



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

PROGRAMA DE POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**BIODIVERSIDAD Y FUNCIÓN DE HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN  
HUERTAS DE PAPAYO CON DIFERENTE SISTEMA DE MANEJO DE  
PRODUCCIÓN EN ISLA, VERACRUZ.**

WENDY SANGABRIEL CONDE

TESIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ.  
2008

**BIODIVERSIDAD Y FUNCIÓN DE HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN  
HUERTAS DE PAPAYO CON DIFERENTE SISTEMA DE MANEJO DE  
PRODUCCIÓN EN ISLA, VERACRUZ.**

## AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados *Campus Veracruz*, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al CONACYT por el apoyo financiero para la realización de mis estudio de Maestría.

A los miembros de mi Consejo Particular:

Dra. Dora Trejo Aguilar, por su invaluable apoyo en la dirección de esta tesis, y por impulsarme siempre a continuar preparándome. Mil gracias por ser mi ejemplo a seguir.

Dra. Alejandra Soto Estrada, por ser una excelente consejera y por guiarme durante mis estudios de Maestría.

Dr. Octavio Ruiz Rosado, por su apoyo y por compartir conmigo su amplia experiencia en el campo de la investigación.

Dr. Ronald Ferrera Cerrato por su importante apoyo y sabios consejos dentro y fuera del ámbito académico.

A la M.C. Liliana Lara Capistrán, por su gran ayuda y asesoría en la realización del trabajo de laboratorio, en las instalaciones del Laboratorio de Organismos Benéficos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana.

A mis amigos: Tere, Marta, Gris y Gerardo, por su hermosa amistad y compañía en el aula y fuera de ella, y por estar siempre al pendiente de mí. Sinceramente gracias.

A todas y cada una de las personas que laboran en el Campus Veracruz y de las que sólo recibí muestras de apoyo: maestros, secretarias, y personal de apoyo.

## DEDICATORIA

A mis padres:

Julián y Eloisa por darme su amor incondicional, y por apoyarme siempre en todas mis decisiones, proyectos y sueños. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mi esposo Antonio, con amor, por brindarme su apoyo, compañía, y por impulsarme a seguir luchando para alcanzar mis metas.

A mis hermanos: Lety, Edith y Julián, por su cariño, ayuda y aliento.

A mis suegros Gaudencio y Miriam, y a mis cuñados por cobijarme y brindarme su cariño y apoyo.

A Dios por obsequiarme el precioso don de la vida y permitirme conservar la salud para poder alcanzar otra más de mis metas.

## **PRESENTACIÓN**

Wendy Sangabriel Conde, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman una asociación simbiótica con las raíces de las plantas, favoreciendo un incremento en la asimilación de nutrientes del suelo. Los HMA colonizan la mayoría de los cultivos agrícolas; entre ellos, el cultivo del papayo presenta alto grado de dependencia micorrízica. Sin embargo, se cree que esta asociación es afectada por las prácticas de manejo utilizadas. Por lo que, en este trabajo se estudió la diversidad y distribución de especies de HMA así como la colonización y potencial infectivo de éstas en huertas de papayo bajo diferente manejo de producción en Isla, Veracruz.

Como resultado de esta investigación, se presenta esta tesis estructurada fundamentalmente en cuatro capítulos. El primero, incluye una revisión de literatura sobre el estudio de los agroecosistemas y el comportamiento de los Hongos Micorrízico-Arbusculares (HMA), haciendo énfasis en su participación dentro del funcionamiento de dichos agroecosistemas y finaliza con una breve discusión sobre los temas abordados. En el segundo capítulo se describe el estudio de la diversidad y distribución de especies, así como la densidad y abundancia de esporas de HMA. El tercer capítulo, incluye resultados sobre la capacidad de los HMA para colonizar y establecer la simbiosis micorrízica con raíces del cultivo bajo estudio. Finalmente, las conclusiones generales de esta investigación se integran en el cuarto capítulo.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA .....	V
PRESENTACIÓN .....	VI
CAPITULO I. HONGOS MICORRIZICO-ARBUSCULARES EN LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES .....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Los agroecosistemas tropicales .....	1
1.1.1. Biodiversidad en los agroecosistemas .....	4
1.2. Presencia de los hongos micorrízico-arbusculares en los agroecosistemas tropicales .....	5
1.2.1. Papel de la micorriza arbuscular .....	5
1.2.2. Influencia de los HMA en los agroecosistemas tropicales .....	6
1.2.2.1. Nutrición de los cultivos .....	7
1.2.2.2. Enfermedades en cultivos .....	10
1.2.2.3. Interacción con otros microorganismos del suelo .....	11
1.2.2.4. Estrés hídrico.....	12
1.2.2.5. Estructura del suelo .....	13
1.2.3. Influencia de las prácticas agrícolas sobre los HMA .....	14
1.2.3.1. Labranza .....	15
1.2.3.2. Fertilización.....	16
1.2.3.3. Pesticidas.....	18
1.3. Importancia del estudio de poblaciones de HMA nativas .....	19
1.4. El cultivo de papaya en Veracruz y su relación con los HMA .....	20
1.4.1. El cultivo de papaya en Isla, Veracruz.....	21
1.4.2. Beneficios de los HMA sobre el cultivo de papaya .....	22
1.5. Discusión .....	23
1.6. Literatura citada .....	30

CAPÍTULO II. DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN PLANTACIONES DE PAPAYO CON DIFERENTE MANEJO DE PRODUCCIÓN.....	42
2.1. RESÚMEN.....	42
2.2. ABSTRACT .....	43
2.3. INTRODUCCIÓN.....	44
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	46
2.4.1. Ubicación y descripción de las parcelas bajo estudio.....	46
2.4.2. Muestreo de suelo en huertas de papayo.....	49
2.4.3. Determinación de la densidad e identificación de esporas de HMA .....	49
2.4.4. Determinación de la dominancia de especies de HMA .....	51
2.4.5. Análisis estadístico .....	51
2.5. RESULTADOS .....	51
2.5.1 Análisis de suelos.....	51
2.5.2. Identificación de especies de HMA en las parcelas de papayo .....	52
2.5.3. Diversidad de especies de HMA en las parcelas de papayo.....	55
2.5.4. Densidad de esporas de HMA en las parcelas de papayo .....	56
2.5.5. Dominancia entre especies de HMA encontradas en las parcelas de papayo .....	59
2.5.6. Distribución de especies de HMA encontradas en parcelas de papayo .....	61
2.6. CONCLUSIONES.....	63
2.7. LITERATURA CITADA .....	65
CAPITULO III. POTENCIAL INFECTIVO DE HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN PAPAYO CON DIFERENTE MANEJO DE PRODUCCIÓN.....	69
3.1. RESÚMEN.....	69
3.2. ABSTRACT .....	70
3.3. INTRODUCCIÓN.....	71
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	74
3.4.1. Ubicación y descripción de las parcelas bajo estudio.....	74
3.4.2. Muestreo de suelo en huertas de papayo.....	74
3.4.3. Evaluación de la colonización micorrízica en raíces de plantas .....	74
3.4.4. Evaluación del potencial infectivo de HMA .....	75
3.5. RESULTADOS .....	78

3.5.1. Análisis de suelos .....	78
3.5.2. Colonización micorrízica en campo .....	78
3.5.3. Número más probable de propágulos infectivos (NMP).....	82
3.6. CONCLUSIONES.....	85
3.7. LITERATURA CITADA .....	87
CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	91

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de manejo de las parcelas de papayo tipo Maradol en el municipio de Isla, Ver. ....48

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos colectados en las parcelas de papayo en campo en Isla, Veracruz, en octubre de 2006. ....53

Cuadro 3. Dominancia de especies de HMA en las parcelas de papayo en campo en Isla, Veracruz, en otoño 2006 e invierno 2007.....61

Cuadro 4. Porcentaje de colonización micorrízica en raíces de plantas de papayo establecidas en las parcelas de estudio.....80

Cuadro 5. Número más Probable (NMP) de propágulos de HMA presentes en los suelos sembrados con papayo en Isla, Veracruz. ....84

Cuadro 6. Porcentaje de colonización micorrízica ( $\pm$  error estándar) de plantas de maíz (*Zea mays* L.) crecidas en diferentes diluciones de suelo cultivado con papayo..86

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Características de los morfotipos de HMA identificados en los suelos de las parcelas de papayo y pasto estrella. a) *Gigaspora gigantea* Gerdemann y Trappe; b) *Acaulospora spinosa* Walker y Trape; c) *Archaeospora leptoticha* Morton and Redecker; d) *Acaulospora scrobiculata* Trape; e) *Glomus heterosporum* Smith y Schenck; f) *Glomus* spp.1; g) *Glomus* spp.2; h) *Glomus* spp.3.....54
- Figura 2. Índice de diversidad de especies de Shannon-Weaver ( $H'$ ) de HMA encontradas en las muestras de suelo en las parcelas de papayo en Isla, Ver.....55
- Figura 3. Densidad promedio de esporas de HMA ( $\pm$  ES) presentes en 100 g. de suelo. A. considerando ambos muestreos y B. Promedio para cada uno de los muestreos en las parcelas de papayo en Isla, Veracruz. ....57
- Figura 4. Dendograma de agrupamiento de las comunidades de HMA en las parcelas de papayo y el pastizal de Isla Veracruz. ....62
- Figura 5. Estructuras fúngicas intrarradicales de HMA desarrolladas durante el proceso de simbiosis micorrízica en el cultivo de papayo en campo (H=Hifas, V= vesículas A= arbusculos) .....78
- Figura 6. Porcentaje de colonización micorrízica ( $\pm$ ES) en raíces de plantas de papayo crecidas en campo y colectadas en las épocas de otoño e invierno.....80

# **CAPITULO I. HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

Wendy Sangabriel Conde, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

## **1. Introducción**

Este capítulo presenta una revisión sobre el estudio de los agroecosistemas y el comportamiento de uno de los principales componentes de la microbiota del suelo: los Hongos Micorrízico-Arbusculares (HMA), haciendo énfasis en su participación dentro del funcionamiento de dichos agroecosistemas y finalizando con una breve discusión sobre los temas abordados.

### **1.1. Los agroecosistemas tropicales**

Por su ubicación geográfica, en los climas tropicales, la incidencia casi perpendicular de los rayos del sol hace que la duración de los días y las noches sea prácticamente igual durante todo el año. La disponibilidad de energía luminosa abundante durante todo el año constituye una ventaja para la producción agrícola, puesto que no existe limitación para la actividad fotosintética. Además, la uniformidad de las temperaturas y las pequeñas variaciones estacionales permiten la explotación o desarrollo de una amplia gama de cultivos, ya que las altas humedades relativas disminuyen los requerimientos hídricos de las plantas, convirtiendo a las regiones tropicales en áreas con un alto potencial para la agricultura, la cual es una actividad primaria básica para la subsistencia de la población humana (Sans, 2007).

Inicialmente, el estudio de los ecosistemas, considerados por Odum (1988) como “cualquier unidad que incluya todos los organismos que funcionan juntos en un área determinada, interactuando con el medio físico de modo que un flujo de energía conduzca a la formación de estructuras bióticas claramente definidas y al ciclaje de materia entre las partes vivas y no vivas”, se limitaba a los sistemas silvestres; pero fue a partir de los años 70 del siglo pasado cuando el término agroecosistema surgió como tal, para referirse a la interpretación y estudio de los sistemas agrícolas. Aunque el concepto de agroecosistema es relativamente reciente en la historia de la ciencia, el agroecosistema como fenómeno se puede identificar desde que el ser humano se inicia en la agricultura.

El término agroecosistema ha sido abordado por varios autores. Una de las primeras definiciones para este término fue dada por Hernández X. (1977), quien lo definió como “un ecosistema natural modificado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola, pecuaria, forestal o de la fauna silvestre”. Otra concepción fue propuesta por Conway (1985), para quien no existe un tamaño espacial único de análisis del agroecosistema y lo define como “un sistema ecológico modificado por el ser humano para producir alimentos, fibras y otros productos”. Por otra parte, Ruíz- Rosado (2006) define al agroecosistema como “un ecosistema modificado por el hombre, donde se desarrollan interacciones sociales, económicas y ecológicas complejas, a través de diferentes niveles jerárquicos, para la obtención de alimentos y otros derivados ”.

Los agroecosistemas dentro de su estructura, comprenden policultivos, sistemas mixtos, y monocultivos; además, presentan diferencias de complejidad entre sí, mismas que responden a diversos factores tales como edad, número de especies cultivadas, estructura y manejo (Altieri, 1995). En algunas regiones tropicales, los sistemas convencionales de producción agrícola (monocultivos), generalmente están basados en el uso masivo de subsidios energéticos, como son la aplicación de fertilizantes, plaguicidas y maquinaria agrícola, los cuales degradan de modo progresivo los recursos naturales y la calidad del ambiente.

Por otra parte (Altieri y Letourneau, 1982; Gliessman *et al.*, 1981), consideran que los agroecosistemas deben ser analizados de manera sistémica y armónica en función de los diferentes factores (biológico, natural, socioeconómico y ambiental) que los determinan, con el fin de precisar cuales son sus interacciones, funcionamiento, efectos y significado.

El análisis de agroecosistemas consiste en la integración y síntesis de componentes y procesos que interactúan a escala de ecosistemas bajo uso agrícola, y estudia de manera ordenada y metodológica, los diferentes factores involucrados en el proceso productivo con el objetivo de mejorar el manejo, reducir el impacto sobre el medio ambiente y elevar la sostenibilidad del agroecosistema (Bawden y Ison, 1992). Dicha sostenibilidad está determinada por la capacidad del agroecosistema para mantenerse productivo a lo largo del tiempo evitando la degradación del ambiente y proporcionando recursos económicos que satisfagan las necesidades alimentarias y mejoren la calidad

de vida de las personas, de acuerdo a límites ambientales y características culturales (Conway, 1985).

### **1.1.1. Biodiversidad en los agroecosistemas**

Un factor que influye de manera importante en la sostenibilidad de los agroecosistemas tropicales es la biodiversidad, la cual se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos existentes que interactúan dentro de un ecosistema (Altieri, 1992), además de proporcionar servicios a éste más allá de la producción de alimentos, combustibles e ingresos (Altieri, 1995). Los polinizadores, las lombrices y los microorganismos del suelo son componentes claves de la biodiversidad, y tienen funciones ecológicas importantes dentro de procesos como el ciclaje de nutrientes, el control de microclimas, la regulación de procesos hidrológicos locales, y la regulación de la abundancia de organismos plaga. Estos procesos de renovación de los servicios del ecosistema son en su mayoría biológicos, por lo tanto su persistencia depende del mantenimiento de la biodiversidad. Entonces cuando estos servicios naturales se pierden debido a la simplificación biológica, los costos pueden ser significativos (Altieri, 1995).

Aproximadamente 85% de toda la biodiversidad existente en el planeta se encuentra en los trópicos, donde la amplia gama de condiciones climáticas propician la existencia de innumerables nichos ecológicos que explican la riqueza aun no cuantificada de las diferentes especies tropicales (MARN, 2002). Uno de los principales componentes de la biodiversidad dentro de los agroecosistemas son los microorganismos del suelo debido

a su importante participación en el desarrollo del sistema suelo-planta, puesto que realizan diversas actividades que afectan el desarrollo, nutrición y salud de la planta y benefician la calidad del suelo (Barea, 2003).

Partiendo de sus relaciones con las plantas, los microorganismos del suelo se dividen en tres grandes grupos: a) saprofitos, que utilizan compuestos orgánicos procedentes de residuos de animales, vegetales o microbianos; b) patógenos, causantes de enfermedades a las plantas; c) simbioses benéficos, los cuales favorecen el desarrollo y nutrición vegetal. Entre estos últimos destacan los hongos formadores de micorrizas, capaces de asociarse con las raíces de las plantas y proveerles nutrientes minerales, y de los cuales abordan los temas siguientes.

## **1.2. Presencia de los hongos micorrízico-arbusculares en los agroecosistemas tropicales**

### **1.2.1. Papel de la micorriza arbuscular**

La micorriza constituye el tipo de asociación simbiótica más frecuente en la naturaleza (Harley, 1991). Dentro de las comunidades vegetales que se encuentran habitando el planeta, más del 90% se caracterizan por formar la simbiosis micorrízica (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Existen diferentes tipos de hongos que forman éste tipo de asociaciones; específicamente para la agricultura, los hongos micorrízico-arbusculares (HMA) pertenecientes al *phylum Glomeromycota* (SchüBler *et al.*, 2001) son los de mayor importancia particularmente en suelos tropicales, donde el potencial de beneficio que estos hongos aportan es mayor que en regiones de clima templado, debido a los

bajos niveles de fósforo (P) asimilable y a la alta capacidad de fijación de este elemento (Sieverding, 1991).

Durante el proceso de asociación HMA-planta, los hongos colonizan las raíces sin causar daño, llegando a ser, fisiológica y morfológicamente, parte integrante de dichos órganos (Barea y Honrubia, 2004; Smith y Read, 1997), pues sólo coloniza la epidermis y el parénquima cortical de las raíces, y nunca penetra el cilindro vascular ni las zonas meristemáticas. Estos hongos tienen dos componentes claramente definidos y diferenciados, el primero llamado “fase extrarradical” del hongo en la que incluyen el micelio externo, esporas y células auxiliares (en algunos casos), y el segundo conocido como “fase intrarradical” que incluye hifas intra e intercelulares y arbusculos. Durante la formación de la simbiosis la planta acepta al hongo sin desencadenar reacciones de defensa (Dumas-Gaudot *et al.*, 2000), debido al establecimiento de un continuo contacto molecular entre ambos simbiosis, dirigido por el intercambio de señales, que conducen al reconocimiento de ambos y al desarrollo de programas genéticos de aceptación (Vierheilig y Piché, 2002).

### **1.2.2. Influencia de los HMA en los agroecosistemas tropicales**

Como se ha mencionado, el efecto más importante que producen las HMA en los cultivos es un incremento en la absorción y traslocación de nutrientes del suelo como N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B (Koide, 1991; Marschner y Dell, 1994), que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas. La causa principal de este efecto, es la expansión del micelio del hongo por el suelo rizosférico, permitiendo la captación de

elementos minerales de baja movilidad (*i.e.* fósforo) en el suelo más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces por la propia absorción de la planta, (Jakobsen *et al.*, 1992; Sanders y Tinker, 1977). A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, así como un nicho ecológico protegido (Stribley *et al.*, 1980). Otras actividades que los HMA desarrollan dentro de los agroecosistemas, se describen a continuación.

#### **1.2.2.1. Nutrición de los cultivos**

El desarrollo óptimo de los cultivos demanda una elevada aplicación de fertilizantes minerales y plaguicidas. El uso de éstos implica no solo un costo y requerimientos energéticos elevados, sino que su utilización indiscriminada pudiera provocar daños ecológicos como la salinidad en los suelos y contaminación del manto freático (Gliessman *et al.*, 2007). Bajo este contexto, el papel de los HMA es importante en la nutrición de los cultivos. Los beneficios que los HMA aportan al hospedero, particularmente en cultivos tropicales ha sido demostrada (Fredeen *et al.*, 1989; Sieverding, 1991). En aguacate (*Persea americana*), se ha observado resistencia al trasplante (Menge *et al.*, 1978) mientras que en arroz, maíz y trigo al inocular con HMA, los rendimientos se han incrementado hasta en un 30% (Hernández y Cuevas, 1999). Por otra parte en portainjertos de naranjo agrio, la adición de roca fosfórica y la inoculación de *Glomus* sp Zac-19, incrementó el crecimiento de las plántulas hasta tres veces más que las plantas testigo (González-Chávez y Ferrera-Cerrato, 2000).

Así como se tienen respuestas positivas, existen cultivos que no responden a la colonización de HMA nativos (Ryan *et al.*, 2002), en la mayoría de los casos esto se debe a una elevada concentración de P disponible en el suelo (Sorensen *et al.*, 2005; Thingstrup *et al.*, 1998). Bajo estas condiciones, la colonización de las raíces por parte de los HMA es generalmente reducida (Al-Karaki, 2000; Kahiluoto *et al.*, 2001). Cuando ocurre un alto porcentaje de colonización junto con altas concentraciones de P, se reduce el crecimiento de los cultivos (Gavito y Varela, 1995b; Kahiluoto *et al.*, 2001), incluso en suelos donde la disponibilidad de P es baja, los cultivos pueden no responder a la colonización de HMA nativos (Ryan *et al.*, 2002) o a la inoculación externa (Sainz *et al.*, 1998), las causas por las cuales se presenta este comportamiento no son muy claras.

En muchos casos, los HMA causan un cambio en la asimilación de varios nutrientes que están siendo absorbidos por la planta al mismo tiempo, aunque el efecto sobre los diferentes nutrientes rara vez es el mismo (Kothari *et al.*, 1990; Menéndez *et al.*, 2001; Srivastava *et al.*, 2002). Por ejemplo, al incrementar los niveles de fertilización fosfatada en plantas micorrizadas y no micorrizadas de soya (*Glycine max* Mer.) y maíz (*Zea mays* L.), las concentraciones de Zn, Cu, Fe, Mn, K, Ca y Mg son menores en las plantas micorrizadas (Lambert *et al.*, 1979). En contraste, en frijol de palo (*Cajanus cajan*), se ha observado que la absorción y concentración de fósforo y zinc es mayor en plantas micorrizadas y a la vez fertilizadas con fósforo, en relación con plantas no micorrizadas a las que sólo se les aplica fertilización fosfatada.(Wellings *et al.*, 1991).

La colonización de HMA puede provocar el aumento de la absorción de un nutriente por parte de la planta hospedera, pero una reducción en la asimilación de otro (Kothari *et al.*, 1990): este efecto puede ser mediado por la concentración de otros nutrientes del suelo (Liu *et al.*, 2000). Por ejemplo, una reducción en la absorción de manganeso (Mn) por parte de la planta hospedera tras ser colonizada por HMA es normalmente común, incluso cuando la absorción de otros nutrientes ha aumentado, debido a los cambios inducidos por los HMA en otros microorganismos rizosféricos, como la disminución de bacterias reductoras de manganeso e incremento de bacterias oxidantes de manganeso, lo que permite que las concentraciones de éste elemento disminuyan (Azaizeh *et al.*, 1995; Kothari *et al.*, 1991). También se ha encontrado que la absorción de P, Cu y Zn en plantas de maíz micorrizadas, es mayor que en plantas testigo: sin embargo, en nutrientes como K, Mn y Fe el efecto es opuesto. Este efecto se atribuye a la disminución de la rizósfera por la acción del fertilizante fosfatado (Kothari *et al.*, 1990).

La especificidad entre HMA y el tipo de planta no es del todo clara. Evidencias aparentemente contradictorias sobre el efecto de los HMA en la absorción de nutrientes por parte de las plantas han sido relacionadas al hecho de que hay un grado de selectividad entre la planta y el hongo, y que las diferentes especies de HMA tienen efectos diferentes sobre distintas especies de plantas, mismos que pueden ser fuertemente positivos en la absorción de nutrientes o bien fuertemente negativos en la promoción del crecimiento (Bever *et al.*, 2001; Munkvold *et al.*, 2004; O'Connor *et al.*,

2002; van der Heijden, 2002; van der Heijden *et al.*, 2003; Vandenkoornhuyse *et al.*, 2003).

#### **1.2.2.2. Enfermedades en cultivos**

Aunque la investigación en las asociaciones micorrízicas se ha centrado principalmente en la absorción de nutrientes, existe evidencia de que los HMA también desempeñan un papel importante en el control de plagas y enfermedades agrícolas, en particular sobre enfermedades causadas por hongos patógenos (Borowicz, 2001). Para ello se establece que la asociación micorrízica cambia la estructura y fisiología de la planta a nivel radical (Newsham *et al.*, 1995) y provoca cambios en la comunidad de organismos patógenos del suelo, al disminuir sus poblaciones, la cantidad de sus propágulos infectivos y el grado de infección (Thomas *et al.*, 1994). Además, una planta que ha establecido una asociación con HMA es más resistente al ataque de los patógenos porque aumenta su estado nutrimental y se activan algunos mecanismos de defensa al sintetizar compuestos como ácido butírico, etileno, ácido ascórbico, etileno, arginina, isoflavonoides y fitoalexinas (Allen *et al.*, 1980; Azcón-Aguilar y Barea, 1997; Trotta *et al.*, 1996).

Los HMA provocan una mayor protección a las plantas hospederas contra el ataque de hongos patógenos que causan pudriciones de raíz como *Phytophthora*, *Aphanomyces*, *Pythium* y daños vasculares como *Fusarium* y *Verticillium* y a nematodos fitoparásitos agalladores y lesionadores como *Meloidogyne* y *Pratylenchus* (Whipps, 2004). Los mecanismos por lo que esto ocurre pueden variar; por ejemplo, con la ocupación de un

espacio en la raíz se logra un control más efectivo de la enfermedad cuando la colonización por parte de los HMA se lleva a cabo antes del ataque de los patógenos (Matsubara *et al.*, 2001; Sylvia y Chellemi, 2001). Otro mecanismo puede estar relacionado con cambios en los exudados radicales (Norman y Hooker, 2000), hecho que puede provocar cambios en las comunidades microbianas de la rizosfera y cambios en la estructura de la raíz de la planta hospedera (Vigo *et al.*, 2000; Yano *et al.*, 1996) o cambios bioquímicos en la raíz relacionados con mecanismos de defensa de la planta (Azcón-Aguilar y Barea, 1996; Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1996).

Otro tipo de enfermedades que pueden ser suprimidas por los HMA incluyen las causadas por nematodos patógenos (Jaizme-Vega *et al.*, 1997; Talavera *et al.*, 2001) y enfermedades fungosas foliares (West, 1995). El grado de control alcanzado varía entre especies (Estañol *et al.*, 1999; Gange *et al.*, 2003; Matsubara *et al.*, 2000) pudiendo ser el resultado de la especificidad enfermedad-planta. El efecto también puede estar mediado por la concentración de nutrientes del suelo, aunque no de forma predecible (Vicari *et al.*, 2002; Waceke *et al.*, 2002).

### **1.2.2.3. Interacción con otros microorganismos del suelo**

Además de la interacción con organismos patógenos del suelo, los HMA también interactúan con otros microorganismos que viven en ese hábitat. Algunas cepas bacterianas promueven la germinación de esporas de HMA aumentando el ritmo y la longitud de colonización en la raíz (Johansson *et al.*, 2004). Una vez que la simbiosis micorrízica se ha desarrollado, la hifa de los HMA actúa en el suelo circundante,

denominado micorrizósfera (Linderman, 1988), en donde también se desarrollan distintas comunidades microbianas (Andrade *et al.*, 1997). Dentro de la micorrizósfera los HMA interactúan con microorganismos benéficos como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), y bacterias fijadoras de nitrógeno (Biro *et al.*, 2000; Galleguillos *et al.*, 2000; Tsimilli-Michael *et al.*, 2000).

Un ejemplo muy importante de esta interacción es la influencia de los HMA en la simbiosis leguminosa-*Rhizobium* (Ibibijen *et al.*, 1996). Debido a que las leguminosas no presentan un sistema radical abundante, y que la fijación de N es un proceso que requiere grandes cantidades de energía para llevarse a cabo, estas plantas interactúan con los HMA para la fijación de éste elemento. Para esto, la colonización de raíces por HMA es estimulada por la bacteria y a la vez el hongo favorece la nodulación e incrementa el número de nódulos. Además, el contenido de P en los nódulos de plantas micorrizadas se incrementa (Azcón-Aguilar y Barea, 1992). Algunas investigaciones coinciden en que el aumento de la fijación de N en plantas micorrizadas se debe al incremento de la nutrición de P del hospedero; no obstante, esa hipótesis ha sido cuestionada con resultados opuestos presentados por Linderman (1992).

#### **1.2.2.4. Estrés hídrico**

Algunos estudios reportan que los HMA previenen la formación de espacios grandes entre las raíces y el suelo, lo que mantiene la continuidad del líquido a través de la interfase suelo-raíz (Augé, 2001; Augé, 2004). Además, las hifas extrarradicales incrementan la zona de captación de agua (Davies *et al.*, 2002; Querejeta *et al.*, 2003)

e incluso pueden tomar agua del suelo cuando ésta se encuentra con un valor de potencial hídrico no accesible para ser extraído por las raíces de las plantas sin simbiosis micorrízica (Bethlenfalvay, 1992).

También se ha demostrado que las plantas micorrizadas sometidas a condiciones de déficit de agua se recuperan más rápidamente y resisten por más tiempo las condiciones de sequía (Augé, 2001), lo que permite un efecto sinérgico, que incrementa las probabilidades de establecer de nuevo la comunidad vegetal en un sitio perturbado. No obstante, los HMA sólo pueden aliviar el estrés hídrico moderado, y en condiciones de sequía severa son inefectivos (Bryla y Duniway, 1997; Ryan y Ash, 1996). En algunos casos los HMA parecen no incrementar la tolerancia a sequía (Bryla y Duniway, 1998; Ryan y Ash, 1996). Estas contradicciones aparentes pueden ser una vez más, el resultado de la especificidad planta-HMA (Davies *et al.*, 2002; Pande y Tarafdar, 2002).

#### **1.2.2.5. Estructura del suelo**

Los HMA tienen efecto sobre la estructura del suelo, lo que los hace muy importantes dentro de los agroecosistemas, donde los cultivos y los bajos niveles de materia orgánica del suelo, traen como resultado daños en la estructura del mismo. El efecto es en la formación de agregados del suelo, importantes en la conservación de las comunidades naturales. Las hifas extrarradicales de los HMA producen una glicoproteína llamada glomalina, que contribuye junto con la actividad de otros microorganismos del suelo, a la unión de partículas y con esto a la formación de

agregados (Wright y Upadhyaya, 1998). Los agregados formados son estables al agua y de dimensiones mayores (20 a 200 mm diámetro) que las partículas originales, lo cual favorece la formación de microporos que retienen agua para prevenir deficiencias de humedad alrededor de la raíz en la época de secas y drenar eficientemente durante las lluvias (Wright y Upadhyaya, 1998). Algunos trabajos sugieren que la glomalina no siempre ejerce una fuerte influencia sobre la estabilidad de agregados del suelo (Borie *et al.*, 2000; Franzluebbers *et al.*, 2000; Wright y Upadhyaya, 1998).

### **1.2.3. Influencia de las prácticas agrícolas sobre los HMA**

Actualmente la obtención de productos agrícolas, implica un elevado uso de insumos, y de prácticas que han traído consigo inestabilidad para los agroecosistemas (Altieri, 1992). Algunas manifestaciones de esto son la reducción o pérdida total de poblaciones de enemigos naturales para el control de plagas, la pérdida de la fertilidad de los suelos, el surgimiento de nuevas plagas, la necesidad de usar niveles más altos de agroquímicos para mantener los rendimientos (Sans, 2007).

Se considera que las micorrizas son un agente estabilizador importante de los agroecosistemas y que el uso de algunas prácticas culturales puede afectar su funcionamiento adecuado dentro del agroecosistema, de tal forma que su efecto puede o no verse reflejado en los rendimientos. A continuación se analizan algunas de las prácticas agrícolas con mayor influencia en el desarrollo de los HMA.

### 1.2.3.1. Labranza

El efecto más importante de la labranza en el funcionamiento de la micorriza es el rompimiento de la red de micelio extrarradical (Kurle, 1994) y la consecuente reducción de su infectividad. Experimentos en campo realizados por Vivekanadan y Fixen (1991) con el cultivo de maíz, indican que en suelo menos perturbado existe mayor colonización radical por HMA, más rendimiento de materia seca y menor respuesta al P agregado. Los mismos efectos han sido confirmados en invernadero donde tratamientos con suelo labrado en campo, mostraron un retraso en la colonización y una reducción del crecimiento y extensión radical (Evans y Miller, 1990; Jasper *et al.*, 1991); mientras que la reducción de la labranza aumentó la colonización y la asimilación de nutrientes de la planta.

Otro efecto es que la ruptura de la red de hifas de HMA, expone al suelo a la erosión, pues las hifas se inhabilitan para atrapar los microagregados del suelo ( $< 250 \mu\text{m}$ ) y formar macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ) que permiten la estabilidad física del suelo. El efecto real de la labranza sobre los HMA puede depender del tipo de suelo (Kabir *et al.*, 1998) y de la profundidad a la que se realice; entre más profunda sea la labranza, más se pueden enterrar los propágulos de HMA a niveles donde las raíces de plantas jóvenes no puedan acceder, retrasando con ello la colonización (Kabir, 2005).

Estudios sobre los efectos de la labranza (convencional y labranza cero), indican que la colonización y el número de esporas de HMA en raíces de maíz es mayor en el sistema de labranza cero aunque la eficiencia en la asimilación de P es mayor en el

sistema de labranza convencional (Gálvez *et al.*, 2001; Miller, 2000).. Sin embargo, este efecto no ocurre en plantas de trigo (*Triticum vulgare*) las cuales son menos micotróficas que el maíz (Mozafar *et al.*, 2000). Por lo tanto la especie hospedera pudiera jugar un papel importante en la relación HMA-labranza.

Aunque la labranza, en general, se considera como poco benéfica para la simbiosis micorrízica, ejerce una amplia gama de efectos sobre los agroecosistemas como son el aumento de la mineralización de N, aumento de la temperatura del suelo, reducción del número de malezas; por lo tanto, sus efectos, no siempre resultan en la reducción de la colonización micorrízica, la disminución en la asimilación de nutrientes y reducción del rendimiento en los cultivos (Gálvez *et al.*, 2001; Mozafar *et al.*, 2000).

### **1.2.3.2. Fertilización**

En algunas zonas de producción agrícola intensiva, la aplicación de fertilizantes fosfatados ha sido superior a las necesidades de los cultivos, lo que ha resultado en la acumulación excesiva de P fácilmente disponible en el suelo (Withers *et al.*, 2001). Al existir una cantidad mayor de fósforo asimilable, en la planta la síntesis de la enzima fosfatasa decrece, al igual que el contenido de proteínas lectinas, bloqueando el desarrollo de la simbiosis micorrízica (Hayman, 1987). Sin embargo existen estudios que reportan una alta colonización en suelos que contienen una gran cantidad de P disponible, e inclusive algunos reportan una aparente insensibilidad de los HMA a la aplicación de fertilizantes fosfatados (Ryan y Ash, 1999; Vosatka, 1995).

Kahiluoto *et al.*, (2001) reportaron que en varios cultivos, el porcentaje de colonización micorrízica y la diversidad de esporas de HMA disminuyeron al incrementar los niveles de P en el suelo. Por otra parte Johnson (1993), reporta que la fertilización también puede influenciar sobre la selección de especies de HMA menos eficientes, debido a que las especies de estos hongos en suelos altamente fertilizados proveen menos nutrientes a la planta hospedera y almacenan menor cantidad de carbohidratos.

El uso de otro tipo de fertilizantes fácilmente solubles, en particular los fertilizantes nitrogenados, ha mostrado, en algunos casos, tener un impacto negativo sobre la colonización y/o la diversidad de especies de HMA. Tal es el caso de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) donde la colonización de HMA decrece al incrementar los niveles de fertilizante nitrogenado en el suelo (Miller y Jackson, 1998a). Así mismo, la abundancia de HMA disminuye en suelos con niveles de fertilizantes nitrogenados elevados (Treseder y Allen, 2002).

Algunos biofertilizantes de fuente orgánica (estiércol de granja, compostas, residuos de cosechas), y ciertos abonos de lenta liberación de minerales (roca fosfórica) estimulan el desarrollo de la micorriza arbuscular (Alloush y Clark, 2001; Joner, 2000; Kabir *et al.*, 1998; Miller y Jackson, 1998b). En contraste, el uso excesivo de fertilizantes orgánicos, con alto contenido de P, como el estiércol de pollo, puede tener efectos negativos sobre algunas especies de HMA, pues a niveles altos de P, se incrementa la concentración de fosfolípidos en la membrana vegetal, lo que conduce a una menor

exudación radical y trae como consecuencia una disminución en el desarrollo de la simbiosis micorrízica (Douds *et al.*, 1997).

### **1.2.3.3. Plaguicidas**

El efecto de los plaguicidas sobre la asociación micorrízica es complejo, contrastante y no fácilmente predecible, e incluso, es difícil interpretar el efecto de algunos de éstos como los fungicidas y nematicidas (Schreiner y Bethlenfalvay, 1997) de los cuales se hará mención en los párrafos siguientes.

Por ejemplo Sreenivasa y Bagyaraj (1989) al probar los efectos de nueve fungicidas sobre el hongo *Glomus fasciculatum* en pasto Rhodes (*Chloris gayana*), encontraron que al aplicar dosis comerciales, todos los fungicidas redujeron la colonización entre un 12 y 25% y la producción de esporas entre 19 y 25%.. Posteriormente Udaiyan *et al.*, (1999) reportaron un efecto similar de los fungicidas furadan, and termix en tres especies de mijo (*Eleusine coracana*, *Panicum miliaceum* y *Paspalum scrobiculatum*). En contraste, el captan (N-(trichloromethylthio) cyclohex-4-ene-1,2-dicarboximide) y el metalaxyl (methyl N-(methoxyacetyl)-N-(2,6-xylyl)-DL-alaninate) produjeron un incremento en los valores de los parámetros mencionados (Hwang *et al.*, 1993).

Los fungicidas Terrazole (5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole) y Terraclor (pentachloronitrobenzene), redujeron la colonización micorrízica en algodón (*Gossypium hirsutum*), sin embargo, el efecto fue transitorio ya que después de seis semanas se observó colonización (Pattinson *et al.*, 1997).

Algunos fungicidas de uso reciente y considerados de bajo riesgo como el azoxystrobin (methyl (E)-2--3-methoxyacrylate) y kresoxim-methyl (methyl (E)-methoxyimino[a-(o-tolyloxy)-o-tolyl]acetate) han sido evaluados para determinar su efecto sobre los HMA, encontrando que estos inhiben completamente la colonización micorrízica en plantas de maíz (*Zea mays*) (Diedhiou *et al.*, 2004).

Además de los fungicidas, el efecto de otros plaguicidas sobre el desarrollo de la simbiosis micorrízica también se ha estudiado. Sreenivasa y Bagyaraj (1989) reportan que los nematicidas, reducen la colonización y la producción de esporas en pasto Rhodes, aplicando la dosis comercial recomendada; sin embargo, al aplicar la mitad de la dosis, la esporulación y la colonización se incrementan.

### **1.3. Importancia del estudio de poblaciones de HMA nativas**

Aunque los HMA se encuentran presentes en todos los ecosistemas tropicales, la distribución de las especies no es homogénea y existen suelos y cultivos donde la concentración de especies (potencial micorrízico natural) de HMA es muy baja para promover el desarrollo de las plantas (Sieverding, 1991); por lo tanto, es necesario reconocer las áreas en las cuales las poblaciones de HMA son bajas o poco efectivas.

Se fundamenta que el conocimiento de las interacciones de los HMA y las condiciones edáficas puede llevar al establecimiento de poblaciones mejor adaptadas y más efectivas que garanticen los beneficios de la asociación simbiótica, debido a que el comportamiento de las poblaciones de HMA es regulado por diversos factores

ambientales que pueden afectar su comportamiento. Existe evidencia de que estas asociaciones presentan “especificidad ecológica”, la cual consiste en la posibilidad de encontrar en un inóculo mixto o bajo condiciones nativas un tipo particular de HMA que colonice preferentemente a un hospedero (McGonigle y Fitter, 1990).

En México, los estudios básicos del suelo en las zonas tropicales son escasos, específicamente en relación al comportamiento de las comunidades de HMA en diferentes sistemas de manejo de producción de cultivos (Chamizo *et al.*, 1998; Estrada-Torres *et al.*, 1992; Ferrera-Cerrato *et al.*, 1996; Gavito y Varela, 1995a; Trejo *et al.*, 1996). Se han realizado investigaciones para determinar el efecto de aislamientos de especies de HMA sobre sistemas de producción agrícola, con el fin de lograr sistemas de producción sostenibles y competitivos, pero, el conocimiento acerca de la ecología de poblaciones nativas y el papel de las condiciones edáficas y climáticas en el establecimiento y efectividad de esta asociación es limitado. Sin embargo, en algunas zonas agrícolas de Europa central se han realizado estudios que describen la diversidad de hongos micorrízico-arbusculares (Jansa *et al.*, 2002; Oehl *et al.*, 2003) que pueden servir de apoyo para estudiar las poblaciones de HMA en nuestro país.

#### **1.4. El cultivo de papaya en Veracruz y su relación con los HMA**

En México, la región tropical abarca cerca del 15% de su territorio y es considerada como una zona privilegiada desde el punto de vista de la disponibilidad y la calidad de los recursos naturales, ya que cuenta con una gran cantidad de suelos fértiles, aptos

para la producción agrícola y tierras de vocación forestal. Los agroecosistemas tropicales mexicanos son complejos, y abarcan una gran diversidad de cultivos, que en algunos casos constituyen la base de la alimentación popular y en otros sirven en forma sustancial a la exportación que aporta grandes ingresos en divisas (SAGARPA, 2005).

El cultivo de papayo (*Carica papaya* L.) es uno de los frutales de mayor importancia en las región tropical del país, ya que México es el principal exportador del fruto a nivel mundial, con 96 mil toneladas, lo que representa el 38% del total de las exportaciones mundiales. Dentro de las diferentes variedades, la papaya tipo maradol es la de mayor producción en México con 690,638.98 toneladas (COVECA, 2006).

#### **1.4.1. El cultivo de papaya en Isla, Veracruz**

La papaya ha tenido mayor demanda en las zonas costeras de México en los últimos cinco años. Posee sabor agradable, un alto valor nutritivo al ser una fuente excelente de vitamina C, alto contenido de fibra, además de ser un gran auxiliar para la digestión. La papaya roja como la tipo Maradol, es rica en vitamina A.

Veracruz, un estado localizado en la parte central del Golfo de México, es privilegiado en recursos naturales y biodiversidad, situación que le ha permitido destacar como uno de los principales productores agrícola y forestal a nivel nacional. Es el principal productor de papaya tipo maradol en el país, siendo Puente Nacional, Paso de Ovejas, Cotaxtla e Isla los principales municipios productores de ésta fruta (COVECA, 2006).

El municipio de Isla se encuentra ubicado en la región sur del estado de Veracruz, misma que se caracteriza por tener condiciones aptas para la agricultura, sin embargo, debido a su ubicación geográfica está expuesto a fenómenos climáticos y biológicos que dañan las cosechas, afectando económicamente a quienes viven de esta actividad. Uno de éstos fenómenos es el proceso natural de erosión-sedimentación, mismo que se ha incrementado en las últimas décadas con la práctica de una agricultura intensiva, donde los periodos de descanso para recuperar la fertilidad y mejorar la estructura del suelo prácticamente han desaparecido (Salas, 1995).

Debido a sus requerimientos nutricionales, la sostenibilidad económica del cultivo de papaya está en gran medida, determinada por la utilización de paquetes tecnológicos que incluyen el uso de maquinaria de labranza y aplicación de agroquímicos, condiciones que han ocasionado problemas como la erosión, agotamiento de nutrientes y reducción del pH del suelo (Rojano, 2003).

#### **1.4.2. Beneficios de los HMA sobre el cultivo de papaya**

Particularmente, el cultivo de papaya presenta un alto grado de dependencia micorrízica (Trindade *et al.*, 2001). Los beneficios que éstos simbiontes aportan al cultivo son innegables y reportados por varios autores. (Jaen y Ferrera-Cerrato, 1989), estudiaron el comportamiento de 19 cepas de HMA en papayo cv. Cera y Solo, encontrando que las plantas micorrizadas se desarrollaron mejor que las testigo sin inocular. De igual forma, Weber y Amorim (1994) observaron que el desarrollo de las

plantas de papayo colonizadas por HMA es igual al de plantas fertilizadas con P; pero las especies *Glomus etunicatum* y *Entrophospora colombiana* promueven de manera más eficiente el desarrollo de las plantas.

Por otra parte, (López-Moctezuma, 2003), evaluó la influencia de HMA, *Bacillus* sp y vermicomposta en el crecimiento y floración de plantas de papayo, reportando que la inoculación con HMA promovió un mayor crecimiento de las plantas de papayo a la edad de 48 días de inoculadas, con una mayor capacidad fotosintética y tasa de crecimiento en comparación con las testigo sin inocular. Asimismo, Sangabriel *et al.*, (2004) reportan que en invernadero, las plantas de papayo inoculadas con HMA superaron hasta en un 95.5% a las plantas testigo, en cuanto a diámetro, altura, número de hojas, área foliar y volumen radical.

### **1.5. Discusión**

Indudablemente los agroecosistemas son la principal fuente de alimentos e ingresos económicos para los agricultores y sus familias, además de una importante fuente de divisas para el país, derivadas de la exportación de numerosos productos del campo.

Los productores agrícolas dependen de los recursos naturales del campo para poder desarrollar sus actividades productivas, pero la productividad de dichos recursos depende de la forma de manejo particular de cada productor, quien en la mayoría de los casos, no toma en cuenta a todos los diferentes factores que pueden intervenir en el proceso de producción, y centra su atención únicamente en el factor económico y de

rendimiento debido a que desconoce todo el mosaico de factores y elementos necesarios para que su parcela o agroecosistema pueda seguir siendo productiva a lo largo de los años.

Sin embargo, en las últimas décadas, gracias al esfuerzo de algunos investigadores (Altieri, 1995; Gliessman *et al.*, 1981; Gliessman *et al.*, 2007), el manejo del agroecosistema se ha reconsiderado, como se realizaba antes de la efervescencia de la revolución verde . Por lo que, los agricultores así como las instituciones de investigación agrícola, poco a poco están poniendo atención sobre la necesidad de reorientar los sistemas de producción agrícola, para convertirlos en sistemas capaces de producir, pero cuidando que las condiciones biológicas naturales se mantengan a través del tiempo. Sin lugar a dudas, esto implica, una nueva conciencia social, ecológica y política y un gran esfuerzo para que los productores puedan acceder y poner en práctica nuevos conocimientos que hagan posible alcanzar la tan mencionada “sostenibilidad” de los agroecosistemas. No obstante, aun cuando hay acuerdos de que el manejo de los sistemas agrícolas sostenibles debe preservar el capital natural (Altieri, 1992), el punto de discusión constante es: ¿Cuáles son las tecnologías agrícolas adecuadas que permitan llevar a cabo esta encomienda?.

Sin lugar a dudas, una de las mayores dificultades que enfrentan el estudio de los agroecosistemas, es encontrar el balance de producción entre la manera convencional con uso de insumos químicos y las nuevas estrategias de producción agrícola que incluyen la utilización de productos más naturales. Uno de los puntos de mayor debate

es que una agricultura de alto rendimiento no puede prescindir por completo de las aportaciones de fertilizantes y agroquímicos: si bien esto es verdad, también es cierto que si se puede cambiar el uso inadecuado que se les da a algunos de ellos, y que causan graves problemas ambientales y sanitarios (Altieri, 1995; Altieri y Letourneau, 1982).

Uno de los retos más importantes es desarrollar investigaciones sociales y tecnológicas que permitan valorar la productividad de los agroecosistemas, tomando en consideración los diferentes factores involucrados en el proceso de producción como son: la productividad por unidad de trabajo o de tiempo, de inversión de dinero, por unidad de energía, por unidad de agua, en relación con las necesidades humanas, y disponibilidad de recursos naturales de cada agroecosistema.

La fertilidad del suelo es uno de estos factores importantes dentro del proceso de producción, ya que es el soporte sin el cual no podrían desarrollarse las actividades agrícolas, por lo que debe analizarse cuidadosamente el manejo que se le da, ya que es un sistema complejo conformado por un gran número de subsistemas (Mirkin *et al.*, 2002), en este sentido, los microorganismos, que hasta hace poco pasaban desapercibidos, han empezado a ser objeto de estudio, debido a la importante función que realizan en la estabilidad del suelo. Hoy en día, el manejo apropiado de la relación que hay entre los microorganismos, las plantas y el suelo se ha convertido en una alternativa viable para generar sistemas de producción más sostenibles y menos contaminantes. El objetivo es lograr la sostenibilidad de los sistemas agrícolas sin

perturbar la dinámica del suelo (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2001). Existen opciones disponibles, a través de los microorganismos del suelo, para alcanzar una agricultura sostenible que resulte práctica y rentable para cada unidad agrícola permitiendo a su vez mejorar la fertilidad del suelo. Dentro de este marco de sostenibilidad, se encuentran las micorrizas.

Los hongos formadores de micorrizas-arbusculares (HMA), actualmente considerados de interés agrícola, pueden considerarse en el diseño de cualquier sistema de producción, pues además de ser componentes inseparables de los agroecosistemas, las diversas funciones que realizan en su asociación con las plantas, les permiten fungir como sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Los efectos benéficos del uso de HMA resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de micorrizas han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas intensivas. La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces (Sieverding, 1991). Los desafíos de la conservación de la fertilidad del suelo y de la producción sostenible en esta región se resumen, en la recuperación de la fertilidad del suelo y el aumento de la productividad de los cultivos. Por lo tanto se considera que el manejo adecuado de las micorrizas puede ser de gran beneficio para solventar este problema.

Es de suma importancia aclarar que no se trata de la simple solución "planta micorrizada=mayor rendimiento", sino del aprovechamiento de las ventajas que proporciona la micorrización en función de los beneficios a la planta: resistencia a plagas (Whipps, 2004) , enfermedades (Borowicz, 2001), a condiciones adversas (Augé, 2004); al agroecosistema: ciclaje de nutrientes (Read y Perez-Moreno, 2003), estabilidad del suelo (Wright y Anderson, 2000) ; y al agricultor: apropiación de tecnología posible y factible que le permite reducir costos de producción. En pocas palabras, la utilización de HMA no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y se puede ahorrar cantidades importantes de fertilizantes minerales al tiempo que se logra una mayor absorción de los nutrientes disponibles en el suelo por parte de las plantas. Entonces, cuando se tiene un rápido crecimiento de las plantas, ahorro en fertilizantes, riego y productos fitosanitarios, producción temprana y uniforme, y una mejor calidad de la cosecha, la relación beneficio-costo que obtienen los productores es mayor.

En el caso del cultivo del papayo, que necesariamente requiere de períodos de crecimiento a nivel de vivero, previo a su establecimiento en campo donde se pretendan cultivar, la inoculación y manejo de los hongos micorrízicos arbusculares representa alto potencial (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999), ya que, como se ha mencionado, la micorriza actúa como acelerador del crecimiento, por lo que se pueden obtener plantas con mayor vigor y sanidad. Una vez que se conoce la importancia de los HMA en la nutrición de las plantas, es lógico que la atención de los productores se centre en conocer las posibilidades de manipular la simbiosis para ser incorporada en

las prácticas agrícolas. Para esto, es necesario conocer cuál es el potencial real de las micorrizas de un suelo. Si éste es adecuado, entonces, es pertinente preservarlo mediante prácticas agrícolas adecuadas. En caso que dicho potencial natural no sea suficiente (número adecuado de propágulos y eficiencia para establecer la simbiosis), será necesario reforzarlo con la introducción de especies de HMA seleccionadas adecuadamente. Entonces para conocer la potencialidades de los HMA en un suelo determinado, primero se supone la presencia de HMA en dicho suelo pero, evidentemente, esto no es así en la práctica, ya que por circunstancias debidas fundamentalmente al manejo técnico de los agroecosistemas (fertilización y otras prácticas de cultivo), la realidad es diferente y las poblaciones de HMA no siempre son abundantes o efectivas para promover un beneficio a favor de las plantas.

Por esta razón es necesario realizar el análisis de poblaciones nativas de HMA en relación con los diferentes ambientes en los que se desarrollan. La información obtenida de este tipo de evaluaciones puede conducir a un uso adecuado de estos microorganismos como biofertilizantes optimizando los resultados en cuanto a producción en sistemas agrícolas.

Es pertinente aclarar que el problema no es ocasionado por los cultivos, sino por los sistemas de producción agrícola que, en la búsqueda de una alta rentabilidad, no consideran formas de conservación del suelo ni de restitución de la fertilidad natural para compensar la extracción de nutrientes por el cultivo (Salgado, 2003).

Por todo lo anterior, es indispensable partir de investigaciones en campo, para poder determinar la distribución de las poblaciones de HMA y su efectividad para contribuir a la sostenibilidad de los agroecosistemas.

## 1.6. Literatura citada

- Al-Karaki G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Micorriza*, 10:51-54.
- Alarcón A., y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Revista Terra*, 17:179-191.
- Altieri M. A. 1992. Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. CETAL, Valparaíso, Chile. .
- . 1995. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES, Santiago, Chile.
- Altieri M. A., y D. K. Letourneau. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*, 1:405-430.
- Allen M. F., T. S. Moore, y M. Christensen. 1980. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular–arbuscular mycorrhizae: I. Cytokinin increases in the host plant. *Canadian Journal of Botany*, 58:371-374.
- Alloush G. A., y R. B. Clark. 2001. Maize response to phosphate rock and arbuscular mycorrhizal fungi in acidic soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:231-254.
- Andrade G., K. L. Mihara, R. G. Linderman, y G. J. Bethlenfalvay. 1997. Bacteria from rhizosphere and hydrosphere soils of different arbuscularmycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 192:71-79.
- Augé R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
- . 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations *Canadian Journal of Soil Science*, 84:373-381.
- Azaizeh H. A., H. Marschner, V. Römheld, y L. Wittenmayer. 1995. Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and other soil microorganisms on growth, mineral nutrient acquisition and root exudation of soilgrown maize plants. *Mycorrhiza*, 5:321-327.
- Azcón-Aguilar C., y J. M. Barea. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. In M. F. Allen, Chapman. y Hall. (eds.), *Mycorrhizal functioning and integrative Plant-Fungal Process*, pp. 163-198, New York.
- . 1996. Arbuscular mycorrhizas and biocontrol of soil-borne plant pathogens, an overview of the biological mechanisms involved *Mycorrhiza*, 6:457-464.

- . 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture, significance and potentials *Journal of Horticultural Science*, 68:1-24.
- Barea J. M. 2003. Las micorrizas arbusculares componente clave en la productividad y estabilidad de agroecosistemas, pp. 50. Departamento de Microbiología del Suelo y Sistemas Simbióticos, Estación Experimental del Zaidín, Granada, España.
- Barea J. M., y M. Honrubia. 2004. La micorrización dirigida de la planta forestal In V. R. Vallejo y J. A. Alloza (eds.), *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo*. Fundación CEAM, Valencia España.
- Bawden R. J., y R. L. Ison. 1992. The purposes of field-crop ecosystems: social and economic aspects In C. J. Pearson (ed.), *Field crop ecosystems* . , pp. 11-35. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Bethlenfalvay G. J. 1992. Mycorrhizae in the agricultural plant-soil system *Symbiosis* 14:413-425.
- Bever J. D., P. A. Schultz, A. Pringle, y J. B. Morton. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why *Bioscience* 51:923-931.
- Biro B., K. Koves-Pechy, I. VorosTakacs, P. Eggenberg, y R. J. Strasser. 2000. Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogenfixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa at sterile, AMF-free or normal soil conditions *Applied Soil Ecology*, 15:159-168.
- Borie F., R. Rubio, A. Morales, y C. Castillo. 2000. Relación entre la densidad de hifas de hongos micorrizógenos arbusculares y producción de glomalina con las características físicas y químicas de suelos bajo cero labranza. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73:749-756.
- Borowicz V. A. 2001. Do arbuscular mycorrhizal fungi alter plant-pathogen relations? *Ecology* 82:3057-3068.
- Bryla D. R., y J. M. Duniway. 1997. Effects of mycorrhizal infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat *Plant and Soil* 197:95-108.
- . 1998. The influence of the mycorrhiza *Glomus etunicatum* on drought acclimation in safflower and wheat *Physiologia Plantarum*, 104:87-96.
- Conway G. R. 1985. Agroecosystems analysis. *Agricultural Administration* 20:31-55.
- COVECA C. V. d. C. A. 2006. Monografía de la papaya, pp. 16. Gobierno del estado de Veracruz, Xalapa, Veracruz.

- Chamizo A., R. Ferrera-Cerrato, y L. Varela. 1998. Identificación de especies de un consorcio del género *Glomus*. *Revista Mexicana de Micología*, 14:37-40.
- Davies F. T., V. Olalde-Portugal, L. Aguilera-Gomez, M. J. Alvarado, R. C. Ferrera-Cerrato, y T. W. Boutton. 2002. Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with arbuscular mycorrhiza indigenous to Mexico. *Scientia Horticulturae* 92:347-359.
- Diedhiou P. M., E. C. Oerke, y H. W. Dehne. 2004. Effects of the strobilurin fungicides azoxystrobin and kresoxim-methyl on arbuscular mycorrhiza. *Verlag Eugen Ulmer GMBH Z.* , 111:545-556.
- Douds D. D., L. Galvez, M. Franke-Snyder, C. Reider, y L. E. Drinkwater. 1997. Effect of compost addition and crop rotation point upon VAM fungi *Agriculture, Ecosystems & Environment* 65:257-266.
- Dumas-Gaudot E., A. Gollotte, C. Cordier, S. Gianinazzi, y V. Gianinazzi-Pearson. 2000. Modulation of host defence systems In Y. Kapulnik (ed.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*, pp. 173-200 Kluwer Academia Publishers.
- Estañol B. E., R. Ferrera-Cerrato, M. C. Sosa, R. J. A. Santizo, y L. R. Quintero. 1999. Interacción del nematodo *Meloidogyne chitwoodi* con tres especies de hongo *glomus* sp. en la producción y distribución de materia seca de plantas jóvenes de maíz *TERRA Latinoamericana*, 17:17-25.
- Estrada-Torres A., L. Varela, L. Hernández-Cuevas, y G.-P. M. 1992. Algunos hongos micorrízicos arbusculares del estado de Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Micología*, 8:85-110.
- Evans D. G., y M. H. Miller. 1990. The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonisation of maize. *New Phytologist*, 114:65-71.
- Ferrera-Cerrato R., y A. Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*, 8:175-183.
- Ferrera-Cerrato R., G. A. Flores, y M. C. González-Chávez. 1996. Producción de melón en campo bajo alternativas biológicas. In J. Pérez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds.), *Nuevos horizontes en agricultura, agroecología y desarrollo sostenible*, pp. 350-352. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.
- Franzluebbers A. J., S. F. Wright, y J. A. Stuedemann. 2000. Soil aggregation and glomalin under pastures in the southern Piedmont, USA. *Soil Science Society of America Journal* 64:1018-1026.
- Fredeen A. L., I. M. Rao, y N. Terry. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning on *Glycine max*. *Plant Physiology*, 89:225-230.

- Gálvez L., D. D. Douds, L. E. Drinkwater, y P. Wagoner. 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas an nutrient uptake of maize. *Plant and Soil* 228:299-308.
- Galleguillos C., C. Aguirre, J. M. Barea, y R. Azcón. 2000. Growth promoting effect of two *Sinorhizobium meliloti* strains (a wild type and its genetically modified derivative) on a non-legume plant species in specific interaction with two arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Science*, 159:57-63.
- Gange A. C., V. K. Brown, y D. M. Aplin. 2003. Multitrophic links between arbuscular mycorrhizal fungi and insect parasitoids. *Ecology Letters*, 6:1051-1055.
- Gavito M., y L. Varela. 1995a. Response of "criollo" maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 176:101-105.
- Gavito M. E., y L. Varela. 1995b. Response of criollo maize to single and mixed-species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil*, 176:101-105.
- Gianinazzi-Pearson V., E. Dumas-Gaudot, A. Gollotte, A. Tahiri-Alaoui, y S. Gianinazzi. 1996. Cellular and molecular defence related root responses to invasion by arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 133:45-57.
- Gliessman S. R., R. García, y M. Amador. 1981. The ecological basis for the applications of traditional agricultural technology in the management of tropical agroecosystems. *Agro-Ecosystems*, 7:173-185.
- Gliessman S. R., F. J. Rosado-May, C. Guadarrama-Zugasti, J. Jedlicka, A. M. Cohn, V.E., R. Cohen, L. Trujillo, C. Bacon, y R. Jaffe. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16:13-23.
- González-Chávez M. C., y R. Ferrera-Cerrato. 2000. Roca fosfórica y *Glomus* sp. en el crecimiento de naranjo agrio. *Terra* 18:361-367.
- Harley J. L. 1991. Introduction: the state of the art. In J. R. Norris, D. J. Read y A. K. Varma (eds.), *Techniques for the study of mycorrhiza. Methods in Microbiology.*, pp. 1-23. Academic Press., London.
- Hayman D. S. 1987. VA micorrizas in field crop systems. In G. R. Safir (ed.), *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants* pp. 171-192. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Hernández M., y P. F. E. Cuevas. 1999. Evaluación de diferentes cepas de micorriza arbuscular en el cultivo del arroz en condiciones de inundación. *Cultivos Tropicales*, 20:19-22.
- Hernández X. E. 1977. El agroecosistema concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. In X. E.

- Hernández (ed.), Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados, México.
- Hwang S. F., P. Chakravarty, y D. Prevost. 1993. Effects of rhizobia, metalaxyl, and VA mycorrhizal fungi on growth, nitrogen-fixation, and development of pythium root rot of sainfoin. *Plant Disease*, 77:1093-1098.
- Ibibijen J., S. Urquiaga, M. Ismaili, B. J. Alves, y R. M. Boddey. 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition and nitrogen fixation of three varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *New Phytologist* 134:353-360.
- Jaen C. D., y R. Ferrera-Cerrato. 1989. Vesicular arbuscular endomycorrhiza and its effect in two papaya cultivars (*Carica papaya* L. Cera and cv. Solo) 2nd European Symposium on mycorrhizae., pp. 50, Prague, Checoslovakia.
- Jaizme-Vega M. C., P. Tenoury, J. Pinochet, y M. Jaumot. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Glomus mosseae* in banana. *Plant and Soil* 196:27-35.
- Jakobsen I., L. K. Abbott, y A. D. Robson. 1992. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 120:371-380.
- Jansa J., A. Mozafar, T. Anken, R. Ruh, I. R. Sanders, y E. Frossard. 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza*, 12:225-234.
- Jasper D. A., L. K. Abbott, y A. D. Robson. 1991. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil from different vegetation types. *New Phytologist* 118:471-476.
- Johansson J., L. R. Paul, y R. D. Finlay. 2004. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. *FEMS Microbiology Ecology*, 48:1-13.
- Johnson N. C. 1993. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? *Ecological Applications*, 3:749-757.
- Joner E. J. 2000. The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover. *Biology and Fertility of Soil* 32:435-440.
- Kabir Z. 2005. Tillage or no-tillage: impact on mycorrhizae. *Canadian Journal of Plant Science*, 85:23-29.
- Kabir Z., I. P. O'Halloran, J. W. Fyles, y C. Hamel. 1998. Dynamics of the mycorrhizal symbiosis of corn (*Zea mays* L.), effects of host physiology, tillage practice and

- fertilization on spatial distribution of extra-radical mycorrhizal hyphae in the field. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 68:151-163.
- Kahiluoto H., E. Ketoja, M. Vestberg, y I. Saarela. 2001. Promotion of AM utilization through reduced P fertilization. II. Field studies. *Plant and Soil*, 231:65-79.
- Koide R. T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant-response to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 117:365-386.
- Kothari S. K., H. Marschner, y V. Römheld. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. *New Phytologist*, 116:637-645.
- . 1991. Effect of a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and rhizosphere microorganisms on manganese reduction in the rhizosphere and manganese concentrations in maize (*Zea mays* L.). *New Phytologist* 117:649-655.
- Kurle J. E., Pflieger, F.L. 1994. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi In F. L. Pflieger y R. G. Linderman (eds.), *Mycorrhizae and Plant Health*, pp. 101-132. APS Press, Minnesota.
- Lambert D. H., D. J. Baker, y J. H. Cole. 1979. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. *Soil Science Society of America Journal*, 43:976-980.
- Linderman R. G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology*, 78:366-371.
- . 1992. Vesicular arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions In G. J. Bethlenfalvay y R. G. Linderman (eds.), *Mycorrhizae in sustainable agriculture*, pp. 45-70. ASA Special Publication, Madison, Wisconsin, USA.
- Liu A., C. Hamel, R. I. Hamilton, B. L. Ma, y D. L. Smith. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels *Mycorrhiza*, 9:331-336.
- López-Moctezuma H. 2003. Influencia de HMA, *Bacillus* sp y vermicomposta en el crecimiento y floración de plantas de papayo, Universidad de Colima.
- MARN M. d. M. A. y R. N. 2002. Estrategia de Inventarios y Monitoreo de la Biodiversidad, pp. 28. GEF-UNDP, El Salvador.
- Marschner H., y B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159:89-102.
- Matsubara Y., Y. Kayukawa, M. Yano, y H. Fukui. 2000. Tolerance of asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus to violet root rot caused by

- Helicobasidium mompa*. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 69:552-556.
- Matsubara Y., N. Ohba, y H. Fukui. 2001. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus infection on the incidence of fusarium root rot in asparagus seedlings. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 70:202-206.
- McGonigle T. T., y A. H. Fitter. 1990. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal association. Mycological Research 94:120-122.
- Menéndez A. B., J. M. Scervino, y A. M. Godeas. 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. Biology and Fertility of Soils, 33:373-381.
- Menge J. H., M. Davis, E. L. V. Johnson, y G. A. Zentmyer. 1978. Mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. California Agriculture, 32:6-7.
- Miller M. H. 2000. Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize. A review of the Guelph studies. Canadian Journal of Plant Science 80:47-52.
- Miller R. L., y L. E. Jackson. 1998a. Survey of vesicular-arbuscular mycorrhizae in lettuce production in relation to management and soil factors. Journal of Agricultural Science 130:173-182.
- . 1998b. Survey of vesicular–arbuscular mycorrhizae in lettuce production in relation to management and soil factors The Journal of Agricultural Science, 130:173-182.
- Mirkin B. M., F. K. Khaziev, Y. T. Suyundukov, y R. M. Khaziakhmetov. 2002. Soil fertility management: An agroecosystem approach. Eurasian soil science, 35:203-209.
- Mozafar A., T. Anken, R. Ruh, y E. Frossard. 2000. Tillage intensity, mycorrhizal and non-mycorrhizal fungi, and nutrient concentrations in maize, wheat, and canola. Agronomy Journal, 92:1117-1124.
- Munkvold L., R. Kjoller, M. Vestberg, S. Rosendahl, y I. Jakobsen. 2004. High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist 164:357-364.
- Newsham K. K., A. H. Fitter, y A. R. Watkinson. 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. Trends in Ecology and Evolution, 10:407-411.
- Norman J. R., y J. E. Hooker. 2000. Sporulation of *Phytophthora fragariae* shows greater stimulation by exudates of nonmycorrhizal than by mycorrhizal strawberry roots. Mycological Research, 104:1069-1073.

- O'Connor P. J., S. E. Smith, y F. A. Smith. 2002. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. *New Phytologist*, 154:209-218.
- Odum H. T. 1988. Self organization, transformity, and information. *Science*, 242:1132-1139.
- Oehl F., E. Sieverding, K. Ineichen, P. Mäder, T. Boller, y A. Wiemken. 2003. Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, 69:2816-2824.
- Pande M., y J. C. Tarafdar. 2002. Effect of phosphorus, salinity and moisture on VAM fungal association in neem (*Azadirachta indica* L.) *Simbiosis*, 32:195-209.
- Pattinson G. S., D. I. Warton, R. Misman, y P. A. McGee. 1997. The fungicides Terrazole and Terraclor and the nematicide Fenamiphos have little effect on root colonisation by *Glomus mosseae* and growth of cotton seedlings. *Mycorrhiza*, 7:155-159.
- Querejeta J. I., L. Egerton-Warburton, y M. F. Allen. 2003. Direct nocturnal water transfer from oaks to their mycorrhizal symbionts during severe soil drying. *Oecologia*, 134:55-64.
- Read D. J., y J. Perez-Moreno. 2003. Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? *New Phytologist*, 157:475–492.
- Rojano R. 2003. Información Personal, pp. Manuscrito no publicado, Juan Rodríguez Clara, Veracruz. México.
- Ruíz-Rosado O. 2006. Agroecología: Una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Interciencia*, 31:140-145.
- Ryan M. H., y J. Ash. 1996. Colonisation of wheat in southern New South Wales by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi is significantly reduced by drought. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 36:563-569.
- . 1999. Effects of phosphorus and nitrogen on growth of pasture plants and VAM fungi in SE Australian soils with contrasting fertiliser histories (conventional and biodynamic). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 73:51-62.
- Ryan M. H., R. M. Norton, J. A. Kirkegaard, K. M. McCormick, S. E. Knights, y J. F. Angus. 2002. Increasing mycorrhizal colonisation does not improve growth and nutrition of wheat on vertosols in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 53:1173-1181.
- SAGARPA. 2005. Comportamiento de la balanza comercial agroalimentaria de México.67.

- Sainz M. J., M. T. Taboada-Castro, y A. Vilarino. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. *Plant and Soil* 205:85-92.
- Salas P. G. 1995. Recursos no renovables, Recursos Naturales de la Cuenca del Papaloapan, pp. 221-250. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables México.
- Salgado L. V. 2003. Información Personal, pp. Manuscrito no publicado, Isla, Veracruz.
- Sanders F. E., y P. B. Tinker. 1977. Mechanism of absorption of phosphate from soil by endogone mycorrhizas *Nature*, 233:278-279.
- Sangabriel W., K. Ramírez, D. Trejo, y L. Lara. 2004. Encapsulado de hongos micorrízico-arbusculares y su efecto para promover el desarrollo de las plantas, Memoria del IV Symposium Nacional Y II symposium Iberoamericano de la Simbiosis Micorrízica, pp. 62.
- Sans F. X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas* 16:44-49.
- Schreiner R. P., y G. J. Bethlenfalvay. 1997. Mycorrhizae, biocides, and biocontrol. 3. Effects of three different fungicides on developmental stages of three AM fungi. *Biology and Fertility of Soils* 24:18-26.
- Schübler A., D. Schwarzott, y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105:1413-1421.
- Sieverding E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
- Smith S. E., y D. J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London, England.
- Sorensen N., J. Larsen, y I. Jakobsen. 2005. Mycorrhiza formation and nutrient concentration in leeks (*Allium porrum*) in relation to previous crop and cover crop management on high P soils. *Plant and Soil* 273:101-114.
- Sreenivasa M. N., y D. J. Bagyaraj. 1989. Use of pesticides for mass production of vesicular mycorrhizal inoculum. *Plant and Soil* 119:127-132.
- Srivastava A. K., S. Singh, y R. A. Marathe. 2002. Organic citrus, soil fertility and plant nutrition. *Journal of Sustainable Agriculture*, 19:5-29.
- Stribley D. P., P. B. Tinker, y J. H. Rainer. 1980. Relation of internal phosphorus concentration and plant weight in plants infected by vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist*, 86:261-266.

- Sylvia D. M., y D. O. Chellemi. 2001. Interactions among root-inhabiting fungi and their implications for biological control of root pathogens. *Advances in Agronomy* 73:1-33.
- Talavera M., K. Itou, y T. Mizukubo. 2001. Reduction of nematode damage by root colonization with arbuscular mycorrhiza (*Glomus* spp.) in tomato-*Meloidogyne incognita* (Tylenchida, Meloidognidae) and carrot *Pratylenchus penetrans* (Tylenchida, Pratylenchidae) pathosystems. *Applied Entomology and Zoology* 36:387-392.
- Thingstrup I., G. Rubaek, E. Sibbesen, y I. Jakobsen. 1998. Flax (*Linum usitatissimum* L.) depends on arbuscular mycorrhizal fungi for growth and P uptake at intermediate but not high soil P levels in the field. *Plant and Soil* 203:37-46.
- Thomas C., B. C. Mallesha, y D. J. Bagyaraj. 1994. Biological control of damping-off of Cardamom by the VA mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *Microbiological Research* 149:413-417.
- Trejo A. D., R. Ferrera-Cerrato, M. Escalona, y A. Rivera. 1996. Ecología de la endomicorriza arbuscular en el cultivo de café. *La Ciencia y el hombre*, 23:7-20.
- Treseder K. K., y M. F. Allen. 2002. Direct nitrogen and phosphorus limitation of arbuscular mycorrhizal fungi, a model and field test. *New Phytologist* 155:507-515.
- Trindade A. V., J. O. Siqueira, y F. P. De Almeida. 2001. Dependencia micorrízica de variedades comerciales de mamoeiro. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 12:1485-1494.
- Trotta A., G. C. Varese, E. Gnani, A. Fusconi, S. Sampo, y G. Berta. 1996. Interactions between the soilborne root pathogen *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* and the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* in tomato plants. *Plant and Soil* 185:199-206.
- Tsimilli-Michael M., P. Eggenberg, B. Biro, K. Koves-Pechy, I. Voros, y R. J. S. Strasser. 2000. Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers on the photosynthetic activity of alfalfa, probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. *Applied Soil Ecology* 15:169-182.
- Udaiyan K., S. Greep, T. Muthukumar, y A. Chitra. 1999. Effect of fumigation and pesticide drenches on VAM status and growth in cereals. *Journal of Environmental Biology*, 20:167-175.
- van der Heijden M. G. A. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as determinant of plant diversity, in search for underlying mechanisms and general principles. In M. G. A. van der Heijden y I. R. Sanders (eds.), *Mycorrhizal Ecology, Ecological Studies*, Vol. 157, pp. 243-265. Springer Verlag, Berlin, Germany.

- van der Heijden M. G. A., A. Wiemken, y I. R. Sanders. 2003. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. *New Phytologist*, 157:569-578.
- Vandenkoornhuysen P., K. P. Ridgway, I. J. Watson, A. H. Fitter, y J. P. W. Young. 2003. Co-existing grass species have distinctive arbuscular mycorrhizal communities. *Molecular Ecology* 12:3085-3095.
- Vicari M., P. E. Hatcher, y P. G. Ayres. 2002. Combined effect of foliar and mycorrhizal endophytes on an insect herbivore. *Ecology*, 83:2452-2464.
- Vierheilig H., y Y. Piché. 2002. Signalling in arbuscular mycorrhiza: Facts and hypotheses. In B. S. Buslig y J. A. Manthey (eds.), *Flavonoids in cell functions* pp. 23-39. Kluwer Academic/Plenum New York.
- Vigo C., J. R. Norman, y J. E. Hooker. 2000. Biocontrol of *Phytophthora parasitica* by arbuscular mycorrhizal fungi is a consequence of effects on infection loci. *Plant Pathology*, 49:509-514.
- Vivekanandan M., y P. E. Fixen. 1991. Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth, and phosphorus uptake of corn. *Soil Science Society of America Journal* 55:136-140.
- Vosatka M. 1995. Influence of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and mycorrhizal infection of transplanted onion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53:151-159.
- Waceke J. W., S. W. Waudu, y R. Sikora. 2002. Effect of inorganic phosphatic fertilizers on the efficacy of an arbuscular mycorrhiza fungus against a root-knot nematode on pyrethrum. *International Journal of Pest Management*, 48:307-313.
- Weber O. B., y S. M. C. Amorim. 1994. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos vesicular arbusculares em mamoeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:187-191.
- Wellings N. P., A. H. Wearing, y J. P. Thompson. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) improve phosphorus and zinc nutrition and growth of pigeonpea in a vertisol. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42:835-845.
- West H. M. 1995. Soil phosphate status modifies response of mycorrhizal and non mycorrhizal *Senecio vulgaris* L. to infection by the rust, *Puccinia lagenophorae* Cooke. *New Phytologist*, 129:07-116.
- Whipps J. M. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Canadian Journal of Botany*, 82:1198-1227.

- Withers P. J. A., A. C. Edwards, y R. H. Foy. 2001. Phosphorus cycling in UK agriculture and implications for phosphorus loss from soil. *Soil Use Manage*, 17:139-149.
- Wright S. F., y R. L. Anderson. 2000. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils* 31:249-253.
- Wright S. F., y A. Upadhyaya. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198:97-107.
- Yano K., A. Yamauchi, y Y. Kono. 1996. Localized alteration in lateral root development in roots colonized by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Mycorrhiza* 6:409-415.

## CAPÍTULO II. DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍZICO-ARBUSCULARES EN PLANTACIONES DE PAPAYO CON DIFERENTE MANEJO DE PRODUCCIÓN

Wendy Sangabriel-Conde, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

### 2.1. RESÚMEN

Se evaluó la diversidad de hongos micorrízico-arbusculares (HMA) presentes en suelos de huertas de papayo (*Carica papaya* L. tipo Maradol) con tres diferentes sistemas de manejo de producción clasificados como alta tecnología (AT), mediana tecnología (MT) y baja tecnología además de una parcela con pasto estrella como testigo (PT), localizadas en el municipio de Isla, Veracruz. En cada parcela se realizaron dos muestreos de suelo, uno en otoño y otro en invierno. Las muestras de suelo se utilizaron para evaluar la diversidad y distribución de especies, así como la densidad y abundancia de esporas de HMA. Se identificaron ocho especies de HMA, de las cuales cuatro pertenecieron al género *Glomus*, dos al género *Acaulospora*, una especie al género *Gigaspora*, y una al género *Archaeospora*. La parcela AT presentó la mayor diversidad de con un índice de diversidad de Shannon-Weaver ( $H' = 0.89$  en otoño y  $H' = 1.01$  en invierno). El mayor número de esporas en 100 g de suelo se presentó en la parcela PT ( $60.17 \pm 37.9$ ). Las especies pertenecientes al género *Glomus*, *Gigaspora* y *Acaulospora* se encontraron presentes en el suelo de todas las parcelas bajo estudio.

**Palabras clave:** Diversidad, esporas, hongos micorrízico-arbusculares.

## 2.2. ABSTRACT

The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in soils of papaya orchards (*Carica papaya* L. type Maradol) located in Isla, Veracruz, was evaluated by comparing three different management systems classified as high-tech production (AT), médium-tech production (MT) and low-tech production (BT) as well as a plot with grass (PT). In each system there were two soil samples, one in autumn and another in winter. Soil samples were assessed the diversity of AMF species, as well as the density and abundance of AMF spores. Eight species of AMF were identified, of which four belonged to the genus *Glomus*, two to genus *Acaulospora*, one to genus *Gigasporar*, and another one to genus *Archaeospora*. The system AT presented the greatest diversity of AMF species (7 species) as the highest Shannon-Weaver diversity index ( $H' = 0.89$  autumn y  $H' = 1.01$  winter). The largest number of spores in 100 grams of soil was quantified at the system PT ( $60.17 \pm 37.9$ ). The species belonging to the genus *Glomus*, *Gigaspora* and *Acaulospora* reported dominancy.

**Key words:** Diversity, spores, arbuscular mycorrhizal fungi.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízico-arbusculares (HMA) probablemente son los simbiosistas con mayor distribución dentro de los ecosistemas terrestres (Harley, 1991), debido a la asociación mutualista que forman con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres (Harley, 1991). Éste grupo de hongos pertenece al *phylum Glomeromycota* (Schübler *et al.*, 2001) y su presencia en el suelo data desde hace más de 400 millones de años (Remy *et al.*, 1994; Simon *et al.*, 1993).

Los HMA colonizan la gran mayoría de los cultivos (a excepción de algunas especies pertenecientes a las familias *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae* y *Cruciferae*) e incrementan la absorción de nutrientes minerales del suelo por parte de la planta hospedera, favoreciendo un mejor crecimiento y desarrollo de la misma (Sieverding, 1991).

La abundancia y diversidad de las especies de HMA está influenciada por diversos factores, como pueden ser el pH del suelo (Wang *et al.*, 1993), otros microorganismos que cohabitan a su alrededor (Bethlenfalvay y Schüepp, 1994; Hodge, 2000), y las prácticas agrícolas tales como la aplicación de fertilizantes, plaguicidas y el uso de maquinaria agrícola de labranza (Boddington y Dodd, 2000; Douds *et al.*, 1993; Huat *et al.*, 2002; Johnson, 1993; Kjölller y Rosendahl, 2000; Menéndez *et al.*, 2001; Talukdar y Germida, 1993).

En especies frutícolas como el papayo, el cual se cultiva ampliamente en Veracruz, y que se caracteriza por tener una elevada respuesta a la simbiosis micorrízica, los HMA favorecen un mejor desarrollo en relación a la biomasa aérea y radical, y le confieren a la planta tolerancia al ataque de patógenos del suelo (Jaen y Ferrera-Cerrato, 1989; Mohandas, 1992; Silva y Siqueira, 1991; Trindade *et al.*, 1991; Weber y Amorim, 1994).

En México, a pesar de la importante función que desarrollan los HMA dentro de los agroecosistemas en relación a la nutrición de los cultivos y al mantenimiento de la fertilidad natural del suelo (Cardoso y Kuyper, 2006), la mayoría de los estudios en campo están dirigidos a evaluar el comportamiento de los HMA en suelos tropicales no dedicados a la agricultura (Guadarrama y Álvarez-Sánchez, 1999; Núñez-Castillo y Álvarez-Sánchez, 2003), por lo que, el conocimiento acerca de la distribución de poblaciones nativas de HMA en los agroecosistemas tropicales mexicanos y particularmente de Veracruz, es aún limitado.

Considerando la importancia y el papel que juegan los HMA en el desarrollo de las plantas tropicales, y que la presencia de éstas especies es variable, además de la limitación de la investigación al respecto, es necesario realizar estudios para conocer y entender mejor la distribución y funcionamiento de éstos simbiosistas dentro de los agroecosistemas tropicales. Por ello el objetivo del presente trabajo fue determinar la densidad y diversidad de hongos micorrízico-arbusculares (HMA) presente en huertas de papayo (*Carica papaya* L.) bajo diferentes sistemas de manejo de producción localizadas en el municipio de Isla, Veracruz.

## **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1. Ubicación y descripción de las parcelas bajo estudio**

La investigación se realizó en huertas de papayo tipo Maradol localizadas en el municipio de Isla, Veracruz, ubicado geográficamente en la zona sur del Estado. Las parcelas o huertas se seleccionaron de acuerdo con el nivel de insumos (fertilizantes y plaguicidas) y tipo de labranza utilizados, quedando clasificadas como parcelas con alta tecnología (AT), mediana tecnología (MT) y baja tecnología (BT) (Cuadro 1.). Las parcelas con AT se caracterizaron por tener una aplicación de 27 plaguicidas, seis fuentes de fertilizante y labranza convencional que consistió en dos subsoleos cruzados, tres pasos de rastra pesada cruzada y un barbecho. Por otra parte, en las parcelas consideradas de MT se emplearon y aplicaron 15 plaguicidas, tres fuentes de fertilizante y labranza convencional como se describe arriba. El bajo uso de plaguicidas (8) y labranza reducida que consistió realizar un chapeo, dos barbechos y un pase de rastra fue el criterio utilizado para seleccionar las parcelas con BT. Adicionalmente se seleccionó una parcela testigo (PT donde no se realizó ningún tipo de manejo y había crecimiento de pasto estrella (*Cynodon dactylon L.*).

Cuadro 1. Características de manejo de las parcelas de papayo tipo Maradol en el municipio de Isla, Ver.

Clasificación de parcelas	Tipo de manejo				
	Labranza	Insumos			
		Fertilización (Kg/ha/año)	Insecticidas/ Acaricidas	Fungicidas/ Bactericidas	Control de malezas
Alta Tecnología (AT)	Convencional	N (350 ) P (400) K (807) Ca (590) Zn (4.47) B (7.82)	Etofenprox Hexitiazox Spiromesifen Acefate Pirimicarb Imidacloprid Clothianidin Thiacloprid Bermectina Azufre Cipermetrina Fenpyroximate Clofentezine	Sulfato de estreptomicina +Oxitetraciclina Sulfato de gentamicina Fosetil -al Azoxystrobin Benomyl Tiofanato-metil Oxicloruro de cobre Carbendazim Kasugamicina Mancozeb Propamocarb-HCl Metalaxyl-m+ mancozeb	Químico (Glifosato)

				Clorhidrato de oxitetraciclina	
Mediana Tecnología (MT)	Convencional	N (250) P (140) K (160)	Clofentezine Cipermetrina Imidacloprid Metomilo Malatión Acefate Benazolin etil	Sulfato de estreptomicina Fosetil -al Azoxystrobin Benomyl Oxicloruro de cobre Mancozeb Thiabendazol	Químico (Glifosato trimesio)
Baja Tecnología (BT)	Reducida	N (200)	Imidacloprid Malatión Benazolin etil Abamectina (avermectina)	Sulfato de estreptomicina + oxitetraciclina Fosetil -al Benomyl Mancozeb	Manual (chapeo)
Pastizal (PT)*	Ningún manejo, utilizada como parcela testigo				

\* Con pasto estrella (*Cynodon dactylon*)

#### **2.4.2. Muestreo de suelo en huertas de papayo**

En cada una de las huertas o parcelas bajo estudio se colectaron muestras de suelo utilizando el método en zig-zag sugerido por Sieverding (1991). En cada parcela se realizaron dos muestreos de suelo; uno en otoño (octubre de 2006) y otro en invierno (febrero de 2007). Para ello, cada parcela se dividió en 6 cuadrantes de 100 m<sup>2</sup> cada uno (10x10 m); en cada cuadrante, con una barrena de 3 cm de diámetro se tomaron 10 submuestras de suelo rizosférico a una profundidad de 25 cm y a 10 cm de distancia de la base del tallo de plantas de papayo. Las submuestras de suelo se mezclaron para formar una muestra compuesta de aproximadamente un 1 kg, haciendo un total de 6 muestras compuestas por sitio, y 24 por muestreo. Las muestras de suelo obtenidas se secaron al ambiente bajo la sombra por 7 días y se guardaron en el refrigerador a 5° C en bolsas de polietileno debidamente selladas y etiquetadas. Estas muestras se utilizaron para los subsecuentes trabajos en la investigación incluyendo su análisis físico y químico.

#### **2.4.3. Determinación de la densidad e identificación de esporas de HMA**

Para determinar la densidad de esporas presentes en cada una de las muestras de suelo colectadas en las parcelas de papayo, se utilizaron las técnicas de tamizado húmedo y decantación (Gedermann y Nicholson, 1963) y la de flotación de azúcar (Walker, 1997). Inicialmente, se pesaron 100 g de suelo de cada muestra compuesta, que se diluyeron en un litro de agua, y se pasaron por tamices con aperturas de malla de 325, 250 y 75  $\mu\text{m}$  (Gedermann y Nicholson, 1963). El suelo de éste último tamizado se utilizó para observar las esporas; el cual se centrifugó para eliminar el remanente de

agua. Posteriormente, se adicionó sacarosa al 70% y se volvió a centrifugar (Walker, 1997) para separar las esporas que quedaron en el sobrenadante. Este, se colocó en una caja de Petri y bajo el microscopio estereoscópico Nikon® se separaron todas las esporas de HMA, eliminando otros microorganismos existentes en la muestra. Una vez separadas las esporas, éstas se colocaron en portaobjetos con reactivo polivinil-alcohol-lactoglicerol (PVL) y se determinó la densidad (número de esporas por 100 g de suelo) y diversidad de esporas, mediante el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') utilizando el software Species Diversity and Richness® versión 2.3.

Este procedimiento se utilizó para la identificación taxonómica de los morfotipos de HMA presentes, solo que se realizaron mayor número de extracciones (5 aprox.) para cumplir con el número de esporas mínimo requerido como se menciona a continuación.

Para la identificación, las esporas se separaron de acuerdo a su tamaño, color, forma y presencia de hifa de sostén y se agruparon en morfotipos. Cada morfotipo se colocó por separado en un portaobjetos, distribuyendo en la mitad de éste 25 esporas intactas con reactivo PVL y en la otra mitad, otras 25 esporas con reactivo Melzer. Los especímenes fueron identificados con base en las descripciones originales de las especies y aislamientos de referencia descritos en el sitio web (INVAM International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi West Virginia, 2007). Contando con la asesoría del especialista en taxonomía de HMA el Dr. Sidney Stürmer encargado del departamento de Ciências Naturais (DCN) Universidade Regional de Blumenau, SC, Brazil.

#### **2.4.4. Determinación de la dominancia de especies de HMA**

La dominancia de cada especie identificada de HMA se calculó a través de la fórmula:  $X_i/X_0 \times 100$ , donde  $X_i$  = es la densidad de esporas de una especie en 100 g de suelo y  $X_0$  = el total de la población de esporas en igual cantidad de suelo en cada parcela.

#### **2.4.5. Análisis estadístico**

La diversidad de especies de HMA y la densidad de esporas entre parcelas se analizó a través de un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa STATISTICA versión 6.0. También se utilizó la prueba de comparaciones múltiples (Fisher LSD), con una significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ). Adicionalmente, se construyó un dendograma de agrupación de las comunidades de HMA utilizando como criterio de aglomeramiento jerárquico el método de Ward, que considera la suma de las distancias euclídeas al cuadrado entre cada elemento y la media de su grupo, con una escala en el eje de las ordenadas de 5 unidades.

### **2.5. RESULTADOS**

#### **2.5.1 Análisis de suelos**

Los suelos colectados en cada una de las parcelas muestreadas, presentaron características físico-químicas similares (Cuadro 2). Estos presentaron la misma textura, acidez de fuerte a moderada (pH de 4.3 a 5.6), contenido normal de materia orgánica y carentes de propiedades sálicas (CE 0.0862 dS m<sup>-1</sup>).

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos colectados en las parcelas de papayo en campo en Isla, Veracruz, en octubre de 2006.

Parcelas	Textura	N*	P ppm	K ←	Ca meq/100g (cmoles+Kg <sup>-1</sup> )	Mg →	pH	MO(%)	CE mmhos/cm dS m <sup>-1</sup>
AT	franco-arcillo-arenoso	0.15	104	0.6	6.7	1.2	5.6	2.9	0.15
MT	franco-arcillo-arenoso	0.19	57	0.3	6.7	0.4	4.3	3.0	0.07
BT	franco-arcillo-arenoso	0.11	55	0.6	6.7	1.2	4.4	2.8	0.16
PT	franco-arcillo-arenoso	0.14	7	0.7	6.7	1.8	4.8	3.9	0.07

\*El análisis fisicoquímico del suelo se realizó en el Laboratorio de Fertilidad del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

La concentración de fósforo varió considerablemente entre parcelas. El suelo de la parcela PT presentó la menor cantidad de fósforo disponible con un valor de 7.0 ppm el cual es considerada bajo de acuerdo con las concentraciones establecidas para suelos fértiles (FAO, 2006). En contraste, el suelo de la parcela con AT presentó el nivel más alto de fósforo (104 ppm), lo cual puede ser atribuido a la fertilización continua a base de productos químicos que se realiza en dicha parcela, y a la baja movilidad de dicho elemento.

### 2.5.2. Identificación de especies de HMA en las parcelas de papayo

De acuerdo a criterios morfológicos, en total se distinguieron ocho morfotipos de HMA (sin considerar el tipo de parcela), de los cuales cinco se identificaron a nivel especie, y tres sólo a nivel género (Figura 1.). De los ocho morfotipos encontrados, cuatro corresponden al género *Glomus*, de ellos, uno se identificó como *Glomus heterosporum* (Figura 1e), y los otros tres al género *Glomus* spp, que para éste trabajo se clasifican como *Glomus* spp1, *Glomus* spp2 y *Glomus* spp3 (Figura 1f, 1g, y 1h respectivamente).

De los otros cuatro morfotipos, dos se identificaron como *Acaulospora spinosa* y *Acaulospora scrobiculata* (Figura 1b y 1d). La diferencia en densidades (Figura 3.) con que se encuentran éstos dos géneros (*Glomus* y *Acaulospora*) puede estar relacionado con la acidez y la textura del suelo donde se obtuvieron, pues se reporta que el género *Glomus* representa más del 50% de la diversidad micorrízica en suelos ácidos de textura franco-arcillosa, mientras que el género *Acaulospora* representa hasta el 20%, y otros géneros representan porcentajes menores del 20% (Peña-Venegas *et al.*, 2007). Los otros dos morfotipos restantes se identificaron como *Gigaspora gigantea* (Figura 1a.) y *Archaeospora leptoticha* (Figura 1c.).

Los morfotipos identificados en este estudio coinciden en su mayoría con los encontrados por Walsh y Ragupathy, (2007) quienes reportan la asociación de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Sclerocystis* and *Scutellospora* con plantas de papayo. De las especies identificadas en estos géneros, el 63% del total pertenecían al género *Glomus*.

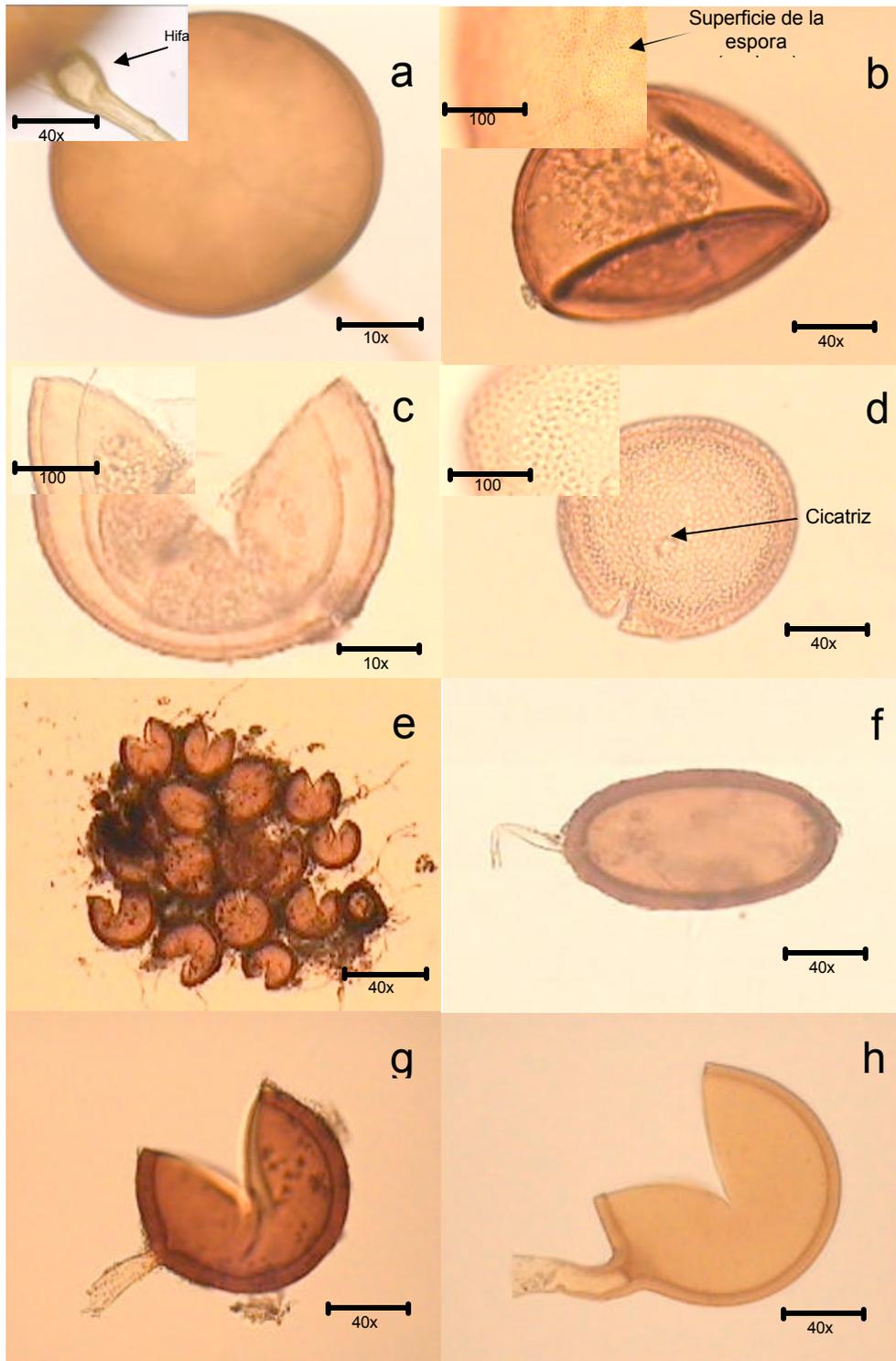


Figura 1. Características de los morfotipos de HMA identificados en los suelos de las parcelas de papayo y pasto estrella. a) *Gigaspora gigantea* Gerdemann y Trappe; b) *Acaulospora spinosa* Walker y Trape; c) *Archaeospora leptoticha* Morton and Redecker; d) *Acaulospora scrobiculata* Trape; e) *Glomus heterosporum* Smith y Schenck; f) *Glomus* spp.1; g) *Glomus* spp.2; h) *Glomus* spp.3.

### 2.5.3. Diversidad de especies de HMA en las parcelas de papayo

De los ocho morfotipos de HMA encontrados, la parcela AT presentó el mayor número con siete, seguida de las parcelas PT, MT, y BT con seis, cinco y tres morfotipos distintos respectivamente.

Existieron diferencias significativas entre parcelas en relación a la diversidad de especies de HMA (Figura 2.). En el muestreo de otoño, la parcela AT registró mayor índice de diversidad ( $H' = 0.89$ ) comparado con las parcelas MT, BT y PT ( $H' = 0.52$ ,  $0.22$ ,  $0.47$ , respectivamente), las cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Para el muestreo de invierno, la parcela BT fue la que presentó el valor más bajo ( $H' = 0.64$ ) comparado con las parcelas AT, MT y PT ( $H' = 1.01$ ,  $0.80$ ,  $0.95$ , respectivamente), sin embargo, no existieron diferencias significativas entre ellas.

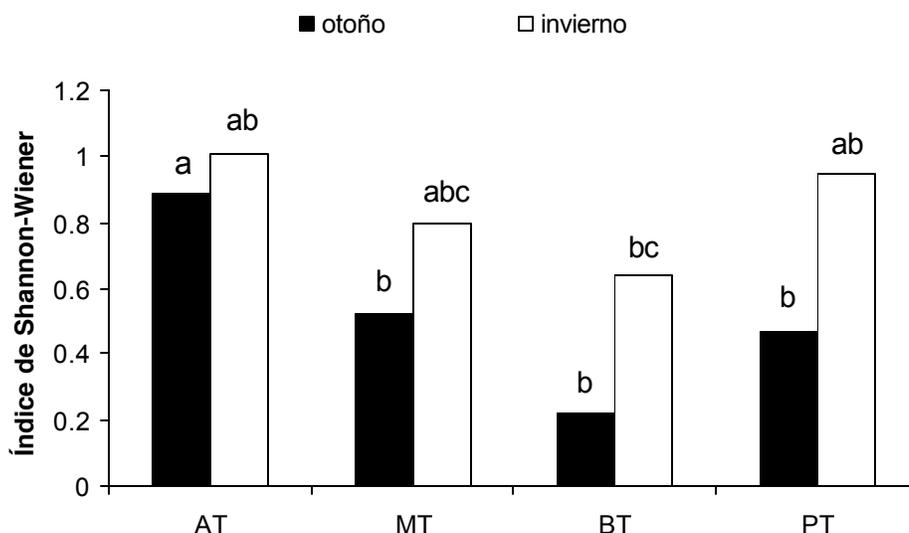


Figura 2. Índice de diversidad de especies de Shannon-Weaver ( $H'$ ) de HMA encontradas en las muestras de suelo en las parcelas de papayo en Isla, Ver. Letras diferentes entre columnas del mismo color indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones múltiples (Fisher LSD)  $\alpha=0.05$ .

En todas las parcelas, el valor del índice de diversidad aumentó de la época de otoño a invierno. Este comportamiento puede deberse a que existen diferencias entre las especies de HMA en cuanto al tiempo requerido para comenzar a producir esporas (Sieverding, 1991); para éste caso, se considera que las especies de HMA en las parcelas de estudio presentaron esporulación tardía en la época de otoño y debido a ello tuvieron mayor incidencia sobre el índice de diversidad en la época de invierno (Schalamuk *et al.*, 2007). Una manera de poder comprobar y medir el comportamiento de esporulación de las especies de HMA es realizando muestreos frecuentes en diferentes épocas del año.

#### **2.5.4. Densidad de esporas de HMA en las parcelas de papayo**

La densidad de esporas de HMA en 100 g de suelo varió entre las parcelas de papayo. Para la parcela AT, el mayor número de esporas (51) se encontró en la época de otoño, mientras que la parcela MT presentó el mayor número de esporas (36.67) en invierno, coincidiendo con la parcela PT que alcanzó mayor número de esporas en ésta época (60.17 esporas). El número más bajo de esporas se presentó en el sitio BT (1.83) en los dos muestreos, contrastando con las demás parcelas analizadas. (Figura 3.).

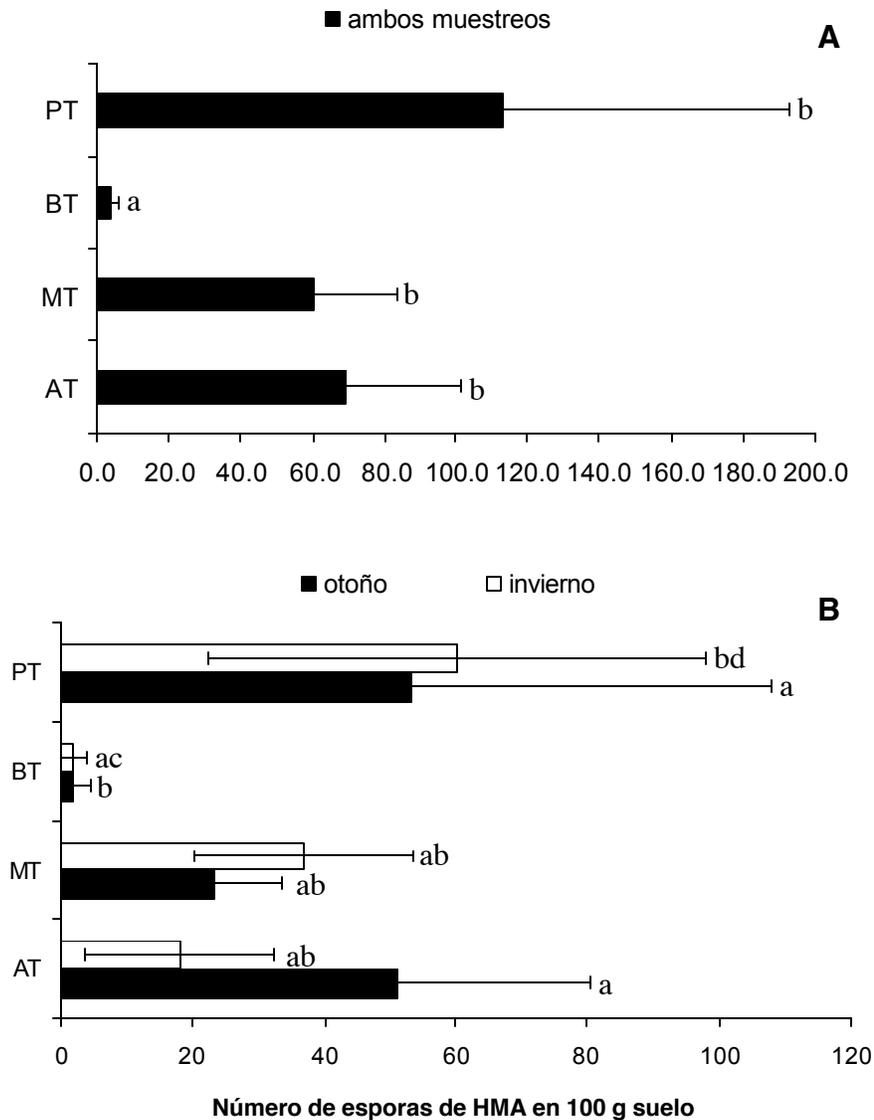


Figura 3. Densidad promedio de esporas de HMA ( $\pm$  ES) presentes en 100 g. de suelo. A. considerando ambos muestreos y B. Promedio para cada uno de los muestreos en las parcelas de papayo en Isla, Veracruz. Letras diferentes entre columnas del mismo color indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones múltiples (Fisher LSD)  $\alpha=0.05$ .

Considerando la suma de ambos muestreos para el número total de esporas, la parcela BT fue la que presentó el número de esporas más bajo (4), siendo estadísticamente diferente respecto a las otras tres parcelas. En la parcela testigo PT se registró el mayor número de esporas (113 esporas/100 g de suelo), seguido de las parcelas AT

(69 esporas/100 g de suelo y MT (60 esporas/100 g de suelo); estas tres parcelas no presentaron diferencias significativas entre sí.

Considerando solamente las parcelas de papayo, la parcela AT fue la que presentó la mayor densidad de esporas de HMA no obstante de ser la parcela con el mayor número de plaguicidas aplicados, éstos resultados pueden deberse a que la aplicación de plaguicidas no siempre afecta el número de esporas de HMA, tal y como lo reportan Dhillion y Gardsjord (2004), quienes tras cuatro años de aplicación en pastizales evaluaron el efecto del benomyl sobre el número de esporas de HMA, encontrando que éste no se redujo por efectos del fungicida. Otro factor que puede estar determinando este resultado es el pH del suelo, ya que en ésta parcela el pH es moderadamente ácido, mientras que en las parcelas MT, BT y PT, presenta valores de acidez elevada. Al respecto se tiene conocimiento que un ligero aumento del pH en el suelo genera una mejor capacidad de intercambio catiónico de las arcillas, reduciendo el estrés en las poblaciones biológicas del suelo, lo que se traduce en un aumento de sus densidades poblacionales, y en el caso de los HMA, en una mayor esporulación (Peña-Venegas *et al.*, 2007).

Sin embargo, éste resultado no implica que dichas esporas sean efectivas para establecer la simbiosis micorrízica, puesto que un elevado número de esporas no es indicativo de un elevado potencial de inóculo (Dhillion y Gardsjord, 2004). Además, se considera que a través del tiempo existe una disminución del número de esporas de HMA en muestras de rizosfera de suelo donde se aplican plaguicidas, esto como

resultado de la inhibición en el crecimiento de hifas de HMA y reducción del nivel de colonización radical provocados por dichos productos químicos, que impiden la reproducción y esporulación de los HMA (Abd-Alla *et al.*, 2000).

Con respecto a la parcela testigo, ésta registró un mayor número de esporas en la época de invierno ( $60.17 \pm 37.9$ ), este número es mucho menor el encontrado por Lugo y Cabello (2002) en pastizales naturales, donde llegaron a encontrar hasta 4083 esporas/100 ml de suelo.

Los valores bajos de esporulación en la parcela BT contrastan con los resultados encontrados por otros autores quienes reportan una mayor diversidad y número de esporas en sitios con baja aplicación de agroquímicos como es el caso de la parcela BT (Oehl *et al.*, 2003), y en otros casos, no existen diferencias en relación al número de esporas al evaluar sitios con elevada aplicación de insumos y sitios con baja aplicación de insumos (Franke-Snyder *et al.*, 2001).

#### **2.5.5. Dominancia entre especies de HMA encontradas en las parcelas de papayo**

Las especies de HMA, *Gigaspora gigantea* y *Acaulospora scrobiculata* junto con los morfotipos *Glomus* spp1 y *Glomus* spp3 parecieron ser “generalistas”, ya que se encontraron presentes de manera dominante en la mayoría de las parcelas estudiadas (Cuadro 3), esto, según (Trindade *et al.*, 2006) puede deberse a que en plantaciones de papayo es común encontrar pocas especies de HMA que tienen la capacidad de ser dominantes. De éstas, *Glomus* spp1 fue la más dominante tanto en las cuatro parcelas,

como en ambas épocas de muestreo. Esta prevalencia o dominancia, puede estar relacionada con la ubicación geográfica de la región donde se realizó el muestreo, la cual es de clima tropical, donde el género *Glomus* de HMA es el más representativo de suelos tropicales (Bhatia *et al.*, 1996). Por otra parte, los resultados de éste estudio coinciden con los encontrados por Lovera y Cuenca (2007), quienes compararon la diversidad de HMA en una Sabana natural y en una Sabana perturbada, donde un morfotipo perteneciente al género *Glomus* fue el más abundante en ambos sitios.

Cuadro 3. Dominancia de especies de HMA en las parcelas de papayo en campo en Isla, Veracruz, en otoño 2006 e invierno 2007.

Especies de HMA	Dominancia de especies de HMA/parcela/época (%)							
	Otoño*				Invierno*			
	AT	MT	BT	PT	AT	MT	BT	PT
<i>Glomus heterosporum</i>	0.9	2.8	0	0	4.6	3.1	0	0
<i>Glomus spp1</i>	35.9	85.7	45.4	11.3	42.5	95.0	27.2	14.1
<i>Glomus spp2</i>	0.9	0	0	0.3	0	0	0	0
<i>Glomus spp3</i>	1.3	2.1	9.0	0	3.7	0.9	0	0.2
<i>Gigaspora gigantea</i>	31.0	6.4	0	77.9	43.5	0.9	63.6	80.8
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	29.0	2.8	45.4	5.6	5.5	0	9.0	0.8
<i>Acaulospora spinosa</i>	0.6	0	0	4.4	0	0	0	3.3
<i>Archaeospora leptoticha</i>	0	0	0	0.3	0	0	0	0.5

\*Datos promedio de los muestreos efectuados en las épocas de otoño e invierno.

El morfotipo *Glomus spp2* sólo se encontró en las muestras de suelo colectadas en otoño, éste resultado podría estar asociado a la existencia de una pérdida diferencial de especies de HMA debido a una posible estacionalidad de esporulación (Lovera y Cuenca, 2007). También es posible que éste morfotipo tenga su mayor actividad de esporulación y germinación en otra época distinta a la que se realizó el muestreo. Por lo tanto, posibles investigaciones futuras podrían enfocarse a identificar a nivel de

especie dicho morfotipo y posteriormente analizar su dinámica de esporulación considerando algunos factores ambientales como temperatura y humedad.

La especie *Glomus heterosporum* se encontró únicamente en las parcelas de papayo AT y MT en ambas épocas de muestreo. En contraste a esto, Oehl et al., (2003) al evaluar la diversidad de especies de HMA en sitios con diferente intensidad de uso del suelo (pastizal, rotación de cultivos y monocultivo), reportan que la especie *Glomus heterosporum* sólo se presentó en el sitio con pasto.

La especie *Archaeospora leptoticha* fue la menos dominante, encontrándose únicamente en la parcela PT. Éstos resultados son similares a los encontrados por Schalamuk et al., (2007), quienes reportan en trigo bajo distintos sistemas de labranza, valores bajos de dominancia (0.09 y 1.06) de ésta especie.

#### **2.5.6. Distribución de especies de HMA encontradas en parcelas de papayo**

El dendograma (Figura 4.) muestra una elevada similitud en la composición de especies de HMA entre las muestras de cada parcela en particular. Sin embargo, la comunidad de HMA en la parcela AT tiene una composición muy homogénea, y sus especies se distribuyen de manera similar en todas las muestras de suelo en ambas épocas de muestreo (clave "O" para la época de otoño e "I" para invierno) formando un grupo que se separa de las otras parcelas. Las comunidades de HMA en las parcelas MT y BT (en la época de invierno), tienen una composición de especies de HMA similar, y se pueden observar como se agrupan en la parte central del dendograma.

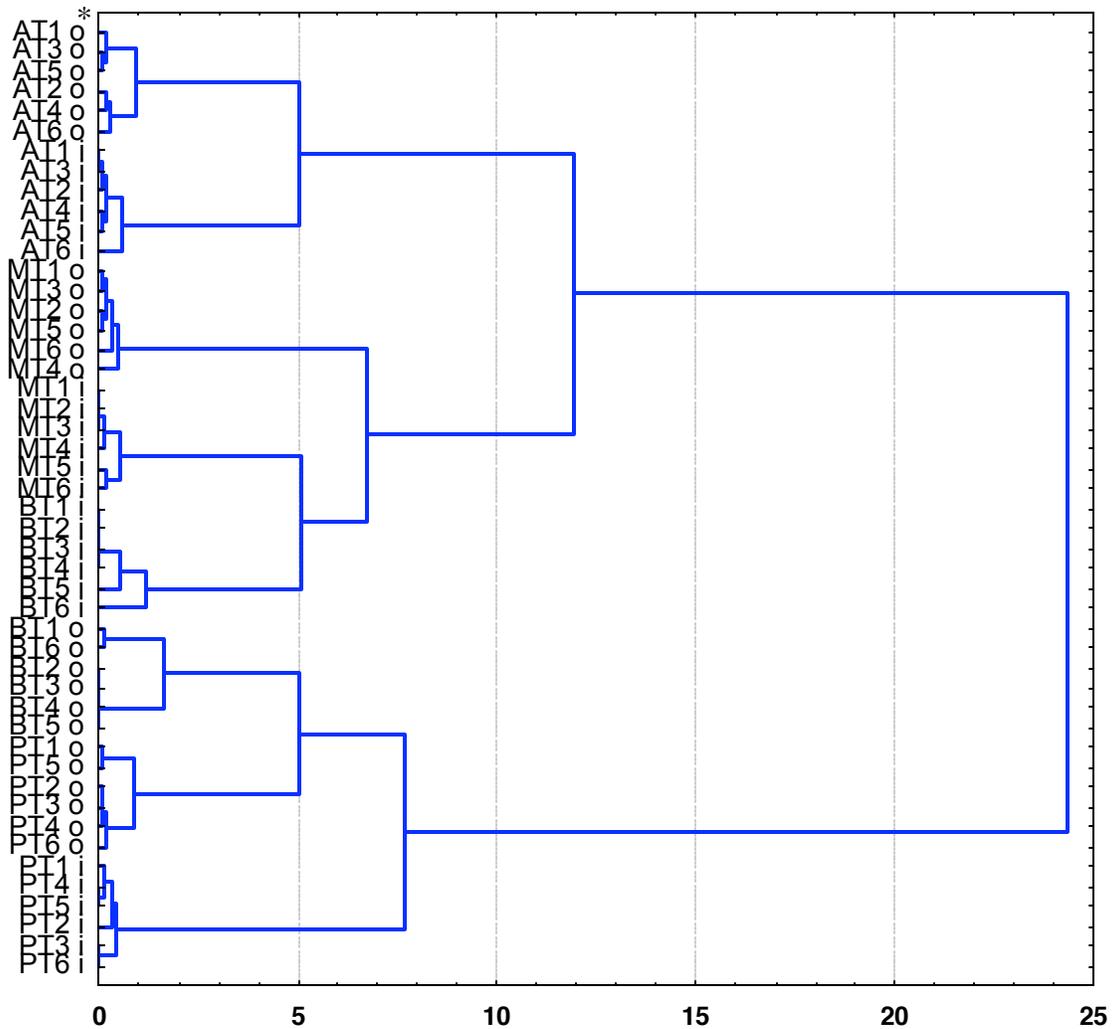


Figura 4. Dendrograma de agrupamiento de las comunidades de HMA en las parcelas de papayo y el pastizal de Isla Veracruz. La construcción de éste se basó en el Método de Ward. \* o=época de otoño, i= época de invierno.

La parcela PT, tiene una composición homogénea, y sus especies se distribuyen de manera similar en ambas épocas de muestreo; además muestra elevada similitud con la comunidad de HMA de la parcela BT (en la época de otoño) en la cual se aplica el menor número de plaguicidas (obsérvese el cambio en la secuencia de orden de dicha parcela, esto debido a que el análisis del dendrograma agrupa comportamiento

similares entre comunidades de organismos). De manera similar, Oehl et al., (2003), realizaron un dendograma de agrupamiento, con el objetivo de analizar el comportamiento de agrupación de las especies de HMA, y reportan una alta similitud de distribución entre las especies de HMA encontradas en el pastizal y las encontradas en el sitio manejado de manera orgánica, y una menor similitud entre las especies de HMA encontradas en los sitios cultivados mediante manejo intensivo.

## **2.6. CONCLUSIONES**

Los muestreos efectuados en las huertas de papayo cultivadas con diferente sistema de manejo de producción determinaron la existencia de ocho diferentes morfotipos de HMA.

Las especies *Gigaspora gigantea* y *Acaulospora scrobiculata* junto con los morfotipos *Glomus* spp1 y *Glomus* spp3 se encontraron presentes en todas las parcelas estudiadas.

Contrario a lo que se esperaba, la parcela AT presentó la mayor diversidad de especies de HMA, sin embargo, éste resultado no implica que dichas esporas sean efectivas para establecer la simbiosis micorrízica, puesto que no se realizaron pruebas de viabilidad o eficiencia con dichas esporas. Indudablemente, esto da pauta para realizar estudios futuros sobre la viabilidad de esporas de HMA a través de un gradiente de intensificación de manejo y labranza del suelo, a fin de analizar que efectos pueden tener sobre la germinación de las esporas y su capacidad para establecer la simbiosis.

La composición de especies de HMA mostró una elevada similitud entre las muestras de cada parcela en particular. La parcela AT tiene una composición muy homogénea, y sus especies se distribuyen de manera similar en todas las muestras de suelo en ambas épocas de muestreo.

Es importante realizar este tipo de investigación con el fin de determinar la presencia de especies de HMA en los agroecosistemas tropicales, de tal manera que puedan ser utilizadas para la inoculación de plantas a manera de complemento en el proceso de producción, logrando que se pueda ahorrar cantidades importantes de fertilizantes minerales, riego y productos fitosanitarios, situación que se traduce en una mejor calidad de la cosecha, proporcionando mayores beneficios a los productores.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Abd-Alla M. H., A. O. Shukry, y K. Sokol. 2000. The impact of pesticides on arbuscular mycorrhizal and nitrogen-fixing symbioses in legumes. *Applied Soil Ecology*, 14:191-200.
- Bethlenfalvay G. J., y H. Schüepp. 1994. Arbuscular mycorrhizas and agrosystem stability. In S. Gianinazzi y H. Schüepp (eds.), *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*, pp. 117-131. Birkhauser Verlag, Basel, Switzerland.
- Bhatia N. P., K. Sundari, y A. Adholeya. 1996. Diversity and selective dominance of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In K. G. Mukerji (ed.), *Concepts in Mycorrhizal Research* pp. 133-178. Kluwer Academic.
- Boddington C. L., y J. C. Dodd. 2000. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant and Soil*, 218:137-144.
- Cardoso M. I., y T. W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116:72-84.
- Dhillon S. S., y T. L. Gardsjord. 2004. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity, productivity, and nutrients in boreal grasslands. *Canadian Journal of Botany*, 82:104-114.
- Douds D. D. J., R. R. Janke, y S. E. Peters. 1993. VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 43:325-335.
- FAO. 2006. Conservation agriculture homepage (<http://www.fao.org/ag/ca/>).
- Franke-Snyder M., D. D. Douds, L. Galvez, J. G. Phillips, P. Wagoner, L. Drinkwater, y J. B. Morton. 2001. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. *Applied Soil Ecology*, 16:35-48.
- Gedermann J. W., y T. H. Nicholson. 1963. Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soils by wet sieving and decanting. *Transactions of British Mycological Society*, 46:235-244.
- Guadarrama P., y J. F. Álvarez-Sánchez. 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. *Mycorrhiza*, 8:276-270.
- Harley J. L. 1991. Introduction: the state of the art. In J. R. Norris, D. J. Read y A. K. Varma (eds.), *Techniques for the study of mycorrhiza. Methods in Microbiology.*, pp. 1-23. Academic Press., London.

- Hodge A. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. *FEMS Microbiology Ecology*, 32:91-96.
- Huat O. K., K. Awang, A. Hashim, y M. N. Muhamad. 2002. Effects of fertilizers and vesicular–arbuscular mycorrhizas on the growth and photosynthesis of *Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs seedlings. . *Forest Ecology and Management*, 158:51-58.
- INVAM International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi West Virginia U. 2007.
- Jaen C. D., y R. Ferrera-Cerrato. 1989. Vesicular arbuscular endomycorrhiza and its effect in two papaya cultivars (*Carica papaya* L. Cera and cv. Solo) 2nd European Symposium on mycorrhizae., pp. 50, Prague, Checoslovakia.
- Johnson N. C. 1993. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? *Ecological Applications*, 3:749-757.
- Kjölller R., y S. Rosendahl. 2000. Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: Differential reponses in alkaline phosphatase activity of external and internal hyphae. *Biology and Fertility of Soils*, 31:361-365.
- Lovera M., y G. Cuenca. 2007. Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una Sabana natural y una Sabana perturbada de la Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia*, 32:108-114.
- Menéndez A. B., J. M. Scervino, y A. M. Godeas. 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils*, 33:373-381.
- Mohandas S. 1992. Effect of VAM inoculation on plant growth, nutrient level and root phosphatase activity in papaya (*Carica papaya* cv. Coorg honey dew). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 31:263-267.
- Núñez-Castillo O., y J. F. Álvarez-Sánchez. 2003. Arbuscular mycorrhizae of the palm *Astrocaryum mexicanum* in disturbed and undisturbed stands of a Mexican tropical forest. *Mycorrhiza* 13:271-276.
- Oehl F., E. Sieverding, K. Ineichen, P. Mäder, T. Boller, y A. Wiemken. 2003. Impact of Land Use Intensity on the Species Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, 69:2816-2824.
- Peña-Venegas C. P., G. I. Cardona, J. H. Argüelles, y A. L. Arcos. 2007. Micorrizas arbusculares del sur de la amazonia colombiana y su relación con algunos factores fisicoquímicos y biológicos del suelo. *Acta Amazonica*, 37:327-336.

- Remy W., T. N. Taylor, H. Hass, y H. Kerp. 1994. Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae. The Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 91:11841-11843.
- Schalamuk S., H. Chidichimo, y M. Cabello. 2007. Variaciones en la composición de especies de *Glomeromycota* (Fungi) en un cultivo de trigo bajo distintos sistemas de labranza. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 42:45-53.
- SchüBler A., D. Schwarzott, y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. Mycological Research 105:1413-1421.
- Sieverding E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
- Silva L. F., y J. O. Siqueira. 1991. Crescimento e teores de nutrientes de mudas de abacateiro, mangueira e mamoeiro sob influencia de diferentes espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. Revista Brasileira de Ciência do Solo 15:283-288.
- Simon L., L. Bousquet, R. Levesque, y M. Lalonde. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidente with vascular land plants. Natural Research, 363:67-69.
- Talukdar N. C., y J. J. Germida. 1993. Occurrence and isolation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in cropped field soils of Saskatchewan, Canada. Canadian Journal of Microbiology, 39:567-575.
- Trindade A. V., J. O. Siqueira, y S. L. Sturmer. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espírito Santo and Bahia, Brazil. Brazilian Journal of Microbiology, 37:283-289.
- Trindade A. V., J. O. Siquiera, y F. P. Almeida. 1991. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36:1485-1494.
- Walker C. 1997. Spore extraction by centrifugation-sugar flotation. Biological Research and Imaging Laboratory, Hampshire, UK.
- Walsh K. B., y S. Ragupathy. 2007. Mycorrhizal colonisation of three hybrid papayos (*Carica papaya*) under mulched and bare ground conditions. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47:81-85.
- Wang G. M., D. P. Stribley, P. B. Tinker, y C. Walker. 1993. Effects of pH on Arbuscular Mycorrhiza. I. Field Observations on the Long- Term Liming Experiments at Rothamsted and Woburn. New Phytologist, 124:465-472.

Weber O. B., y S. M. C. Amorim. 1994. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos vesicular arbusculares em mamoeiros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 18:187-191.

## CAPITULO III. POTENCIAL INFECTIVO DE HONGOS MICORRÍZICO- ARBUSCULARES EN PAPAYO CON DIFERENTE MANEJO DE PRODUCCIÓN

Wendy Sangabriel Conde, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2008

### 3.1. RESÚMEN

En invernadero se evaluó el potencial infectivo de hongos micorrízico arbusculares (HMA) utilizando suelo colectado en Isla, Veracruz, en tres parcelas de papayo (*Carica papaya* L. tipo Maradol) con tres diferentes sistemas de manejo de producción que fueron alta tecnología (AT), mediana tecnología (MT) y baja tecnología (BT), además de una parcela con pasto como testigo (PT). En cada parcela se realizaron dos muestreos de suelo y raíces, uno en otoño y otro en invierno. Semillas germinadas de maíz (*Zea mays* L.) se sembraron en contenedores de plástico con 5 diluciones distintas ( $10^0$  hasta  $10^4$ ) de suelo-arena estéril. El potencial infectivo de los HMA se evaluó a través del método del número más probable (NMP) de propágulos infectivos. No hubo diferencias significativas en la interacción nivel de manejo y la época de muestreo. El suelo del pastizal presentó el mayor potencial infectivo en ambas épocas de muestreo con un elevado número de propágulos/100 g suelo, de 1122.5 en otoño y 431.3 en invierno. La parcela con AT presentó un potencial infectivo extremadamente bajo con 10.9 propágulos/100 g suelo. Las diferencias en relación al número de propágulos infectivos entre las parcelas fueron muy marcadas, y se atribuyen al uso y manejo al que están sometidos los suelos con plantaciones de papayo.

**Palabras clave:** infectividad, colonización micorrízica, propágulos.

### 3.2. ABSTRACT

An experiment was conducted under greenhouse conditions to evaluate the mycorrhizal infective potential of arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) presents on four soils of Isla Veracruz exposed to different agricultural management. Three different management systems classified as high-tech production (AT), médium-tech production (MT) and low-tech production (BT) as well as a plot with grass (PT). In each system there were two soil samples, one in autumn and another in winter. Representative soil samples were taken in autumn and winter. Seedlings of *Zea mays* L. were grown in a ten-fold dilution ( $10^0-10^{-4}$ ) series of field soil mixed with sterilized sand in plastic tubes. An estimation of mycorrhizal infective propagules at the soil samples was carried out using the “most probable number” (MPN) method. There was no interaction between different agricultural management and seasonality. Mycorrhizal colonization was very higher at the grassland agrosystem. Grassland had the highest potential infective in both times of sampling with a large number of propagules 1122.5 and 431.3 propagules /100g soil. The site with the highest technology level in papayo production showed a potential infective extremely low with 10.9 propagules /100g soil. The differences in the number of infective propagules between the different management systems were remarkable, this may be the result of the use and management of soil planted with papayo.

**Key words:** infectivity, mycorrhizal colonization, propagules.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

La micorriza arbuscular es una asociación formada por aproximadamente 160 especies de hongos del *phylum Glomeromycota* (SchüBler *et al.*, 2001) y las raíces de aproximadamente 95% de las especies vegetales (Trappe, 1987). En cultivos tropicales, la simbiosis originada por los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) aporta beneficios como la promoción del crecimiento y la nutrición mineral (Allen, 1991; Schachtman *et al.*, 1998), la tolerancia al ataque de patógenos de la raíz (Espinosa *et al.*, 2004; Graham, 2001) y a condiciones abióticas adversas como sequía (Augé, 2001; Kaya *et al.*, 2003), y salinidad (Al-Karaki, 2000).

En estudios agroecológicos, además de identificar las especies de HMA es importante determinar de manera precisa el número de propágulos infectivos en el suelo, ya que estas variables proporcionan información sobre la diversidad activa de HMA en él, o sea, sobre la capacidad de desarrollar la simbiosis con los cultivos, y la rapidez con la que la colonización se establece (Janos, 1996).

Los propágulos de HMA generalmente se encuentran concentrados en los primeros centímetros de profundidad del suelo (Bellgard, 1993) y pueden sobrevivir bajo diferentes condiciones ambientales mediante varios tipos de propágulos infectivos que son esporas latentes, hifas en fragmentos vivos de raíz, hifas en raíces muertas u otro tipo de materia orgánica, y la red de micelio intacto que está adjunto o separado de las raíces (Jasper *et al.*, 1993; Tommerup, 1992). Sin embargo, algunos estudios reportan

que la infectividad de los propágulos de HMA y la efectividad micorrízica puede ser influenciada por diferentes factores bióticos y abióticos (Allen, 1991; Brundrett, 1991).

Dentro de los factores abióticos que afectan negativamente la asociación micorrízica se encuentran las prácticas intensivas de manejo agrícola, que incluyen el uso excesivo de fertilizantes fosfóricos y agroquímicos que inhiben el establecimiento y la efectividad de la simbiosis micorrízica (Baum y Makeschin, 2000; Kjölller y Rosendahl, 2000). Adicionalmente, la excesiva mecanización agrícola y la ausencia de cobertura vegetal favorecen la erosión del suelo y, en consecuencia, reducen el número de propágulos, la biodiversidad y la actividad de los HMA (Barea y Jeffries, 1995).

La investigación sobre los HMA en sistemas agrícolas es valiosa para determinar estrategias apropiadas de manejo en los agroecosistemas (Sieverding, 1991). Diversos trabajos han mostrado la eficiencia de estos simbioses para promover el crecimiento y desarrollo en especies frutales (Oliveira *et al.*, 1992; Sieverding, 1991), debido a que poseen un sistema radical poco ramificado y con bajo número de pelos radiculares para captar los nutrimentos disponibles en el suelo. Tal es el caso del cultivo de papayo que presenta una respuesta positiva y elevada a la colonización por HMA, además de que los suelos tropicales típicos donde éste se cultiva muestran baja disponibilidad de fósforo (P) (Sieverding, 1991). Por lo tanto, el estudio de la asociación micorrízica es de vital importancia para mejorar la nutrición de dicho cultivo.

Existen numerosos trabajos que reportan los beneficios que estos simbiontes proporcionan al cultivo de papayo, los cuales se reflejan en un crecimiento y maduración de plantas más rápido, así como una reducción en el tiempo de trasplante (Jaen y Ferrera-Cerrato, 1989; Mohandas, 1992; Silva y Siqueira, 1991; Weber y Amorim, 1994).

La utilización de los HMA en la producción de papayo es una herramienta biotecnológica prometedora, ya que pueden aplicarse a las plantas en vivero antes de ser establecidas en campo; sin embargo, es importante conocer la capacidad de las especies de HMA en los suelos cultivados, pues, de acuerdo a ello se pueden elaborar esquemas de producción de biofertilizantes con base en especies nativas de HMA altamente eficientes para desarrollar la simbiosis, evitando la introducción de aquellas ajenas al agroecosistema que puedan desplazar a las especies autóctonas (Sieverding, 1991).

No obstante la importancia de los HMA en el desarrollo de los cultivos, existen poco estudios que refieren su potencial infectivo en condiciones de campo, incluyendo el cultivo de papayo; es por ello que en este trabajo se evaluó el potencial infectivo y el grado de colonización micorrízica de HMA presentes en plantaciones de papayo con diferente manejo de producción en el municipio de Isla, Veracruz. De esta manera, se podría tener un mejor entendimiento del funcionamiento de estos simbiontes en los agroecosistemas y generar información que pueda ser útil en la implementación de una agricultura más sustentable.

### **3.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.4.1. Ubicación y descripción de las parcelas bajo estudio**

La localidad, así como las características de las parcelas donde se llevo a cabo el presente trabajo, son las mismas a aquellas descritas en el Capitulo II (seccion 2.4.1).

#### **3.4.2. Muestreo de suelo en huertas de papayo**

El muestreo se realizo como se describe en capitulo II (seccion 2.4.2). De las muestras de suelo colectadas, una porción de éstas se utilizó para la realización de los trabajos que se presentan a continuación.

#### **3.4.3. Evaluación de la colonización micorrízica en raíces de plantas**

Para evaluar la colonización micorrízica se colectaron raíces de plantas de papayo correspondientes a las plantas de cada huerta donde se realizó el muestreo de suelo a una profundidad entre 0-25 cm. De las plantas de cada cuadrante se extrajeron cuidadosamente raíces secundarias, que se caracterizaron por ser muy delgadas. Adicionalmente, se colectaron las raíces presentes en las muestras de suelo colectadas en campo; para ello, el suelo se pasó por un tamiz de 175  $\mu\text{m}$  y se seleccionaron las raíces más finas. Todas las raíces extraídas se colocaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y luego en frascos de vidrio de 30 ml; posteriormente se fijaron con formol-ácido acético-alcohol (FAA) para su futuro procesamiento.

Para observar las estructuras fúngicas (vesículas, arbusculos, hifas) presentes, las raíces fijadas se clarearon y tiñeron siguiendo la técnica de Phillips y Hayman (1970). La colonización se cuantificó con base en la presencia de las estructuras fúngicas dentro de la raíz (Giovannetti y Mosse, 1980) que consistió en colocar al azar las raíces teñidas dentro de cajas de Petri provistas con una cuadrícula de 1x1 cm<sup>2</sup> pegada en la parte inferior. Bajo el microscopio estereoscópico se contaron solamente las raíces interceptadas con las líneas verticales y horizontales de la cuadrícula. Una raíz se consideró colonizada cuando al menos una de las estructuras fúngicas antes mencionadas se observó justo en la intersección de la primera con una línea horizontal o vertical. El porcentaje de raíces colonizadas se obtuvo mediante la proporción número total de raíces interceptadas en la cuadrícula, entre el número de raíces colonizadas multiplicada por 100.

Los datos fueron analizados estadísticamente con el programa STATISTICA versión 6.0. a través de un análisis de varianza ANOVA y pruebas de comparaciones múltiples (Fisher LSD), con una significancia del 5%.

#### **3.4.4. Evaluación del potencial infectivo de HMA**

Este experimento se fundamentó en la relación que se establece entre la densidad de propágulos micorrízicos infectivos en el suelo y la colonización de la raíz en etapas tempranas del desarrollo de la planta (Baltruschat y Dehne, 1989; Moorman y Reeves, 1979). El potencial infectivo de propágulos de HMA presentes en el suelo muestreado se evaluó con plantas de maíz (*Zea mays* L.) en invernadero, utilizando una

modificación del método del número más probable (NMP) de propágulos infectivos propuesto por Porter en 1979 y descrito por (Bagyaraj y Stürmer, 2008).

El método consistió en hacer diluciones seriadas de suelo muestreado en cada una de las parcelas más arena estéril. Para lo cual se pesaron 30 g de suelo, y se colocaron en una bolsa de plástico, en la cual posteriormente se añadió 270 g de arena estéril y se agitó hasta mezclar perfectamente para conseguir la dilución  $10^{-1}$ . Posteriormente se pesaron 30 g de la dilución  $10^{-1}$  y se colocaron en otra bolsa limpia, en la cual se añadieron 270 g de arena estéril, y se agitó la mezcla para conseguir la dilución  $10^{-2}$ . Siguiendo el mismo procedimiento se prepararon las otras diluciones hasta la dilución  $10^{-4}$ . Una vez preparada la serie de diluciones, el suelo de cada dilución se colocó en contenedores de plástico con capacidad de 150 g. En el experimento se tuvieron 5 repeticiones por dilución por parcela evaluada, obteniéndose un total de 25 contenedores por parcela. En cada contenedor se colocaron 2 semillas de maíz pregerminadas a una temperatura de 28 °C y con un tamaño de radícula de aproximadamente 2.5 cm y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 10% por 15 minutos. Éstas se mantuvieron en el invernadero por seis semanas a una temperatura entre 20 y 30 °C; se regaron diariamente y se fertilizaron una vez por semana aplicando 50 ml por contenedor con solución nutritiva Long Ashton completa (preparada a partir de las soluciones madre diluidas con agua). Cuando las plántulas alcanzaron una altura de 10 cm se realizó un aclareo, dejando una planta por contenedor sobre la cual se realizó la evaluación respectiva.

Transcurridas las seis semanas, el sistema radical de todas las plantas fue extraído cuidadosamente del suelo, de tal manera que éste estuviera completo; se lavó con agua corriente, se desprendieron las raíces y se cortaron en segmentos de 2 cm aproximadamente. A continuación, estas raíces se tiñeron siguiendo la metodología de Phillips y Hayman (1970) y, posteriormente, se observaron bajo el microscopio estereoscópico y/o el microscopio óptico y se evaluó la presencia de propágulos micorrízicos correspondientes a cada dilución.

El NMP de propágulos de HMA presentes en cada sitio se calculó mediante la fórmula siguiente (Fisher y Yates, 1970):

$$\text{Log } O = X \cdot \text{Log } A - K$$

Donde:

O= número total de propágulos por dilución

X= número medio de contenedores con raíces infectadas

X= número total de contenedores con raíces infectadas

número de repeticiones por dilución

A= factor de dilución (en este caso es factor 10)

Y= S-X donde

Y= se requiere para definir el valor de K de las tablas de Fisher y Yates

S= número de diluciones (desde  $10^0$  hasta  $10^4$ )

K= valor encontrado en las tablas de Fisher y Yates utilizando los valores de X

y Y.

El NMP se calculó con un intervalo de confianza del 95% (Fisher y Yates, 1970).

### 3.5. RESULTADOS

#### 3.5.1. Análisis de suelos

Los resultados del análisis de suelos se encuentran expuestos en el capítulo II.

#### 3.5.2. Colonización micorrízica en campo

Todas las muestras de raíces de las diferentes parcelas presentaron colonización micorrízica, mostrando estructuras fúngicas como vesículas, hifas y arbuscúlos (Figura 5).

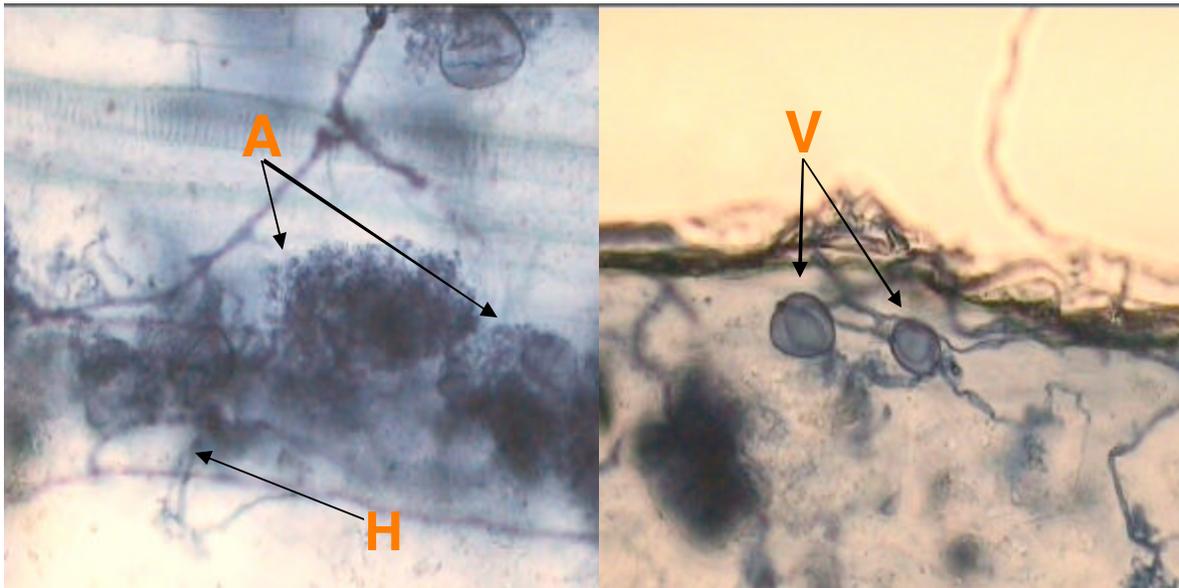


Figura 5. Estructuras fúngicas intrarradicales de HMA desarrolladas durante el proceso de simbiosis micorrízica en el cultivo de papayo en campo (H=Hifas, V= vesículas A= arbuscúlos)

El análisis de los valores del porcentaje de colonización de HMA nativos sobre las plantas establecidas en campo no mostró diferencias significativas en la interacción época de muestreo y nivel de tecnología; sin embargo, de manera individual, tanto el

factor época como el nivel de tecnología presentaron diferencias significativas en esta variable (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de colonización micorrízica en raíces de plantas de papayo establecidas en las parcelas de estudio.

Época	Sitio	Colonización de HMA en campo (%)
Otoño	AT	12.62 <sup>a</sup>
	MT	16.68 <sup>a</sup>
	BT	20.10 <sup>a</sup>
	PT	39.85 <sup>b</sup>
Invierno	AT	8.04 <sup>a</sup>
	MT	10.15 <sup>a</sup>
	BT	10.68 <sup>a</sup>
	PT	24.45 <sup>b</sup>

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones múltiples (Fisher LSD)  $\alpha=0.05$ .

Las parcelas AT, MT y BT fueron estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes en relación con el sitio PT, que presentó el mayor porcentaje de colonización de raíces en ambas épocas de muestreo (Figura 6). El hecho de que la parcela PT mostrara un porcentaje de colonización mayor en comparación a las parcelas AT, MT y BT podría atribuirse a diferentes factores, entre ellos el tipo de hospedero, ya que la parcela PT estaba poblada por pasto estrella (*Cynodon dactylon* L.), que siendo una gramínea se caracteriza por tener un sistema radical que facilita la propagación de los HMA (Bolletta, 2006). Además, la longitud de raíces y los niveles de colonización por

micorrizas arbusculares en las gramíneas perennes están asociados con una mejor adquisición de nutrimentos desde el suelo, por lo que se considera que estas especies presentan una mayor habilidad competitiva (Jackson y Caldwell, 1996) con respecto a otro tipo de plantas. Los resultados encontrados en este estudio coinciden con aquellos de Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, (2004), quienes realizaron un estudio en cuatro sistemas de producción de maíz: barbecho largo, barbecho corto, rotación pastizal-cultivo y cultivo anual, encontrando que la colonización micorrízica fue 3.1 veces más alta en suelos de pastizal que en los cultivados con maíz con barbecho largo.

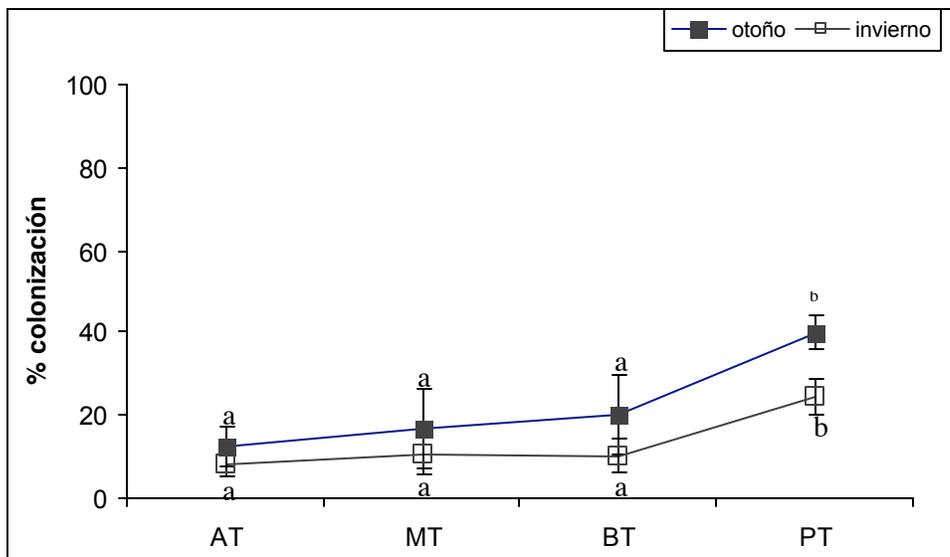


Figura 6. Porcentaje de colonización micorrízica ( $\pm$ ES) en raíces de plantas de papayo crecidas en campo y colectadas en las épocas de otoño e invierno.

Otros factores que puede influenciar en estos resultados son las prácticas de manejo agrícola empleadas en la producción de papayo (Cuadro 1). Por ejemplo: debido a la cantidad de fertilizante que se aplica, las concentraciones de fósforo son muy elevadas

en las parcelas AT, MT y BT (Cuadro 2). Particularmente en la parcela AT, la función de los HMA puede ser inhibida tanto por las grandes cantidades de fósforo aplicadas ( $400 \text{ Kg/ha/año}^{-1}$ ), como por el elevado nivel de este nutriente ya existente en el suelo (104 ppm), pues está comprobado que el porcentaje de colonización micorrízica disminuye conforme se incrementan los niveles de fósforo disponible en el suelo (Baum y Makeschin, 2000; Kahiluoto *et al.*, 2001; Koide y Li, 1990). También, la baja colonización de la parcela AT respecto a las otras parcelas podría estar relacionada con la cantidad de agroquímicos aplicados, especialmente de fungicidas como propiconazol y fenpropimorph, ya que existen reportes fundamentando que algunos fungicidas disminuyen o inhiben por completo la colonización micorrízica (Diedhiou *et al.*, 2004; Kjölller y Rosendahl, 2000; Pattinson *et al.*, 1997).

En general, se establece que el porcentaje de colonización de raíces de plantas de papayo en campo en las parcelas AT, MT y BT puede estar influenciado por el manejo que se le da al cultivo, ya que estos resultados coinciden con aquellos de Trindade *et al.*, (2006) quienes al evaluar la colonización micorrízica de HMA presente en diferentes plantaciones de papayo en campo, encontraron que los niveles de colonización variaron de manera significativa entre parcelas, presentándose la menor colonización en sitios con manejo intensivo (alta aplicación de plaguicidas y fertilizantes).

En relación con la época de muestreo, en otoño se registró mayor porcentaje de colonización en las cuatro parcelas (Figura 6); debido, posiblemente, a que en esta etapa las plantas de papayo se encontraban en floración, en cuya fase requieren

mayor suministro de agua y nutrimentos para la formación de frutos, por lo que este suministro pudo ser abastecido, en parte, a través de la asociación con hongos micorrízico arbusculares encontrados. Este argumento se puede fundamentar en lo reportado por Velasco-Velasco *et al.*, (2003), quienes encontraron que la mayor colonización micorrízica en tomate de cáscara se observó en la etapa de floración. En lo relativo a la parcela PT, la variación en la colonización entre épocas puede deberse a que en las gramíneas, el nivel de colonización por HMA varía de acuerdo con las diferentes estaciones del año (Busso *et al.*, 2001).

### **3.5.3. Número más probable de propágulos infectivos (NMP)**

Los resultados de la determinación del NMP de propágulos se presentan en el Cuadro 5. El suelo colectado en la parcela AT registró el menor número de propágulos infectivos 10.9 (4.3-27.6), seguido de las parcelas MT, BT y PT, siendo especialmente contrastante la cantidad de propágulos que se encontraron en la parcela PT que presentó niveles extremadamente altos con un valor de 1122.5 (433.1-2842) para la época de otoño. Este resultado coincide con lo reportado por Gálvez *et al.*, (2001) quienes hallaron mayor potencial de inóculo sobre plantas de maíz en la época de otoño en suelos no labrados.

Cuadro 5. Número más Probable (NMP) de propágulos de HMA presentes en los suelos sembrados con papayo en Isla, Veracruz.

Sitio	NMP/100g suelo (95% intervalo de confianza)	
	OTOÑO	INVIERNO
AT	10.9(4.3-27.6)	10.9(4.3-27.6)
MT	67.6(26.7-171.2)	18.4(7.2-46.6)
BT	184.1 (72.6-466.1)	112.4(44.4-284.8)
PT	1122.5 (433.1-2842)	431.3(170.3-1092.22)

El bajo potencial micorrízico expresado por el NMP en los suelos de las parcelas AT, MT y BT, puede ser el resultado de las prácticas de uso y manejo que se utilizan en este cultivo y que disminuyen el número de propágulos micorrízicos infectivos (Barea y Jeffries, 1995; Rough *et al.*, 1987; Sukarno *et al.*, 1996), ya que en estas parcelas se aplican los fungicidas benomyl, mancozeb y fosetil-al, productos que se caracterizan por inhibir la actividad de propágulos de HMA (hifas internas en la raíz y externas en la interfase raíz-suelo ) y reducir el porcentaje de colonización de manera significativa (Kjöller y Rosendahl, 2000; Sukarno *et al.*, 1996).

La fertilización también podría estar influyendo en el bajo número de propágulos infectivos de HMA en las parcelas de papayo, pues Clapperton y Reid, (1992) examinaron la relación entre la densidad de inóculo de HMA y el crecimiento de *Phleum pratense* L. y *Agropyron trachycaulum* en 5 diluciones diferentes de suelo con y sin aplicación de fertilizante, encontrando que la aplicación de fertilizante redujo el número de propágulos (arbúsculos) y la capacidad de los HMA para iniciar la

colonización en raíces de *Phleum pratense* en todas las diluciones de suelo. De igual forma, el funcionamiento de los HMA para establecer la colonización se ve reducido por la aplicación de fertilizantes (Huat *et al.*, 2002).

La labranza es otro factor que puede estar influyendo sobre la cantidad de propágulos infectivos en las parcelas de papayo, ya que varios estudios reportan que en suelos labrados de manera convencional, el número de propágulos (hifas activas) disminuye en relación con suelos de labranza reducida y labranza cero (Gálvez *et al.*, 2001; Kabir *et al.*, 1997).

Respecto al porcentaje de colonización micorrízica de las plantas propagadas en las diferentes diluciones se encontró que no existe una diferencia estadística significativa entre épocas; sin embargo, sí se observaron diferencias entre niveles de tecnología (Cuadro 6), siendo la parcela PT la que presentó mayor porcentaje de colonización de raíces en ambas épocas. Esto puede deberse a que la parcela PT es un pastizal, y generalmente las especies de plantas que se encuentran en los pastizales son consideradas plantas altamente micotróficas (Pelletier y Dionne, 2004) de gran importancia para mantener el potencial de inóculo micorrízico del suelo (Álvarez-Solís y Anzueto-Martínez, 2004).

Cuadro 6. Porcentaje de colonización micorrízica ( $\pm$  error estándar) de plantas de maíz (*Zea mays* L.) crecidas en diferentes diluciones de suelo cultivado con papayo.

Época	Sitio	% colonización de HMA/factor de dilución				
		10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Otoño	AT	3.96 <sup>c</sup> $\pm$ 1.21	1.06 <sup>d</sup> $\pm$ 0.24	0.71 <sup>a</sup> $\pm$ 0.90	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	MT	20.16 <sup>b</sup> $\pm$ 2.94	4.18 <sup>c</sup> $\pm$ 1.11	0.92 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	BT	22.32 <sup>b</sup> $\pm$ 3.41	6.54 <sup>b</sup> $\pm$ 0.49	1.30 <sup>a</sup> $\pm$ 0.89	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	PT	27.84 <sup>a</sup> $\pm$ 3.31	9.58 <sup>a</sup> $\pm$ 1.27	1.76 <sup>a</sup> $\pm$ 2.18	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Invierno	AT	3.72 <sup>b</sup> $\pm$ 1.27	0.26 <sup>b</sup> $\pm$ 0.48	0.20 <sup>a</sup> $\pm$ 0.45	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	MT	17.58 <sup>a</sup> $\pm$ 2.11	1.82 <sup>b</sup> $\pm$ 1.70	0.40 <sup>a</sup> $\pm$ 0.55	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	BT	18.48 <sup>a</sup> $\pm$ 2.53	5.30 <sup>a</sup> $\pm$ 1.86	0.59 <sup>a</sup> $\pm$ 0.60	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
	PT	19.86 <sup>a</sup> $\pm$ 4.71	6.12 <sup>a</sup> $\pm$ 1.61	0.74 <sup>a</sup> $\pm$ 0.63	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de comparaciones múltiples (Fisher LSD)  $\alpha=0.05$ .

En la dilución 10<sup>0</sup> que contenía suelo de las parcelas sin diluir, la parcela PT presentó un mayor porcentaje de colonización en ambas épocas de muestreo. En la época de otoño, el porcentaje de colonización en la parcela PT (27.84 $\pm$ 3.31) fue estadísticamente diferente al resto de las parcelas, mientras que en invierno sólo presentó diferencias significativas en relación con el sitio AT con valores de 19.86% y 3.72% respectivamente. El porcentaje de colonización disminuyó al incrementar el nivel de dilución del suelo de todas las parcelas. Ninguno de los suelos de las parcelas presentó colonización en las diluciones 10<sup>3</sup> y 10<sup>4</sup> en los muestreos.

### 3.6. CONCLUSIONES

La diferencia en relación al número de propágulos infectivos, es muy marcada entre las diferentes parcelas, y puede ser producto del uso y manejo al que están sometidos los suelos.

El comportamiento de las parcelas AT y MT era esperado debido al uso y manejo de estos suelos (intensas prácticas agrícolas). Sin embargo, con el suelo de la parcela BT se presumía una mejor efectividad micorrízica ya que las prácticas realizadas en este sitio son menos agresivas (bajo uso de agroquímicos y labranza reducida).

La colonización micorrízica en la parcela PT correspondiente a un pastizal fue significativamente mayor que en las parcelas AT, MT y BT cultivados con papayo, esto puede deberse a las características de la parcela que combina vegetación micotrófica (gramíneas) y nula intervención de prácticas agrícolas, puesto que es sabido que sitios no perturbados contribuyen a elevar el potencial de inóculo del suelo.

Los resultados de esta investigación indican que la intensidad de las prácticas agrícolas tiene influencia sobre la infectividad de los HMA, por lo que, para favorecer la conservación y sostenibilidad del agroecosistema papaya, es necesario realizar una disminución en el uso de fertilizantes y plaguicidas e implementar la inoculación con HMA con el objetivo de reducir el deterioro ecológico de dicho agroecosistema. Sin embargo trabajos tendientes a encontrar los niveles apropiados de fertilizantes y plaguicidas en los que la simbiosis micorrízica pueda desarrollarse efectivamente deben ser realizados posteriormente y aplicarse como un manejo integrado.

### 3.7. LITERATURA CITADA

- Al-Karaki G. N. 2000. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Micorriza*, 10:51-54.
- Álvarez-Solís J. D., y M. J. Anzueto-Martínez. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los Altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 38:13-22.
- Allen M. F. 1991. *The Ecology of Mycorrhizae*, Cambridge University Press.
- Augé R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
- Bagyaraj J. D., y S. L. Stürmer. 2008. Methodology to assess activity and taxonomic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). In F. M. Moreira, E. J. Huising y D. E. Bignell (eds.), *A Handbook of Tropical Soil Biology: Sampling and Characterization of Below-ground Biodiversity*, pp. 240. James & James, Earthscan, London.
- Baltruschat H., y H. W. Dehne. 1989. The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. II. Influence of nitrogen fertilization and green manure in continuous monoculture and in crop rotation on the inoculum potential of winter barley. *Plant and Soil*, 113:251-256.
- Barea J. M., y P. Jeffries. 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. In A. Varma y B. Hock (eds.), *Mycorrhiza, structure, function, molecular biology and biotechnology*, pp. 521-550. Wiley, New York.
- Baum C., y F. Makeschin. 2000. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on mycorrhizal formation of two poplar clones (*Populus trichocarpa* and *P. tremuloides*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163:491-497.
- Bellgard S. E. 1993. The topsoil as the major store of propagules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in southeast Australian sandstone soils. *Mycorrhiza*, 3:19-24.
- Bolletta A. I. 2006. *Micorrización en gramíneas perennes expuestas a distintos regímenes hídricos del suelo*, Universidad Nacional del Sur
- Brundrett M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in ecological research*, 21:171-313.
- Busso C. A., D. D. Briske, y V. Olalde-Portugal. 2001. Root traits associated with nutrient exploitation following defoliation in three coexisting perennial grasses in a grazed semi-arid savanna. *Oikos*, 93:332-342.

- Clapperton M. J., y D. M. Reid. 1992. A relationship between plant growth and increasing VA mycorrhizal inoculum density. *New Phytologist*, 120:227-234.
- Diedhiou P. M., E. C. Oerke, y H. W. Dehne. 2004. Effects of the strobilurin fungicides azoxystrobin and kresoxim-methyl on arbuscular mycorrhiza. *Verlag Eugen Ulmer GMBH Z.*, 111:545-556.
- Espinosa V. D., M. D. González, P. J. Plascencia, y E. R. García. 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. *Terra Latinoamericana*, 22:317-326.
- Fisher R. A., y F. Yates. 1970. *Statistical Tables for Biological Agriculture and Medical Research*. Hafner.
- Gálvez L., D. D. Douds, L. E. Drinkwater, y P. Wagoner. 2001. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas an nutrient uptake of maize. *Plant and Soil* 228:299-308.
- Giovannetti M., y B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84 489-499.
- Graham J. H. 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas? *New Phytologist* 149:357-359.
- Huat O. K., K. Awang, A. Hashim, y M. N. Muhamad. 2002. Effects of fertilizers and vesicular-arbuscular mycorrhizas on the growth and photosynthesis of *Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs seedlings. *Forest Ecology and Management*, 158:51-58.
- Jackson R. B., y M. M. Caldwell. 1996. Integrating resource heterogeneity and plant plasticity modelling nitrate and phosphate uptake in a patchy soil environment. *Journal of Ecology*, 84:891-903.
- Jaen C. D., y R. Ferrera-Cerrato. 1989. Vesicular arbuscular endomycorrhiza and its effect in two papaya cultivars (*Carica papaya* L. Cera and cv. Solo) 2nd European Symposium on mycorrhizae., pp. 50, Prague, Czechoslovakia.
- Janos D. P. 1996. Mycorrhizas, succession and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In J. C. Frankland, N. Magan y G. M. Gadd (eds.), *Fungi and environmental change*, pp. 129-162. Cambridge University.
- Jasper D., L. Abbott, y A. Robson. 1993. The survival of infective hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in dry soil: an interaction with sporulation. *New Phytologist*, 124:473-479.

- Kabir Z., I. P. O'Halloran, J. W. Fyles, y C. Hamel. 1997. Seasonal changes of arbuscular mycorrhizal fungi as affected by tillage practices and fertilization : Hyphal density and mycorrhizal root colonization. *Plant and Soil* 192:285-293.
- Kahiluoto H., E. Ketoja, M. Vestberg, y I. Saarela. 2001. Promotion of AM utilization through reduced P fertilization. II. Field studies. *Plant and Soil*, 231:65-79.
- Kaya C., D. Higgs, H. Kirnak, y I. Tas. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil* 253:287-292.
- Kjöller R., y S. Rosendahl. 2000. Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: Differential responses in alkaline phosphatase activity of external and internal hyphae. *Biology and Fertility of Soils*, 31:361-365.
- Koide R. T., y M. Li. 1990. On host regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist*, 114:59-65.
- Mohandas S. 1992. Effect of VAM inoculation on plant growth, nutrient level and root phosphatase activity in papaya (*Carica papaya* cv. Coorg honey dew). *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 31:263-267.
- Moorman T., y F. B. Reeves. 1979. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semiarid west. II. A bioassay to determine the effect of land disturbance on endomycorrhizal populations. *American Journal of Botany* 66:14-18.
- Oliveira A. A. R., B. Weber, y A. C. G. Silva. 1992. Micorrização e crescimento de porta-enxertos de citros em função de inóculos micorrízicos vesículo-arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 27:1049-1056.
- Pattinson G. S., D. I. Warton, R. Misman, y P. A. McGee. 1997. The fungicides Terrazole and Terraclor and the nematicide Fenamiphos have little effect on root colonisation by *Glomus mosseae* and growth of cotton seedlings. *Mycorrhiza*, 7:155-159.
- Pelletier S., y J. Dionne. 2004. Inoculation rate of arbuscularmycorrhizal fungi *Glomus intraradices* and *Glomus etunicatum* affects establishment of landscape turf with no irrigation or fertilizer inputs. *Crop Science*, 44:335-338.
- Phillips J. M., y D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55:158-160.
- Rough J. L., V. Gianinazzi-Pearson, y S. Gianinazzi. 1987. Depressed metabolic activity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi after fungicide applications. *New Phytologist*, 106:707-715.

- Schachtman D. P., R. J. Reid, y S. M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116:447-453.
- SchüBler A., D. Schwarzott, y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105:1413-1421.
- Sieverding E. 1991. Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
- Silva L. F., y J. O. Siqueira. 1991. Crescimento e teores de nutrientes de mudas de abacateiro, mangueira e mamoeiro sob influencia de diferentes espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 15:283-288.
- Sukarno N., F. A. Smith, S. E. Smith, y S. E. Scott. 1996. The effect of fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. II. The effects on area of interface and efficiency of P uptake and transfer to plant. *New Phytologist*, 132:583-592.
- Tommerup I. C. 1992. The role of mycorrhiza in plant populations and communities. *Mycorrhiza*, 1:123-125.
- Trappe J. M. 1987. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In G. R. Safir (ed.), *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*, pp. 5-25. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Trindade A. V., J. O. Siqueira, y S. L. Sturmer. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi in papaya plantations of Espírito Santo and Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37:283-289.
- Velasco-Velasco J., R. Ferrera-Cerrato, y J. J. Almaraz-Suárez. 2003. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*, 19:241-248.
- Weber O. B., y S. M. C. Amorim. 1994. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos vesicular arbusculares em mamoeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:187-191.

## **CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES**

Con relación a la diversidad de especies de HMA, los muestreos efectuados en las huertas de papayo cultivadas con diferente sistema de manejo de producción determinaron la existencia de ocho diferentes morfotipos.

Contrario a lo que se esperaba, la parcela AT presentó la mayor diversidad de especies de HMA, y la parcela en cual se aplica el menor número de agroquímicos y plaguicidas, fue la que registró la menor diversidad y número de esporas de HMA. Sin embargo, éste resultado no implica que todas las esporas encontradas en la parcela AT sean efectivas para establecer la simbiosis micorrízica, puesto que no se realizaron pruebas de viabilidad o eficiencia con dichas esporas. Esto da pauta para realizar estudios futuros con el objetivo de evaluar la viabilidad de esporas de HMA a través de un gradiente de intensificación de manejo y labranza del suelo, y poder analizar que efectos puede tener sobre la germinación de las esporas, y su capacidad para establecer la simbiosis.

La diferencia en el número de propágulos infectivos, entre las diferentes parcelas fue evidente, y puede ser producto del uso y manejo al que están sometidos los suelos. El comportamiento de las parcelas AT y MT era esperado debido al uso y manejo de estos suelos (intensas prácticas agrícolas), sin embargo, con el suelo de la parcela BT se presumía una mejor efectividad micorrízica ya que las prácticas realizadas en este sitio son menos agresivas (bajo uso de agroquímicos y labranza reducida).

La colonización micorrízica en la parcela PT correspondiente a un pastizal fue significativamente mayor que en las parcelas AT, MT y BT cultivados con papayo, esto puede deberse a las características de la parcela que combina vegetación micotrónica (gramíneas) y nula intervención de prácticas agrícolas, puesto que es sabido que sitios no perturbados contribuyen a elevar el potencial de inóculo del suelo.

Los resultados evidencian que la intensidad de las prácticas agrícolas afecta la infectividad de los HMA, por lo que se propone una disminución en el uso de fertilizantes y plaguicidas, en combinación con la inoculación con HMA, esto con el objetivo de reducir el deterioro ecológico del suelo, al mismo tiempo de que se reducen los costos de producción; sin embargo trabajos tendientes a encontrar los niveles apropiados de fertilizantes y plaguicidas en los que la simbiosis micorrízica pueda desarrollarse efectivamente deben ser realizados posteriormente y aplicarse como un manejo integrado.

La información obtenida de este tipo de investigación da pauta para la realización de futuras investigaciones en la asociación HMA-papayo, con tendencia a fomentar un uso adecuado de estos microorganismos, los cuales pueden ser propagados en campo por los propios productores, previo a una correcta identificación y evaluación de especies, y a través de una correcta asesoría, para posteriormente aplicarlos como “biofertilizantes” en parcelas en producción, de tal manera que contribuyan a mejorar el rendimiento de los cultivos y a mantener la sostenibilidad en los agroecosistemas tropicales.