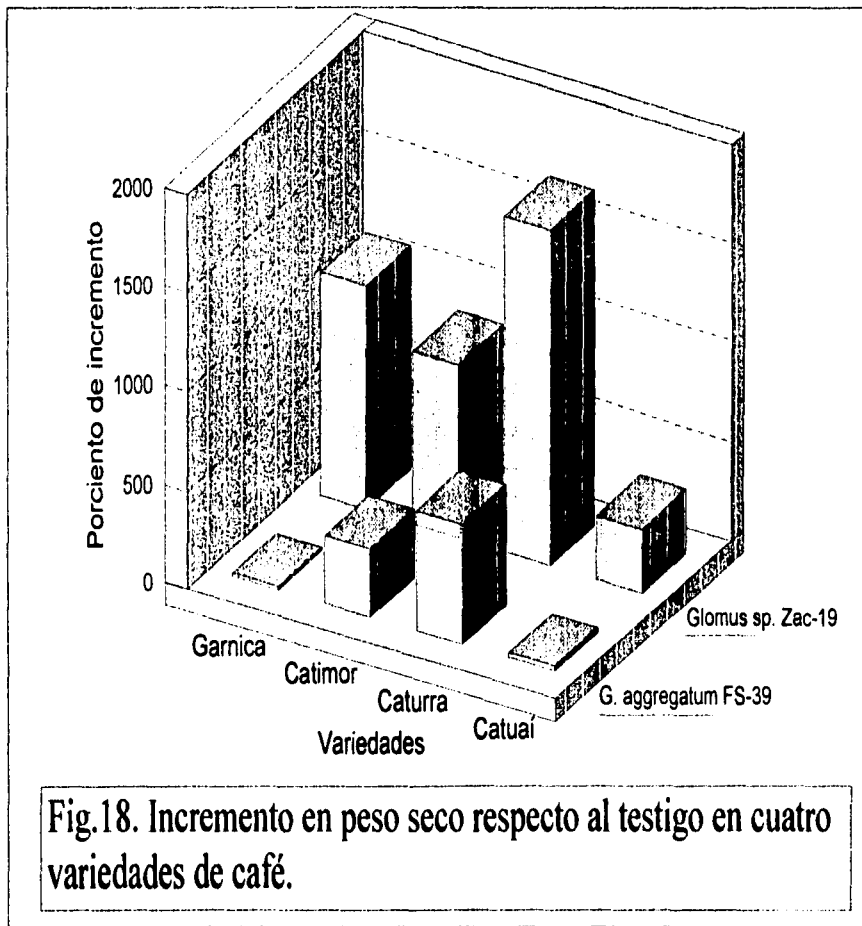


Fig.17. Incremento en volumen de raíz respecto al testigo en cuatro variedades de café.



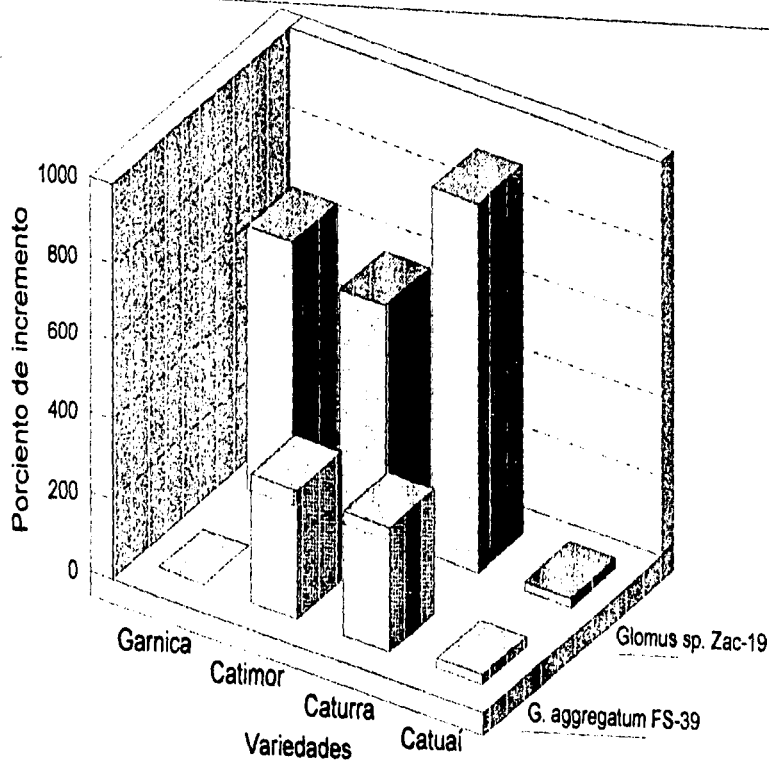


Fig.19. Incremento en área foliar respecto al testigo en cuatro variedades de café.

Así, pues la variedad Catuai que no presentó respuesta a la inoculación, puede carecer de algunos de los fenómenos de reconocimiento antes mencionados para las cepas estudiadas. Lo anterior no descarta la posibilidad de una mayor respuesta a otras cepas de alta eficiencia o de cepas de endofitos nativos de café.

5.2.2.4. Absorción de fósforo por las plantas inoculadas

La inoculación micorrizica favoreció la traslocación del fósforo, ambas cepas promovieron incrementos (Fig.20) con respecto al testigo (cada una de las variedades sin inocular). Este efecto ha sido reportado por algunos autores como Bell et al., 1989; Bolan y Robson, 1983; Bolan, 1991; Eason et al., 1991; Koide, 1990; Marscher y Dell, 1994.

Plantas inoculadas de la variedad Catuai que no habían mostrado incrementos considerables, en las variables anteriormente analizadas presentaron un incremento de 260% con respecto al testigo con la cepa *Glomus* sp Zac-19. Este hecho nos indica que la expresión del efecto de la inoculación micorrizica no necesariamente se manifiesta en cambios morfológicos sino en modificaciones en la fisiología de la planta, que pueden tener implicaciones positivas a largo plazo en la sobrevivencia y desarrollo de la planta.

5.2.2.5. Colonización y población de los hongos endomicorrizicos

Los porcentajes de colonización en las variables estudiadas con las diferentes cepas se presentan en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Porcentaje de colonización total en las cuatro variedades estudiadas

Cepa	Variedad			
	Gamica	Catimor	Caturra	Catuai
<i>G. aggregatum</i> 18-39	9.7%	23.5%	10.40%	0.10%
<i>Glomus</i> sp. Zac-19	34.32%	27.42%	16.53%	15.44%

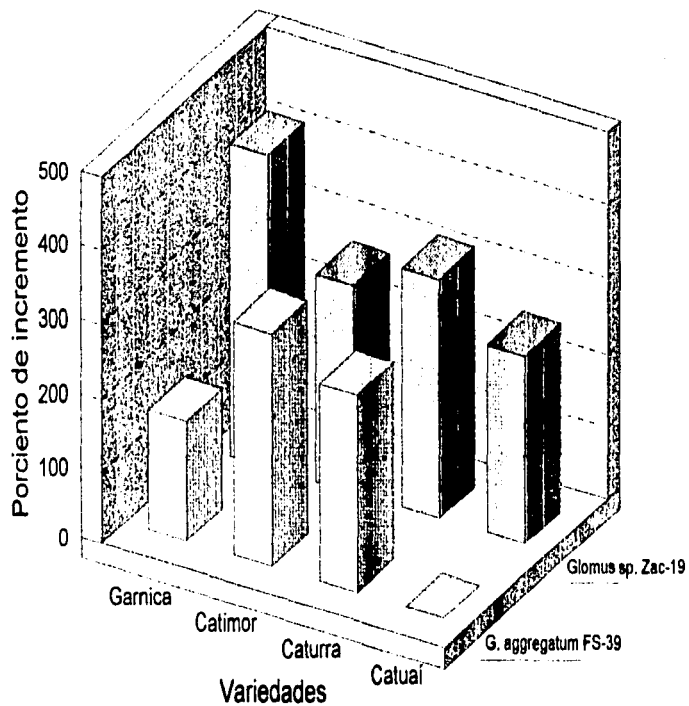


Fig. 20. Incremento en el contenido de P en plantas de café inoculadas con hongos endomicorrizicos.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

El porcentaje mas alto se detectó en la variedad Garnica con la cepa *Glomus* Zac-19.(34%), **Siqueira y Colozzi-Filho, (1986)** en un estudio realizado en café, encontraron que se presenta una relación positiva cuando las tasas de colonización se encuentran entre 15-30% y que cuando los porcentajes son mayores se promueven incrementos superiores en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos autores mencionan que tasas de colonización entre 10 y 15 presentan un efecto negativo.

Sin embargo en este estudio los porcentajes de colonización bajos, promovieron altos incrementos en las variables estudiadas (Fig. 16, 17, 18 y 19) excepto en la variedad Catuai, lo que concuerda con lo reportado por **Sieverding (1989)**, señala que altos porcentajes de colonización no necesariamente están relacionados con la efectividad. En algunos casos depende de las condiciones ambientales y en otros dependen del hospedero. Así mismo, **Lopes et al.(1983)** y **Antunez et al. (1988)** obtuvieron porcentajes menores a 50% en plantas de café, lo cual fue suficiente para promover el desarrollo fisiológico y morfológico de las plantas de café en vivero.

Sin embargo se observó una relación porcentaje-efectividad, ya que aunque los porcentajes de colonización fueron bajos, la cepa *Glomus* sp. Zac-19 que resultó ser mas efectiva presentó las mayores tasas de colonización y la cepa *G. aggregatum* FS-39 que fue menos eficiente presentó menor colonización (Cuadro 19).

En cuanto al número de esporas, está acorde con el porcentaje de colonización ya que las mas altas cantidades de esporas se encontraron en la cepa *Glomus* sp. Zac-19 asociada a la variedad Caturra (Cuadro 20), Por lo que una perfecta asociación mutualistica es ejemplificada en este caso, ya que el hongo promovió el mejor desarrollo de la planta y la planta permitió un buen crecimiento de la población micorrízica.

Cuadro 20. Número de esporas en 100g de suelo en cada una de las variedades estudiadas

Cepa	Variedad			
	Garnica	Catimor	Caturra	Catual
<i>G. aggregatum</i> Fs-39	2170	2953	3721	1987
<i>Glomus</i> sp. Zac-19	4128	4767	6469	2395

El número de esporas encontradas en este trabajo fueron mayores a las reportadas por (**Lopes et al. ,1983 ; Parra et al., 1990 y Martínez et al., 1987**). Estos autores reportan que la población de esporas está

Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

determinada por factores ambientales, lo cual también se considera en este trabajo, a pesar de que se muestra una tendencia proporcional en relación huésped-hongo, (Cuadro 20) observándose que la variedad Caturra que fue la mas beneficiada en tanto que la variedad Catuai la que fue menos beneficiada.

5.3. Efecto de la materia orgánica, roca fosfórica y micorriza vesiculo arbuscular. (Experimento 2)

Los efectos de la micorriza se manifestaron a los 110 días después de la inoculación principalmente en la variable altura , la cual ha sido considerada por Siqueira y Colozzi-Filho (1986), como un buen indicador de la eficiencia de la micorriza.

El tiempo de respuesta de las plántulas de café a la inoculación con hongos endomicorrizicos, fue considerablemente pequeño en comparación con el experimento 1 (262 días) y a los trabajos realizados por González-Chávez y Ferrera-Cerrato, (1993) (150 días), concordando con las investigaciones realizadas por Siqueira y Colozzi-Filho, (1986).

Lo anterior pudo atribuirse a que la inoculación se llevó a cabo cuando las plántulas contaban ya con un par de hojas cotiledoneales, tal como se realizó en otros estudios (Colozzi-Filho y Siqueira ,1986; González-Chávez y Ferrera Cerrato, 1993) las cuales permiten la formación de fotosintatos de donde proviene la fuente de energía necesaria para la sobrevivencia de los hongos endomicorrizicos (Azcon y Barea, 1980).

Suponemos entonces que el desarrollo de los hongos endomicorrizicos se ve afectado negativamente por la ausencia de carbono cuando no se lleva a cabo la fotosíntesis, si la inoculación se verifica durante el período de germinación de la semilla.

Aunque de manera general, concluimos que los tratamiento inoculados fueron mejores que los no inoculados, la interacción entre los factores estudiados presentó diferentes efectos



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

5.3.1. Efecto del sustrato

El factor sustrato mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos. Se encontró una respuesta positiva a la adición de materia orgánica (pulpa de café descompuesta).

En la variable altura se encontraron diferencias altamente significativas. Observando el mejor tratamiento cuando se adicionó materia orgánica (Cuadro 21), presentándose incrementos en tamaño de un 71.50 %, 88.20%, 88.86 para los contenidos 40%, 50%, y 60% de materia orgánica en el sustrato respectivamente (Fig.21).

Cuadro 21. Efecto del sustrato sobre el desarrollo y crecimiento de plantas de café.

Tratamiento	Variable			
	Altura (cm)	Peso seco (g)	Área foliar (cm) ²	Volumen de raíz (cm) ³
S100%(testigo)	16.28c	4.48c	19.30d	4.18b
S60%-MO40%	27.88b	10.93 b	40.83c	5.82a
S50%-MO50%	30.15a	14.08 a	45.79b	5.48a
S40%-MO60%	30.7a	14.79 a	49.04a	5.64a

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey - 0.05)

Resumen del análisis estadístico en el Cuadro 2 del apéndice

El peso seco se vio también influenciado favorablemente con la incorporación de materia orgánica observándose incrementos de 143.43%, 198.95%, 230.30% a medida que se incrementó el contenido de materia orgánica en relación al testigo (Fig 21).

El área foliar presentó efectos estadísticamente diferentes (Cuadro 21) observándose una respuesta favorable directamente proporcional al incremento de materia orgánica (Fig.21).

El volumen radical reportó concordantemente a las variables antes mencionadas, diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 21), siendo los mejores tratamientos aquellos en donde la materia orgánica esta presente (Fig. 21)

Esto indica que la materia orgánica juega un papel fundamental en el crecimiento de la planta de café como lo han constatado, varios investigadores (Barrientos, 1990; López,1990; Rodríguez et al., 1992; Salazar y Mestre, 1993). Ya que la materia orgánica mejora la estructura del sustrato permite una mejor aireación y con esto mejora la porosidad del suelo favoreciendo entonces la asimilación de nutrimentos. Por otra parte esta adecuada disponibilidad de nutrimentos permite una mejor adaptabilidad a los cambios ambientales.

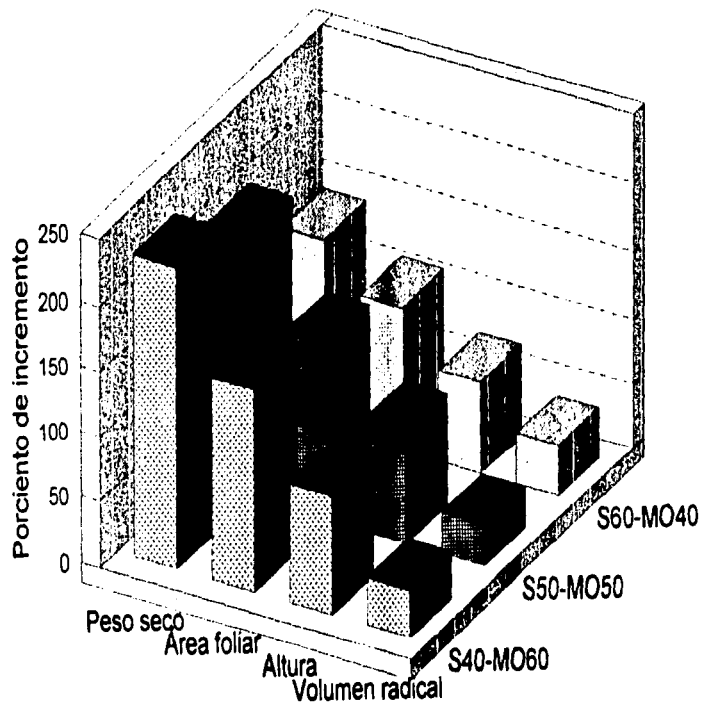


Fig. 21. Incrementos con respecto al testigo (100% suelo) en sustratos con diferente contenido de materia orgánica.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Los más altos porcentajes de incrementos con respecto al testigo influenciados por el efecto del **substrato** fueron altura y área foliar como se puede observar en la Fig. 21, con lo cual se puede decir que estos son buenos indicadores de la respuesta a la simbiosis.

5.3.2. Efecto del factor cepa

Para el factor **cepa** se encontró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 22) siendo el endófito más eficiente *Glomus sp. Zac-19*, seguida por la cepa *Glomus aggregatum* Fs-39, para las variables altura y volumen radical (Fig.22)

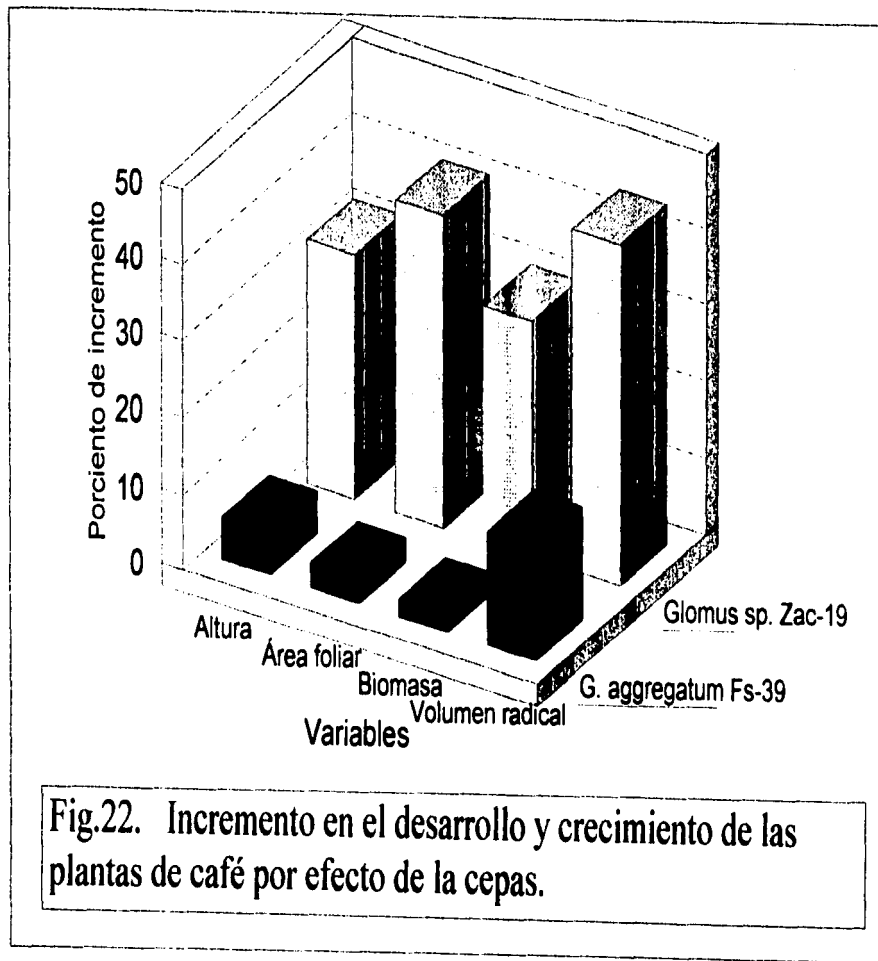
Cuadro 22. Efecto de la cepa sobre el desarrollo y crecimiento de las plantas de café

Tratamientos	Variables			
	Altura (cm)	Área foliar (cm) ²	Peso seco (g)	Volumen de raíz (cm) ³
Testigo	23.35 c	33.75 b	11.42 b	4.40 c
<i>Glomus sp. Zac-19</i>	30.76 a	47.58 a	12.59 a	6.37 a
<i>G. aggregatum</i> FS-39	24.67 b	34.88 b	11.23 b	5.07 b

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey < 0.05)
Resumen del análisis estadístico en el Cuadro 2 del apéndice

Como se puede observar en el Cuadro 22, el mejor tratamiento se presentó con la inoculación de *Glomus sp Zac-19*, estos datos son similares a los obtenidos por González-Chávez y Ferrera-Cerrato (1993), para la variedad Caturra. Aunque en la variedad Typica la altura tuvo un comportamiento similar al observado en el presente estudio, en el volumen de raíz se nota que existe discrepancia entre los resultados de este trabajo y los obtenidos por González-Chávez y Ferrera-Cerrato (1993), donde reportan una respuesta de las plántulas de *G. aggregatum* Fs-39, superior a la de *Glomus sp. Zac-19*.

La inoculación de hongos micorrizicos en plántulas de café en etapa de vivero, han producido efectos positivos sobre el crecimiento y desarrollo de estas plantas, en diversas variedades cuando se han utilizado cepas nativas o extranjeras. (Lopes, 1983; Caldeira et al., 1983; Antunez et al., 1988; Jimenez, 1989; Parra et al., 1990; Fernández, 1992; Saggin-Junior et al., 1992; González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 1993; Siqueira et al., 1993 y 1994), por lo que los hongos micorrizicos representan un potencial importante en la nutrición de las plantas en etapa de vivero.



5.3.3 Efecto de la interacción cepa-substrato

La interacción entre substrato y cepa revela diferencias altamente significativas (Cuadro 23), los mejores tratamientos fueron aquéllos en los que se adicionó materia orgánica y *Glomus* sp. Zac-19.

Cuadro 23. Efecto de la interacción entre cepa y substrato sobre el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.

Tratamiento		Variable				
Substrato	Cepa	Altura	Área foliar	Peso seco	Volumen de raíz	
Suelo+MO*	(%)	(cm)	(cm) ²	(g)	(cm) ³	
100	<i>G. aggregatum</i> FS-39	13.44 f	12.55 e	3.47 h	3.90 f	
100	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	24.43 e	35.74 d	7.59 g	6.37 ab	
100	Testigo	10.96 g	9.62 e	2.38 h	2.28 g	
60+40	<i>G. aggregatum</i> FS-39	25.55 de	35.02 d	9.70 f	5.70 bcde	
60+40	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	31.85 b	49.46abc	12.32 de	7.12 a	
60+40	Testigo	26.25 d	38.01 d	10.76 ef	4.65 def	
50+50	<i>G. aggregatum</i> FS-39	29.93 c	45.39 c	13.61 cd	4.52 ef	
50+50	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33.66 a	53.15 a	16.35 a	6.26 ab	
50+50	Testigo	26.85d	38.82 d	12.29 de	5.68 bcde	
40+60	<i>G. aggregatum</i> FS-39	29.76c	46.58 bc	14.07 bed	6.17 abc	
40+60	<i>Glomus</i> sp. Zac-19	33.71ab	51.97 ab	15.86 ab	5.74 bed	
40+60	Testigo	29.35e	48.56 abc	14.45 abc	5.01 cdef	

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey's: 0.05)
Resumen del análisis estadístico en el Cuadro 2 del apéndice
*MO= materia orgánica

Sin embargo, la mayor expresión de la simbiosis se observa cuando el substrato carece de materia orgánica, ya que los incrementos en altura con respecto al testigo, son inversamente proporcionales a la adición de pulpa de café (Fig.23 y 24).

Es interesante notar que cuando la expresión de la simbiosis no se refleja en incrementos de altura con respecto al testigo, la adición de materia orgánica tiene una acción directamente proporcional sobre la colonización micorrizica (Fig.25). Esto quiere decir que altos porcentajes de materia orgánica permiten un

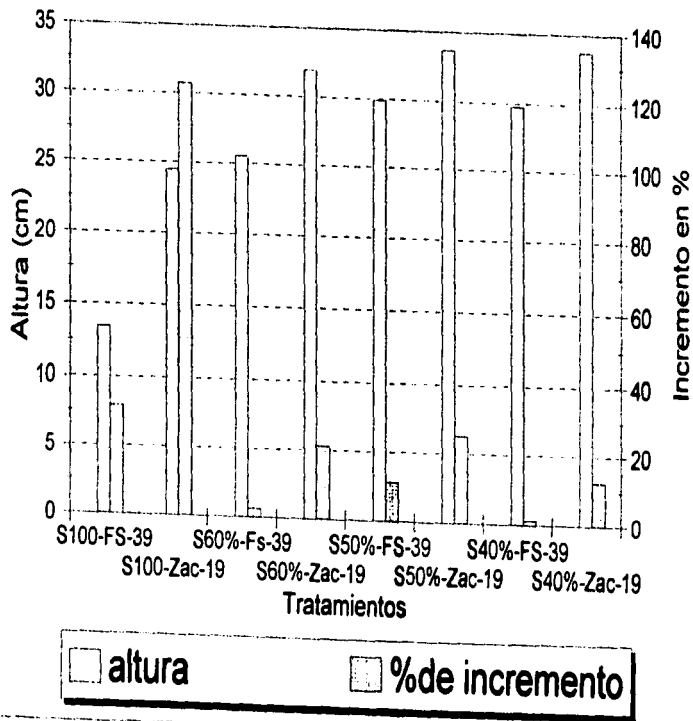
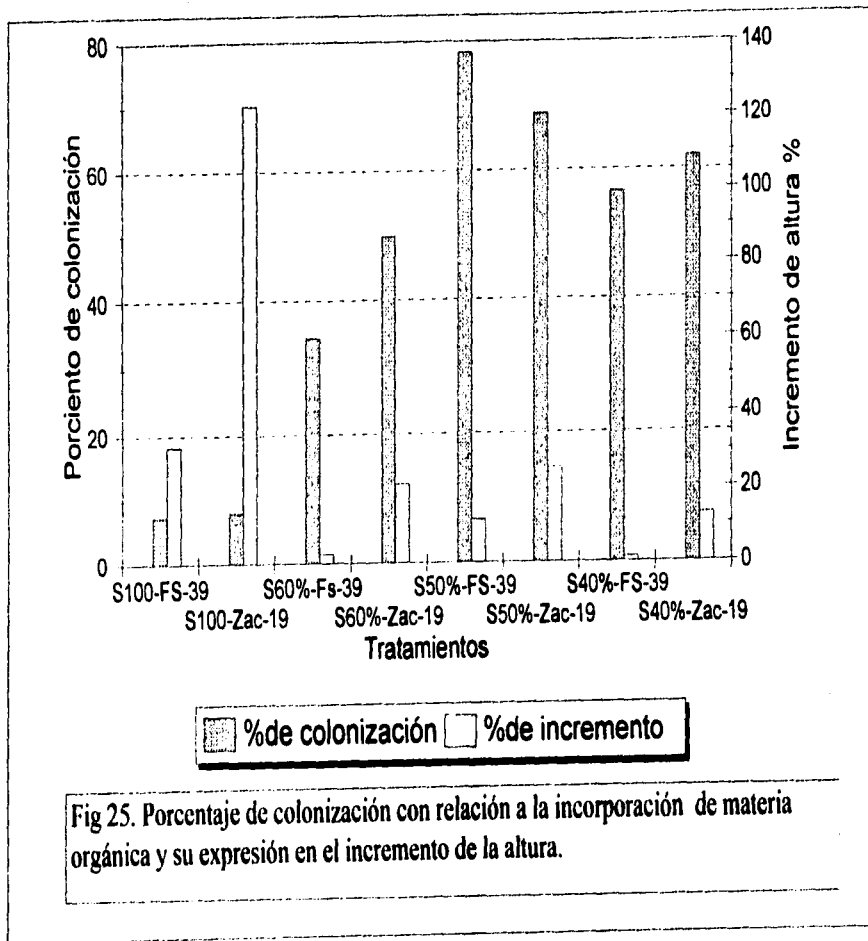


Fig. 23. Altura y expresión de la simbiosis con relación al contenido de materia orgánica.



Figura 24. Efecto de la simbiosis en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café variedad Typica, en un sustrato de 100% suelo más roca fosfórica





buen desarrollo de hongos micorrizicos, resultados similares se obtuvieron el estudio ecológico realizado en campo; en donde el sistema de producción rico en materia orgánica presentó un porcentaje de colonización parecido.

Así mismo otros autores (Hayman, 1987; Sieverding, 1991; Matias-Crisotomo y Ferrera-Cerrato, 1993), indican que la incorporación de materia orgánica tiene una influencia positiva sobre el efecto de los hongos endomicorrizicos.

Las variables altura y área foliar fueron incrementadas en 122% y 27% respectivamente con la cepa *Glomus* sp. Zac-19, sin embargo como se puede notar en las Figs. 26 y 27, el incremento de materia orgánica a la mezcla del sustrato disminuyó el porcentaje de incremento con respecto al testigo.

El volumen radical presentó incrementos con respecto al testigo, sin embargo no mostró una tendencia definida similar a las variables antes mencionados (Fig 28).

La cepa *G. aggregatum* Fs-39 no mostró tendencia definida con respecto a la adición de materia orgánica para ninguna de las variables estudiadas e incluso presenta decrementos en algunos de los sustratos que contienen materia orgánica (Fig 26,27,28 y 29)

Sin embargo el análisis antes mencionado no se contrapone a la eficiencia de la micorriza cuando se adiciona materia orgánica.

La cepa *Glomus* sp. Zac-19 presentó los mejores incrementos excepto en la variable volumen en la mezcla 40-60, cuando el sustrato contenía materia orgánica.(Fig. 26,27,28 y 29)

5.3.4.Efecto de la roca fosfórica

Con respecto a la roca fosfórica no se manifestaron diferencias significativas en el análisis de varianza para ninguna de las variables estudiadas. Este efecto probablemente se debe a que los contenidos de fósforo existentes en el sustrato suplían los requerimientos de la planta para esa etapa.

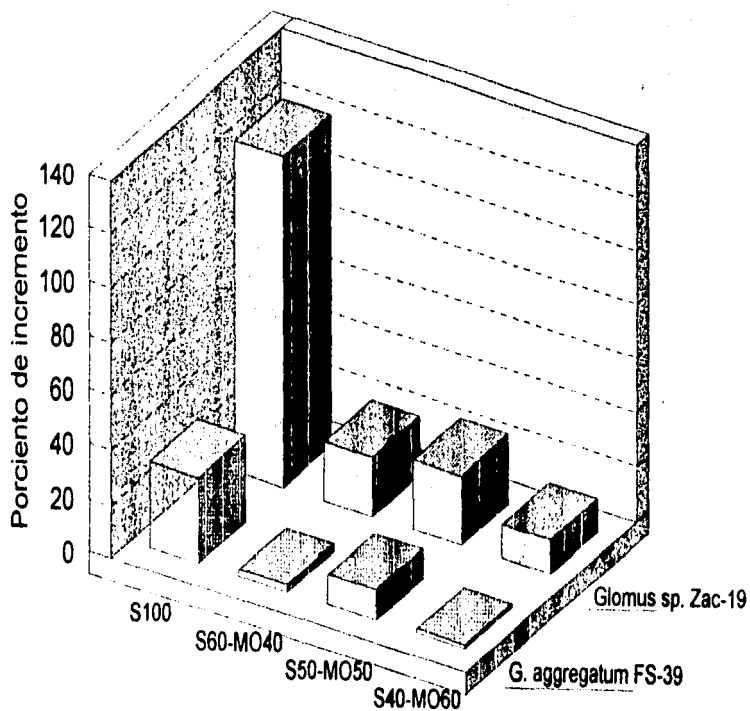


Fig. 26. Incremento en altura con respecto al testigo (sin inocular) con el efecto de la cepa micorrizica.

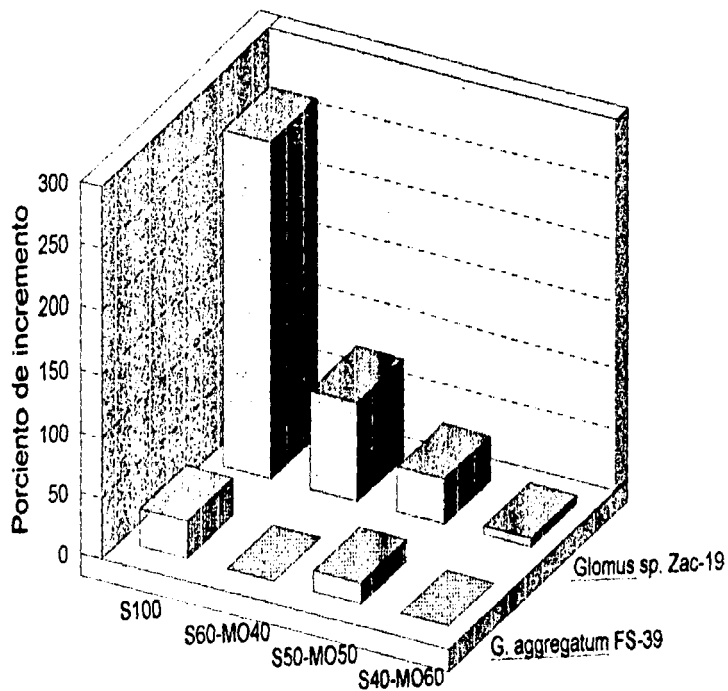


Fig. 27. Incrementos en área foliar con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.

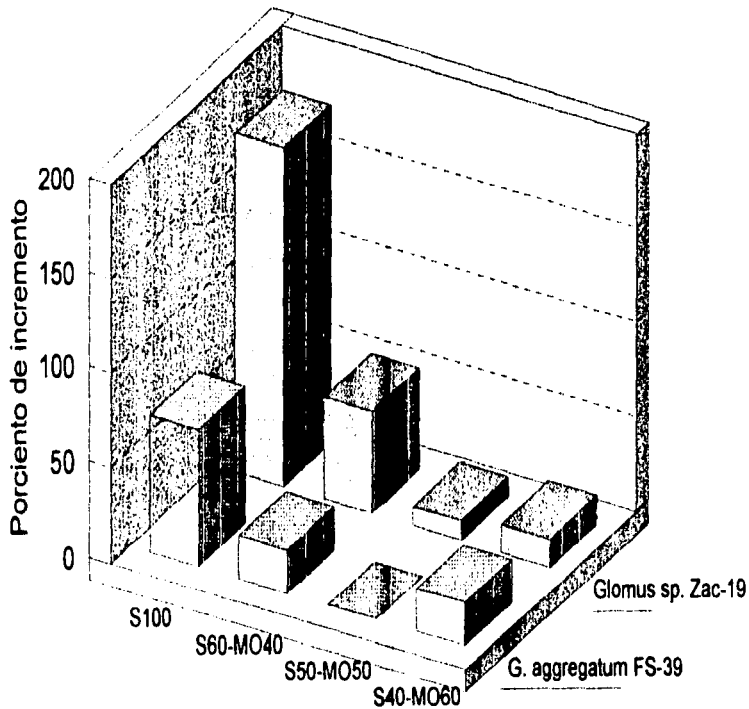


Fig. 28. Incrementos en volumen de raíz con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrizica.

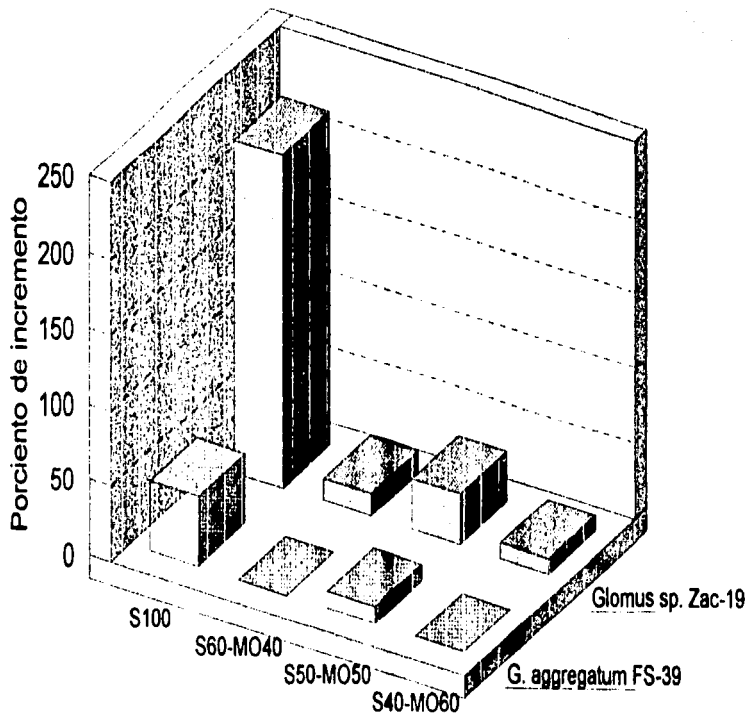


Fig. 29. Incrementos en peso seco con respecto al testigo (sin inocular) bajo el efecto de la cepa micorrízica.

5.3.5. Efecto de la interacción roca fosfórica y sustrato

La interacción entre roca fosfórica y sustrato manifestó diferencias altamente significativas, siendo el factor determinante la presencia de materia orgánica (Cuadro 24). Dado que los mejores tratamientos se observan cuando los contenidos de materia orgánica fueron mayores.

Cuadro 24. Efecto de la interacción entre la adición de roca fosfórica y sustrato sobre el desarrollo y crecimiento de plántulas de café.

Tratamiento		Variable			
Suelo + materia orgánica (%)	roca fosfórica (33ppm)	altura (cm)	peso seco (g)	área foliar (cm) ²	volumen (cm) ³
100	CON	17.42 e	4.90 e	22.26 d	4.29 b
100	SIN	15.13 f	4.05 e	16.34 e	4.08 b
60-40	CON	27.75 d	11.00 b	39.95 c	5.79 a
60-40	SIN	28.01 e d	10.85 b	41.71 c	5.85 a
50-50	CON	29.24 bc	14.09 a	44.38 bc	4.79 b
50-50	SIN	31.05 ab	14.08 a	47.20 ab	6.18 a
40-60	CON	31.63 a	14.88 a	49.98 a	6.42 a
40-60	SIN	29.85 abc	14.70 a	48.09 ab	4.86 b

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey $\alpha = 0.05$)
Resumen del análisis estadístico en el Cuadro 2 del apéndice

El mejor tratamiento para las variables altura, área foliar y peso seco fue la mezcla 40 % de suelo y 60 % de materia orgánica inoculada con la cepa *Glomus* sp. Zac-19 y la adición de roca fosfórica, presentándose incrementos con respecto al testigo absoluto (suelo 100% sin roca fosfórica). De manera general la combinación de los tres factores produjeron altos incrementos respecto al testigo (Fig.30,31,32,33).

Aunque la adición de la materia orgánica se relaciona con los mejores tratamientos en los incrementos con respecto al testigo relativo (mezcla sin roca fosfórica), se observan incrementos, cuando se adicionó roca fosfórica, sin embargo se observó inconsistencia con este elemento de la interacción.

5.3.6. Efecto de la interacción roca fosfórica y cepas

La relación cepa adición de roca fosfórica no presentó diferencias significativas probablemente porque el efecto de la materia orgánica enmascaró el de la inoculación.

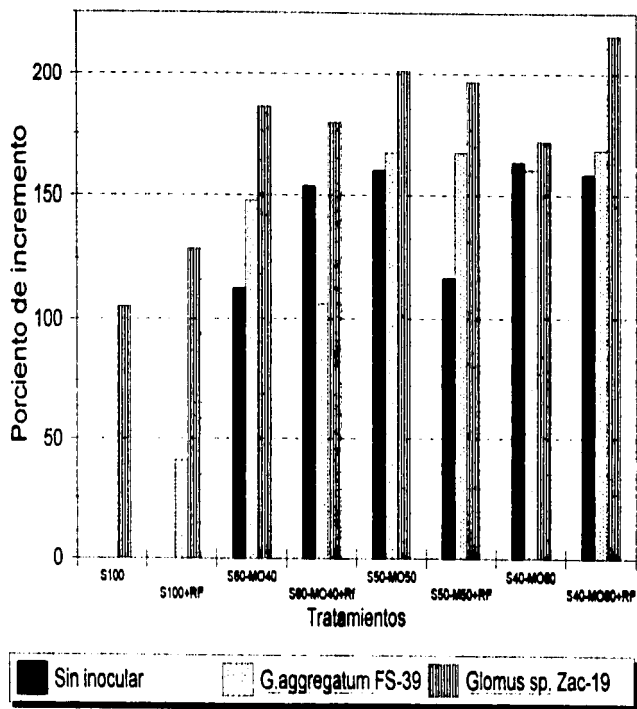


Fig. 30. Incremento en altura con respecto al testigo por el efecto de la interacción substrato-cepa-roca fosfórica

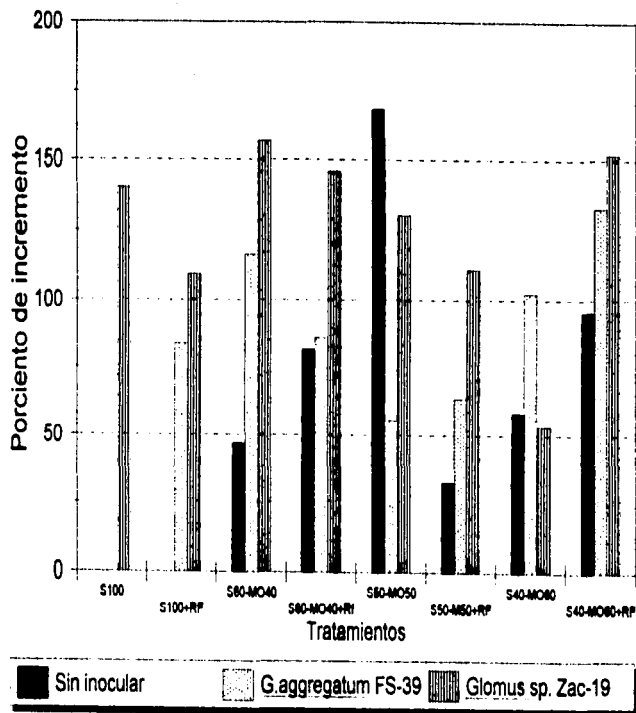


Fig. 31. Incremento en volumen de raíz con respecto al testigo por el efecto de la interacción substrato-cepa-roca fosfórica.

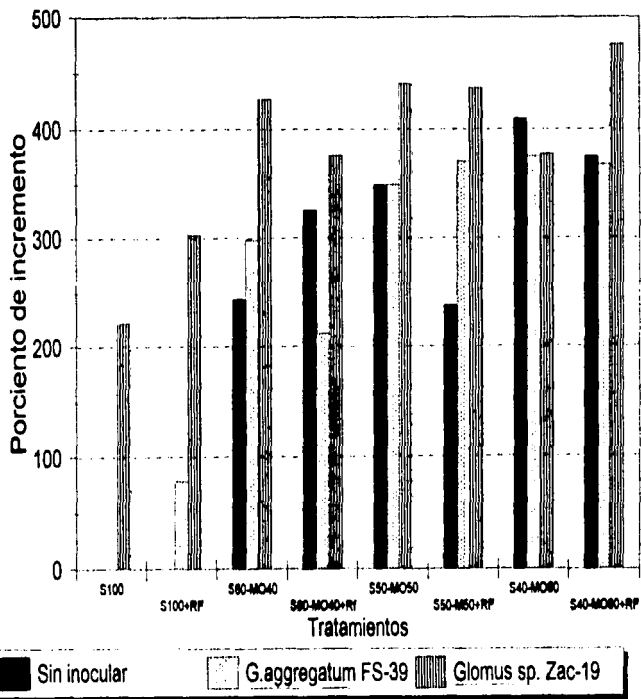


Fig. 32. Incremento en área foliar con respecto al testigo por el efecto de la interacción sustrato-cepa-roca fosfórica.

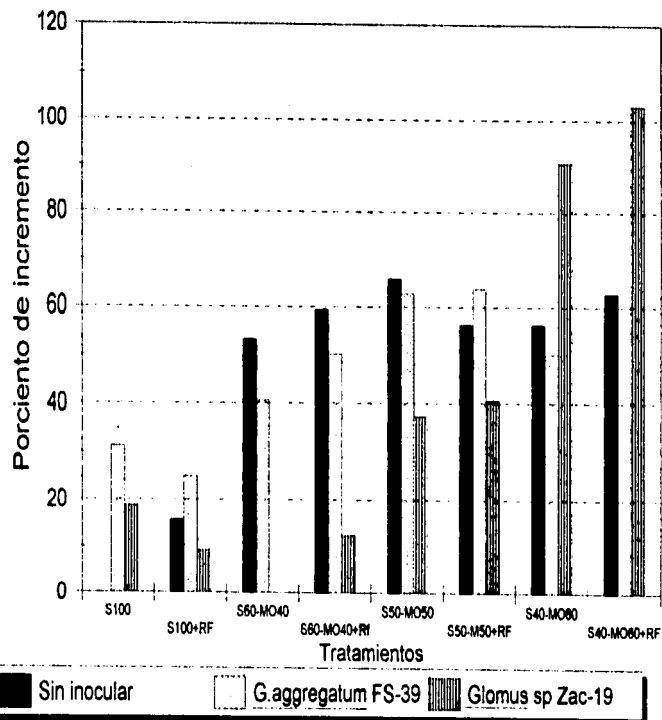


Fig. 33. Incremento en contenido de fósforo en la parte aérea respecto al testigo por el efecto de la interacción substrato-cepa-roca fosfórica.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

5.3.7. Efecto de la interacción sustrato, cepa y adición de roca fosfórica

La conjugación de los tres factores manifestaron diferencias altamente significativas (Cuadro 25), siendo determinantes los factores cepa y sustrato, ya que la incorporación de roca fosfórica no reportó consistencia en los tratamientos.

Cuadro 25. Efecto de la interacción entre cepa, sustrato y roca fosfórica en el crecimiento y desarrollo de las plantulas de café

Suelo+ materia orgánica	Tratamiento			Variable		
	cepa	roca fosfórica (33ppm)	altura (cm)	peso seco (g)	area foliar (cm) ²	volumen de raíz (cm) ³
100	G. aggregatum Fs-39	CR	15.83 i	4.45ij	17.65g	5.20defg
100	G. aggregatum Fs-39	SR	11 j	2.29j	7.44g	2.61abcdefg
100	Glomus sp./Zae-19	CR	25.73 gh	7.96h	39.7def	5.93abcd
100	Glomus sp./Zae-19	SR	23.13 h	7.23hi	31.72f	6.80k
100	Testigo	CR	10.67 j	2.31fj	9.37g	1.73ijk
100	Testigo	SR	11.26 j	2.45j	9.86g	2.83cdefgh
60-40	G. aggregatum Fs-39	CR	23.18 h	9.05gh	30.76f	5.27abcdef
60-40	G. aggregatum Fs-39	SR	27.91 defg	10.34efgh	39.28def	6.13abcdefgh
60-40	Glomus sp./Zae-19	CR	31.50 abcd	12.04cdefg	46.99abcd	6.97abcd
60-40	Glomus sp./Zae-19	SR	32.21 abcd	12.60cdefg	51.92abc	7.27ab
60-40	Testigo	CR	28.58 def	11.92cdefg	42.08cde	5.14defgh
60-40	Testigo	SR	23.92 gh	9.60fgh	33.94ef	4.16ghij
50-50	G. aggregatum Fs-39	CR	29.93 bcde	14.42abcd	46.45bcd	4.63efghi
50-50	G. aggregatum Fs-39	SR	29.93 bcde	12.80cdefg	44.33bcd	4.41fghij
50-50	Glomus sp./Zae-19	CR	33.37 abc	16.45ab	53.34ab	5.98abcdefg
50-50	Glomus sp./Zae-19	SR	33.95 ab	16.24ab	52.96ab	6.53abcde
50-50	Testigo	CR	24.42 fgh	11.39defg	33.35ef	3.75hij
50-50	Testigo	SR	29.27 cde	13.19bcde	44.30bcd	7.80a
40-60	G. aggregatum Fs-39	CR	30.21 bcd	13.68abcd	46.21cd	6.60abcd
40-60	G. aggregatum Fs-39	SR	29.31 cde	14.45abcd	46.95abcd	5.73abcdefg
40-60	Glomus sp./Zae-19	CR	35.60 a	16.67a	56.82a	7.13abc
40-60	Glomus sp./Zae-19	SR	30.62 bcd	15.05abc	47.12abcd	4.35fghij
40-60	Testigo	CR	29.08 cde	14.29abcd	46.91abcd	5.53bcdefgh
40-60	Testigo	SR	29.63 bcde	14.60abcd	50.21abc	4.49ghi

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey $\alpha = 0.05$)
Resumen del análisis estadístico en el cuadro 2 del apéndice
CR con roca fosfórica SR sin roca fosfórica



5.3.8 Contenido de fósforo en el follaje y raíz

Los resultados de este estudio no mostraron una tendencia en el incremento del fósforo con base en la micorrización, (Fig.34 y 35) lo cual no concuerda con los resultados obtenidos en el experimento 1, en donde se notó que la asimilación del fósforo si estuvo influenciada por la micorriza, tal como lo han demostrado diversos investigadores en el cultivo de café (Colozzi-Filho y Siqueira, 1986; Siqueira y Colozzi-Filho, 1986; Saggin-Junior et al.,1992; Siqueira, 1994)

5.3.9. Porcentaje de colonización y número de esporas

El porcentaje de colonización se vió favorecido con la incorporación de la materia orgánica, aunque pareciera contradictorio un buen desarrollo de la micorriza produjo los mejores tratamientos en interacción con los demás factores, pero la mayor expresión de la simbiosis, es decir incrementos con respecto al testigo fueron registrados con bajos porcentajes de colonización (Fig. 23 y 25).

El número de esporas fue ligeramente mayor para todos los tratamientos con la cepa *Glomus* sp. Zac-19 con respecto a *G. aggregatum* FS-39 (Cuadro 26). Una proporción mayor se observó en la mezcla con la mayor cantidad de materia orgánica y adición de roca fosfórica.

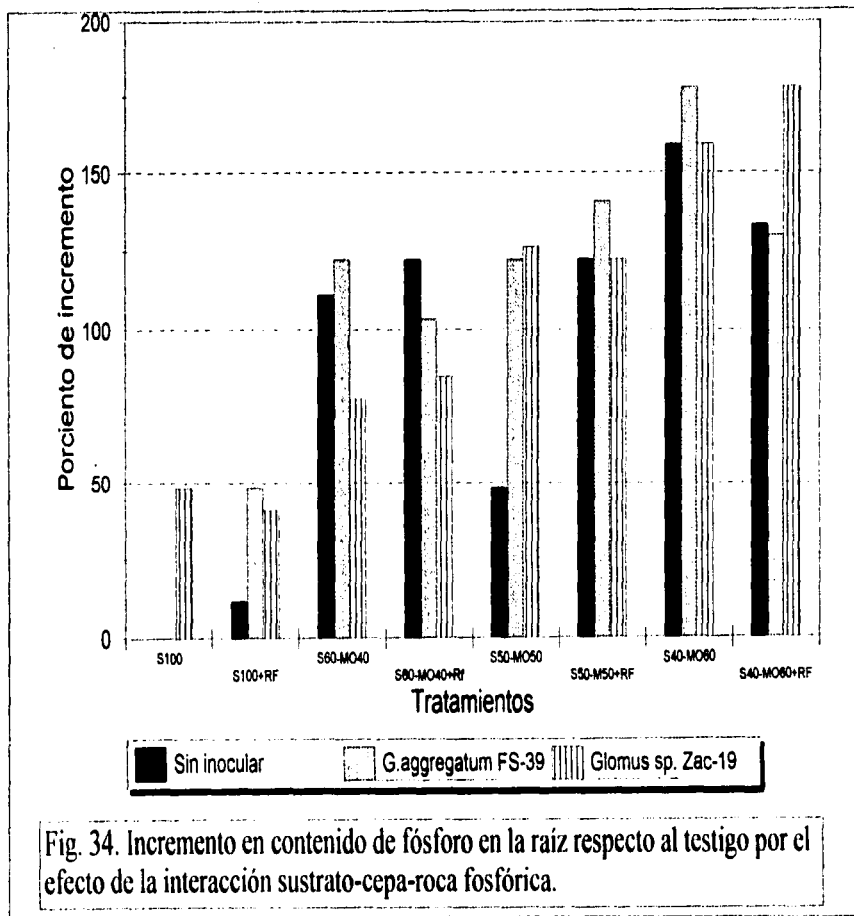
Cuadro 26. Número de esporas en 100g de suelo en los tratamientos estudiados.

Mezcla suelo+materia orgánica (%)	<i>Glomus</i> sp. Zac-19		<i>G. aggregatum</i> FS-39	
	Sin roca	Con roca	Sin roca	Con roca
S100	1258	1894	1441	1522
S60+MO40	1539	1512	1443	1229
S50+MO50	1491	1700	1062	1041
S40+MO40	1359	2280	1540	1494

MO=materia orgánica

5.4. Efecto de diferentes niveles de P, N y su interacción con la simbiosis micorrizica en plantas de café (variedad Typica) (Experimento 3)

Los efectos de la endomicorriza-arbuscular fueron expresados fenotípicamente 242 días después de la inoculación, tiempo similar al del experimento 1 y 100% superior al observado en el experimento 2.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)



Fig. 35. Respuesta de las plantas a la inoculación y adición de nitrógeno y fósforo. Obsérvese que en las plantas inoculadas y dosis crecientes de P y N el efecto de la micorriza se ve disminuido.

Este hecho puede deberse a que la inoculación se realizó durante la etapa de naranjito, cuando la planta cuenta ya con 2 pares de hojas verdaderas que es cuando se recomienda la fertilización (López, 1990). Esta fase se obtiene a los 120 días aproximadamente (López, 1990) sin embargo en este experimento el desarrollo de las plántulas hasta la etapa de mariposa (Fig. 1) fue excelente, pero posteriormente se presentó un fuerte ataque de requemo (*Phoma costarricensis*), lo que retrasó su desarrollo.

Por otra parte la edad de la planta es un factor importante en el establecimiento de la simbiosis debido a que la suberización de la raíz dificulta la colonización de los hongos endomicorrizicos (Sieverding, 1991).

Los tratamientos inoculados presentaron diferencias significativas con respecto a los no inoculados, observándose un decremento en aquellos inoculados y fertilizados con dosis crecientes de nitrógeno y fósforo. Además se observó que la respuesta negativa fue mayor con los incrementos de nitrógeno mas que con los de fósforo (Fig 35). Los efectos de cada uno de los factores estudiados, así como la interacción de los mismos se presentan a continuación.

5.4.1. Efecto del fósforo

La aplicación de fósforo no reveló diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas. Efectos similares fueron reportados por Hernández, (1993) para la variable altura, quien encontró que en condiciones de vivero el mejor crecimiento fue aquel tratamiento en el que no se utilizó fertilizante inorgánico y se utilizó un sustrato de 60 % de suelo + 40% de pulpa de café. Así mismo, concluyó que las fertilizaciones con fósforo no influyeron para aumentar el volumen y crecimiento de la raíz.

Algunos autores indican que para obtener cafetos sanos y vigorosos, se requiere de la aplicación de un programa de fertilización durante la etapa de vivero y que el fósforo influye positivamente durante el desarrollo de plantas jóvenes (Ruíz, 1977; Gurid y Vento 1985; Rodríguez, 1990; López, 1990).

Sin embargo, es posible que el hecho de no observar respuesta a la aplicación de P, se haya debido a que los niveles que se tenían en la mezcla de suelo antes de la aplicación, cubrieron los requerimientos necesarios para la planta. Ya que el fósforo es un elemento que no forma parte de los vegetales, sino es un elemento de alta energía que se libera en la respiración y es utilizado como fuente de energía en la fotosíntesis (Uribe y Mestre, 1975) pero no sale del sistema vegetal durante la fase de vivero, a diferencia de la etapa de adulto en la que los elementos se exportan para la producción (López, 1990). Valencia-Arisyazabal (1989) menciona que el suelo posee casi todos los nutrimentos que las plantas necesitan y que provienen de las rocas que lo originan.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

5.4.2. Efecto del nitrógeno

La adición de diferentes niveles de nitrógeno mostró diferencias altamente significativas observándose que el mejor tratamiento fue aquel en el que no se aplicó nitrógeno (cuadro 27).

Cuadro 27. Efecto de la adición de diferentes niveles de N sobre el crecimiento de plántulas de café.

Tratamiento	Variable			
N (ppm)	altura	área foliar	peso seco	volumen
0	20.37 a	224.54a	7.12a	3.28a
20	16.36b	181.34a	4.84b	2.03b
40	13.73bc	101.34b	1.66c	1.83b
60	12.20c	63.72b	1.28c	0.96c

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey α 0.05)
Resumen del análisis estadístico en el cuadro 3 del apéndice

La respuesta al nitrógeno, mostró una tendencia estadística similar para todas las variables estudiadas, observándose una relación inversamente proporcional entre estas y los incrementos de nitrógeno reduciendo el crecimiento.

Es probable que altas cantidades de nitrógeno tuvieron una influencia negativa sobre el crecimiento de las plántulas de café (Fig. 36).

Estos resultados son concordantes con lo reportado por Rodríguez (1990) y Hernández (1993) quienes indican que la fertilización con sulfato de amonio en las primeras etapas de desarrollo afectan negativamente, dando como resultado plantas más pequeñas, con menor número de hojas, área foliar, peso seco de la parte aérea, y menor desarrollo de la raíz.

5.4.3. Efecto de la cepa

El efecto de la inoculación con la cepa *Glomus* sp. Zac-19 tuvo una influencia positiva en las variables estudiadas presentando diferencias estadísticamente significativas Cuadro 28.

Cuadro 28. Efecto de la cepa en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.

Tratamiento	Variable			
	altura	área foliar	peso seco	volumen de raíz
	(cm)	(cm) ²	(cm) ³	(cm) ³
INOCULADA	16.63 a	172.95a	5.60a	2.43a
SIN INOCULAR	14.7 b	112.53b	1.85b	1.62b

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey α 0.05) -Resumen del análisis estadístico en el cuadro 3 del apéndice

Al igual que en los experimentos anteriores, la inoculación con *Glomus* sp. produjo incrementos respecto al testigo en todas las variables estudiadas, especialmente en peso seco (Fig.37). Sin embargo dichos

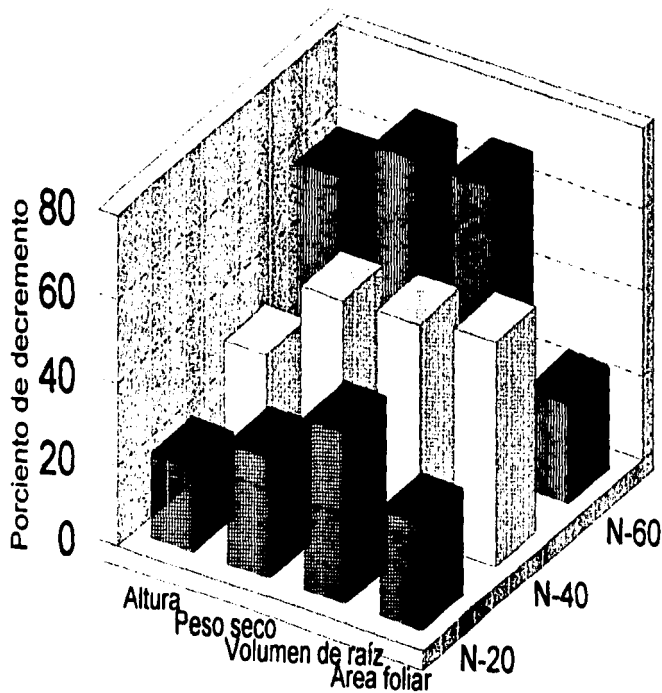


Fig. 36. Porcentaje de decremento con respecto al testigo por efecto de la aplicación de dosis crecientes de N.

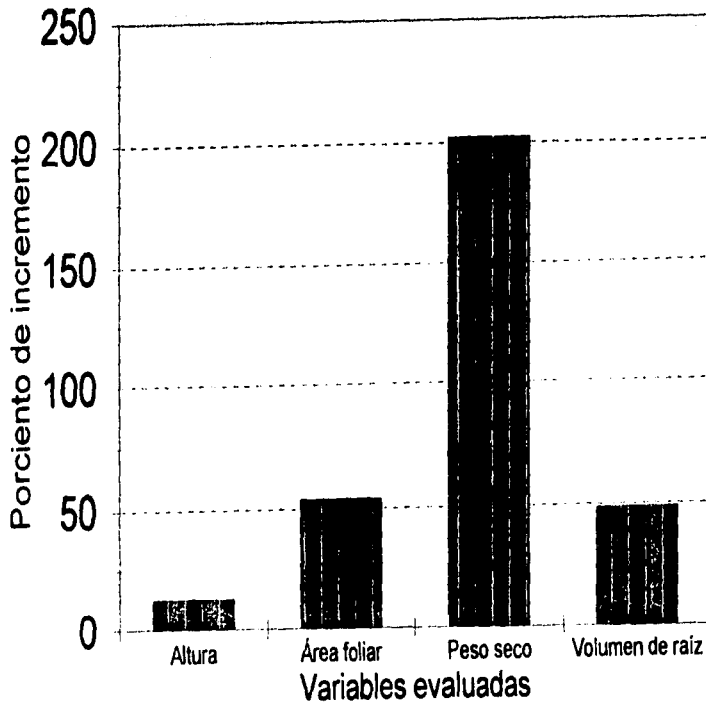


Fig.37. Porcentaje de incremento con respecto al testigo en el crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto de *Glomus* sp. Zac-19



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

incrementos fueron inferiores a los obtenidos por la misma cepa en los experimentos 1 y 2.. Este hecho pudo deberse a que durante el desarrollo del experimento se presentó un fuerte problema fungoso en las hojas, motivo por el cual se realizaron aplicaciones de fungicidas, uno de ellos fue el Clorotalonil, el cual es un hidrocarburo aromático que según Johnson y Pfleger (1992) pueden inhibir consistentemente el desarrollo de la micorriza.

5.4.4. Efecto de la interacción P y N.

La interacción fósforo y nitrógeno no mostró diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las variables estudiadas.

5.4.5. Efecto de la interacción fósforo y simbiosis

La interacción fósforo y copa no presentó diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables evaluadas.

Este hecho puede deberse a que como ya se mencionó anteriormente los niveles de fósforo en el suelo, cubren los requerimientos de la planta, sin embargo diferencias en porcentajes de colonización en relación a dosis crecientes de fósforo pueden ser notadas (Fig.38.), en relación inversamente proporcional a la adición de P lo cual es concordante con los resultados presentados por Colozzi-Filho y Siqueira (1986); Siqueira y Colozzi-Filho (1986); Vaast y Zasoski (1991); Sagguin-Junior et al. (1994).

5.4.6. Efecto de la interacción nitrógeno y simbiosis

La interacción nitrógeno y simbiosis presentó diferencias estadísticamente significativas en todas las variables evaluadas (Cuadro 29). El mejor tratamiento corresponde a plantas inoculadas sin adición de nitrógeno, donde se obtuvieron incrementos de 37.80%, 184.28%, 115.28% y 111.63% en altura, peso seco, área foliar y volumen de raíz, respectivamente.

Cuadro 29. Efecto de la interacción N y simbiosis en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.

Tratamiento ppm	Variable			
	altura (cm)	peso seco (g)	área foliar (cm) ²	volumen (cm) ³
0	17.14 bc	3.711c	142.2 bc	2.105bc
0 + simbiosis	23.62a	10.55a	306.9a	4.455a
20	14.28bcd	2.32cd	117.9c	1.57bc
20 + simbiosis	18.45cd	7.37b	244.8ab	2.50b
40	15.63	.79d	134.4 c	2.64bc
40 + simbiosis	11.85d	2.52cd	68.26c	1.61bc
60	11.79d	.59d	55.60c	.78c
60 + simbiosis	12.62cd	1.97cd	71.85	1.14c

Las ras iguales muestran igualdad estadística (Tukey α 0.05). Resumen del análisis estadístico en el cuadro 3 del apéndice

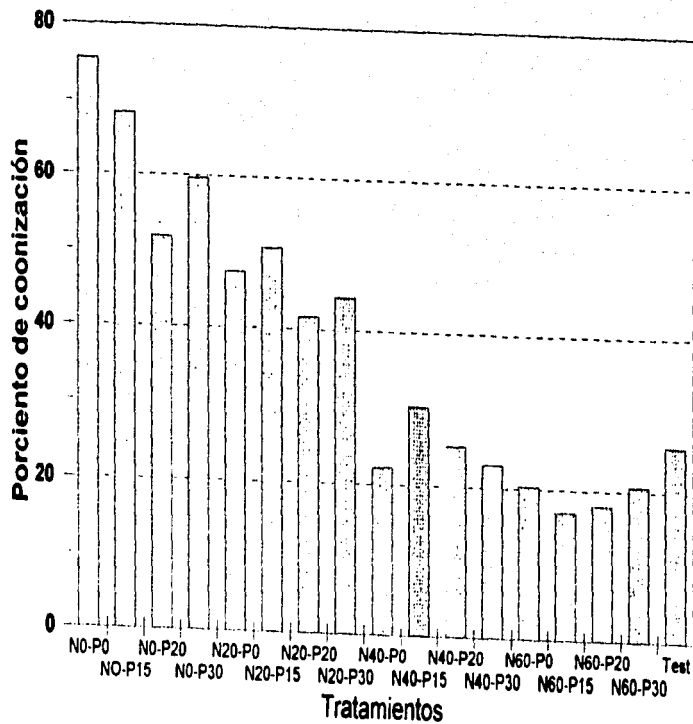


Fig. 38. Efecto de dosis crecientes de fósforo y nitrógeno sobre el porcentaje de colonización.



Es importante notar que la aplicación creciente de nitrógeno provocó decrementos respecto al testigo. (Fig.38). Excepto en el tratamiento 20 ppm de nitrógeno+simbiosis, donde se detectaron incrementos de 7.64%, 98.59%, 72.15% y 18.76% para las variables altura, peso seco, área foliar y volumen de raíz respectivamente. Lo cual indica que esta dosis (20 ppm) permite aún la expresión de la simbiosis, aunque se presentan reducciones en comparación con el tratamiento simbiosis sin aplicación de nitrógeno. Sin embargo, la disminución en el crecimiento, seguramente no está influenciada por la micorriza, sino por el efecto de nitrógeno (Rodríguez, 1990; Hernández, 1993), ya que los mayores decrementos se observaron en el tratamiento con la dosis más alta de nitrógeno y sin micorriza (Fig. 39).

Hayman (1975) mostró que la fertilización nitrogenada reduce claramente la población de hongos endomicorrizicos de determinadas especies.

Se observa que el porcentaje de colonización disminuye en forma proporcional al incremento de nitrógeno (Fig. 38). Estos resultados coinciden en parte con los reportados por Vaast y Zasoski (1991) quienes encontraron que dosis crecientes de nitrógeno, no tienen ninguna influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero si la fuente de nitrógeno. Asimismo, encontraron que la micorrización no presentó influencia significativa en el crecimiento de las plantas cuando se adiciona NH_4 , debido a que esta fuente de nitrógeno inhibe la infección micorrizica, lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

5.4.7. Efecto de la interacción nitrógeno-fósforo-simbiosis.

La interacción del nitrógeno-fósforo-simbiosis no mostró diferencias significativas para las variables altura y peso seco. Sin embargo las variables área foliar y volumen radical si presentaron variaciones estadísticamente significativas, siendo el mejor tratamiento el inoculado sin aplicación de nitrógeno y fósforo (Cuadro 30).

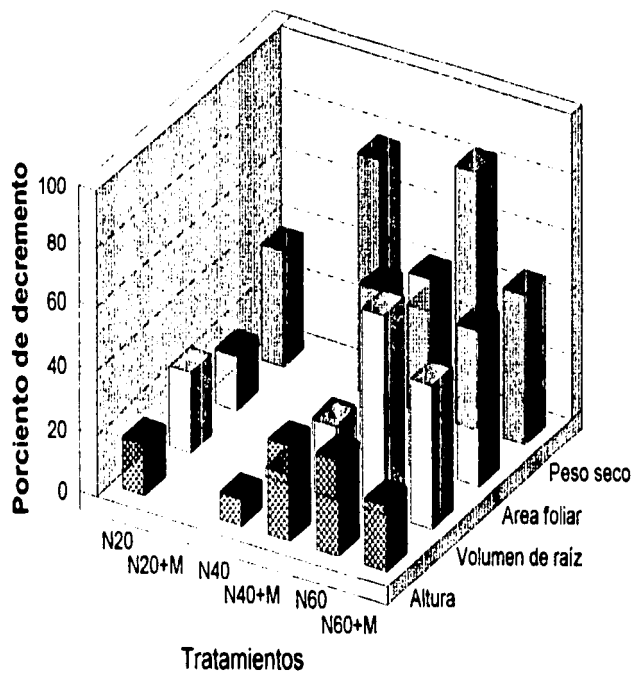


Fig. 39. Decrecientos respecto al testigo en el crecimiento y desarrollo de las plantas por efecto de la interacción N-simbiosis.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Cuadro 30. Efecto de la interacción nitrógeno-fósforo-simbiosis sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de café.

Tratamiento			Variable	
N (ppm)	P (ppm)	SIMBIOSIS	AREA FOLIAR (cm) ²	VOLUMEN DE LA RAIZ (cm) ³
0	0	SIN	58.26 bcd	1.060 C
0	0	CON	350.9 a	6.400 a
0	15	SIN	50.14 bcd	.96 c
0	15	CON	181.0 abcd	2.05 c
0	20	SIN	235.6 abcd	3.40 abc
0	20	CON	32.48 cd	2.1 c
0	30	SIN	11.5 abcd	1.34 e
0	30	CON	35.32 cd	1.062 e
20	0	SIN	105.8 abcd	1.4 c
20	0	CON	301.1 abcd	5.7 ab
20	15	SIN	120.8 abcd	1.44 c
20	15	CON	280.9 abcd	3.1 abc
20	30	SIN	79.82 bcd	1.36 c
20	30	CON	57.46 bcd	1.54 o
20	40	SIN	31.90 cd	.60 e
20	40	CON	60.82 bcd	.90 e
40	0	SIN	245.8 abcd	3.56 abc
40	0	CON	288.1 abcd	2.9 bc
40	15	SIN	197.5 abcd	2.36 bc
40	15	CON	196.2 abcd	2.75 bc
40	20	SIN	92.48 abcd	1.46 c
40	20	CON	66.50 bcd	1.4 c
40	30	SIN	24.22 d	.55 e
40	30	CON	124 abcd	1.32 c
60	0	SIN	159 abcd	2.4 ba
60	0	CON	301.1 abc	2.8 bc
60	15	SIN	103 abcd	1.5 c
60	15	CON	129.8 abcd	2.1 c
60	20	SIN	116 abcd	1.9 c
60	20	CON	54.74 bcd	1.36 o
60	30	SIN	67.20 cd	.66 o
60	30	CON	78.20 cd	1.26 c

Letras iguales muestran igualdad estadística (Tukey > 0.05)
Resumen del análisis estadístico en el cuadro 8 del apéndice



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

Los valores de estas variables no presentan una tendencia definida hacia la aplicación de fertilización y la inoculación. Sin embargo los valores mas altos se observaron cuando no se aplicó fertilizante y se inoculó, así como una mejor respuesta a niveles bajos de fósforo y nitrógeno (Fig.40 - 41).

Con base en los resultados anteriormente presentados se puede constatar el efecto positivo de los hongos endomicorrizicos en la nutrición del cafeto, lo que permite un ahorro económico, al no utilizar fertilizantes inorgánicos, ya que la presencia de los endofitos estimularon el crecimiento y desarrollo de las plantas , tal como ha sido reportado en otros estudios realizados en este cultivo (Siqueira y Colozzi-Filho, 1986; Vaast y Zasosky, 1991; Vaast y Zasosky, 1992; Saggin-Junior et al.,1992; Saggin-Junior et al.,1994).

Además del ahorro económico , se logra un beneficio ecológico, se obtienen plantas mas vigorosas cuando se inoculan con hongos endomicorrizicos y se aplican dosis bajas de fósforo y nitrógeno. Lo que indica la posibilidad de reducir o excluir el uso de los fertilizantes inorgánicos , como también ha sido reportado por Sieverding y Howeler (1985), De Miranda et al. (1988), Alarcon (1993), Sánchez (1994).

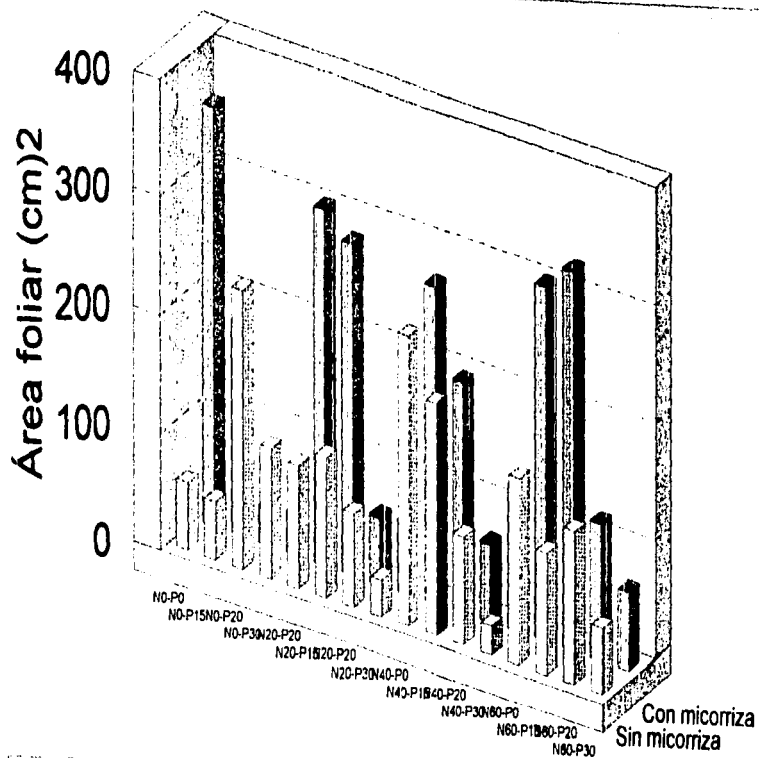


Fig.40. Área foliar en plantas de café bajo el efecto de la interacción N-P-Simbiosis.

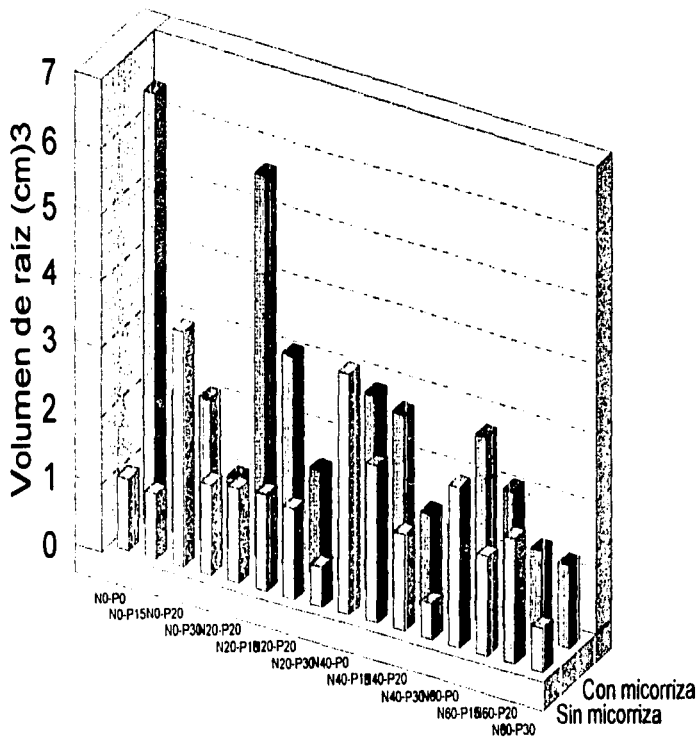


Fig.41. Volumen de raíz en plantas de café bajo el efecto de la interacción N-P-Simbiosis.



6.. CONCLUSIONES

1) La micorriza es un elemento del ecosistema edáfico que se encuentra asociado consistentemente al café. El manejo del cultivo, y las condiciones climáticas, influyen significativamente en el desarrollo y sobrevivencia de los hongos endomicorrizicos.

Los agroecosistemas con un alto nivel de tecnología presentan una baja población micorrizica , en comparación con sistemas donde la influencia del hombre es mínima, por lo que podemos decir que en un sistema que es mas semejante a los ecosistemas naturales, se presenta el mayor equilibrio biológico y se permite el desarrollo de agentes bióticos para la nutrición de las plantas.

Un buen desarrollo de los hongos endomicorrizicos se presenta durante la época de lluvias y la mayor esporulación después de un período corto de sequía.

La información obtenida sobre la micorriza vesículo arbuscular en café, debe ser considerada como base importante para la exitosa aplicación de esta biotecnología, en programas de agricultura sustentable.

2) La introducción de hongos endomicorrizicos al cultivo de café durante la etapa de vivero incrementa considerablemente el crecimiento y desarrollo de la planta . El estado fenológico más apropiado para realizar la inoculación es cuando la plántula tiene el par de hojas cotiledonales.

Glomus sp. Zac-19 es el endofito mas eficiente para las variables estudiadas . Aunque *Glomus aggregatum* FS-39 indujo incrementos inferiores respecto a la cepa artes mencionada, también promovió el desarrollo del café en vivero.

Las plantas micorrizadas presentaron mayor vigor , sanidad y una proporción reducida de plantas cloróticas.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

De las cinco variedades de café estudiadas bajo las mismas condiciones ambientales , solo una (Catuai) no respondió positivamente a la inoculación, por lo que podemos pensar que existe cierta preferencia determinada por factores genéticos de la planta y el hongo

3) La expresión del efecto de la micorriza es mayor en suelos con bajo contenido de materia orgánica, aunque la adición de ésta, incrementa la eficiencia del endofito. El mejor sustrato para el desarrollo de las plántulas de café micorrizadas es la mezcla suelo-materia orgánica en proporción 40%-60% Durante la etapa de vivero la adición de roca fosfórica no influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas

4) La aplicación de fósforo y nitrógeno inorgánico disminuye la colonización micorrizica . Las plantas micorrizadas presentan un mejor crecimiento y desarrollo que aquéllas que son fertilizadas.

El uso de los hongos endomicorrizicos puede sustituir la adición de fertilizante inorgánico durante la fase de vivero lo cual resulta en beneficio para la economía de los viveristas, además de que la planta al salir a campo cuenta con un sistema biológico que le permite una mejor adaptación en su nuevo habitat

7.- LITERATURA CONSULTADA

- ABBOT, L.K y A.D.ROBSON. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35:121-150.
- AFEK, U.J.A. MENGE y G.L.V.JOHNSON. 1990. Effect of *Pythium ultimum* and metalaxyl treatments on root length and mycorrhizal colonization of colton onion and pepper. *Plant dis.* 74:117-120.
- ALARCON, A. 1993. La endomicorriza vesículo-arbuscular en el manejo de dos métodos de propagación en frutales. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa, Ver. Universidad Veracruzana. México. 91 p.
- ALARCON, A. y R. FERRERA-CERRATO. 1995. Niveles de vermicomposta y micorriza arbuscular, en el desarrollo de plántulas de *Casuarina equisetifolia* a nivel de vivero. I reunión Internacional de ecología micorbiana. México. p. 84
- ALEXANDER. 1984. Introducción a la microbiología del suelo. AGTE EDITOR, S.A. México.p.13-26
- ANACAFE. 1985. Manual de cafeticultura. Variedades de café. Revista cafetalera No. 250. ed. Asociación nacional del café. Guatemala, Guatemala.p. 5-7
- ANDERSON, R.C; LIBERTA, A. E. y DICKMAN, L.A. 1984. Interaction of vascular plants and vesicular mycorrhizal fungi across a soil moisture nutrient gradient. *Oecologia* 64: 111-117.
- ANDERSON, J.A. 1987. Mycorrhizae-Host specificity and recognition. *The American Phytopathological Society.* Vol 78 No 3.
- ANDERSON, J.A. 1988. The influence of the plant root on mycorrhizal formation. *In: Mycorrhizal functioning.* Michael J. Allen, Editor. Chapman & Hall. New York-London p. 37-54
- ANTUNEZ,V; A.P. SILVEIRA; E.J. CARDOSO. 1988. Interacao entre diferentes tipos de solo e fungos micorrizicos vesiculo arbuscular ha producao de mudas de café (*Coffea arabica* L.). *Turrialba* Vol. 38 No. 2 (117-122).
- AZCON, G; C y J; M. BAREA. 1980. Micorrizas. *Investigación y Ciencia* No. 49 p. 9-17.
- BARTOLOME H.T. y N.C. SCHENK. 1990. Response of selected VA mycorrhizal fungi to soil and aluminium toxicity. *Eigth North American Conference on Mycorrhizae* Jackson, Wyoming p. 90.
- BARRIENTOS, M.E. 1990. Manejo de suelos cafetaleros. El cultivo del cañero en México. *INMECAFE.* p. 125-135.



- BELL, M; K.J. MIDDLETON y J.P. THOMPSON. 1989. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on growth and phosphorus and zinc nutrition of peanut (*Arachis hypogaea* L). In: an oxisol from subtropical Australia. *Plant and soil* 117:49-57.
- BETHLENFALVAY, G.J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity. In *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. ASA Special publication No 54. USA. p. 1
- BEVEGE, D.I y G.D. BOWEN. 1975. Endogone strain and host plant differences in development of vesicular-arbuscular mycorrhizas p 77-86. In F.E. Sanders; B. Mosse and P.B. Tinker (ed) *Endomycorrhizas* Academic Press, Inc; London.
- BIDWELL, R.,G.S.1979. Fisiología vegetal. Primera edición en español. AGT editor S.A. México. p. 138
- BOLAN, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134: 189-207.
- BOLAN, N., S y A., D. ROBSON. 1983. Plant and soil factors including mycorrhizal infection causing sigmoidal response of plant to applied phosphorus. *Plant and Soil*. 73: 187-201
- BRAGA, R.A y MAESTRI, M. 1987. Ecofisiologia de cafeiro p 119-147. In Castro, PRC, Ferreira S.O. y Yamada, T. (ed). *Ecofisiologia da producao agricola. Associacao Brasileira para pesquisa de putasa e do fosfato.*
- BRETHELT, A. 1989. Effect of diferent organic manures on the efficiency of VA mycorrhiza. *Agriculture, Ecosystems and environment*, 29: 55-58.
- CALDEIRA, S. F. 1983. Associacao de micorriza vesicular arbuscular con café, Limao Rosa e Campim-Gordura. *Pesq. Agroec. Bras. Brasilia* 18(3):223-228.
- CARVAJAL, J.F. 1972. Cafeto cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la potasa. Gebr. Fretz. A.G. Zurich, Suiza. 141 p.
- CASTILLO, P.G., CONTRERAS, J.A., ZAMARRIPA, C.A., MENDEZ, L.I., VAZQUEZ, M.M., HOLGUIN, M.F., FERNANDEZ, R.A. 1994. Tecnología para la producción de café en México. Folleto técnico No 8. División Agrícola. INIFAP. México 89 p.
- COLOZZI-FILHO y J.O SIQUEIRA. 1986. Micorrizas vesiculo-arbuscular em mudos de cafeiro L efeitos de *Gigaspora margarita* e aduba fosfatada no crescimento e nutricao. *Comicao III. Biologia do Solo*. R. Bras. Ci. Solo, 10:199-203.
- CONWAY, L.P y D.J. BAGYARAJ. 1984. VA Mycorrhiza (Eds). CRC. PRESS. Boca Raton, Florida p 1-3.
- COOPER, K; M. 1984. Physiology of V-A micorrizhal association. In: V-A micorriza. CRC Press. Boca Raton. Fla. p. 35-49.
- COSTÉ, R. 1963. El café. Ed. Blume. Barcelona. España 277 p.



- DANIELS, B.A. y J.M. TRAPPE. 1980. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*. 72: 457-471.
- DANIELS-HETRICK, B.A. 1984. Ecology of mycorrhizal fungi. In: V-A micorriza. CRC PRESS. Boca Raton. Fl. p. 35-49.
- DEACON, J.W. 1980. Introduction to modern mycology. Basic microbiology Edit. Blackwell. Scientific Publication 17:163-167.
- DE MIRANDA, J.C.C.; P.J. HARRIS y A. WILD. 1988. Effects of soil and plant phosphorus concentrations of vesicular-arbuscular mycorrhiza in *Sorghum*. *Plant. New Phytol.* 112:405-410.
- DEL VALLE y JIMENEZ, G.H. 1990. Algunos aspectos de la nutrición mineral y recomendaciones sobre la fertilización en la cafeticultura de Guatemala. Seminario/Taller Nacional sobre nutrición del café. IICA/PROMECAFE. Xalapa, Ver. México 34 p.
- DISSING-NIELSEN, J. 1989. The effects of VAM on growth and uptake of nutrients in lucerne. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 29:99-102.
- EASON, W.; R. E.I. NEWMAN and P.N. CHUBA. 1991. Specificity of interplant cycling of phosphorus: the role of mycorrhizas. *Plant and Soil* 137: 267-274.
- ETCHEVERS, B.J. 1989. Análisis químicos de suelos y plantas. Notas de clases. CEDAF. Colegio de Postgraduados. México. p 366
- FERNÁNDEZ, F. y M.A. VELASCO Y GUTIERREZ. 1989. Comparación de tres técnicas para evaluar la actividad micorrizica en plantaciones de café en la región central de Cuba. *Cultivos tropicales*. Vol. II No. 2
- FERNANDEZ, F.E. G. G. CAÑIZARES, R. RIVERA Y R., A. FERRERA. 1992. Efectividad de tres hongos micorrizas vesículo-arbuscular (MVA) y una cepa de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) sobre el crecimiento de posturas de café (*Coffea arabica*) *Cultivos tropicales* 15 (1) 23-27.
- FERRERA-CERRATO, R. 1989. Rizósfera. Ecología de la Raíz. Sociedad Mexicana de Fitopatología. C.P. México. p. 1-21.
- FERTIMEX-SEP-AIAPA. 1991. Fertilidad de suelos y uso eficiente de los fertilizantes 24 p.
- FOTH, H.D y TURKL, M. 1978. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad del original en inglés por Juan Nava Diaz. México Continental 527 p.
- FOURNIER, L.A. 1980. Fundamentos ecológicos del café. México. Folleto misceláneo 250. IICA-PROMECAFE. San José, Costa Rica. C.A. p.29.
- FUENTES, F; R. Y M.A. PENSADO. 1977. Evaluación de los recursos naturales relacionados con la agricultura de la cuenca cafetalera de México. INMECAFE. México.
- GARCÍA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. UNAM. México. p 183

- GERDEMAN, J.V. y T. H. NICOLSON. 1963. Spores of Mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46: 235-244.
- GIANINAZZI, S., A. TRAVUELOT AND V. GIANINAZZI-PERSON. 1989. Conceptual approaches for the rational use VA mycorrhizae in agriculture; Possibilities and limitations. Agric. Ecosyst. Environ. 29:153-161.
- GIANINAZZI-PEARSON, V. y S. GIANINAZZI. 1983. The physiology of the vesicular arbuscular micorrhizal roots. Plant and Soil 71:197-209.
- GIANINAZZI-PEARSON, V. y S. GIANINAZZI. 1990. Molecular celular and genetic bases of compatibility between endomycorrhizal fungi and their host. In Ray Singer, A., & Bresinsky, A. ED. Fourth International mycological Congress (INC) Regensburg, Germany. p. 185
- GONZÁLEZ, CH. C. 1989. Estudio de la endomicorriza V-A y la fijación biológica de nitrógeno en un agroecosistema de bajo ingreso externo de energía, en Tamulte de las Sabanas Tabasco. Tesis de maestría: Colegio de Postgraduados. 136 p.
- GONZÁLEZ-CHAVEZ, C. Y FERRERA-CERRATO. 1993. Influencia de la endomicorriza vesículo arbuscular en cuatro variedades de café. IN: J. Perez-Moreno y Ferrera-Cerrato (Eds.). Avances de investigación. Sección Microbiología de Suelos. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillos. Edo. de México. p. 100-112
- GRAHAM, J.H; R.T. LEONARD, y J.A. MENGE. 1981. Membrane mediated release in root exudation responsible for phosphorus inhibition of VAM formation. Plant Physiology. 68: 548-552.
- GRIFFIN, D.M. 1972. Ecology of soil fungi. Chapman and Hall LTD. Great Britain p. 114.
- GURID, F. y H. VENTO. 1985. Estudio preliminar de la influencia del fósforo sobre la materia seca y algunas formas de este elemento en las hojas del café, así como sobre el crecimiento radical de este. Cultivos Tropicales. Cuba 7(4): 93-99.
- GUTTLEY, A.J.R. 1983. The interaction of fertilizers and vesicular-arbuscular mycorrhizae in composted plant residuos. J. Amer Soc. Hort. Sci. 108, 222-224.
- GUZMAN-PLAZOLA R. y R. FERRERA-CERRATO. 1990. La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas. C.P. México. 119p.
- HABTE, M; T. AZIZ y J.G. YUEN. 1990. Residual effect of chlorothalonil on the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Leucaena leucephala*. In Eight North American Conference on mycorrhizae Jackson Wyoming.
- HAUGEN, L. M. y S. E. SMITH. 1990. The effects of high soil temperature on the survival and infectivity of *Glomus intraradices*. In Eight North American Conference on Mycorrhizae Jackson, Wyoming
- HAYMAN, D.S. 1970. Endogonace spore numbers in soil and vesicular arbuscular mycorrhiza in wheat as influenced by season and soil treatment. Trans. Br. Mycol. Soc. 54:53.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

- HAYMAN, D.S. 1975. The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In B Mosse et al (ed) Endomycorrhizas. Academic press, New York. 495-509.
- HAYMAN, D.S. 1982. Influence of soil and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72: 1119-1125.
- HAYMAN, D.S. 1987. VA mycorrhizas in field crop systems. In G.R. Safir (editor) *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants* CRC Press. Boca Raton p. 171-192.
- HERNANDEZ, C.M. 1979. Identificación de las principales especies de árboles utilizados como sombra en la cuenca de Coatepec, Veracruz. Tesis de Biología. Universidad Veracruzana. p. 116.
- HERNANDEZ, S.A. 1993. Efecto de riego y fertilización en el desarrollo de cafetos (*Coffea arabica* L.) en vivero. Tesis Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. p 48-60.
- HUERTA, H.T. 1984. Aislamiento, identificación y propagación de algunas cepas de hongos endomicorrizicos vesiculo-arbúscular. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. I.P.N. México.
- IICA.PROMECAFE. 1992. Sistemas de producción sostenido de café y su relación con los recursos naturales y el medio ambiente en América Central y Panamá. Programa de Generación y transferencia de tecnología Guatemala C. A. 25 p.
- INEGI. 1988a. Carta topográfica. Escala 1:50 000. Xalapa E14B27 y Coatepec E14B37
- INEGI. 1988b . Carta geológica. Escala 1: 250 000 . Veracruz E14-3.
- INEGI. 1988c . Carta edafológica. Escala .1: 250 000 . Veracruz E14-3.
- INEGI. 1988d . Carta de uso del suelo y vegetación. Escala .1: 250 000 . Veracruz E14-3.
- INIFAP. 1985. Marco de referencia del Grupo Interdisciplinario de roya de café. Centro de Investigaciones del Golfo. Xalapa Veracruz.
- INMECAFE. 1979. Tecnología cafetalera mexicana. 30 años de Investigación y experimentación. México. p 100-111
- INMECAFE. 1990. Datos estadísticos en café. Centro de información cafetalera "Matias Romero". Xalapa, Ver. México s/p
- JAEN, D. y R. FERRERA-CERRATO. 1989. Respuesta micotrofica de la guanabana (*Annona muricata*) y chirimoya (*Annona cherimola*) a la inoculación de hongos endomicorrizicos en vivero XXII. Congreso Nacional. Soc. Ciencia del Suelo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México p.149
- JASPER, D.A. y J.A. DAVY . 1983. Root characteristic of active plant species in relation to the benefit of mycorrhizal colonization for phosphorus uptake. *Plant and Soil* 155/156: 281-283.



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

- JEAN,C.D. 1987. Manejo de la endomicorriza vesículo-arbuscular en la producción de frutales perennifolios (*Carica papaya* cv cera y solo) cultivadas en vivero . Tesis profesional. ENEP-Izaccala-UNAM. México. D.F. p. 82-86.
- JIMENEZ, D.E. 1981. Ecología del agroecosistema cafetalero. Tesis doctoral. UNAM. México.
- JIMENEZ,J.L. 1989. Las micorrizas. ANACAFE 305. Guatemala, C.A. p. 25-28.
- JIMENEZ,O.H. 1980. Guía para el muestreo foliar de fincas de café. ANACAFE 198 (5). Guatemala, C.A.
- JOHNSON,C.N y F.L. PFLEGER. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stress. In: Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication No. 54. p 84-85.
- KHALIL. G.A.; FERRERA-CERRATO, R; ZAVALETA, M, E. GONZALEZ,C Y LARQUE, S. M. 1992. Crecimiento de *Sesbania emerus* asociada con micorriza V-A y dosis de fertilización fosfatada: XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. p 223.
- KOIDE, R.T. 1990. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. Transley rewew No. 29: 365-381.
- KOSKE, R.E. y J.N. GEMMA. 1992. Fungal reactions to plants prior to mycorrhizal formation . In: Mycorrhizal functioning. Michael J. Allen, Editor. Chapman & Hall, New York-London p. 3-17
- LIDERMAN,R;G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interaccions In: Mycorrhizae in sustainable agriculture- American Society of Agronomy, Inc Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of American, Inc.pp 45-69.
- LOPES, E.S; G.. OLIVEIRA; R. DIAZ. 1983. Ocurrence and distribution of vesicular-arbuscular micorrhizal fungi in coffe plantations in central, Sao Paulo, Brasil. Turrialba 33:417-422.
- LÓPEZ, M.H. 1990 Establecimiento y manejo de semilleros In El cultivo del cafeto en México INMECAFE. México 65-69 p.
- LÓPEZ, M.H. et al. 1992. Tamaño del tubo, materia orgánica y ejes múltiples en el desarrollo de las plántulas de café en vivero In: XV Simposio Latinoamericano de cafecultura. Xalapa, Ver. México. SARH. INMECAFE. IICA-PROMECAFE s/p.
- LOREE, M.A.J and S.E. WILLIAMS. 1987. Colonization of western wheatgrass (ASR) by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi during the revegetation of a surface mine New Phytol. 106: 735-744.
- MANJUNATH, A; R. MOHAN y D.J. BAGYARAJ. 1983. Response of citrus to vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation in unsterile soils. Can. J. Bot. 81: 553-559.
- MARTINEZ, S.W. 1986. Estudio sobre la endomicorriza vesículo-arbúscular en café, bajo distintas condiciones de cultivo. Tesis Facultad de Ciencias Biológicas. Xalapa, Ver. Universidad Veracruzana.
- MARTINEZ, S.W., G. GÚZMAN y S. RIESS. 1987. Estudio sobre la endomicorriza de cafeto , bajo distintas condiciones de cultivo e identificación de algunos endogonáocos. Biotica 12: 35-38



- MARSCHER, H y B. DELL. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
- MARS. D.H. and W.J. DANIEL. 1976. Maintaining culture of ectomycorrhizal and plant pathogenic fungi in sterile culd water storage. *Canad J. Microbiol* 22:338-341.
- MARONEK, D.M; J.W. HENDRIX y J. KIERNAN. 1985. Micorrhizal fungi and their in horticultura crop production. *Hort Reviews* 3:175-213.
- MATIAS-CRISOSTO M.O. y R. FERRERA-CERRATO. 1993. Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrizica en la recuperación de tepates. In J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato. Avances de investigación. Sección de microbiología de suelos. Centro de edafología. Colegio de Postgraduados Montecillo. Ed. México. pp 53-61.
- MENGE, J.A. 1984. Inoculum production. In C.H. Powell and D.J. Bagyaraj (ed) VA mycorrhizae. CRC. Press, Boca Raton F1. p 197-203.
- MICHEL, V y VALDÉS M. 1992. Micorrización del limón en diferentes agroecosistemas. I taller sobre biofertilización en los trópicos. VIII. Seminario científico. INCA. La Habana Cuba 33 p.
- MILLER, M.H y T.P. MC GONIGLE. 1990. Soil disturbance and VA mycorrhizal fungi in Eigh. North American Conference on mycorrhizae Jackson, Wyoming
- MONTERO, M. 1991. Elaboración de bioabono de carbono orgánico a partir de pulpa de café. *Revista del Instituto del café en Costa Rica. Año VI No. 66:155-421*
- MOSSE, B. 1975. Specificity in VA mycorrhizas p 469-484. In F.E. Sanders, B. Mosse and P.B. Finker (ed) Endomycorrhizas. Academic Press. Inc. London.
- MULLIGAN, M.F; SMUCKER, A.J.M. and SAFIR, G.F. 1985. Tillage modifications of dry edible bean root colonization by VAM fungi. *Agron. J.* 77: 140-142.
- NEMEC, S. 1980. Effects of fungicides on endomicorrizal development in sour orange. *Can. J. Bot.* 58:522-526.
- NOLASCO, M. 1985. *Café y Sociedad en México*. Centro de Ecodesarrollo. México. 454 p.
- PORTER, W.M; ROBSON, A.B. and ABBOT, L.K. 1987. Field survey of the distribution of VA mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *J. Appl. Ecol.* 24:659-662.
- PACHECO, H., S. 1992. producción de plantulas de *Coffea arabica* en vivero bajo los principios de la agricultura orgánica. XV Simposio Latinoamericano de cafecultura. 21-24 de julio. SARH. INMECAFE-IICA-PROMECAFE
- PARRA, M. SÁNCHEZ, M., SIEVERDING E. 1990. Efecto de la micorriza vesiculo- arbuscular en café (*Coffea arabica* L.) variedad colombia en almácigo. *Acta agron.* Vol. 40(1-2) 88-99



Ecología y comportamiento de la endomicorriza-arbuscular en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)

- PHILLIPS, J.M. Y HATMAN. 1970. Improved procedures for clearing roots and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55:158-161.
- QUINTERO, L., R. FERRERA-CERRATO Y R. RODRIGUEZ. 1989. La endomicorriza en el árbol de hule, canelero y pimienta. Memorias del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Montecillo. Estado de México. 24-28 jul. p.196.
- RANGESHWARAN, R. W, KRISHNAMURTHY R. y P., K. RAMA J.H. 1990. Vesicular- arbuscular micorrhiza in coffee. *J. Coffee Res.* 20 (1) 55-58
- RAMIREZ, G.E. 1990. Poda del café. In *El cultivo del café en México*. INMECAFE. México. 159-162 p.
- READ, D.J y H.K. KOUCHEKI y J. HUDGSON. 1976. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in natural vegetation systems y. The occurrence of infection. *New Phytol* 77,641-603.
- REGALADO, O.A. y A. VILLANUEVA. 1990. Enfermedades del café In: *El cultivo del café en México*. INMECAFE. 179 p.
- REID, C.P.P. 1984. Mycorrhizae: a root soil interface in plant nutrition. In *Microbial plant interactions* Soil Science Society of America. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. USA. pp. 22-46.
- RIVERA F.A. 1981. Evaluación de la resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en variedades del banco de germoplasma del Instituto Mexicano del Café. Tesis de licenciatura UACH. pp 36-38.
- RIVERA F.A. 1990. Variedades de café cultivados en México. In. *El cultivo del café en México*. INMECAFE. 15-18 p.
- RODRIGUEZ, A.O. 1990. Evaluación de programas de fertilización de almácigos de café en el Cañón de Pérez Zeledón. *Noticiero del café Costa Rica* pp 2-4.
- RODRIGUEZ, J; FLORES, B; BARRIENTOS E. 1992. Respuesta de cafetos (*Coffea arabica* L) en vivero a la aplicación de abono orgánico de pulpa de café y fertilizante químico. XV Simposio Latinoamericano de cafecultura. SARH. INMECAFE. IICA-PROMECAFE. Xalapa, Ver México. s/p.
- ROSS, J.P; R. RUTHENCUTLER. 1977. Population dynamics of two vesicular-arbuscular endomicorrhizal fungi and the role of hyperparasitic fungi. *Phytopatology* 67:490-496.
- RUIZ, B.R. 1977. Fertilización del café (*Coffea arabica* L) en vivero. Tesis Ing Agronomo Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo México. 123 p.
- SAGGIN-JUNIOR, O.J; J.O. SIQUEIRA, P.T.G. GUIRNARAES & E. OLIVEIRA. 1994. Interacao fungos micorrizicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo nao fumigado. *R. Bras. C. Solo. Campinas* 18:27-36.
- SAGGIN-JUNIOR, O.J; J.O. SIQUEIRA, A. COLOZZI-FILHO y E. OLIVEIRA. 1992. A infestacao do solo com fungus micorrizicos no crescimento nao micorrizadas. *R. Bras. Ci. Solo. Cam pinas.* 16:39-46.



- SALAZAR, A; J.N; MESTRE M. 1993. Uso de la conicachaza como sustratos en almácigos de café. *Cenicafe* 44(1) 20-28.
- SÁNCHEZ, C.J.C. 1991. *Caficultura Moderna*. Tercera edición. Guatemala C.A. pp.7-11.
- SANCHEZ-ESPINDOLA M.E. M.C. GONZALEZ-CHAVEZ; R FERRERA-CERRATO y D. TELIZ-ORTIZ. 1993. Introducción del vigor en plántulas de *Carica papaya* L bajo el efecto de la micorriza vesicular-arbuscular *Glomus* sp. como factor de desarrollo. In.. J.Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato. *Avances de investigación. Sección de microbiología de suelos. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados Montecillo. Ed .México*
- SANCHEZ,V.G. 1994. Eficiencia de hongos endomicorrizicos sobre la fertilización en la flor de noche buena. Tesis Profesional Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. 68 p.
- SANDERS I.R. 1982. Seasonal patterns of vesicular-arbuscular mycorrhizal occurrence in grasslands. *Symbiosis* 9: 315-320.
- SCHENK, N.C. y G.S. SMITH. 1982. Responses of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperatures. *New Phytol.* 92: 193-201 p.
- SIQUEIRA, J.O; y A. COLOZZI-FILHO. 1986. Micorrizas vesiculo-arbuscular em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *R. Bras. Ci. Solo* 10:207-211.
- SIQUEIRA, J.O; D.H. HUBBELL and R.R. VALLE. 1984. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular-mycorrhizal symbiosis. *Pesq. Agroa. Bras.* 19(12) 1465-1474.
- SIQUIERA, J.,O. A. COLOZZI-FILHO, O.J. SAGGIN-JUNIOR; P.T.G. GUIMARAES y E. OLIVEIRA. 1993. Crecimiento de mudas e producao de cafeeiro sobre influencia de fungus micorrizicos e superfosfato. *R. Bras. Ci. Solo. Campinas.* 17(1): 53-60
- SIQUIERA, O; A. COLOZZI-FILHO y O. SAGGIN-JUNIOR. 1994. Efeitos da infeccao de plantulas de cafeeiro com com quantidades crecentes de esporas do fungo endomicorrizicos *Gigaspora margarita* *Pesq. Agropec. Bras. Brasilia* (29): 6 p 875-883.
- SIMMONS, G.L. y P.E. POPE. 1988. Influence of soil water potential and mycorrhizal colonization on root growth of yellow-poplar and sweet gum seedlings grown in compacted soil. *Can. J. For. Res.* 18: 1392-1396.
- SIEVERDING, E. 1983. *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesiculo-arbuscular en el laboratorio.* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia, CA. 116 p.
- SIEVERDING, E. 1989. Ecology of UAM fungus in tropical Agrosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29. pp 29: 369-390.
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular Mycorrhiza management in tropical agrosystems. *Technical Cooperation- Federal Republic of Germany. Eschbon Alemania* 17-27 p.

- SIEVERDING, E y T.S. TORO. 1988. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza. *J. Agron. Crop. Sci.* 161: 322-382.
- SIEVERDING, E y D.E. LEHNER. 1984. Effect of herbicides on population dynamics of VA-mycorrhiza with cassava. *Angew. Bot.* 58: 283-294.
- SIEVERDING, E. y R.H. HOWELER. 1985. Influence of species of V-A mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. *Plant and Soil.* 88:213-221.
- SMITH, T.F.; A.J. NOACK y S.M. COSH. 1981. The effect of some herbicides on vesicular-arbuscular endophyte abundance in soil and infection of host roots. *Pesticide Sci.* 12: 91-97.
- SOTO, F. 1980. Estimación del área foliar en *Coffea arabica* L. a partir de medidas lineales de las hojas. Instituto de Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, La Habana. Cuba. p. 115-129.
- SOTO, E.M. 1986. Localidades y climas del Estado de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, México. 137 p.
- ST JOHN, T.V. D.C. COLEMAN y C.P. REID. 1983. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae with soil organic particles. *Ecology.* 64: 957-959.
- SUAREZ DE CASTRO. 1961. Distribución de las raíces del café (*Coffea arabica* L.) en un suelo de El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Boletín Informativo. Suplemento 6. St. Tecla, El Salvador, CA. p 82.
- SYLVIA, M; D y S.E. WILLIAMS. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stresses. In: *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture.* ASA Special publication Number 54.
- TORRES-AQUINO, M., FERRERA-CERRATO, R., TIRADO; GONZÁLES-CHÁVEZ, C. Y RINCON, S.J.A. 1992. Respuesta de la simbiosis naranjo agrio-hongo endomicorrizo al suministro de fósforo. XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Acapulco Guerrero. p.225
- URIBE-HENCIA A y A MESTRE-MESTRE. 1975. Efecto del Nitrógeno, el Fosforo y el Potasio sobre la producción del café. *Cenicafé* 158-173.
- VAAST y R. J. ZASOSKI. 1991: Influencia de las fuentes nitrogenadas de la micorrización con diversas especies sobre el crecimiento y la nutrición de cafetos jóvenes. *Café, Cacao The.* Vol. XXXV. No. 2. p121-128
- VAAST y R.J. ZASOSKI. 1992. Effects of VA mycorrhizae and nitrogen source rizosphere soil characteristic, growth nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) *Plant and Soil* 147 31-39.
- VALENCIA-ARISYAZABAL G. 1989. Degradación química y encalado de suelos. *Cenicafé* 40(2): 54-62.
- VARELA, L. y A. ESTRADA-TORRES. 1991. El papel de los microorganismos de la rizósfera y de la micorriza en la absorción de nutrientes minerales y agua. Memorias X Curso taller de otoño 19-29 Noviembre CYCY. Mérida Yucatán. México.



VEJESADORA, H., ARSELOVA, H., Z PRIKRYLZAND, V. VANDORA. 1989. Effect of diferent phosphorus and nitrogen levels on development of VA mycorrhiza rhizobial activity and soybean growth. Agriculture, Ecosistems and Envieromen. (29): 429-434

VILLASEÑOR, L.A. 1987. Cafecultura moderna en México. Agrocomunicación Saenz Colin y Asociado. Primera edición. México. .

WALLACE, L.L. 1987. Effects of clipping and soil compactation on growth morphology and mycorrhizal colonization of *Schizachyrium scoparium*, a C₃ Bunch grass. Oecologia 72: 423-428.

WARNER, A. 1984. Colonization of organic matter by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi-Trns Br. Mycol. Soc. 82: 352-354.

WARNER, A y MOSSE, B. 1980. Independent spread of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi soil. Trns Br. Mycol. Soc 74 407-410.

ZAMBOLIN, L. y N.C. SCHENCK. 1983. Reduction of the effect of patogenic root-infecting fungi on soybean by the mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*. Phythopatology 73:1402-1405.



8. APENDICE

A-1 Resumen del analisis estadistico efectuado para el experimento: Efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos en cuatro variedades de cafe.

Variable	Cuadrado medio del error	G.I. para el error	Pr>F	C.V. en %
Altura	94.916	154	0.000	84.25
Area foliar	7386.570	154	0.000	72.32
Peso seco	1.859	154	0.000	72.25
Volumen radical	23.683	154	0.000	76.94

A-2 Resumen del analisis estadistico efectuado para el experimento: Efecto de dos cepas de hongos endomicorrizicos materia organica y roca fosforica sobre el crecimiento y desarrollo de platulas de cafe.

Variable	Cuadrado medio del error	G.I. para el error	Pr>F	C.V. en %
Altura	10.177	336	0.000	12.15
Area foliar	55.279	336	0.000	19.19
Peso seco	5.718	336	0.000	21.60
Volumen radical	1.907	336	0.000	26.14

A-3 Resumen del analisis estadistico efectuado para el experimento: Efecto de diferentes niveles de P y N y su interaccion con la simbiosis micorrizica en plantas de cafe.

Variable	Cuadrado medio del error	G.I. para el error	Pr>F	C.V. en %
Altura	28.225	128	0.000	33.90
Area foliar	11799.915	128	0.000	76.10
Peso seco	7.197	128	0.000	71.93
Volumen radical	1.869	128	0.000	65.53