

El manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible Estudio de caso: El Caribe

Editores

Dr. C. Ramón A. Rivera Espinosa

Ms. C. Kalyanne Fernández Suárez

Autores

Dr. C. Ramón A. Rivera Espinosa

Dr. C. Félix Fernández Martín

Dr. C. Alberto Hernández Jiménez

Dr. C. José Roberto Martín Triana

Ms. C. Kalyanne Fernández Suárez

Editorial

Ediciones INCA

El manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible

Estudio de caso: El Caribe

ISBN: 959-7023-24-5

© 2003, Dr. C. Ramón A. Rivera Espinosa

© 2003, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)

Producción Editorial: Agustín García Marrero

Diseñador: Guido Delgado Morejón

Corrección: Ms. C. Kalyanne Fernández Suárez

La simbiosis micorrízica, fascinante asociación que se establece entre la mayoría de las especies vegetales de importancia económica y ciertos hongos edáficos, es la regla y no la excepción. Los hongos micorrizógenos son tan antiguos como las plantas (400 millones de años) y ambos han ido evolucionando de forma conjunta hasta nuestros días. Lo que se pretende es definir las bases para el manejo efectivo de la simbiosis, así como las vías para su establecimiento y su inserción con las prácticas agrícolas en los diferentes sistemas productivos; sistemas que se basen en el modelo biológico de plantas micorrizadas eficientemente, donde la simbiosis con sus beneficios sobre los procesos de absorción de nutrientes y el agua, el crecimiento y vigor de las plantas y el propio rendimiento, sea un elemento constitutivo de la sostenibilidad agrícola.

AGRADECIMIENTOS

*Al Doctor en Ciencias Biológicas Ricardo Herrera Peraza,
pionero en los estudios sobre las Asociaciones Micorrízicas
en Cuba y a quien debemos el enorme placer de adentrarnos
en esta universal simbiosis.*

*A los colectivos de investigadores, extensionistas y técnicos
pertenecientes a las Estaciones Experimentales de Café y
Cacao, Instituto de Investigación de Viandas Tropicales,
Instituto de Ecología y Sistemática e Instituto Nacional de
Ciencias Agrícolas que han llevado a cabo los programas
de investigación, producción de inoculantes y de validación
y que han permitido el desarrollo de los conceptos aquí
expuestos.*

*A la Doctora en Ciencias Agrícolas Eolia Treto Hernández
por la paciente revisión del documento y sus oportunos
consejos.*

*A la dirección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas,
Cuba, por el apoyo brindado para la realización de esta obra.*

Los autores

PROLOGO

La agricultura moderna, si bien logró un aumento de la producción de alimentos en determinados países, lo hizo a costa de la degradación paulatina de la base de los recursos naturales asociados a ella.

Como respuesta a este serio problema, han surgido propuestas de formas de hacer agricultura que sean sustentables o sea, que a la vez que garanticen la producción de alimentos para todos los seres humanos, no generen su propia destrucción.

En Cuba específicamente, se han estudiado y diseñado formas de hacer agricultura, así como entidades agrícolas productivas, bajo los principios de la agroecología, donde los sinergismos y antagonismos positivos entre los componentes biológicos, potencian la fertilidad del suelo, la productividad, la protección de los cultivos y la equidad social.

El presente libro: **"El manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe"**, constituye un valioso aporte de nuestros científicos, así como de productores cubanos y caribeños a este nuevo concepto de hacer agricultura.

En el primer capítulo se realiza por parte de su autor Dr. en Ciencias Agrícolas, Félix Fernández Martín, una valoración y revisión bibliográfica exhaustiva de la simbiosis micorrízica arbuscular. La califica acertadamente como una compleja y fascinante unión entre la gran mayoría de las plantas y cierto grupo de micetos que habitan el suelo, así como un ejemplo de estrategia de sostenibilidad.

Realiza un documentado recuento de la historia de la micorriza, además de sus múltiples funciones, entre las que se destacan: un aprovechamiento más eficiente de la zona radical, una mayor resistencia a las toxinas, un incremento de la traslocación y solubilización de elementos nutritivos, así como alguna protección contra patógenos radicales.

Informa también sobre las plantas que forman endomicorizas arbusculares, concluyendo que estas se encuentran en la mayoría de las especies de importancia económica.

Muestra además la clasificación actual de los hongos formadores de micorizas arbusculares y sus relaciones filogenéticas.

Posteriormente, se adentra en los distintos momentos para el establecimiento de la simbiosis micorrízica, que se inicia a partir de una hifa de penetración que contacta con la planta por los pelos absorbentes, convirtiéndose en apresorio; posteriormente en hifa infectiva o haustorio que penetra, ramificándose, y formando el arbúsculo que garantiza el intercambio de sustancias esenciales durante la simbiosis. Paralelamente señala como se ha formado un micelio extrarradical, capaz de captar eficazmente todos los nutrientes.

El autor, además, describe en detalle el desarrollo y funciones del micelio extrarradical, tan importante para la estabilidad y mejora de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

En otro acápite, profundiza en el funcionamiento de la simbiosis, ejemplificando en una figura el posible mecanismo de transferencia del fósforo desde el suelo, al hongo, a la interfase apoplástica hasta la raíz de las plantas.

Continúa desarrollando el papel de las micorrizas arbusculares en la nutrición vegetal. Citando a diversos autores, llega a la conclusión de que el beneficio por el uso de las asociaciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de las plantas, resulta espectacular, sobre todo en los suelos del trópico.

Informa también sobre los posibles mecanismos del papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes por las plantas, adentrándose en los diferentes elementos, fundamentalmente el importante papel que desempeñan en la nutrición fosfórica.

Muestra el papel de las micorrizas en la adaptación de las plantas, señalando los trabajos que demuestran que la evolución de las plantas ocurrió de forma paralela a la simbiosis micorrízica arbuscular y que estas aportan al equilibrio, al desarrollo y a la conservación de los agroecosistemas.

En otro acápite examina la influencia de los principales factores edáficos (abióticos y bióticos) que influyen sobre la micorrización, quedando claro el efecto estimulante de la luz sobre la infección micorrízica y el amplio rango de temperatura y acidez óptima según la especie de que se trate.

Sobre la interacción de las micorrizas arbusculares con los microorganismos rizosféricos, además de comentarla, el autor las resume en una valiosa tabla, donde se muestran los sinergismos con las bacterias fijadoras de nitrógeno y su antagonismo beneficioso con algunos patógenos de las plantas.

Dedica también un espacio a mostrar el concepto de dependencia micorrízica de las plantas y su agrupación de acuerdo a este índice.

Como colofón de este capítulo, se analiza la efectividad y el funcionamiento micorrízico según diversos autores. Se enfatiza, de acuerdo al resultado del propio autor del capítulo y otros colaboradores, en la importancia determinante que tienen en la efectividad simbiótica el tipo específico de suelo o sustrato. Demuestra, además la acción determinante de las concentraciones o equilibrio de nutrientes en la solución del suelo, la velocidad de mineralización de la materia orgánica, así como la capacidad de intercambio catiónico, principalmente del catión calcio.

El autor de este capítulo junto con colaboradores allegados corroboran un asunto importante como que "no siempre las cepas nativas originan los mayores efectos positivos". Relaciona esto con una baja concentración de propágulos nativos. En el caso de los cultivos micótrofos dependientes o facultativos la inoculación con cepas eficientes y adaptables a las características del suelo, constituye una práctica exitosa.

Por último, incursiona en el tema del funcionamiento micorrízico, definiéndolo como "el comportamiento intrínseco de la simbiosis micorrízica bajo determinadas condiciones edafoclimáticas". Informa sobre la opinión de algunos autores que afirman que la simbiosis se desarrolla de manera secuencial, tanto por influencia del hongo como de la planta hospedera. Aporta, además, su experiencia, donde observa que en el caso de los cultivos perennes este funcionamiento esta relacionado con la velocidad de renovación radical. Concluye con la idea de que en la medida que los suelos son menos fértiles se necesitarán más estructuras fúngicas para lograr una mayor eficiencia micorrízica.

En el capítulo 2, su autor, el Dr. Ramón Rivera Espinosa, aborda las bases científico técnicas para el manejo de los sistemas micorrizados eficientemente.

En la introducción de este capítulo el autor realiza una valoración crítica de lo encontrado hasta el momento sobre el tema, concluyendo que la mayoría de los trabajos experimentales se han realizado en condiciones controladas y han adolecido de un enfoque sistemático. Sin embargo, refiere que el programa más completo e interdisciplinario fue el llevado a cabo en Colombia, en la década del 80 y publicado por Sieverding en 1991, pero el grueso del trabajo se realizó con cepas nativas, usando generalmente una sola especie vegetal. No obstante, reconoce su alto valor metodológico y del conocimiento de la simbiosis en condiciones tropicales, por lo cual lo considera como punto de partida para los trabajos posteriores.

Seguidamente el autor presenta valiosos resultados de un grupo de experimentos cubanos seleccionados, los cuales tuvieron como base tres presupuestos: inoculación con especies eficientes de HMA, diferentes ambientes edáficos para seleccionar cepas eficientes y la influencia de suministro de nutrientes sobre la efectividad de la simbiosis.

Estos experimentos cubrieron varias especies de plantas de importancia en el Trópico como son: el café, varias raíces y tubérculos, así como algunas hortalizas. Abarcó siete tipos de suelos tropicales: Acrisoles háplicos, Nitisoles dístricos, Luvisoles crómicos, Ferralsoles éutricos, Cambisoles húmicos crómicos; crómicos; gléyicos; húmicos éutricos y éutricos, con cinco grados de fertilidad, desde muy baja hasta muy alta.

Otro grupo de experimentos comprendió el estudio con quince cepas en tres suelos durante tres años, así como otros con coinoculación, abonos verdes, rotaciones y secuencias de cultivo.

Con este gran volumen de información se llega a importantes conclusiones, recomendaciones y nuevas definiciones conceptuales de hacer agricultura con una esencia agroecológica.

Después de analizar la respuesta tanto del café como de las otras especies vegetales, se concluye que la mayor especificidad es la del suelo con la cepa y no con el cultivo, por lo tanto, el tipo de suelo es la base para el manejo eficiente de las asociaciones micorrízicas a partir de la selección e inoculación con cepas eficientes.

También quedó claro que la efectividad de la inoculación no solo dependió de la selección adecuada de la cepa de HMA empleada, sino del suministro de nutrientes o riqueza del sustrato en que crecen las plantas.

Como algo novedoso el autor aporta el concepto de sistemas agrícolas micorrizados eficientemente, basado en el modelo de la planta micorrizada con efectividad. Este se obtiene por la inoculación con cepas eficientes y un manejo que permita la máxima efectividad; fundamentalmente a través de la garantía de un óptimo suministro de nutrimentos por diversas vías: abonos orgánicos, pequeñas dosis de químicos, abonos verdes, rotaciones, coinoculaciones y otros.

Enfatiza en señalar que lo que se trata es de potenciar el fenómeno de la simbiosis micorrízica consciente y efectivamente, como base para la producción agrícola. No entender esta práctica como la aplicación de un producto más en la agricultura, sino como un concepto de hacer agricultura, protectora del medio ambiente, del recurso suelo y que garantice buenas producciones.

En el capítulo 3 el autor, Dr. Félix Fernández Martín, trata un tema de suma importancia para la práctica de la inoculación con hongos micorrizógenos, la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares.

Aborda las diversas metodologías que se han propuesto, especificando aquellas que utilizan varios sustratos sólidos o medios hidropónicos. También informa sobre una técnica más novedosa como lo es el cultivo monoaxénico, aún en estudio, pero que según su opinión resulta prometedor.

A continuación enumera las ventajas de la producción sobre sustratos sólidos ya que estos se muestran superiores en cuanto a la cantidad de especies y géneros Glomales que se pueden cultivar.

Continúa este capítulo profundizando en la producción de hongos micorrízicos, detallando los distintos tipos de hongos así como las características principales de su producción. Cita, además, cuales especies de plantas hospederas han demostrado ser las mejores hospedantes; entre las cuales se encuentran la *Brachiaria decumbens* y el *Sorghum vulgare*.

En otro acápite detalla sobre la producción de inoculantes comerciales sólidos, con énfasis en los avances obtenidos en Cuba, en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), donde además de la metodología, muestra fotos sobre la producción del inoculante certificado en esta institución.

Posteriormente aborda un tema, que a mi juicio ha sido clave para que la inoculación micorrízica pueda utilizarse a gran escala en la práctica productiva: la producción del inoculante comercial EcoMic® registrado bajo patente del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, de Cuba.

Anterior a este momento, las dosis recomendadas de otros inoculantes comerciales eran tan elevadas (2 - 6 t por hectárea), que resultaba una práctica poco viable. El EcoMic® ideado por nuestros científicos eliminó este escollo, ya que con pequeñas dosis, mil veces inferiores, mezclándolo con agua, se pueden recubrir las semillas o propágulos y por su excelente característica adherente quedan listas para la siembra manual o mecanizada.

También aparecen otros acáptes que sustentan la calidad y efectividad de este novedoso inoculante, como son los ensayos básicos de su validación y la metodología de producción masiva. Se informa que hasta la actualidad se han fabricado más de siete plantas productoras de este biofertilizante en varios países como Cuba, Colombia y Bolivia, así como también se ha evaluado con éxito en España y México.

Por último informa la dosificación para cada tipo de semilla y las normas de calidad de EcoMic®.

El autor del capítulo 4, Dr. Ramón Rivera Espinosa, comienza con una introducción muy valiosa, ya que sintetiza lo tratado en capítulos anteriores. En esta quedó claro: la importancia de la simbiosis micorrízica para el desarrollo de la inmensa mayoría de las especies vegetales, las regularidades de su comportamiento, el factor tipo de suelo como elemento clave para la selección de cepas adecuada, y por último, la baja especificidad cepa - cultivo. Para la introducción práctica a gran escala, fue decisivo el desarrollo del ventajoso inoculante comercial EcoMic®, que supera con creces los que existían hasta su aparición.

Como secuencia lógica, en este capítulo se abordaron los resultados de las campañas de validación, tan importantes para darles aún mayor credibilidad a la introducción consciente de la simbiosis micorrízica y su integración con el resto de las prácticas culturales.

En el siguiente acápite el lector encontrará los resultados de la aplicación del inoculante en dos modelos de producción bien diferentes: el de altos insumos, con grandes áreas de producción mecanizadas y el modelo de pequeños agricultores, con el uso de pocos recursos externos.

En el modelo de altos insumos se muestran, entre otros, los resultados positivos de la inoculación con EcoMic® en trece casos, que incluye tres países: Cuba, Colombia y Bolivia, en cultivos importantes como: arroz, algodón, maíz, trigo, soya, frijol y girasol. Como promedio de todos los cultivos, se logró un incremento del 43% en el rendimiento. La inoculación fue compatible con las máquinas utilizadas en la siembra y con el inoculante de Rizobio usado en el frijol y la soya. Se muestran fotos que avalan estos resultados, así como algunas muy recientes de Tamaulipas, México, en maíz, sorgo, chile, melón y lentejas.

Posteriormente se muestran, entre otras, dieciséis ejemplos de validaciones realizadas en modelos de pequeños agricultores, familiares de pocos recursos externos en Cuba y Colombia en cultivos como: arroz, algodón, maíz, frijol, soya, maní, ajo, tomate y cebolla; donde también se obtuvieron, como promedio, 45 % de incremento en los rendimientos debido a la inoculación con EcoMic®.

Algo valioso en este capítulo son las fotos mostradas, donde el lector puede encontrar una constancia gráfica y clara de las técnicas aplicadas así como de los resultados obtenidos. Puede también observarse un efecto adicional de la inoculación como lo es una mayor resistencia de las plantas a la sequía, cuestión esta muy importante para agricultores sin posibilidades de riego.

Por último el autor realiza una útil valoración integral de los resultados, que le facilita al lector fijar su atención sobre los asuntos esenciales tratados, su sustentación y la factibilidad de su aplicación.

Coincido con el autor en que estamos en presencia de un resultado integral, desarrollado con un enfoque de sistema, de alto valor para la agricultura tropical. Que no solo se dispone de las bases científico - técnicas para su manejo, sino también de un producto, el inoculante comercial EcoMic®, para su introducción, su tecnología de fabricación y aplicación así como de suficiente información sobre la efectividad de su uso y la integración con la práctica productiva.

Los autores del capítulo final de este libro son los Doctores Alberto Hernández, José Roberto Martín Triana y Ramón Rivera Espinosa. Ellos presentan un ejemplo, en este caso el Caribe, de cómo pudieran introducirse todos los resultados presentados en una región afín a las condiciones estudiadas.

Se escogió para esta valoración el Gran Caribe por las similitudes que presenta dentro de su diversidad, lo que indica la especificidad y a la vez la universalidad de muchos de los resultados presentados. Se seleccionó además por ser una región necesitada de implementar formas de agricultura que sean sustentables, que mejoren su deteriorada base de recursos naturales. También por su cercanía a Cuba, país en el cual se ha avanzado en estas formas

de hacer agricultura, con base ecológica. Además se demostró en los capítulos anteriores que están creadas las condiciones propicias para compartir con otros países estos conocimientos y productos.

En la primera parte de este capítulo se presenta una caracterización del Caribe y posteriormente una detallada información sobre los suelos de cada uno de los países que conforman el Gran Caribe. Se hace énfasis, en uno de los acápites, en su agrupamiento según su fertilidad, teniendo en cuenta la importancia clave que representa el suelo y su fertilidad en la implementación y el manejo exitoso de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente.

Se presentan también una serie de fotos que ilustran algunos de los suelos descritos de Cuba, México, Nicaragua y Venezuela.

Por último, en un acápite final se presentan las condiciones generales sobre la utilización de los sistemas agrícolas micorrizados en la agricultura del Caribe. Se muestra una valiosa tabla donde se dan las recomendaciones de cepas eficientes de HMA para los diez grupos de suelos prevalecientes en la región caribeña.

Finalmente, el lector encontrará los principales argumentos que sustentan la idea de introducir los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente, como un aporte de los hombres y mujeres caribeños a nuestra región.

Eolia Treto Hernández

Dra. en Ciencias Agrícolas, Cuba

CAPÍTULO 1. LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA ARBUSCULAR

1.1. Generalidades

Es recomendable que a medida que se adentren en el conocimiento de esta peculiar asociación consideren que se trata de una compleja y fascinante unión entre la gran mayoría de las plantas y cierto grupo de micetos, de los tantos que habitan los suelos.

Todo esto es lo REAL, sin embargo, lo MARAVILLOSO, al igual que dijera mi coterráneo Alejo Carpentier, salvando las distancias, es que a partir de entonces, comenzarán a comprender uno de los fenómenos naturales más antiguo, universal y ejemplo de estrategia de sostenibilidad, entre los órganos de nutrición de las plantas, las raíces y cierto grupo de hongos que cohabitan todo el planeta, con un fin muy bien definido, VIVIR y DESARROLLARSE, en fin, EVOLUCIONAR.

Es interesante destacar que la historia de la micorriza se remonta a unos 400 millones de años, específicamente al periodo Devónico, a partir del cual hongos y plantas han coevolucionado hasta lo que son hoy en día (Taylor *et al.*, 1995).

Sin embargo, el vocablo Micorriza fue empleado por primera vez y con un interés puramente sistemático, por el ilustre botánico de origen alemán Albert Bernard Frank en el año 1885, para designar “la asociación que se producía entre las hifas de algunos hongos del suelo con los órganos subterráneos de la gran mayoría de las plantas superiores”. Desde el punto de vista etimológico, la palabra se formó a partir del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “rhiza” (raíz).

Este descubrimiento, al igual que otros tantos no visibles hasta ese entonces para los científicos de la época, dio lugar a que una pléyade de relevantes investigadores, dirigieran sus esfuerzos a tratar de comprender lo que ocurría en ese entorno desconocido, pues al parecer, nacía para la ciencia, un nuevo órgano con morfología y fisiología propia (Dommerges y Mangenot, 1970; Letacon y Obaton, 1983; Strullu, 1991 y Allen, 1992).

Por otra parte, Perry *et al.* (1990), demostraron que las asociaciones micorrízicas se encontraban ampliamente distribuidas, desde los polos hasta los trópicos, por lo tanto no debe sorprender en lo absoluto encontrar especies vegetales formando esta asociación en la mayoría de los ecosistemas terrestres, constituyendo excepciones algunas plantas de zonas pantanosas y acuáticas (Solaiman e Hirata, 1995).

Por tanto, como dijera en cierta ocasión una colega y autora también de este documento, cuando hablamos de micorrizas estamos presenciando la “regla y no la excepción”.

Las asociaciones micorrízicas desarrollan múltiples funciones entre las que se destacan: un aprovechamiento más eficiente de la zona radical a partir de un aumento en el volumen de suelo explorado, una mayor resistencia a las toxinas, incremento de la traslocación y solubilización de elementos nutritivos esenciales, aumento de la tolerancia a condiciones abióticas adversas (sequía, salinidad, etc.), así como cierta protección contra patógenos radicales.

En el año 1969, Peyronel y sus colaboradores definieron los tres tipos de asociaciones micorrízicas vigentes hasta nuestros días, tomando en consideración sus características morfoanatómicas y ultraestructurales (Ectomicorrizas, Ectendomicorrizas y Endomicorrizas).

Las ectomicorrizas se aprecian a simple vista debido a la típica capa o manto de hifas que tejen alrededor de las raíces que colonizan. A partir de esta estructura, las hifas se introducen entre las células de la corteza, sin llegar nunca a penetrarlas y forman de esta manera la red de Harting, ocasionando diversos cambios anatómicos (Garrido, 1988 y Strullu, 1991).

Las ectendomicorrizas presentan características intermedias comunes a las otras dos y se encuentran restringidas a un pequeño grupo de plantas y micetos.

Por último, las endomicorrizas, las cuales no son detectadas visiblemente, forman una red externa de hifas menos profusa que la anterior. Se propagan a través de las raíces y penetran el interior de las células corticales sin llegar a colonizar el endodermo. Este grupo es el más difundido en el planeta y está dividido en varios subtipos, de los cuales, el más representativo e importante es el arbuscular y cuyos protagonistas son un grupo de zigomicetos pertenecientes al orden Glomales. Es sobre esta asociación, precisamente, sobre la cual versará la presente obra.

1.2. La simbiosis micorrízica arbuscular

Esta maravillosa unión se define como una asociación simbiótica (Trappe, 1987) pues ambos organismos establecen sucesivos intercambios de sustancias nutritivas, metabolitos esenciales y sustancias hormonales, así como también conducen a la creación de nuevas estructuras, representando un beneficio mutuo para ambos simbioses. Durante este diálogo

molecular ocurre la activación de numerosos sistemas enzimáticos produciéndose cambios significativos en la morfología y fisiología de los simbioses, de manera que queden listos para comenzar el proceso de intercambio (Espinosa - Victoria, 2000).

Desde el punto de vista genético, este complejo fenómeno está regido por ambos genomas, existiendo un aporte recíproco de información, modelado a su vez por el medio ambiente. En la actualidad se ha avanzado en el estudio de algunos mecanismos bioquímicos, sin embargo, aún se desconocen las bases génicas y proteómicas que rigen esta interacción (Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1989 y Dumas - Gaudot *et al.*, 2000).

1.2.1. Plantas que forman endomicorrizas arbusculares

De acuerdo con Gerdemann (1975), con excepción de las familias básicamente ectomicorrízicas (*Pinaceae*, *Betulaceae* y *Fagaceae*), las que forman endomicorrizas con hongos perfectos, (*Orquidaceae* y *Ericaceae*) y unas pocas familias que han sido reportadas como no micorrízicas (*Chenopodiaceae*, *Cruciferaeae*, *Fumariaceae*, *Cyperaceae*, *Commelinaceae*, *Urticaceae* y *Poligonaceae*), el resto de las especies vegetales conocidas forman el tipo arbuscular. Sin embargo, no debemos ser muy categóricos, pues según McGonigle y Fitter (1990), sólo el 3% de las Angiospermas ha sido analizado.

No obstante, a partir de estos datos se puede inferir una conducta generalizada hacia la existencia de la micorrización arbuscular, lo cual ha podido ser corroborado al encontrarse la mayoría de las especies de importancia económica dentro de ese 3 %.

1.2.2. Hongos Micorrizógenos Arbusculares (HMA)

En particular, la sistemática y taxonomía de los HMA son disciplinas que se encuentran en plena evolución. La clasificación y los arreglos filogenéticos de estos hongos son objeto de frecuentes revisiones por parte de los especialistas.

Durante muchos años, los HMA se ubicaron en el orden Endogonales junto al género no micorrízico *Endogone*. Sin embargo, a la luz de nuevas consideraciones filogenéticas se estableció que su condición simbiótica constituía criterio suficiente para agruparlos en un solo taxón, lo cual dio origen al orden Glomales y a un reordenamiento de familias (Morton y Benny, 1990 y Walker, 1992).

Debido a que anteriormente se tenían en cuenta solamente los aspectos morfológicos de las esporas, los cuales daban lugar a clasificaciones erróneas e inexactas (Mosse y Bowen,

1968; Gerdemann y Trappe, 1974 y Trappe, 1982), la clasificación actual de los hongos formadores de micorrizas arbusculares está basada en los perfiles de ácidos grasos y en la secuencia nucleotídica del ARNr 18s (Morton y Redecker, 2001).

La clasificación actual que se presenta a continuación incluye dos nuevos géneros, *Paraglomus* y *Archaeospora*, basados ya no solamente en características estructurales de las esporas de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, que tenían un comportamiento dimórfico en su estructura, sino también en las diferencias filogenéticas dentro de esos géneros.

Orden: Glomales

Suborden: Glomineae

Familia: *Paraglomaceae*

Género: *Paraglomus*

Familia: *Archaeosporaceae*

Género: *Archaeospora*

Familia: *Glomaceae*

Géneros: *Glomus*

Sclerocystis

Familia: *Acaulosporaceae*

Géneros: *Acaulospora*

Entrophospora

Suborden: *Gigasporineae*

Familia: *Gigasporaceae*

Géneros: *Gigaspora*

Scutellospora

1.3. Establecimiento de la simbiosis micorrízica

En ausencia de hospedero el crecimiento del HMA se ve limitado a un tiempo relativamente corto (20 - 30 días), después del cual sufre varias modificaciones morfológicas como: retracción del citoplasma del ápice, producción de septos, desarrollo de ramificaciones laterales e hinchazón del ápice hifal. La presencia de la raíz, en cambio, permite el desarrollo de un micelio vegetativo que puede colonizar entre 60 - 90% del sistema radical en condiciones favorables (Bonfante y Perotto, 1995).

La razón por la cual los HMA no crecen saprofiticamente en ausencia de planta hospedera permanece sin explicar, sin embargo, la hipótesis postulada por Burggraaf y Beringer (1989) acerca del cese del crecimiento apical después de germinada la espora, causado por la ausencia de replicación del DNA, debe ser desechada debido a que en estudios posteriores (Bécard y Pfeffer, 1992 y Bianciotto y Bonfante – Fasolo, 1993) se ha demostrado claramente que *G. margarita* es capaz de replicar su DNA durante la germinación de las esporas ya que posee la maquinaria necesaria para ello, incluso en ausencia de la planta hospedera.

Otra posible hipótesis es la expresada por Bago *et al.* (2000), relacionada con una falla en la síntesis de lípidos, lo cual produce un cese del crecimiento e impide el completamiento del ciclo de vida.

El proceso simbiótico se inicia a partir de una hifa de penetración, originada desde una espora germinada (propágulo de HMA más resistente), raicilla infectada o segmento de hifa, que se encuentran en el suelo y activan su crecimiento bajo condiciones adecuadas de humedad, temperatura, o señales químicas favorables. Al hacer contacto con la planta en los pelos absorbentes o células epidérmicas situadas detrás de la región meristemática, se forma una hifa especializada llamada apresorio que le sirve de sostén en la fase primaria de penetración a la raíz (Bonfante y Perotto, 1995).

La colonización fúngica ocurre de manera continua en dos sentidos, hacia el interior y exterior de la raíz. Una vez dentro de la raíz, se origina una hifa infectiva denominada haustorio, la cual penetra en el interior radical ramificándose intensamente de manera dicotómica para formar el arbúsculo, estructura micorrízica que garantiza el intercambio de sustancias esenciales durante la simbiosis, sin invadir la endodermis ni penetrar en el meristemo. Una vez alcanzada la madurez fisiológica de este proceso (7 - 15 días) éstos son destruidos en el interior de las propias células por fagocitosis.

Lo anterior no implica que se atravesase la membrana celular de la planta hospedera, aunque si la pared celular, por lo que algunos autores plantean que no es realmente una penetración de la célula hospedera lo que se produce, pues el arbúsculo permanece rodeado todo el tiempo por el plasmalema celular, aunque a medida que crece, llena casi todo el espacio citoplasmático de la célula, formando una extensa superficie de contacto con la planta llamada matriz o interfase (Alexander *et al.*, 1988 y Cox y Tinker, 1976).

Paralelamente, se originan células de almacenamiento que contienen en su interior gránulos de fosfolípidos como material de reserva y reciben su nombre de acuerdo al género que los origine. En algunas especies del género *Glomus*, se nombran vesículas y se forman debido al hinchamiento de una hifa, generalmente terminal y en los casos de las gigasporas y escutelosporas, son llamadas células auxiliares y se forman en el exterior de la raíz. En ambos casos, su formación esta condicionada a una estabilización en la simbiosis micorrízica (Schenck y Smith, 1982).

Mientras que las diferentes estructuras fúngicas intraradicales se han estudiado ampliamente y numerosos trabajos las describen en detalle (Barea *et al.*, 1991 y Bonfante y Bianciotto, 1995), hasta hace unos años se conocía muy poco sobre el desarrollo, morfogénesis y arquitectura de la fase externa o de las hifas extraradicales de los HMA.

En estudios realizados en condiciones controladas por Barea *et al.* (1991) se ha puesto de manifiesto que por cada metro de raíz colonizada se producen entre 7 y 250 m de hifas externas del hongo, dependiendo de la especie implicada en la simbiosis y de sus condiciones de crecimiento.

De igual manera, el micelio extrarradical ha mostrado ser capaz de captar eficazmente todos los nutrientes (George *et al.*, 1995); en especial el fósforo (Jakobsen, 1995); nitrógeno (Johansen *et al.*, 1993 y Tobar *et al.*, 1994) y algunos micronutrientes esenciales para la planta (George *et al.*, 1995). Asimismo, la morfología y la arquitectura de las hifas externas han sido objeto de diferentes estudios, entre los cuales se destaca el de Friesse y Allen (1991) por ser el más completo.

El estudio de la morfología y arquitectura de las hifas externas se dificulta en ocasiones por las partículas del suelo, que ocultan probablemente las estructuras fúngicas más finas.

El desarrollo en la última década de un sistema de cultivo que permite el crecimiento *in vitro* en medios gelificados de los HMA, en simbiosis con una raíz hospedera, ha contribuido de manera importante al estudio de la fisiología y la arquitectura del micelio extrarradical arbuscular de los Glomales.

El empleo de cultivos monoaxénicos entre el hongo MA, *Glomus intraradices* y raíces de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) no transformadas, permitió a Bago *et al.* (1998) describir en detalle el desarrollo de la fase externa de las micorrizas arbusculares formadas por estos dos organismos.

Una vez que la asociación se ha establecido con éxito y, al parecer, previamente a la formación de los primeros arbusculos, el hongo adquiere nuevo vigor y comienza a desarrollarse profundamente en el medio, desarrollo que está dirigido por las llamadas hifas exploradoras, las que posteriormente dan lugar a estructuras ramificadas de absorción (ERA) similares a los arbusculos intraradicales (Bago *et al.*, 2000).

Las ERA a veces aparecen solas y otras asociadas a las esporas, además se ha demostrado que presentan una alta actividad succinato - deshidrogenasa (indicadora de un Ciclo de Krebs activo). A través del uso de la microscopía electrónica, se reveló que el contenido celular de las ERA es el de una célula metabólicamente activa, con una gran cantidad de mitocondrias, cuerpos proteicos, núcleos, pequeñas vacuolas y cuerpos polivesiculares.

La producción de estas estructuras ramificadas incrementa aún más el volumen explorado por las hifas, lo que le permite a la planta la captación de sustancias nutritivas y agua del entorno.

Además, diferentes estudios han señalado la importancia del micelio extrarradical arbuscular en la estabilidad y mejora de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. En particular se encontró una fuerte correlación entre la abundancia de hifas extrarradicales de hongos MA y la formación de agregados estables del suelo (Miller y Jastrow, 2000).

Por otra parte, mientras las hifas intraradicales sintetizan normalmente lípidos de reserva a partir de la glucosa que obtienen de la raíz (metabolismo lipogénico), el micelio extrarradical (hifas extrarradicales) por su parte utiliza la vía “lipolítica” pues al parecer su combustible metabólico proviene solo del transporte de productos carbonados sintetizados por el micelio interno (glucógeno o trehalosa) (Bago *et al.*; 2000).

1.4. Funcionamiento de la simbiosis

Durante la colonización y distribución del hongo en las raíces ocurren las siguientes modificaciones fisiológicas: incremento de la actividad nuclear y de la masa citoplasmática, generación de nuevos organelos y del grado de vacuolación de las células corticales, aumento de la diferenciación de los tejidos vasculares, aumento de la tasa fotosintética, síntesis de proteínas, clorofila, sustancias de crecimiento y metabolitos secundarios, activación de los sistemas enzimáticos y favorecimiento de la absorción, translocación de nutrientes y agua.

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

Las hifas absorben el P inorgánico del suelo a través de un proceso activo, convirtiéndose luego de un proceso de fosforilación en gránulos de polifosfato (2P) (Fig. 1). Son transportados por la corriente citoplasmática hasta las vesículas, donde pueden ser almacenados temporalmente o ir directamente hacia los arbuscúlos.

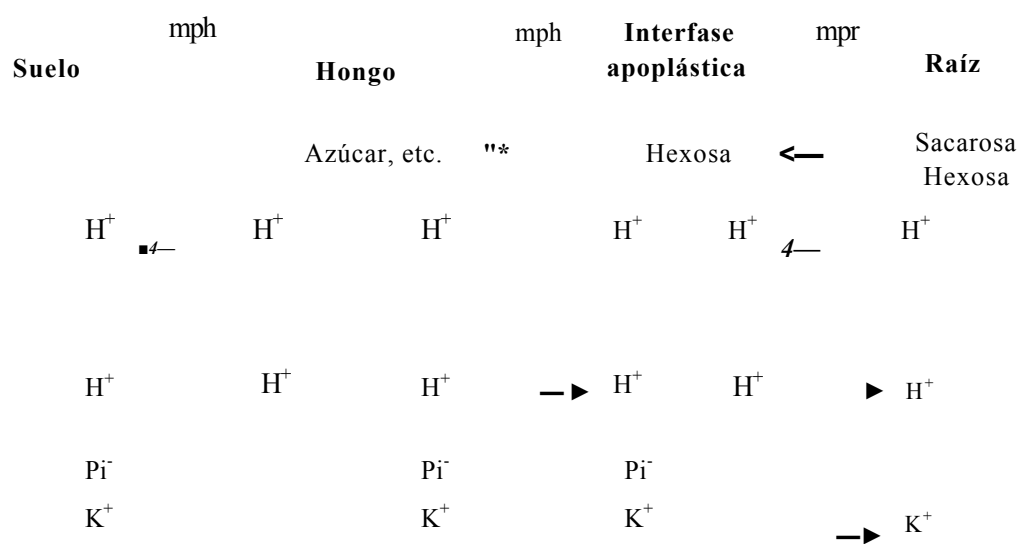


Figura 1. Posible mecanismo de transferencia de fósforo vía interfase micorrízica; mph y mpr membranas plasmáticas del hongo y la raíz respectivamente.

Dentro de la matriz arbuscular, el polifosfato es hidrolizado por el complejo enzimático fosfatasa - alcalina en fosfato inorgánico (Pi) y transferido a la célula vegetal, pasando a través de la interfase hongo - planta. Este proceso de transporte en la interfase está mediado por los cambios de potencial de membrana tanto de la planta como del miceto y del sistema de transporte ATPasa - bomba de protón (Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1983 y Dexheimer *et al.*, 1986).

Simultáneamente en el sentido contrario, ocurre la transferencia de carbohidratos provenientes de la fotosíntesis vía floema. Llegan a la célula vegetal en forma de sacarosa la cual es hidrolizada a través de una enzima del tipo invertasa, convertida en dos monómeros, que a su vez se descomponen posteriormente y se fosforilan en moléculas de triosa - P, para ser transferidos al simbionte vía arbusculos (Letacon y Obatón, 1983 y Smith *et al.*, 1994).

1.5. Papel de las micorrizas arbusculares en la nutrición vegetal

El desarrollo óptimo de los cultivos demanda una elevada aplicación de fertilizantes minerales y pesticidas. El uso de dichos insumos químicos implica no solo un costo y requerimientos energéticos elevados, sino que su aporte indiscriminado pudiera provocar problemas de salinización y contaminación del manto freático.

El desarrollo vegetal puede incrementarse por la utilización de elementos biológicos que actúan de forma coordinada en la interfase suelo - raíz, entre estos y como factor imprescindible se encuentran los hongos formadores de micorrizas arbusculares (Barea *et al.*; 1991 y Fernández, 1999).

Ha quedado demostrado por autores como Siqueira y Franco (1988); Fredeen *et al.* (1989); Sieverding (1991) y Fernández *et al.* (1999) que el beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta sorprendente, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y donde el potencial de explotación de estos hongos es mucho mayor que en regiones de clima templado.

La inoculación de las plantas con hongos micorrizógenos provoca, de manera general, un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes tales como: P, N, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mo y B (Koide, 1991 y Marschner y Dell, 1994). Estas asociaciones son un factor de relevante importancia para el incremento de las posibilidades de las plantas en países tropicales, por las razones citadas por Black (1980):

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

- El hábito micótrofo arbuscular de la mayoría de los cultivos de interés económico en los trópicos.

Por otra parte, el papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes es muy complejo, pudiendo ser resultado de varios posibles mecanismos planteados por Siqueira y Franco (1988) y Bolan (1991), como son:

- Aumento en la superficie de absorción radical y exploración del suelo (efecto físico).
- Aumento de la capacidad absorptiva de la raíz (efecto fisiológico).
- Modificaciones morfológicas y fisiológicas en las raíces micorrizadas en relación con las no micorrizadas.
- Absorción de nutrientes disponibles no accesibles a raíces no micorrizadas directamente a través las hifas o indirectamente a partir del favorecimiento del desarrollo de las raíces.
- Utilización de formas no disponibles para las raíces no micorrizadas a través de la solubilización y mineralización en el caso de las ectomicorrizas y de modificaciones en la dinámica del equilibrio de nutrientes entre la fase sólida y líquida del suelo, en el caso de los HMA.
- Almacenamiento temporal de nutrientes en la biomasa fúngica o en las raíces evitando su inmovilización química y biológica o su lixiviación.
- Establecimiento de microorganismos mineralizadores, solubilizadores de nutrientes y diazotróficos en la micorrizosfera.
- Amortización o amenización de los efectos adversos de pH, Al, Mn, metales pesados, salinidad, estrés hídrico y ataque de patógenos radicales, sobre la absorción de nutrientes.

1.5.1. Nutrición fosfórica

Los hongos micorrizógenos juegan un papel vital en la toma del P presente en los suelos, principalmente en las zonas tropicales, donde las cantidades de P asimilable a las plantas son frecuentemente bajas (Harley y Smith, 1983 y Trimble y Knowles, 1995).

Generalmente bajo estas condiciones, en la zona de crecimiento radical ocurre un rápido agotamiento del P, debido al pobre suministro del mismo provocado por la alta capacidad

de fijación del elemento en el propio suelo (Brady, 1984 y Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1983).

Los mecanismos químicos involucrados en la absorción de este elemento por el hongo se desconocen, sin embargo se sabe que se toma en forma de ión ortofosfato y se transporta a través de las hifas en forma de polifosfato a una velocidad de 2×10^{-9} mol $\times$ cm⁻² (Sieverding, 1991).

No obstante, se conoce que el mecanismo para incrementar la absorción de fósforo vía micorriza, es de naturaleza física, desarrollado a partir de la capacidad de las hifas de explorar un mayor volumen de sustrato con mayor eficiencia que el sistema radical por sí solo.

El otro aspecto se refiere a la posibilidad de utilizar fuentes de fosfato no accesibles a la planta. En estudios realizados en Galicia con suelos ácidos y altos niveles de materia orgánica, se observó que el fósforo añadido se incorpora en las fracciones extraídas con FNH₄ 0,5M y NaOH 0,1N y que el fosfato inorgánico utilizado por las plantas también procede de estas fracciones (Sainz y Arines, 1987 y Bolan, 1991).

La micorrización a través de su efecto físico, no solo representa una extensión del sistema de absorción de las plantas y de los efectos fisiológicos que aumentan la capacidad absorbente de las raíces, sino que como asociación funcional, realiza una utilización eficiente del fósforo, lográndolo de esta manera, una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes fosfóricos aplicados en suelos deficientes y con elevada capacidad de fijación de fosfato, predominantes en las zonas tropicales (Lopes y Lombardi, 1981).

Parte de los nutrientes absorbidos del suelo son almacenados temporalmente en la biomasa micorrízica, contribuyendo a la reducción de la inmovilización causada por las reacciones de absorción con los coloides del suelo, la precipitación y las pérdidas por lixiviación.

Por otra parte, las endomicorizas arbusculares presentan una pobre biomasa fúngica en la raíz y no producen una red micelial profusa, por lo tanto, se almacenan pequeñas cantidades de nutrientes. No obstante a ello, existen evidencias que estos simbioses pueden promover un reciclaje interno de los mismos en las raíces de la misma planta o entre plantas diferentes, a través de conexiones de hifas entre raíces con diferentes estadios fisiológicos (Siqueira y Franco, 1988 y Fernández, 1996).

Además de este efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, el favorecimiento en la absorción de fósforo, aumenta el crecimiento de las raíces y la fijación biológica de N₂ en

plantas que forman simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno, contribuyendo a elevar otro factor estresante para el crecimiento vegetal, en la mayoría de los suelos tropicales, la deficiencia de nitrógeno.

Pacovsky *et al.* (1986) realizaron estudios con plantas de soya (*Glicine max.L*) y sorgo (*Sorghum vulgare*) inoculadas con distintas especies de hongos micorrizógenos y sin inoculación, con aplicación de dosis crecientes de fertilizante fosfórico. En las plantas no inoculadas el contenido del elemento se incrementó exponencialmente con el aumento en las dosis de P, sin embargo en las micorrizadas el incremento fue logarítmico siguiendo el propio desarrollo fúngico.

Además, se pudo afirmar que las plantas inoculadas y las tratadas sólo con fertilización fosfórica difieren anatómicamente y fisiológicamente entre sí, sin embargo utilizan la misma fuente de fosfatos solubles del suelo.

Por otra parte, Bolan *et al.* (1987) plantean la posibilidad de que las plantas micorrizadas no utilicen las mismas fuentes de fósforo que las plantas no micorrizadas. En un experimento en suelo ácido pobre en fósforo, estudiaron el efecto de *Glomus fasciculatum* sobre la nutrición fosfórica del trébol fertilizado con fosfato de hidróxido de hierro y fosfato potásico, marcado con ^{32}P . Estos encontraron que las plantas micorrizadas absorbieron más fosfato que las no micorrizadas y la presencia de hidróxido de hierro perjudicó la absorción de fósforo por las plantas no inoculadas, sin embargo, la actividad específica del fósforo fue similar en ambos casos.

Pacovsky *et al.* (1986), estudiaron la interacción tripartita entre plantas de soya, el hongo formador de MA *Glomus fasciculatum* y la bacteria fijadora de N_2 *Bradyrhizobium japonicum*, frente a una fertilización ausente de P y N. Las plantas inoculadas con ambos microorganismos presentaron incrementos en peso seco del 18 % con relación a los testigos con la bacteria sola, la fijación de nitrógeno tuvo un 80 % de incremento en la asociación mixta, efecto atribuido a un incremento de la masa nodular.

Por otro lado autores como Meyer y Linderman (1986), Orozco *et al.* (1986) y Ames y Bethlenfalvay (1984), plantean que determinados grupos funcionales de microorganismos asociados a la hifosfera del hongo pueden aumentar indirectamente la solubilización del fosfato mediante la activación del complejo enzimático de las fosfatasas.

Ensayos realizados por Piccini y Azcón (1987) y Piccini *et al.* (1988), evidenciaron en alfalfa el papel de la asociación entre microorganismos solubilizadores de P y hongos formadores de MVA.

Los solubilizadores en presencia de roca fosfórica liberaron gran cantidad de P insoluble, el cual fue tomado por los hongos con una alta eficiencia.

Este fenómeno de incremento en la absorción del P unido a la presencia de micorrizas, no sólo está ligado a las enzimas fosfatasas, sino también a los procesos químicos del suelo. Según Sieverding y Gálvez (1988), en suelos tropicales ácidos con valores de pH por debajo de 5.3 la roca fosfórica es continuamente solubilizada y existe un alto nivel relativo de fosfatos solubles que son rápidamente fijados formando complejos insolubles de Al y Fe a menos que sean absorbidos por la asociación micorrízica con mayor poder de absorción que la planta por sí sola.

Cuando el pH del suelo se encuentra entre 5.5 y 6.5 la solubilización de la roca fosfórica, especialmente la apatita, puede estar relacionada con la fuerte acidificación de la rizosfera provocada por los exudados de las micorrizas.

1.5.2. Absorción de otros elementos

Los hongos micorrizógenos a pesar de que no son capaces de fijar N_2 atmosférico, favorecen su adquisición a través de efectos indirectos y de un aumento en la absorción del N del suelo. Así como ocurre con el P, las hifas y raicillas infectadas son capaces de tomar el N del suelo en varias formas y transferirlo a las plantas (Siqueira y Franco, 1988).

Las plantas micorrizadas absorben los iones amonio (NH_4^+) en forma de glutamina a partir del complejo enzimático de la glutamina - sintetasa (GS), lo transforman en trehalosa y lo translocan de esta manera; además se ha señalado también la absorción de nitrato y una pequeña actividad de la enzima nitrato reductasa fúngica, que al parecer asegura la toma de nitratos de manera complementaria con la nutrición amoniacal (Strullu, 1991).

Por lo tanto los HMA poseen la capacidad de emplear tanto NH_4^+ como NO_3^- sin embargo sus efectos tienen mayor repercusión fisiológica producto de la absorción de amonio, ión que por el contrario del nitrato, se difunde lentamente en la rizosfera, y por lo tanto es menos accesible a las raicillas de las plantas.

Por otra parte, los HMA son capaces de absorber el amonio a concentraciones más bajas que las raíces y lo asimilan rápidamente a través de la vía explicada (Baath y Spokes, 1989).

El potasio (K) y el magnesio (Mg) son comúnmente encontrados en altas concentraciones tanto en las plantas micorrizadas como en las que no lo están. Estos elementos se mueven con mayor facilidad en la solución del suelo que el P y aún no se ha encontrado el mecanismo de transporte directo de estos iones por parte de las micorrizas, además en algunos casos la elevada absorción de estos nutrientes coincide con un efecto indirecto para eliminar deficiencias de P.

Por otra parte, trabajos experimentales sugieren que la toma del K en suelos deficientes del elemento es realizada a través de las hifas de micorrizas (Sieverding y Toro, 1988).

Está comprobado por autores como Sieverding (1991) y Marschner y Dell (1994), que los micronutrientes como zinc (Zn), cobre (Cu), azufre (S), boro (B) y molibdeno (Mo), son tomados y transportados a través de las hifas hacia las plantas, sin embargo los iones de hierro (Fe), manganeso (Mn) y cloro (Cl), se pueden encontrar tanto en plantas micorrizadas como en las que no lo están (Buwalda *et al.*, 1983 y Bolan *et al.*, 1987).

Los elementos sodio (Na), cobalto (Co) y silicio (Si) no son esenciales en el crecimiento de todas las especies de plantas, sin embargo su aumento en algunas de ellas está relacionado con la absorción por parte de las micorrizas.

Algunos metales pesados tóxicos como el cadmio (Cd), níquel (Ni), estroncio (Sr) y cesio (Cs) y algunos aniones no nutricionales como el bromo (Br) y el Iodo (I), pueden ser transportados por las hifas de estos hongos hacia las plantas, este efecto puede ser atenuado por un incremento más balanceado en la absorción de los distintos macronutrientes.

1.6. Papel en la evolución y adaptación de las plantas

Es muy frecuente que el estado normal de las plantas sea formando simbiosis con otros organismos. Ellas coexisten de forma natural con un amplio rango de microorganismos simbióticos, incluyendo los endófitos fúngicos y bacterianos que habitan las hojas y el interior vegetal (tallo, frutos, raíces). Indudablemente los más representados en un 90 % de todas las plantas, son los simbioses de raíz que forman las estructuras denominadas micorrizas y en un reducido número, las bacterias que forman nódulos en las raíces y tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico.

Existe una fuerte evidencia que la evolución inicial de las plantas terrestres estuvo asistida por la colonización de micorrizas arbusculares, sin embargo, también es cierto que otros tipos de simbiosis, tanto de hongos como de bacterias han evolucionado desde entonces subsecuentemente con ellas (Fitter y Moyersoen, 1996).

Las micorrizas tienen un amplio rango de tipos y hongos que la originan, demostrando por lo tanto que no solo representan una simple clase evolutiva, sino tipos de asociaciones que han evolucionado repetidamente, en respuesta a las distintas presiones del medio circundante, apareciendo de esta forma varios tipos de asociaciones micorrízicas que han sido mencionadas anteriormente.

Por el contrario, los simbioses bacterianos de raíz están mucho más restringidos: primeramente las simbiosis de *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* y la de *Sinorhizobium* formada entre algunas especies de fabales y un género de *Ulmaceae*, *Parasponia* (Young y Haukka, 1996) y en segundo lugar las Actinorrhizas formadas por bacterias del género *Frankia* en un grupo aparentemente diverso de 24 géneros y 8 familias. Pirozynski y Malloch (1975) fueron, no solo los primeros en asegurar que la evolución de la plantas ocurrió de forma paralela con la simbiosis micorrízica arbuscular, sino que también se refirieron a que este fenómeno entre ancestros de plantas acuáticas y un hongo, constituyó realmente un prerequisite para el desarrollo de la flora terrestre.

Por otra parte, Redecker *et al.* (2000) descubrieron esporas de Glomales en restos fósiles en las cercanías de Wisconsin, pertenecientes al Precámbrico (600 millones de años atrás aproximadamente) lo cual evidencia la estable permanencia de estos hongos en el planeta desde 200 millones de años antes que el surgimiento de las plantas terrestres.

Por lo tanto estos hongos se originaron mucho antes que las plantas y la formación de esta antigua simbiosis se basa esencialmente en la inhabilidad de las raíces de las plantas ancestrales para adquirir elementos nutricionales y en especial, suficiente fósforo, caracterizadas por desarrollarse morfológicamente en forma de lombrices, sin raicillas, sin pelos radicales, en fin sin las adaptaciones evolutivas que han ocurrido desde entonces.

Además, la difusión en el suelo del ión fosfato ocurre muy lentamente, en un rango de 0.004 a 0.04 mm .h⁻¹, necesitando por lo tanto, hifas externas de hongos asociados a ellas que aumenten el volumen de exploración de la planta para asegurar la cantidad requerida durante un desarrollo vegetativo normal.

Otro hecho importante fue el hallazgo y la tentativa identificación por parte de Kidston y Lang (1921) de estructuras en forma de hifas y vesículas de un hongo micorrízico arbuscular en fósiles de *Aglaophyton* del periodo Devónico, hace aproximadamente unos 400 millones de años.

Estas evidencias han sido recientemente confirmadas, primeramente a partir de la secuencia molecular de datos de 462 millones de años atrás que habían sido utilizados para estimar el origen del orden Glomales, que incluían a plantas y por supuesto a micorrizas arbusculares y que a su vez coincidían con el periodo de formación de las plantas terrestres .

Por otra parte, Taylor *et al.* (1995), reexaminó el material de *Aglaophyton*, confirmando la presencia de micorrizas arbusculares a partir de la identificación de arbuscúlos verdaderos.

Esto significa que los ancestros de las plantas terrestres tuvieron el potencial para formar micorrizas arbusculares y aquellas que no las forman actualmente, o no se le expresaron los genes involucrados o simplemente los perdieron a través de la evolución.

Sin embargo todo indica que en muchos casos no significan genes perdidos. Recientemente Czars y Smith (1996), encontraron plantas con doble capacidad micorrízica, es decir, con posibilidades de formar tanto endomicorriza arbuscular como ectomicorriza, como en el caso de muchas especies de *Pinaceae* en estado salvaje.

Desde el punto de vista del análisis comparativo, las interrogantes que necesitan ser atendidas, no son acerca de la amplia distribución de la simbiosis micorrízica y sus correlaciones ecológicas, sino del patrón de funcionamiento de las otras simbiosis ¿Porqué el 10 % restante de las plantas abandonaron este tipo de asociación?

Todo parece indicar según Fitter y Moyersoen (1996), que la gran mayoría de las especies vegetales evolucionaron con el proceso simbiótico de las micorrizas arbusculares, constituyendo de este modo a la generalidad, el resto lo hicieron hacia otras formas de simbiosis que no fueron precisamente las micorrízicas arbusculares ó no formaron ningún tipo específico de micorrizas, o incluso en casos extremos llegaron a parasitar a los propios hongos micorrizógenos.

Finalmente y mirándolo en un sentido amplio, la evolución de la especies vegetales siempre estará intrínsecamente ligada a las asociaciones simbióticas y dentro de éstas en un porcentaje muy elevado (90%), a las micorrízicas arbusculares.

Esto representa un hecho demostrado fehacientemente por la ciencia moderna, por lo que debe ser afrontado de manera muy concreta a partir de la ejecución de investigaciones que propicien tanto el estudio de las mejores opciones para las plantas en términos de desarrollo sostenible y producción de alimentos, como desde el punto de vista del conocimiento científico, acerca del aporte de las asociaciones micorrízicas arbusculares al equilibrio, desarrollo y conservación de los agroecosistemas.

1.7. Influencia de los principales factores edáficos (abióticos y bióticos) que influyen sobre la micorrización

1.7.1. Factores abióticos

1.7.1.1. Clima

Entre éstos se encuentra el efecto estimulante de la luz, que ha sido objeto de estudio de autores como Hayman (1974) y Furlan y Fortin (1977). Durante el desarrollo del proceso de formación de las micorrizas vesículo - arbusculares, la ausencia de luz, tanto por sombras o por poca iluminación, no sólo reduce la infección micorrízica de las raíces y por ende la normal producción de esporas, sino que también puede afectar la respuesta de las plantas a esta asociación.

Este fenómeno se origina en gran medida debido a la reducción del grado de suministro de metabolitos a las estructuras fúngicas presentes en las raíces y en consecuencia se restringe el desarrollo externo del hongo y por supuesto la translocación de nutrientes a través de la interfase hongo - planta (Moawad, 1979).

Redhead (1975) postuló que los días largos podrían jugar un papel decisivo en el desarrollo de las micorrizas. En las zonas tórridas, debido a la alta radiación solar, los niveles de infección son generalmente elevados, sin embargo, cuando ésta se ve atenuada por el efecto de la nubosidad perenne o el sombreado, los niveles de infección disminuyen. Johnson *et al.* (1980), observaron una respuesta muy similar en cafetos bajo sombra de *Khaya grandifolia*. Esta relación entre la radiación solar y los niveles de infección se explica a partir del incremento de la tasa fotosintética en presencia de altos niveles de radiación, lo que implica una mayor producción e intercambio de metabolitos y por ende una mayor posibilidad de mantener un simbiote con altos valores o niveles de colonización.

Uno de los factores climáticos que merece ser destacado es la temperatura del suelo. Hay que tener en cuenta que el establecimiento de las micorrizas presenta tres fases: germinación de las esporas en el suelo, penetración de la hifa a la raíz y desarrollo en el interior de las células de la corteza. En el caso de la germinación, se ha determinado que existe un amplio rango de temperaturas óptimas, según sea la especie.

Ciertas especies de *Glomus* y *Gigaspora* aisladas en zonas de la Florida (sub - tropical), germinaron excelentemente a una temperatura de 34°C, la que resulta considerablemente alta si la comparamos con algunas especies de *Glomus*, que germinaron a 20°C en climas fríos (Daniels y Trappe, 1980).

Por otra parte, Smith y Bowen (1980) indicaron que la infección natural, de manera general, disminuía con el incremento de la misma.

Las descripciones de cambios en la formación de las micorrizas con el tiempo podrían enmarcar variaciones considerables en el modelo de colonización de especies individuales de hongos micorrizógenos.

En ambientes templados han sido demostradas por Dodd et al. (1987) diferencias en la proporción de raíces colonizadas por especies particulares de hongos a través de todas las estaciones. Así mismo Fernández *et al.* (1990), reportó en un estudio realizado en un cafetal joven, cambios en el número de esporas a lo largo de las estaciones que variaron marcadamente con diferentes especies de hongos micorrizógenos arbusculares.

Recientemente se ha estudiado el efecto de las variaciones estacionales sobre la abundancia de estos hongos (número de esporas, formación de micorrizas e infectividad de propágulos). El largo de las raíces colonizadas, el número de esporas y la infectividad pueden variar en diferente magnitud entre cada especie a través de todo el año.

Generalmente existen 3 fases en el desarrollo micorrízico en condiciones de campo: primero, una fase de retardo donde la colonización se incrementa lentamente, luego una fase de aumento lineal más rápida y finalmente una fase donde se mantiene constante. La fase retardada puede reflejar la disponibilidad de pequeñas cantidades de propágulos y /o condiciones para la formación de micorrizas. Esta fase se hace más larga en cereales de invierno que en cereales de primavera, presumiblemente por las bajas temperaturas del suelo (Daniels y Trappe, 1980). En otras situaciones, un incremento marcado en el crecimiento radical puede exceder la capacidad del hongo para infectar, permitiendo que la

infección disminuya de forma fraccionada durante períodos favorables para el crecimiento de las plantas (Dodd *et al.*, 1987).

En cultivos anuales lo más común es que disminuya el número de esporas durante los periodos de crecimiento de la planta y se incremente el número de esporas al final de dicha temporada Hayman (1974). Cuando las especies no son anuales puede o no haber marcada variación en la formación de raíces micorrizadas .

1.7.1.2. Factores Físico - Químicos

Otro de los factores claves es el contenido de agua presente en los suelos. A pesar de que los hongos MA forman simbiosis con algunas plantas en ambientes semiacuáticos (Dhillon y Ampornpan, 1990; Secilia y Bagyaraj, 1992 y Fernández *et al.*, 1997), se admite generalmente que su desarrollo es muy lento bajo estas condiciones.

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

La formación de micorrizas juega un papel importante en el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés hídrico (Fig. 2), sobre todo en aquellas plantas que se exponen un largo período de tiempo a la falta de agua. Estas plantas logran desarrollar una capacidad de absorción superior, que les permite absorber no solo mayor cantidad de nutrientes, sino también de agua, la cual, bajo estas condiciones, ya no se mueve por efecto de masa sino por un aumento de la “pseudo difusión”, ocurriendo de hecho una irrigación en la planta que entre otras cosas, mantiene a las hifas del hongo, aún en condiciones adversas, desarrollando satisfactoriamente la asociación planta - HMA (Ruiz - Lozano y Azcón, 1995).



Figura 2. Respuesta a la inoculación con el hongo micorrizógeno arbuscular *Glomus clarum* de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sometidas a estrés hídrico. (Cortesía de Dr. C. José Dell Amico).

Otro factor relevante suelen ser las condiciones de acidez de los suelos expresadas a través del pH, que determina en muchos casos la eficiencia del endófito, el porcentaje de germinación de las esporas y el desarrollo de las micorrizas arbusculares (Green *et al.*, 1976).

La relación que se establece entre los rangos de pH del suelo y el efecto de la colonización micorrizógena es verdaderamente complejo, dependiendo no sólo de la especie micótica, sino también del tipo de suelo, la forma en que se encuentran los nutrientes (fundamentalmente P y N y otros elementos como Cu, Zn, Mo, B, etc.) y en menor medida de la especie de planta sobre la que se desarrolla.

Las especies del género *Glomus* varían bastante, observándose que algunas de ellas presentan un amplio rango de pH como son *Glomus fasciculatum* y *G. occultum*, sin embargo, otras exhiben un estrecho rango como es el caso de *Gigaspora margarita* (Barros, 1987).

A pesar de que el pH se encuentra relacionado con todos los iones presentes en el suelo, resulta quizás la concentración del aluminio (Al) la más estrechamente ligada a este, sobre todo en suelos tropicales. Se ha encontrado que el funcionamiento de la mayoría de las especies de HMA oscila entre 0 y 1 cmol. kg⁻¹ de aluminio a valores de pH entre 5 y 6, no obstante especies del género *Acaulospora* han demostrado su capacidad de crecimiento en suelos con pH que oscilan entre 3 y 4 y a concentraciones tóxicas de aluminio para las plantas, de 2 - 3 cmol. kg⁻¹ suelo.

Por lo tanto, es muy importante en los estudios de selección de especies de hongos micorrizógenos con alta eficiencia simbiótica, tener en cuenta el efecto del pH, ya sea sobre la productividad de la asociación o sobre los mecanismos de reproducción fúngicos, con el fin de poder seleccionar las especies o ecotipos de mayor eficiencia en un rango amplio de pH o en los rangos que resulten de interés.

1.7.2. Factores bióticos

El análisis de la ecología de la micorriza resulta complejo, sobre todo, si se tiene en consideración que se intentan evaluar las múltiples interacciones hongo – planta – suelo, propias de esta simbiosis.

La zona más cercana a esta asociación es sin dudas la rizosfera, que no es más que el volumen de suelo adyacente a la superficie radical (0.01 mm – 3 mm) y que se encuentra

afectado por la actividad de la planta (toma de agua y nutrientes, exudados radicales, respiración de la raíz, etc.).

El área que abarca la rizosfera difiere de los alrededores del suelo en algunos factores físico - químicos, tales como: pH bajo, debido a la expulsión de protones, toma de cationes y producción de ácidos orgánicos; un bajo potencial de agua promovido por la absorción de esta y una baja presión parcial de O₂ y alta de CO₂, debido a la respiración radical.

A causa del suministro constante de exudados, lisados y sustancias estimulantes, el número de microorganismos por gramo de suelo es dos ó tres veces superior en la rizosfera que en los alrededores y las especies allí encontradas difieren producto de las diferentes condiciones ambientales.

1.7.2.1. Interacción de las Micorrizas Arbusculares con microorganismos rizosféricos

Los organismos que viven en la rizosfera están representados por miembros de muchos grupos taxonómicos aerobios y anaerobios heterótrofos, desde bacterias, hongos e invertebrados hasta pequeños mamíferos los cuales muestran un sinnúmero de interacciones que varían desde mutuamente beneficiosos hasta detrimentales (Fig. 3).

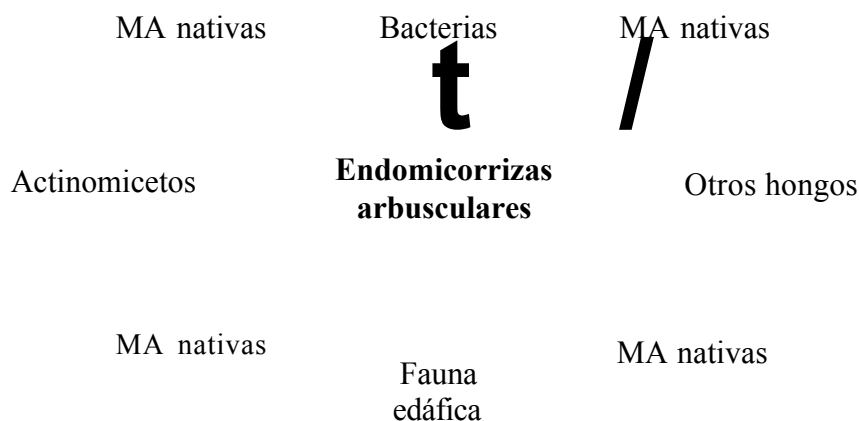


Figura 3. Principales grupos de organismos que interactúan con los HFMA en la rizosfera.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares según Barea (1986) modifican las rizodeposiciones y disminuyen la adquisición de minerales como el manganeso (Mn) no asimilable por las plantas, ya sea disminuyendo el número de bacterias reductoras de este (Kothari *et al.*, 1991) o incrementando el número de bacterias oxidantes del mismo en la rizosfera (Arines *et al.*, 1992).

Los microorganismos que interactúan con los HMA pueden clasificarse por grupos tróficos según Fitter y Garbaye (1994) de la siguiente manera:

1. *Organismos puramente saprofíticos* - no dependen de la raíz, no compiten por alimento con microorganismos estrictamente rizosféricos o micorrizosféricos, no obstante pueden producir anticuerpos u ocupar rápidamente nichos ecológicos de la micorrizosfera. Son capaces de utilizar un amplio grupo de moléculas complejas orgánicas como ligninas, proteínas, glicoproteínas, celulosa y otros polisacáridos.
2. *Organismos especializados de la micorrizosfera* (RPCV - Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal). Son quizás los más importantes ya que compiten por las moléculas orgánicas simples (azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos) liberados por las plantas y los hongos micorrizógenos arbusculares.
3. *Patógenos de raíces* - organismos biotróficos, su ciclo de vida lo realizan en el interior y exterior del sistema radical. Algunas bacterias, hongos (*Phytium* sp, *Fusarium* sp., *Rhizotocnia* sp., etc.).
4. *Simbiontes de raíces* - biotróficos y dependientes de las raíces, completan su ciclo de vida dentro y fuera de la raíz. Son beneficiosos a las plantas.
5. *Predadores* - protozoos, nemátodos, colémbolos y otros insectos.

Además de los microorganismos, las interacciones entre HMA e integrantes de la fauna edáfica, también afectan de manera importante el comportamiento ecológico de la micorriza, así como el funcionamiento y los procesos sucesionales de los ecosistemas. Las principales interacciones que ocurren en la rizosfera quedan resumidas en la tabla 1.

Las interacciones entre microorganismos rizosféricos son de gran importancia porque van a influenciar la colonización microbiana de la superficie de la raíz, tanto por parásitos como por simbiontes mutualistas (Guerrero *et al.*, 1996). Estas interacciones pueden llegar a ser críticas ya que no sólo van a intervenir en la formación y el funcionamiento de las micorrizas sino que también el estado micorrízico de la planta puede afectar a las poblaciones microbianas de la rizosfera (Linderman, 1992).

Grandes poblaciones de microorganismos actúan en detrimento de los hongos micorrízicos en la rizosfera, encontrándose relaciones parasíticas entre los hongos micorrizógenos y los hongos *Rhizidiomycopsis*, *Phlyctochytrium*, *Anquillospora*, y *Humicola*, que provocan un

fuerte ataque a las esporas, tubo germinativo y micelio, inactivando estos propágulos en suelo.

Tabla 1. Principales interacciones que ocurren en la rizosfera.

Grupos de Microorganismos	Tipo de Interacción con HMA	Ejemplos
<u>Bacterias fijadoras de Nitrógeno</u>		
• Simbiosis con la planta hospedera	Sinérgica	<i>Rhizobium</i> , <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Frankia</i> , Cianobacterias
• Vida Libre	Generalmente sinérgica	<i>Azotobacter</i> , <i>Herbaspirillum</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , Enterobacterias, etc.
• Asociativo	Generalmente sinérgica	<i>Azospirillum</i>
Solubilizadores de fósforo	Generalmente sinérgica	Algunas bacterias (<i>Pseudomona</i>), hongos y actinomicetos
Microorganismos implicados en protección vegetal	Sinérgica	Algunos hongos (<i>Trichoderma</i> sp), bacterias (<i>Agrobacterium radiobacter</i>)
Patógenos de Plantas		
• Hongos	Antagónica	Patógenos radicales (<i>Phitophthora</i> , <i>Phitium</i> , <i>Fusarium</i>)
• Bacterias	Antagónica	Bacterias fitopatógenas (<i>Erwinia</i> sp.)
• Microfauna	Antagónica	Nemátodos (<i>Meloydogine</i> sp.), microartrópodos.
Meso y macrofauna	Actúan como vectores	Algunos invertebrados (lombrices, colémbolos, ácaros y pequeños mamíferos).
Endófitos		
Bacterias	Desconocida	<i>Acetobacter diazotrophicus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , Bacterias G, etc.

También se presenta el hongo *Stachybotrys chartarum* y algunas especies de actinomicetos de suelo, que no sólo inhiben la germinación de esporas, sino que también producen sustancias volátiles con elevado poder fungistático.

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

Por otra parte, determinadas bacterias y actinomicetos favorecen la germinación de esporas y el establecimiento de la infección micorrízica mediante la producción de enzimas pectinolíticas y quitinasas, respectivamente (Azcón-Aguilar *et al.*, 1986; Spanu *et al.*, 1989).

Tylka *et al.* (1991) estudiaron el efecto de algunos actinomicetos sobre la germinación de esporas de HMA, encontrando cierta especificidad en los mecanismos de aceleración de los procesos germinativos de estos hongos.

Katznelson *et al.* (1962); Ames *et al.* (1984); Garbaye (1991) y Garbaye y Duponnois (1991) definieron la zona micorrizosférica o hifosférica como la región del suelo que se encuentra entre los microorganismos presentes y el micelio extramático del hongo.

Las interacciones microbianas positivas o sinérgicas que mayor importancia revisten para los HMA son las que se presentan con las denominadas rizobacterias micorrizosféricas especializadas, como es el caso de algunas solubilizadoras de fósforo (RSF) y otras bacterias rizosféricas nitro fijadoras que forman parte de las denominadas RPCV (García-Garrido y Ocampo, 1989).

Los primeros reportes de bacterias estimuladoras del crecimiento vegetal fueron realizados por Burr *et al.* (1978), específicamente las especies *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas putida*. A partir de entonces han sido señaladas otras pertenecientes a los géneros: *Athrobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, *Serratia*, *Azospirillum* y *Acetobacter* (Kapulnik, 1991).

Estas bacterias se encuentran en la rizosfera de numerosos cultivos como: soya, papa, maíz, remolacha, caña de azúcar, arroz, cafeto y plantas nativas que viven en condiciones difíciles (Kleoppper *et al.*, 1980) y han sido aisladas, no solo de suelo rizosférico, sino también de la

superficie radical y el tejido periférico radical, incluyendo el tejido xilemático (Gagne *et al.*, 1987 y Kleoppe y Schroth, 1981).

Dentro de sus principales funciones se encuentran la producción de fitohormonas, la fijación de nitrógeno, el incremento en la disponibilidad de nutrientes para las plantas debido a sus mecanismos de oxidación, la solubilización por reducción de pH, la formación de pelos radicales y la producción de sideróforos.

Estos microorganismos producen grandes cantidades de ácido 3 indol acético (AIA), aunque se han detectado también otras hormonas en menor cantidad pero con niveles biológicamente significativos como son: ácido indoláctico, indol 3 butírico (IBA), indol 3 etanol, indol 3 metanol, compuestos de naturaleza indólica no identificados, algunas giberelinas, ácido abscísico (ABA) y citokininas (Basham y Levahony, 1990).

En particular la aplicación de hormonas puede causar cambios en la longitud radical, en el número de pelos radicales y de raíces laterales, así como aumentar los niveles de división y diferenciación celular de los tejidos meristemáticos (Morgenstern y Okon, 1987).

Por otra parte, algunos estudios de la interacción sinérgica entre las micorrizas y las rizobacterias solubilizadoras de fósforo (RSF), han sido llevados a cabo por Barea *et al.* (1975) en el cultivo del tomate. En algunos casos la combinación de la inoculación de *Glomus mosseae* y las bacterias, incrementó significativamente el rendimiento con relación a la utilización de cada uno de ellos por separado (Boelens *et al.*, 1993; Defreitas y Germida, 1992).

Meyer y Linderman (1986) por su parte, inocularon plantas con una especie no identificada de hongo micorrizógeno arbuscular y una cepa de RSF, *Pseudomonas putida*. Esta no provocó incrementos significativos sobre la infección micorrízica, pero si produjo un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas.

1. 8. Dependencia micorrízica de las plantas

Como hemos podido apreciar anteriormente la mayoría de las plantas evolucionaron con las asociaciones micorrízicas, por lo que presentan una predisposición natural hacia la formación de un tipo u otro de asociación micorrízica, resultando la simbiosis con hongos arbusculares el caso más difundido y a su vez el más discutido (Fitter y Moyersoen, 1996).

Sin embargo, desde el punto de vista de la planta que forma la simbiosis, existen diferentes grados de aceptación de acuerdo a la arquitectura y a las características morfoanatómicas de

las raíces y por ende la capacidad de absorción de éstas, las cuales finalmente definen el grado de dependencia micorrízica de la especie vegetal.

Según Gerdemann (1975), la dependencia micorrízica (DM) está dada por el grado de relación existente entre la planta y su cosimbionte para obtener la máxima productividad en un nivel de fertilidad de suelo dado; y de acuerdo con Janos (1988) es una propiedad intrínseca de las plantas, que puede ser determinada a través de una expresión matemática que relaciona las variables de crecimiento o rendimiento de las plantas micorrizadas con las no micorrizadas, expresada a su vez en porcentaje (Siqueira y Franco, 1988).

$$DM = \frac{\text{Productividad de planta micorrizada}}{\text{Productividad de planta no micorrizada}} \times 100$$

Para conocer el grado de dependencia micorrízica de una especie vegetal en un tipo de fertilidad de suelo, este debe ser previamente esterilizado.

Con relación a esta definición las plantas pueden ser agrupadas según el grado de Dependencia Micorrízica en:

- *Micorrízicas obligadas*: Es aquel grupo de especies vegetales que presentan un crecimiento muy reducido en ausencia de la simbiosis micorrízica arbuscular y dependen fuertemente de esta interacción para asegurar una nutrición adecuada. Tienen como características generales, un sistema radicular compuesto por raíces cortas, gruesas, poco desarrolladas, con ausencia o poca presencia de pelos radicales y tasas de colonización micorrízica muy altas, superiores al 60 %. Dentro de este grupo se encuentran las especies de: cítricos, tubérculos, solanáceas, leguminosas tropicales, cafeto, entre otras y los rangos de dependencia oscilan entre 600-4000 %.
- *Micorrízicas facultativas*: En este caso son plantas que poseen un sistema radicular mucho más profuso y desarrollado, con gran cantidad de pelos absorbentes y una eficiente absorción de nutrientes y agua; no obstante, bajo condiciones edáficas negativas, pueden responder satisfactoriamente a las asociaciones micorrízicas. En general, las tasas de colonización son inferiores al 50 % y se encuentran representadas fundamentalmente por el grupo de las poaceas.

- *No micorrízicas*: Como su nombre lo indica, no forman la asociación, posiblemente por razones evolutivas y estratégicas, no obstante, este punto ha sido ampliamente discutido en el acápite de evolución de las plantas terrestres.

Estos criterios son válidos desde un punto de vista general de respuesta a la formación de las asociaciones micorrízicas en condiciones de un nivel de fertilidad dado, sin embargo, para conocer la efectividad real de una especie de hongo micorrizógeno en un determinado agroecosistema, bajo condiciones naturales, esta expresión matemática resulta prácticamente inviable (Janos, 1988).

El cálculo de la DM no se puede extrapolar a condiciones naturales donde se desarrolla la micorrización nativa. No puede descartarse la interrelación con los microorganismos que habitan la rizosfera, así como, las relaciones interespecíficas que se establecen entre el tipo de suelo, condición de fertilidad y funcionamiento micorrízico. En fin, desde nuestro punto de vista, consideramos este concepto como un punto de partida, una visión general del tema, pero nada conclusivo que de forma categórica asevere el grado de respuesta de una especie vegetal a un determinado hongo micorrízico.

Por otra parte, las plantas micorrízicas facultativas de las zonas tropicales pueden variar su DM, presentando un mayor grado de dependencia provocado por los siguientes elementos:

- necesidad de grandes requerimientos nutricionales que por si sola no logran obtener;
- plantas con altas tasas fotosintéticas, que significan un crecimiento muy activo;
- gran velocidad de mineralización presente en estas condiciones y por tanto bajos contenidos de materia orgánica y de P disponible y
- elevada fijación de P.

Todo esto indica que la estrategia de desarrollo de este grupo de plantas está muy ligado a la asociación con los HMA para poder alcanzar su máximo potencial de rendimiento.

A modo de conclusión es posible aseverar que las plantas, en sentido general, presentan dependencia hacia este tipo de simbiosis, evidenciando una marcada predisposición genética a la formación en mayor o menor grado de esta asociación.

1.9. Efectividad y funcionamiento micorrízico

1.9.1. Efectividad micorrízica

La efectividad micorrízica arbuscular puede ser interpretada de diferentes maneras, primeramente relacionada con el rendimiento de un determinado cultivo o sea la efectividad de un endófito sobre el crecimiento de la planta, con el número de propágulos en un ecosistema natural o con la transferencia de nutrientes por unidad de carbohidratos intercambiados durante la simbiosis.

Resulta obvio que la efectividad sobre el crecimiento o el rendimiento de un cultivo es el resultado de la interacción fisiológica entre los simbiontes (funcionamiento micorrízico) bajo determinadas condiciones ambientales.

Según Sieverding (1991) los posibles determinantes de la eficiencia simbiótica están relacionados con el tipo de hongo micorrizógeno (tasa de crecimiento, translocación de nutrientes y metabolismo del P en el micelio externo, capacidad infectiva, tasa de crecimiento del endófito arbuscular y la producción de arbusculos en el micelio interno), con la planta hospedera (morfología de la raíz, tasa de crecimiento de las raíces, requerimientos nutricionales de las plantas, tasa fotosintética y tolerancia a las situaciones de estrés) y la interfase simbiótica (área de contacto entre los simbiontes, tasa de toma de nutrientes y tasa de eflujo de carbohidratos).

Por otra parte, Fernández (1999); Ruiz (2001) y Rivera *et al.* (2001) consideran que otro factor determinante en la efectividad simbiótica lo constituye el tipo específico de suelo o sustrato, o más aún las concentraciones o el equilibrio de nutrientes en la solución del suelo, la velocidad de mineralización de la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y en especial los niveles de Ca^{++} .

Es decir, las especies fúngicas reportadas en esos trabajos, no presentaron el mismo comportamiento en las diferentes condiciones edáficas estudiadas, lo cual es una consecuencia de la especificidad suelo – HMA que se reporta (Siqueira y Franco, 1988) y que conlleva precisamente a la necesidad de encontrar cuales son las especies y cepas más efectivas en una condición edafoclimática dada.

Por otra parte, también Fernández (1999) evaluó en algunos experimentos un concentrado de cepas nativas (CCN), obtenido según la metodología de manejo de micorrizas arbusculares nativas descrito por Sieverding (1991) y aunque encontró efectos positivos en la mayoría de los casos donde las empleó, vale destacar que el comportamiento siempre fue inferior a los observados con la inoculación de cepas individuales efectivas.

Ciertamente el manejo de la micorrización nativa es un tema interesante que vale la pena evaluar, y que cobra más importancia cuando no hay un conocimiento previo de las características de la zona; sin embargo, la información obtenida por Fernández (1999) y Sánchez (2001) indicó que los “concentrados nativos” en general, no originaron los mayores efectos positivos, lo cual pudiera estar relacionado con una baja concentración de propágulos nativos, o simplemente que el hecho de que sean cepas típicas de la zona estudiada y presentar una mayor adaptabilidad y posible funcionalidad microbiana, no siempre signifique una mayor eficiencia micorrízica (simbiótica).

De forma general la respuesta a la inoculación es dependiente no sólo de la infectividad y eficiencia de la cepa aplicada, sino que además es consecuencia de la existencia y cantidad de propágulos nativos (Dodd y Thompson, 1994).

Por lo tanto, el enfoque de inoculación de cepas previamente seleccionadas, bien sea por el conocimiento del área y de los requerimientos edáficos de las especies de HMA a emplear o por la existencia de aislamientos previos y basados siempre en evaluaciones experimentales sobre el comportamiento de las mismas en áreas similares, es un enfoque adecuado para la introducción de estos microorganismos en la agricultura y en principio se corresponde con el esquema general de manejo propuesto por Siqueira y Franco (1988) y reiterado posteriormente por Sieverding (1991) y Dodd y Thompson (1994), donde en presencia de cantidades bajas de propágulos naturales infectivos y para cultivos micótrofos dependientes o facultativos, la inoculación con cepas eficientes y adaptables a las características del suelo constituye una práctica exitosa.

1.9.2. Funcionamiento micorrízico

A lo largo de este capítulo, se ha planteado de una forma u otra la funciones y mecanismos que rigen la simbiosis micorrízica arbuscular, sin embargo no se ha definido.

¿Qué se considera funcionamiento micorrízico?

Pues no es más que el comportamiento intrínseco de la simbiosis micorrízica bajo determinadas condiciones edafoclimáticas, el cual puede verse afectado por diversas razones, tanto de índole biótica (especies fúngicas y vegetales que forman esta interacción - mediada a su vez por ambos genomas-, los otros microorganismos que cohabitan el mismo nicho ecológico -rizosfera y Micorrizosfera- y las relaciones interespecíficas que se

establecen entre ellos) como abiótica (clima en sentido general, tipo de suelo y en especial la concentración de nutrientes presentes en los mismos).

Existe un comportamiento general de la simbiosis micorrízica, expuesto por Bethlenfalvay (1982) y posteriormente corroborado por Furrázola *et al.* (1990) para cultivos de ciclo corto, utilizando como modelo la soya, donde la simbiosis se desarrolla de manera secuencial, o sea, pasando por diferentes fases de crecimiento tanto microbianas, (latencia, exponencial, estabilización o meseta y muerte o esporulación total) como vegetal, de acuerdo a las fases fenológicas de la planta hospedera.

Para el caso de los cultivo perennes, este funcionamiento está directamente relacionado con la renovación radical, es decir, se cumple el mismo principio de crecimiento secuencial; sin embargo, la simbiosis micorrízica se renueva cada cierto tiempo con el cambio de raíces que generalmente coincide con la etapa final de maduración de la cosecha, lo cual genera ciclos de funcionamiento simbiótico (Fernández *et al.*; 1990a).

Montilla *et al.*, (2002) encontraron ciclos de funcionamiento simbiótico en diversas plantaciones de cafeto asociados con la fisiología de la reproducción. En la etapa de inicio de la fructificación se encontraron siempre mayores valores de porcentaje de colonización y micelio y menores de esporas que al finalizar la cosecha, evidenciando una relación muy estrecha con el suministro de carbono hacia la raíz.

Un ejemplo interesante que indica la influencia de los factores edáficos sobre el funcionamiento, fueron los resultados alcanzados por Fernández (1999), en la producción de posturas de cafeto con la aplicación de la especie *Glomus clarum* en tres tipos de suelos muy diferentes (Tabla 2).

Los datos sugieren que existió una estrecha relación positiva entre el efecto que ocasionó la respuesta en la producción de área foliar y la inoculación sobre el funcionamiento fúngico, dado a través de las variables porcentaje de colonización y masa del endófito arbuscular (EA), ésta última considerada por Herrera *et al.* (1995); Fernández (1999) y Sánchez (2001), como el indicador fúngico más representativo para evaluar los comportamientos micorrízicos de las plantas, debido a que representa el grado de intensidad y desarrollo del proceso simbiótico interno.

Tabla 2. Efecto de la aplicación de *Glomus clarum* sobre la producción de área foliar de posturas de cafeto y variables micorrízicas en varios tipos de suelo. (Tomado de Fernández, 1999).

Relación Suelo:Vermicompost	Area Foliar (cm ²)	Colonización (%)	Endófito Arbuscular (mg.g suelo-1)
Cambisol éutrico			
7:1	299.6 a	61.8 a	20.9 a
Control	166.2 b	25.1 b	4.8 b
Es x	5.67 ***	1.11 ***	1.87 ***
Cambisol crómico			
5:1	481.1 a	49.5 a	19.94 a
Control	229.2 b	38.4 b	10.53 b
Es x	13.9 ***	1.94 ***	1.23 ***
Acrisol-háplico			
3:1	138.83 a	41.4 a	31.62 a
Control	57.7 b	30.5 b	19.56 b
Es x	6.32 ***	0.45 ***	1.61 ***

Medias con letras iguales en la misma columna / experimento no difieren significativamente, según Duncan para $p \leq 0.001$ ***.

En la medida que la inoculación resultó ser más eficiente, dado por los mayores valores de área foliar, se encontraron valores superiores de masa del endófito arbuscular y por supuesto dependientes del tipo de suelo y de la relación suelo: humus de lombriz de los tratamientos.

La inoculación de *Glomus clarum* en suelos con condiciones de alta y media fertilidad (Cambisol éutrico y Cambisol crómico), produjo los mayores valores de área foliar asociados a los mayores valores fúngicos, siendo de 299.6 cm² - 20.9 mg.g suelo⁻¹ y de 481.1 cm² - 19.94 mg.g suelo⁻¹, respectivamente.

Sin embargo, esta misma cepa en condiciones de suelos de baja fertilidad (Acrisoles háplicos) tuvo su mejor comportamiento con el sustrato más rico obtenido con la menor relación Suelo:Vermicompost, obteniéndose de forma similar los mayores valores fúngicos, que en este caso fueron de 31.62 mg.g suelo⁻¹, asociados a los mayores de área foliar que fueron solo de 138.83 cm².

Este fenómeno estuvo directamente relacionado con la baja fertilidad de los Acrisoles con que se prepararon los sustratos, donde si bien se encontró una alta y positiva respuesta a la inoculación con la aplicación de esta cepa, los valores absolutos de área foliar alcanzados fueron muy inferiores a los obtenidos en los otros suelos.

Es decir, la respuesta a la micorrización como fenómeno relativo fue muy fuerte, sin embargo, las plantas presentaron índices absolutos de crecimiento inferiores a otros experimentos en los que la propia respuesta relativa fue más baja. Esto no significa que los mayores efectos de la micorrización estén asociados con la obtención de posturas más pequeñas, sino que sugiere que la micorrización fue más efectiva como proceso, cuando este se desarrolló en condiciones de suelos menos fértiles.

Otro aspecto interesante a tener en cuenta fue la diferencia entre los valores de endófito arbuscular obtenidos en las condiciones de suelos de media - alta fertilidad y los de baja fertilidad. Para el caso de esta cepa, la cantidad de endófito arbuscular necesario para alcanzar los máximos valores de área foliar en cada suelo, fue menor para las zonas de media - alta fertilidad que para las de baja fertilidad.

Es decir, todo parece indicar que en condiciones de suelos de baja y muy baja fertilidad, se necesita de un mayor número de estructuras fúngicas para lograr una mayor eficiencia micorrízica.

1.10. REFERENCIAS

- Alexander, T. /et al./ Dynamics of arbuscule, development and degeneration in mycorrhiza of *Triticum aestivum* L. and *Avena sativa* L. with reference to *Zea mays* L. New Phytol. 110, 351 - 355. 1988.
- Allen, M. Specificity in Mycorrhizal Symbiosis: Community - Ecological Consequences and Practical Implications. En: Mycorrhizal Functioning. An Integrative Plant-Fungal Process. Chapman & Hall. New York London. 1992.
- Ames, R. N. /et al./ Rhizosphere bacterial population response to root colonization by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytol. 96, 555 - 563. 1984.
- Arines, J.; Porto, M. E. y A. Vilariño. Effect of manganese on vesicular-arbuscular mycorrhizal development in red clover plants and on soil Mn-oxidizing bacteria. Mycorrhiza, 1: 127 - 131. 1992.

- Azcón - Aguilar C. /et al./. Effects of soil microorganism on spore germination of the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Trans. Br. Mycol. Soc. 86, 337 - 340. 1986.
- Baath, E. y Spokes, J. The effect of added nitrogen and phosphorus on mycorrhizal growth response and infection in *Allium schoenoprasum*. Can. J. Bot. 67: 3221 - 3232. 1989.
- Bago, B.; Azcón - Aguilar, C.; Goulet, A. e Y. Piché. Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular fungi. *New Phytology*. 139: 375 - 388. 1998.
- Bago, B.; Azcón - Aguilar, C., Shachar - Hill, Y. y P. E. Pfeffer. El micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno. Pp. 78 - 92. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Eds.: A. Alarcón y R. Ferrera - Cerrato. 2000. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México. 2000.
- Barea, J. M. Importance of hormones and root exudates in mycorrhizal phenomena. En. Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae. Eds.: V. Gianinazzi-Pearson y S. Gianinazzi, INRA, París. pp. 177 - 187. 1986.
- Barea, J. M. /et al./. Possible synergistic interactions between Endogone and phosphate solubilizing bacteria in low - phosphate soils En: Endomycorrhizas. Academic Press. London. p: 409 - 417. 1975.
- Barea, J. M. /et al./. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas va. En: Fijación y Movilización de Nutrientes. Madrid. Tomo II. p 150 - 173. 1991.
- Barros, A. Micorrizas vesículo arbusculares em cafeeiros da regio sul do estado de Minas Gerais. Tesis presentada para optar por maestría. Lavras. Minas Gerais. 97 p. 1987.
- Basham, Y. y Levahony, H. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenger for agriculture. Can. J. Microbiol. 36. 1990.
- Bécard, G.; Douds, D. D. y P. Pfeffer. Extensive *in vitro* hyphal growth of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO₂ and flavonols. Appl. Environ Microbiol 58: 821 - 825. 1992.
- Bethlenfalvay, G. J. /et al./. Relationship between host and endophyte development in mycorrhizal soybeans. New Phytol. 90, 537 - 543. 1982.

- Bianciotto, V. y Bonfante, P. Evidence of DNA replication in an arbuscular mycorrhizal fungus in the absence of a host plant. *Protoplasma*. 176: 100 - 105. 1993.
- Black, R. The role of mycorrhizal symbiosis in the nutrition of tropical plant. En: *Tropical Mycorrhizal Research*. Mikola, P. Eds.: Clarendon Press. Oxford. London. p: 191 - 202. 1980.
- Boelens, J. /et al./. The use of bioluminescence as a reporter to study the adherence of the plant growth promoting rhizopseudomonas 7NSK2 and ANP15 to canola roots. *Can J. Microbiol* 39: 329 - 334. 1993.
- Bolan, N. S. A critical review of a role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil*. 134: 189 - 207. 1991.
- Bolan, N. S. /et al./. Effects of VAM on the availability of iron phosphates to plants. *Plant Soil*. 22: 401 - 410. 1987.
- Bonfante, P. y V. Bianciotto. Saprotrophic versus symbiotic phase in endomycorrhizal fungi: morphology and cytology. En: *Mycorrhizas: Molecular Biology and Biotechnology*. Eds.: Hoch, B. y Varma, A. Berlin: Springer - Verlag. 229 - 247. 1995.
- Bonfante - Fassolo, P. y S. Perotto. Plants and endomycorrhizal fungi: The cellular and molecular basis of their interaction. En: *Molecular signals in plant-microbe communications*. Eds.: Verma, D. P. CRC press Boca Raton. Pp: 445 - 470. 1992.
- Bonfante - Fassolo, P. y S. Perotto. Strategy of arbuscular mycorrhizal fungus when infecting host plant. *New Phytol*. 130, 13 - 21. 1995.
- Bowen, G. D. The Biology and Physiology of infection and its development. En: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. Eds.: Safir, G. R. CRC Press. Boca Raton. Pp: 27 - 57. 1987.
- Boyetchko, S. M. y J. P. Tewari. Parasitism of spore of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus dimorphicum*. *Phytoprotection*. 72, 27 - 32. 1991.
- Brady, N. C. The Nature and Properties of soils. 9th Eds.: Macmillan Publishing Co. New York. NY. 1984.
- Burggraaf, A. J. y Beringer, J. E. Absence of nuclear DNA synthesis in vesicular arbuscular mycorrhizal during *in vitro* development. *New Phytol*. 111 (1): 25 - 33. 1989.
- Burr, T. J. /et al./. Increased yields by treatment of seedpieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*. *Phytopathology*. 68: 1377 - 1383. 1978.

- Buwalda, J. B. /et al./. Increase uptake of bromide and chloride by plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytol.* 93, 217 - 225. 1983.
- Cox, G. C. y P. B. Tinker. Translocation and transfer of nutrient in vesicular - arbuscular mycorrhizal. I. The arbuscule and phosphorus transfers: a quantitative ultrastructural study. *New Phytol.* 77, 371 - 378. 1976.
- Czares, E y J. E. Smith. Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizae in *Pseudotsuga menziesii* and *Tsuga heterophylla* seedlings grown in Oregon Coast Range soils. *Mycorrhiza* 6, 65 - 67. 1996.
- Daniels, B. A. y J. M. Trappe. Factors affecting spore germination of the vesicular - arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia.* 72, 457 - 471. 1980.
- Defreitas, J. R y J. J Germida. Growth promotion of winter wheat by fluorescent *Pseudomonas* under field condition. *Soil. Biology Biochem.* 24: 1137 - 1146. 1992.
- Dexheimer, J. /et al./. Approche cellulaire du fonctionnement des endomycorrhizies á vésicules et arbuscles: les plasmalemmes de l'interface. En: *Physiological and Genetics aspect of Micorrhizae*. Eds.: Gianninazzi - Pearson, V. y S. Gianninazzi. INRA. Paris. Pp: 277 - 283. 1986.
- Dhillon, S. S. y L. A. Ampornpan. Influence of mycorrhizal association and inorganics nutrients on early growth of rice. *Int. Rice Res. Newslett.* 15: 16 - 17. 1990.
- Dodd, J. C. y B. D. Thompson. The screening and selection of inoculant arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil.* 159, 149 - 158. 1994.
- Dodd, J. C.; Burton, C. C.; Burns, R. G. /et al./ Phosphatase activity associated with the roots and the Rhizosphere of plants infected with vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist.* 107, 163 - 172. 1987.
- Dommergues, Y y F. Mangenot. Les associations mycorrhiziennes. En: *Ecologie Microbienne du sol*. Ed.: Masson et C^{ie}. Paris. Pp: 656 - 675. 1970.
- Dumas - Gaudot, E.; Gollote, A.; Cordier, C. /et. al./ Modulation of Host Defense System. Chapter 9. 173 - 200. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Eds.: Kapulniks, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publisher. Printed in Netherlands. 2000.
- Espinosa - Victoria, D. Diálogo molecular: Hongo Micorrízico Arbuscular - Raíz. 93 - 116. En: *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Eds.: Alarcón, A.

- y R. Ferrera – Cerrato. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México. 2000.
- Fernández, F. Uso, manejo y comercialización de los hongos micorrizógenos VA .Curso de Postgrado. INCA. 1996.
- Fernández, F. /et al./. Dinámica del funcionamiento de las MVA en un cafetal joven. Resúmenes V Congreso Latinoamericano de Botánica. La Habana, Cuba. p 25. 1990.
- Fernández, F.; Cañizares, E.; Orozco M. O. /et al./ Influencia de la fertilización fosfórica y la aplicación de enmiendas calcáreas y orgánicas sobre dinámica de esporas y producción de micelio externo vesículo arbuscular en un cafetal joven. MEMORIAS VII SEMINARIO CIENTÍFICO INCA. Cultivos Tropicales 1: 185 - 194. 1990a.
- Fernández, F /et al./. The effect of commercial arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculants on rice (*Oryza sativa*) in different types of soils. Cultivos Tropicales. 18 (1): 5 - 9. 1997.
- Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares en la producción de postura de cafeto. Tesis de Doctorado. 190 p. INCA. Cuba. 1999.
- Fernández, F.; Rivera, R.; Noval, B. /et al./ Metodología de recubrimiento de semillas con inoculo micorrizógeno. (Patente Cubana No 22641). 1999.
- Fitter, A. H. y J. Garbaye. Interactions between micorrhizal fungi and others soil organism. Plant and Soil. 159, 123 - 132. 1994.
- Fitter, A. H. y B. Moyersoen. Evolutionary trends in root - microbe symbioses. PHIL. Trans. R. Soc. London. B 351, 1367 - 1375. 1996.
- Frank, A. B. Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Ber. Deut. Bot. Gesell. 3, 128 - 145. 1885.
- Fredeen, A. L. /et al./. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon parttitioning in *Glycine max*. Plant Physiol. 89: 225 - 230. 1989.
- Friese, C. F. y M. F. Allen. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: inoculum types and external Hyphal architecture. Mycologia. 83: 409 - 418. 1991.
- Furlan, V. y J. A. Fortin. Effects of light intensity of the formation of vesicular - arbuscular mycorrhizae on *Allium cepa* by *Gigaspora calospora*. New Phytol. 79, 335 - 340. 1977.

- Furrazola, E.; Fernández, F.; Orozco, M. O. /et al./ Variaciones de las poblaciones de hongos micorrizógenos VA asociados a distintos estadios fenológicos en dos campos de soya. Memorias VII Seminario Científico INCA. Vol 1. P 157 - 166. 1990.
- Gagne, S. C. /et al./. Xylem-residing bacteria in alfalfa roots. Can. J. Microbiol. 33: 996 - 1000. 1987.
- Garbaye, J. Biological interactions in the mycorrhizosphere. Experientia. 47, 370 - 375. 1991.
- Garbaye, J. y R. Duponnois. Specificity and function of mycorrhization helper bacteria (MHB) associated with the *Pseudotsuga menziessi* - *Laccaria laccata* symbiosis. Proc. International Symbiosis Congress. Jerusalem. Israel. 1991.
- García - Garrido, J. M. y J. A. Ocampo. Effect of VA mycorrhizal infection of tomato on damage caused by *Pseudomonas syringae*. Soil Biology Biochem. 21: 165 - 167. 1989.
- Garrido, N. Agaricales und ihre Mykorrhizen in den Nothofagus-Waldern Mittelchiles. Bibliotheca Mycologica. 120, 1 - 258. 1988.
- George, E.; Marschner, H. y I. Jakobsen. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of phosphorus and nitrogen from soil. Cri. Rev. Biotechnology. 15:257 - 270. 1995.
- Gerdemann, J. W. Vesicular arbuscular mycorrhizae. En: The Development and Function of Roots. Eds.: Torrey, J. C. y D. T. Clarkson. Academy Press. London. p 575 - 591. 1975.
- Gerdemann, J. W. y J. M. Trappe. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. Mycologia Memoir No 5. The New York Botanic Garden. New York. 1974.
- Gianinazzi - Pearson, V y S. Gianinazzi. Cellular and Genetics aspects of interaction between host and fungal symbionts in mycorrhizae. Genome. 31: 336 - 341. 1989.
- Gianinazzi - Pearson, V y S. Gianinazzi. The physiology of vesicular - arbuscular mycorrhizal roots. Plant and Soil. 71: 197 - 209. 1983.
- Green, N. E./et al./. The influence of Ph on the germination of vesicular - arbuscular mycorrhizal spores. Mycologia. 68, 929 - 933. 1976.
- Guerrero, E. /et al./. Micorrizas. Recurso Biológico del Suelo. Cap.2. pp. 47 - 61. 1996.
- Harley, J. L y S. E. Smith. Mycorrhizal Symbiosis. Ed Academic Press. New York. 483 p. 1983.

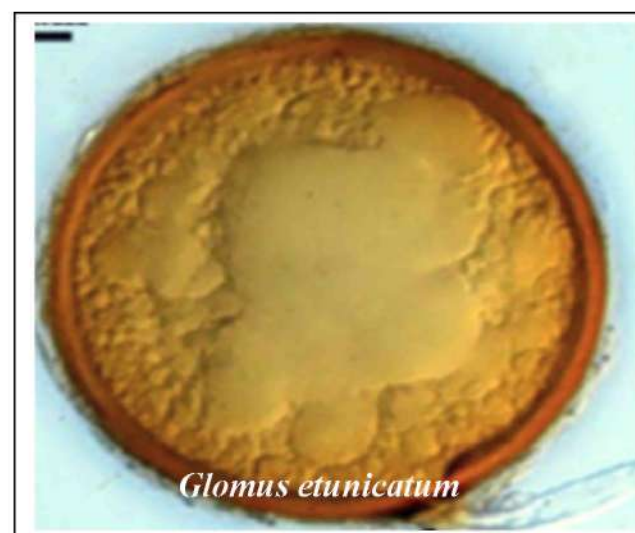
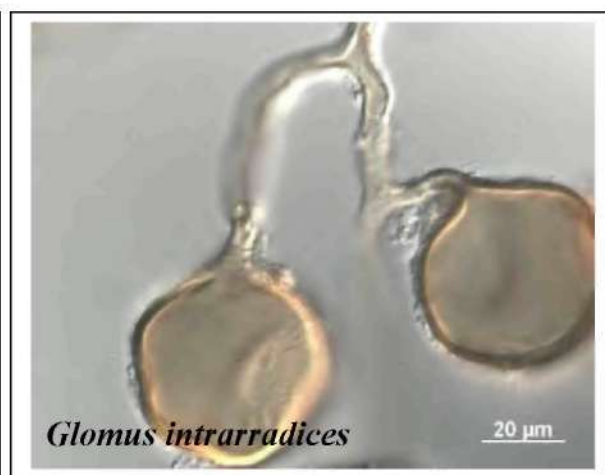
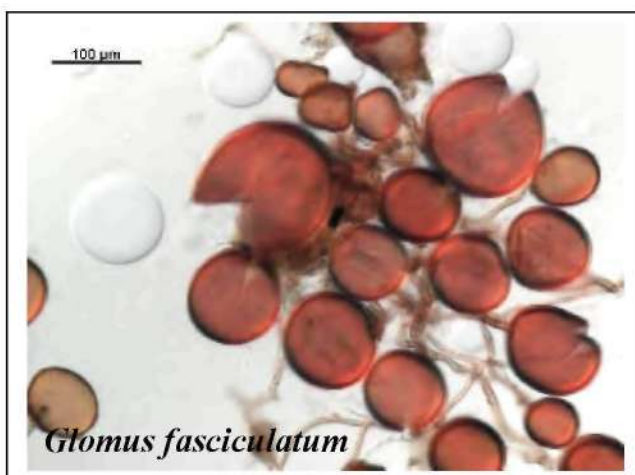
- Hayman, D. S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhizae. Effects of light and temperature. *New Phytol.* 73, 71 - 80. 1974.
- Herrera, R. A. /et al./. Estrategia de Funcionamiento de las Micorrizas VA en un Bosque Tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales (Eds.: Maximina Monasterio). Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1995.
- Jakobsen, I. Transport of phosphorus and carbon in VA micorrizas. pp 297 - 323. En: *Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*. Eds.: Varma, A. y B. Hock. Springer - Verlag, Berlin. 1995.
- Janos, D. P. Mycorrhiza applications in tropical forestry: are temperate - zone approaches appropriate? En: *Trees and Mycorrhiza*. 133 - 188. Forest Research Institute Malaysia, Kuala Lumpur. 1988.
- Johansen, A; Jacobsen, I. y S. E. Jensen. External hyphae of vesicular - arbuscular mycorrhiza fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 3. Hyphal transport of ³²P and ¹⁵N. *New Phytology*. 124: 61 - 68. 1993.
- Johnson, C. R. /et al./. Effects of soil phosphates level and shade on plant growth and mycorrhizas. *New Zealand Journal Botanic*. 14, 333 - 340. 1980.
- Kapulnik, Y. Plant-growth-promoting rhizobacteria. En: *Plant root: The hidden half*. Ed.: Waisel. Marcel Dekker, Inc., New York. 1991.
- Katznelson, H. /et al./. The rizosphere effect of mycorrhizal and nonmycorrhizal roots of yellow birch seedlings. *Can. J. Bot.* 40, 377 - 382. 1962.
- Kidston, R y O. Lang. Red Sandstones plants showing structure, from the Rhynie Chert bed, Aberdeen shire. Part 5. *Trans. R. Soc. Edinb.* 52, 855 - 902. 1921.
- Klepper, J. M. /et al./. Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield. *Phytopathology*. 70: 1078 - 1082. 1980.
- Klepper, J. M y M. N. Schroth. Relationship of *in vitro* antibiosis of plant growth-promoting rhizobacteria to plant growth and displacement of root microflora. *Phytopathology*. 71: 1020 - 1024. 1981.
- Koide, R. T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol.* 117: 365 - 386. 1991.

- Kothari, S. K. /et al./. 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 Phytol. 117:649 - 655. 1991.
- Letacon, L. y M. Obaton. Faune et Flore du sol les organismes symbiotiques faune et flores auxiliaires en agriculture. Ed ACTA. Paris. 119 - 113. 1983.
- Linderman, R. G. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. En: Mycorrhizae in sustainable agriculture. Eds.: Bethlenfalvay, G. J. y R. G. Linderman. Special Publication 54. ASA, Madison, Wise, pp. 45 - 70. 1992.
- Lopes, E. S. y M. L. Lombardi. Os microorganismos do solo E o aproveitamento de fosforo pelas plantas. Mesa redonda sobre Adubacao Fosfatada do Brasil. XVIII Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Salvador 30 de Agosto a 5 de Setembro de 1981.
- Marschner, H y B. Dell. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and Soil. 159, 89 - 102. 1994.
- Mc Gonille, T. P. y Fitter, A. H. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal association. Mycological Research. 94, 120 - 122. 1990.
- Meyer, J. R. y R. G. Linderman. Response of subterranean clover to dual inoculation with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and a plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida*. Soil. Biol. Biochem. 18, 185 - 190. 1986.
- Miller R. M. y Jastrow, D. J. Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure. Chapter 1. En: Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Jr. 3 - 18. Kluwer Academic Publisher. Printed in the Netherlands. 2000.
- Moawad, M. Ecophysiology of vesicular - arbuscular mycorrhizae in the tropics. En: The soil - roots interface. Academic Press. London. pp: 197 - 209. 1979.
- Montilla E.; Rivera, R y F. Fernández. Funcionamiento de la micorrización "nativa" en plantaciones de cafeto en diferentes condiciones edáficas. XIII Congreso Científico INCA, Nov. 2002.
- Morgenstern, E y Y. Okon. The effect of *Azospirillum brasilense* and auxin on root morphology in seedlings of *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Arid Soil Res. Rehabil. 1: 115 - 127. 1987.

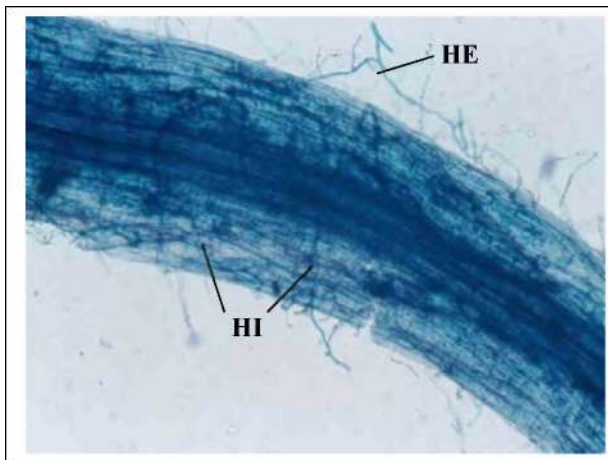
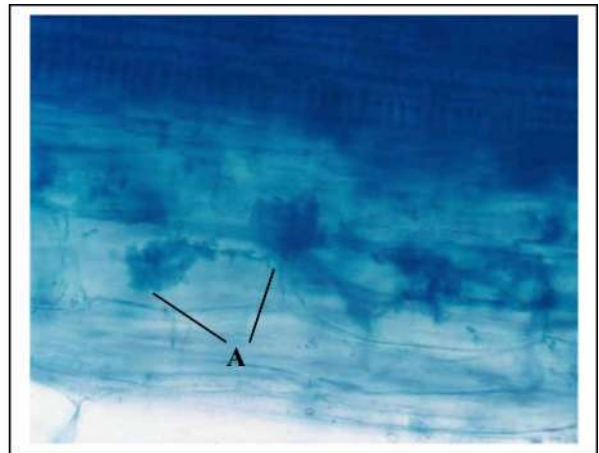
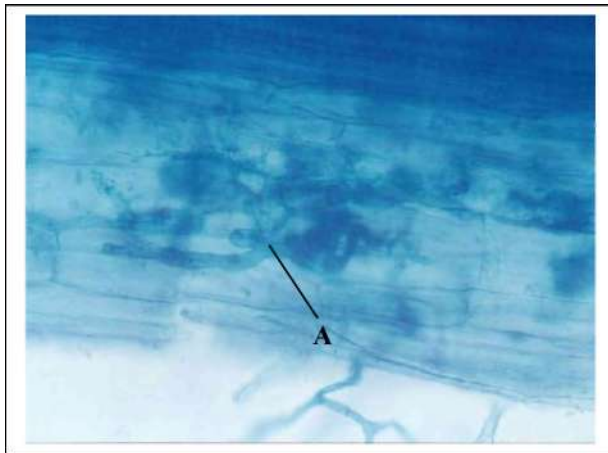
- Morton, J. B. y G. L. Benny. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with an emendation of *Glomaceae*. *Mycotaxon* 37, 471 - 49. 1990.
- Morton, J. B. y D. Redecker. Two new families of Glomales, *Archaeosporaceae* and *Paraglomaceae*, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*. 93(1): 181 - 195. 2001.
- Mosse, B. y G. D. Bowen. A key to recognition of some Endogone spore types. *Trans Br Mycol. Soc.* 51, 469 - 483. 1968.
- Orozco, M. O. /et al./ Micorrizas VA, micelio extramático y otras poblaciones microbianas asociadas a troncos en descomposición en un bosque tropical. En: Informe Provisional No 18. Ciclo Lectivo sobre el tema de Investigación en micorrizas, IFS. Stockolm. p 251 - 271. 1986.
- Packovsky, R. S. /et al./ Nutrient and growth interactions in soybeans colonized with *Glomus fasciculatum* and *Rhizobium japonicum*. *Plant and Soil*. 92, 37 - 45. 1986 .
- Paulitz, T. C. y J. A. Menge. The effects of mycoparasite on the mycorrhizal fungi *Glomus deserticola*. *Phytopatology*. 76, 351 - 354. 1986.
- Peyronel, B.; Fassi, B.; Fontana, A. /et al./ Terminology of micorrizae. *Mycologia*, 61. 410 - 411. 1969.
- Piccini, D /et al./ Possible influence of *Rhizobium* on VA mycorrhiza metabolic activity in double symbiosis of alfalfa plants (*Medicago sativa* L) grown in a pot experiment. *Biol. Fert. Soils*. 6: 65 - 67. 1988.
- Piccini, D. y R. Azcón. Effect of phosphate solubilizing bacteria and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on the utilization of bayovar rock phosphate by alfalfa plants using a sand vermiculite medium. *Plant and Soil*. 101, 45 - 50. 1987.
- Pirozynski, K. A. y D. W. Malloch. The origin of land plants: a matter of mycotropism. *BioSystems* 6, 153 - 164. 1975.
- Redecker D.; Kodner, R. y L. Graham. Glomalean fungi from the Ordovician. *Science*. 289 (5486): 1920 - 1921. 2000.

- Redhead, J. F. Endotrophic mycorrhizae in Nigeria. Some aspect of the ecology of the endotrophic mycorrhizal association of *Khaya grandifolia* C.D.C. Endomycorrhizas. Academic Press. London. pp: 447 - 459. 1975.
- Rivera, R. A. /et al./ Efectividad de la simbiosis micorrízica, suministro de nutrientes y nutrición de las plantas. En: XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de las Ciencias del Suelo. Programa y Resúmenes. 15, p 113. 2001.
- Ruíz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos Pardos y Ferralíticos rojos de la Región central de Cuba. Tesis de Doctorado. 95 p. INCA, Cuba, 2001.
- Ruiz - Lozano, J. M. y R. Azcón. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. *Physiologia Plantarum*. 95: 472 - 478. 1995.
- Sainz, M. J. y J. P. Arines. Absorbed from soil by mycorrhizal *Red clover* plants as affected by soluble P fertilization. *Soil Biol. Biochem*. 20: 61 - 67. 1987.
- Sánchez, C. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares y abonos verdes en la producción de posturas de café en algunos tipos de suelos. Tesis de Doctorado. 105 p. INCA. Cuba. 2001.
- Schenck, N. C. y G. S. Smith. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia*. 74. 77 - 92. 1982.
- Secilia, J. y Bagyaraj, D. J. Selection of efficient vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice (*Oryza sativa* L.) plants *Biol. Fertil. Soils*. 13: 108 - 111. 1992.
- Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 371 p. 1991.
- Sieverding, E. y A. L. Gálvez. Soil and phosphate sources affect performance of va mycorrhizal fungi with cassava. *Angew. Botanik*. 62, 273 - 293. 1988.
- Sieverding, E. y Toro, S. Influence of soil water regimes on VA mycorrhiza V. Performance of different VAM fungal species with cassava. *J. Agronomy & Crop Science*. 161, 322 - 332. 1988.
- Siqueira, J. O. y A. A. Franco. Biotecnologia do solo. Fundamentos e Perspectiva. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasília, D.F. 235 p. 1988.

- Smith, S. E. y G. D. Bowen. Soil temperature, mycorrhizal infection and nodulation of *Medicago truncatula* and *Trifolium subterraneum*. Soil. Biol. Biochem. 11, 469 - 473. 1980.
- Smith, S. E. /et al./. Nutrient Transport in mycorrhizas: Structure, Physiology and Consequences for efficiency of the symbiosis. Plant and Soil. 159, 103 - 113. 1994.
- Solaiman, M. Z y H. Hirata. Effects of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Rice Growth and N, P, K Nutrition under different water regimes. Soil Sci. Plant Nutr. 41 (3) 505 - 514. 1995.
- Spanu, P. /et al./. Chitinase in roots of mycorrhizal *Allium porrum*: regulation and localization. Plant 177: 447 - 455. 1989.
- Strullu, D. G. Les mycorrhizes des arbres et plantes cultivees. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 1991.
- Taylor, T. N.; Remy, W.; Hass, H. /et al./. Fossil arbuscular mycorrhizae from early Devonian. Mycologia 87: 560 - 573. 1995.
- Tobar, R.; Azcón, R. y J. .M. Barea. /et al./. Improved nitrogen uptake and transport from ¹⁵N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water - stressed conditions. New Phytology. 126: 119 - 122. 1994.
- Trappe, J. M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En: Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Eds.: Safir, G. R. CRC Press. Boca Raton. p 5 - 25. 1987.
- Trappe, J. M. Synoptic Keys to the genera and species of zigomycetous mycorrhizal fungi. Phytopathology 72, 1102 - 1108. 1982.
- Trimble, M. R. y N. R. Knowles. Influence of vam and phosphorus on growth, carbohydrate partitioning and mineral nutrition of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus L.*) plants during establishment. Can. J. Plant Science. 75: 239 - 250. 1995.
- Tylka, G. L. /et al./. Axenic germination of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi effects of selected Streptomyces species. Phytopatology. 81, 754 - 759. 1991.
- Walker, C. Systematics and Taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales): a possible way forward. Agronomie 12 (10), 887 - 897. 1992.



Esporas de diferentes cepas de hongos micorrízicos empleadas en Cuba, en los estudios de respuesta a la inoculación



Estructuras fúngicas intrarradicales desarrolladas durante el proceso de simbiosis micorrízica en el cultivo del tomate (nótese la presencia de arbuscúlos tipo Arum: A; hifas extrarradicales: HE e intrarradicales: HI y vesículas: V).

R. Rivera y Kalyanne Fernández. Capítulo 2. **Bases Científico – Técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente**. En: R. Rivera, Fernández, Hernández, J.R.Martín, Kalyanne Fernández. El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: INCA,2003.

Ramón A. Rivera Espinosa-Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, MES
rrivera@inca.edu.cu

Kalyanne Fernández Suárez-Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, MES
kalyanne@inca.edu.cu

CAPÍTULO 2. BASES CIENTÍFICO – TÉCNICAS PARA EL MANEJO DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS MICORRIZADOS EFICIENTEMENTE

2.1. Introducción

Si bien desde hace algunas décadas abundan las publicaciones científicas acerca del efecto beneficioso que ejerce la simbiosis micorrízica sobre el crecimiento y productividad de los cultivos, asociado en lo fundamental a una mayor absorción de los nutrientes y el agua por las plantas micorrizadas eficientemente (Harley y Smith, 1983; Howeler, 1985; Siqueira y Franco, 1988; Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1989; Marschner y Dell, 1994 y George, 2000), la inmensa mayoría de los trabajos experimentales se han realizado en condiciones controladas o de invernadero y adolecen además de un enfoque sistemático que permita encontrar las bases científico técnicas para el manejo de estas asociaciones y convertirlas por tanto en un elemento productivo.

No hay dudas de la extensión y por ende importancia de este fenómeno para el reino vegetal, expresándose en ocasiones que la simbiosis micorrízica esta presente en el 95 % de las especies vegetales y aunque Trappe (1987) en un trabajo bibliográfico, sobre los más de 3000 artículos publicados hasta entonces sobre el tema, acotó a 70,9 % las especies vegetales tropicales que presentaban simbiosis endomicorrízica y solo el 13,4 % de las especies se consideraban no micorrízicas, indiscutiblemente la cifra de especies dependientes de la simbiosis micorrízica de una u otro tipo son impresionantes (86,6 %).

Algunos autores se han referido a uno de los aspectos de mayor repercusión en el manejo de la simbiosis, el referente a la poca especificidad cepa – cultivo. En este sentido Harley y Smith (1983) y Siqueira y Franco (1988) consideraban que las diferentes especies de HMA no presentaban una especificidad manifiesta frente a diferentes hospederos en condiciones favorables para la simbiosis.

En la recopilación presentada por Siqueira y Franco (1988) este fenómeno se fundamentaba sobre todo basado en la poca cantidad de especies y cepas de HMA (142 reportadas en aquel entonces) que se asociaban con una amplia cantidad de especies vegetales (300 000), a diferencia de la simbiosis ectomicorrízica, altamente específica, donde por el contrario 5000 especies de hongos se asociaban con 2000 especies vegetales de un grupo de familias pertenecientes a las Gimnospermas principalmente, y en menor cantidad pertenecientes a las Angiospermas.

No hay dudas que la inferencia es correcta, aunque no signifique que no exista en ocasiones algún grado de especificidad cepa - cultivo o quizás de mayor preferencia entre los dos simbiontes, pero se carece de una información experimental sistemática realizada en condiciones tropicales y con una amplia gama de cultivos que permita evaluar claramente este fenómeno y su dependencia con los factores que gobiernan la efectividad de la asociación.

Posiblemente el programa más completo e interdisciplinario realizado sobre el manejo de las asociaciones micorrízicas fue el ejecutado en Colombia en la década del 80 y editado por uno de sus autores principales (Sieverding, 1991), obteniéndose importantes resultados y aportes al conocimiento de la simbiosis y de algunos de los principales factores que actúan sobre la misma.

Uno de los aspectos que más se estudió fue el manejo de las especies nativas, quedando claro que la comunidad de especies de HMA es específica (cuali y cuantitativamente) de un sitio y dependiente a su vez de las diferentes prácticas agronómicas.

Lo anterior conduce a que si bien se puede elevar la concentración de propágulos nativos e inclusive cambiar en el tiempo la composición relativa de especies, el manejo efectivo de los hongos nativos se vuelve sumamente complicado y necesita desde métodos rápidos y precisos que permitan predecir el potencial inoculante de las poblaciones nativas, el conocimiento de las especies de HMA presentes y que van a ser manejadas, hasta la influencia de las prácticas agronómicas sobre éstas (Sieverding, 1991).

A partir del análisis de un voluminoso grupo de resultados este autor concluyó que el manejo de la simbiosis con fines productivos debía ser mucho menos complicado a través de la inoculación de cepas de probada eficiencia que a partir de la manipulación de la población nativa.

En el grueso de los experimentos ejecutados en dicho programa, se utilizó generalmente una sola especie vegetal (*Manihotis sculentum*), y se encontraron novedosos resultados sobre la efectividad de especies y / o cepas de HMA y su adaptabilidad a las condiciones de mayor o menor disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

La micorrización con especies eficientes conllevó una disminución de las dosis de fertilizantes, pero se evidenció la necesidad de un suministro de nutrientes para garantizar adecuados rendimientos en plantas micorrizadas con especies de HMA de alta efectividad.

Las cepas de HMA se clasificaron en cepas de alta y baja efectividad, y si bien quedó claro la importancia del suelo sobre la composición cuantitativa y cualitativa de éstas, no se logró evaluar la influencia del tipo de suelo sobre la efectividad de las especies.

En este mismo programa se desarrollaron en el trópico los primeros experimentos “de campo” sobre manejo de los HMA, teniendo por tanto estos resultados un alto valor científico - técnico ya que demuestran la factibilidad de la inoculación con cepas eficientes de HMA y su relación con diferentes prácticas como la fertilización, la rotación de cultivos, las aplicaciones fitosanitarias, etc., todo lo cual condujo a altos rendimientos y disminuciones importantes de agroquímicos con altos impactos ambientales y sociales.

Estos trabajos establecieron además pautas metodológicas y en el conocimiento de la simbiosis en condiciones tropicales, con énfasis en la población nativa y su manejo, siendo un punto de partida obligado para los trabajos que a continuación se exponen.

Por otra parte, en Cuba en la propia década del 80, comenzaron los primeros trabajos con hongos micorrízicos arbusculares en los cuales no solo se obtuvo información sobre la importancia de la simbiosis para el crecimiento de las plantas (Herrera *et al.*, 1984), sino que se estableció una pauta en el trabajo de taxonomía, funcionamiento fúngico y el papel de la simbiosis en el funcionamiento de los bosques tropicales (Herrera *et al.*, 1995).

2.2. La especificidad suelo - cepa eficiente (HMA) y la selección de cepas

A partir del año 90 se comenzaron a desarrollar en Cuba un grupo de trabajos que permitieron establecer las bases para el manejo de las asociaciones micorrízicas, partiendo de tres presupuestos principales: la inoculación de especies eficientes de HMA, la importancia del ambiente edáfico en la selección de cepas eficientes y la influencia del suministro de nutrientes sobre la efectividad de la simbiosis.

En estos trabajos se persiguió relacionar ante todo el fenómeno de la simbiosis micorrízica con el tipo de suelo y la disponibilidad de nutrientes, buscando las relaciones causa - efecto existentes, basado en que los HMA son precisamente microorganismos edáficos y que una de las principales funciones de la simbiosis es aumentar las posibilidades de absorción del sistema radical.

Con independencia de que en el país se han realizado una alta cantidad de experimentos por diversos colectivos de investigadores e Instituciones, se seleccionaron para este documento, y con fines de ejemplificar los resultados, solo algunos de los programas de trabajo

desarrollados y en los cuales se abordaron integralmente los tres presupuestos mencionados.

2.2.1. Posturas de cafeto

El primer grupo de trabajos realizados con este enfoque se ejecutó sobre la producción de posturas de cafeto en el periodo comprendido entre el año 1990 y 2000, evaluándose el comportamiento de la inoculación de cepas de HMA en siete tipos diferentes de suelos (Tabla 3) y ejecutándose estos experimentos en condiciones de producción.

Estos presentaron una amplia gama de fertilidad asociada, desde suelos muy poco fértiles y de muy baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) como los Acrisoles háplicos, Alíticos de baja fertilidad según Hernández *et al.* (1999), hasta Cambisoles éutricos con 45 cmol.kg⁻¹ de CIC, Pardos según Hernández *et al.* (1999).

La correspondencia entre la clasificación FAO - UNESCO y la clasificación genética utilizada en Cuba (Hernández *et al.*, 1999) se presenta en la tabla 4 con fines aclaratorios en la presentación de algunas de las tablas o de revisión de los trabajos originales que se citan. Si bien en cada una de las condiciones edáficas estudiadas se encontró una respuesta positiva a la inoculación con HMA (Fernández, 1999; Sánchez *et al.*, 2000 y Joao, 2002), esta dependió de dos factores: el primero la especie o ecotipos inoculados y el segundo de la riqueza del sustrato, la cual define la intensidad de la simbiosis (efectividad). En estos experimentos, este último factor fue una consecuencia de la relación suelo / abono orgánico utilizada (cantidad de abono orgánico) y de la propia fertilidad del suelo.

Con independencia de que estos dos factores están indisolublemente relacionados y condicionan la efectividad de la inoculación, se desarrollará primero el tópico correspondiente a la influencia del suelo sobre la eficiencia de las cepas.

Todas las cepas utilizadas no presentaron el mismo comportamiento en las diferentes condiciones edáficas estudiadas, lo cual es una consecuencia de la especificidad suelo – cepa de HMA, es decir, el tipo de suelo fue el criterio fundamental para definir cual o cuales son las especies y / o cepas eficientes para una condición edafoclimática dada.

En este sentido se realizó un trabajo muy completo en los suelos Nitisoles dístricos (Ferrálíticos Rojos Lixiviados de montaña), Luvisoles crómicos (Ferralsíticos Rojos Lixiviados) y en los Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzosos), evaluándose el comportamiento de 15 cepas durante tres años y utilizando en este caso la relación suelo /

abono orgánico de 5/1 que había resultado la más adecuada para permitir una óptima micorrización en estos suelos (Sánchez 2001).

Tabla 3. Principales características químicas de los suelos en que se ejecutaron los experimentos.

Suelos	pH (H ₂ O)	M.O (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Fertilidad
			mg. 100 g ⁻¹		cmol. kg ⁻¹			
Alítico ¹	4.9	1.35	2.80	6.8	1.5	1.3	2.3	Muy Baja
Ferralítico Rojo Lixiviado de <u>montaña</u> ²	4.7	2.48	3.97	5.8	2.7	1.3	-	Baja
Fersialítico Rojo Lixiviado de <u>montaña</u> ²	5.7	3.22	10.12	12.2	7.3	1.6	-	Media
Fersialítico Pardo <u>Rojizo</u> ¹	5.8	3.0	13.00	17.7	5.2	1.5	-	Media
Fersialítico Pardo <u>Rojizo</u> ¹	6.9	3.6	15.15	25.8	8.1	1.3	-	Media
Pardo Gleyzoso ²	6.0	3.45	17.55	19.7	8.1	2.3	-	Media
Ferralítico Rojo compactado ³							-	Media
Pardo ¹	6.3	3.25	24.95	24,0	14.8	2,0	-	Alta
Pardo ¹	6.8	4.1	38.90	37.4	23.5	1.3	-	Muy Alta
Pardo ¹	7.3	3.8	57.00	52.8	32.0	7.9	-	Muy Alta

1, 2 y 3. Suelos estudiados en los periodos 1990 - 94, 1994 - 98 y 1997 – 2000, respectivamente.

El análisis multivariado de componentes principales ejemplificó muy claramente el comportamiento diferenciado de la inoculación con las cepas (HMA) por tipo de suelo (figuras 4, 5 y 6), quedando claro el agrupamiento de las cepas en estos casos en cuatro grupos.

El primero compuesto por cepas muy eficientes que originaron posturas con indicadores superiores (área foliar, extracción y concentración de nutrientes, altura y pares de hojas) al de las obtenidas inclusive por el testigo de producción, el cual recibió cantidades mayores de abono orgánico (relación 3/1), lo cual indicó una mayor eficiencia en el proceso de

absorción de nutrientes por parte de las posturas micorrizadas. Este grupo aparece situado en la parte superior de cada figura.

Tabla 4. Correspondencia entre los tipos de suelo por las Clasificaciones FAO-UNESCO, 1989 y V Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).

FAO-UNESCO	V CLASIFICACION CUBANA
Acrisoles háplicos	Alíticos de baja fertilidad
Nitisoles dístricos	Ferralíticos Rojos Lixiviados de Montaña
Luvisoles crómicos	Fersialíticos Rojos Lixiviados de Montaña
Ferralsoles éutricos	Ferralíticos Rojos
Cambisoles húmicos crómicos	Fersialíticos Pardo Rojizos
Cambisoles crómicos	Fersialíticos Pardo Rojizos
Cambisoles gléyicos	Pardos Gleyzados
Cambisoles húmicos éutricos	Pardos
Cambisoles éutricos	Pardos

Un segundo grupo donde aparecen otras cepas que si bien presentaron una menor eficiencia micorrízica, permitieron obtener posturas al menos con un comportamiento similar al de dicho testigo (T¹⁴).

Los otros dos grupos de cepas originaron un comportamiento muy inferior resultante de una baja efectividad para esas condiciones edáficas e incluso, en algunos de los suelos presentaron un crecimiento similar al de las pequeñas posturas obtenidas con el tratamiento testigo absoluto, que no recibió ninguna adición de abono orgánico (T¹⁵).

Además de la propia especificidad suelo – cepa eficiente HMA, se encontró que la efectividad alcanzada por la inoculación de las mejores cepas para cada suelo, dependió de la fertilidad éste.

Es decir, los mayores valores de índice de eficiencia (72,2; 68,2 y 67,2 %) se alcanzaron en los Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña), que fueron los menos fértiles de los estudiados, siendo las especies más eficientes en éstos *Glomus clarum*, *Glomus intraradices* y *Acaulospora scrobiculata*.

En los Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) las cepas más eficientes fueron *Glomus fasciculatum* y dos ecotipos de la especie *Glomus mosseae*, alcanzándose con las

mismos valores que oscilaron entre 65 y 66,8 %. Por otra parte, en los Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzados) las de mejor comportamiento fueron *Glomus intraradices*, uno de los ecotipos de *Glomus mosseae* y *Glomus fasciculatum* con índices de eficiencia entre 52,2 y 54,9 %, en todos los casos con relación al testigo 5/1 sin inocular.

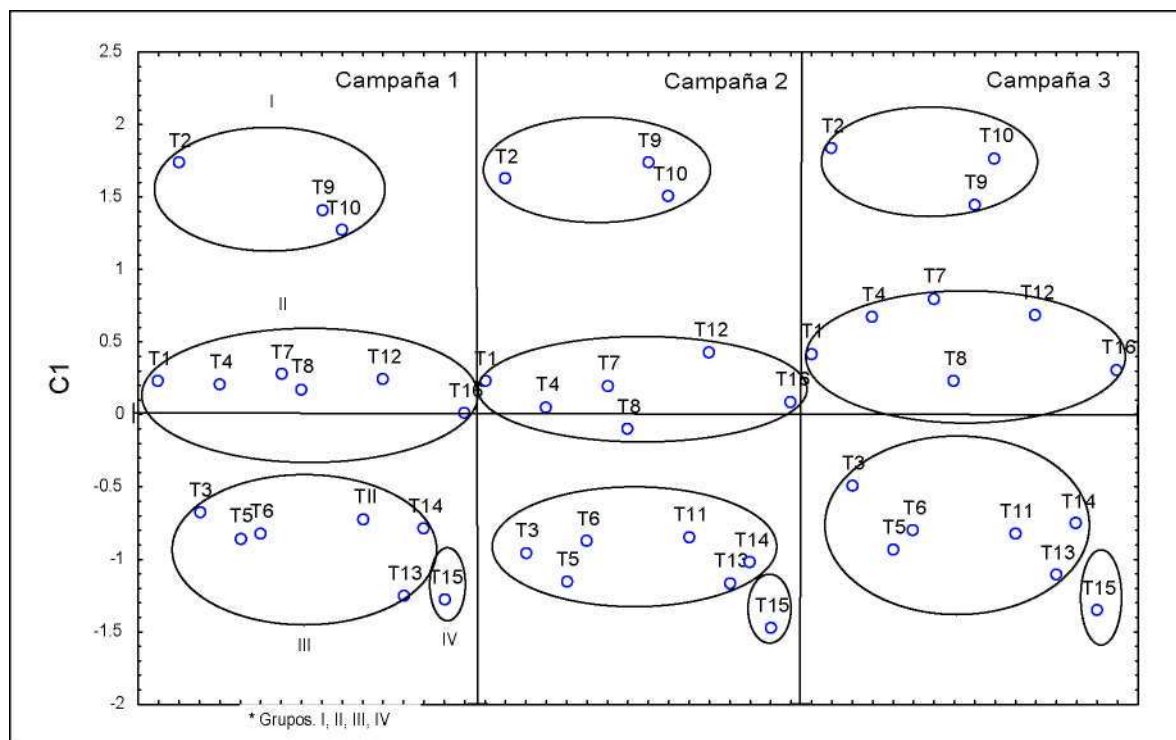


Figura 4. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Nitisoles dísticos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña) (Sánchez, 2001).

En estas figuras quedó claro, además del efecto positivo y diferenciado de la inoculación con las cepas de HMA y su dependencia con el tipo de suelo, una alta reproducibilidad de los resultados obtenidos.

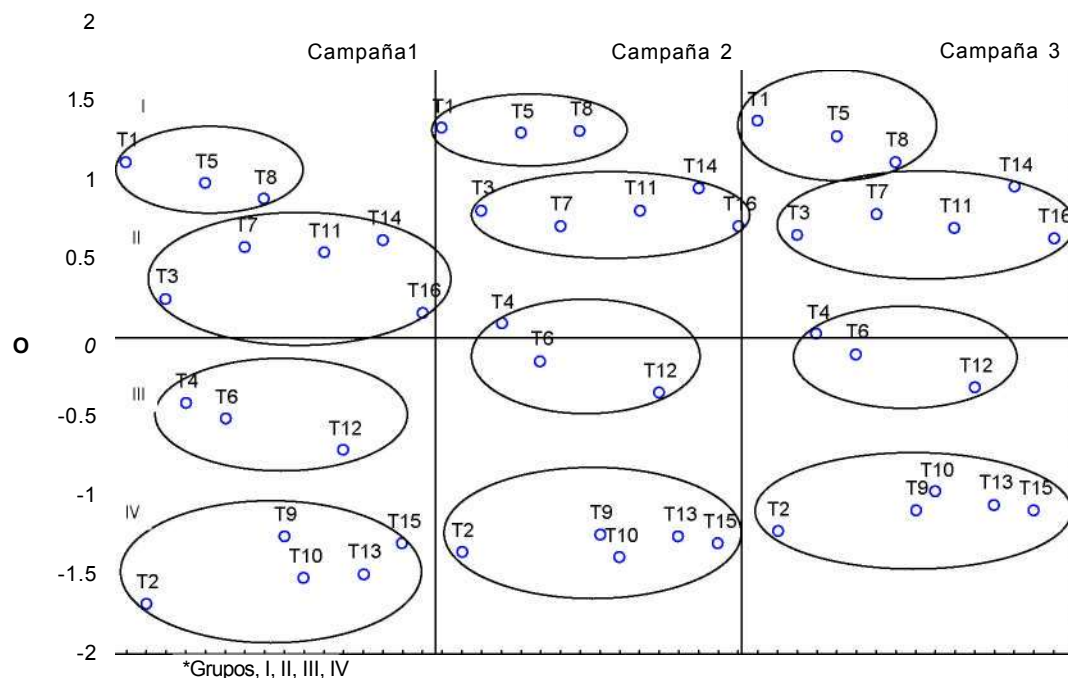


Figura 5. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).

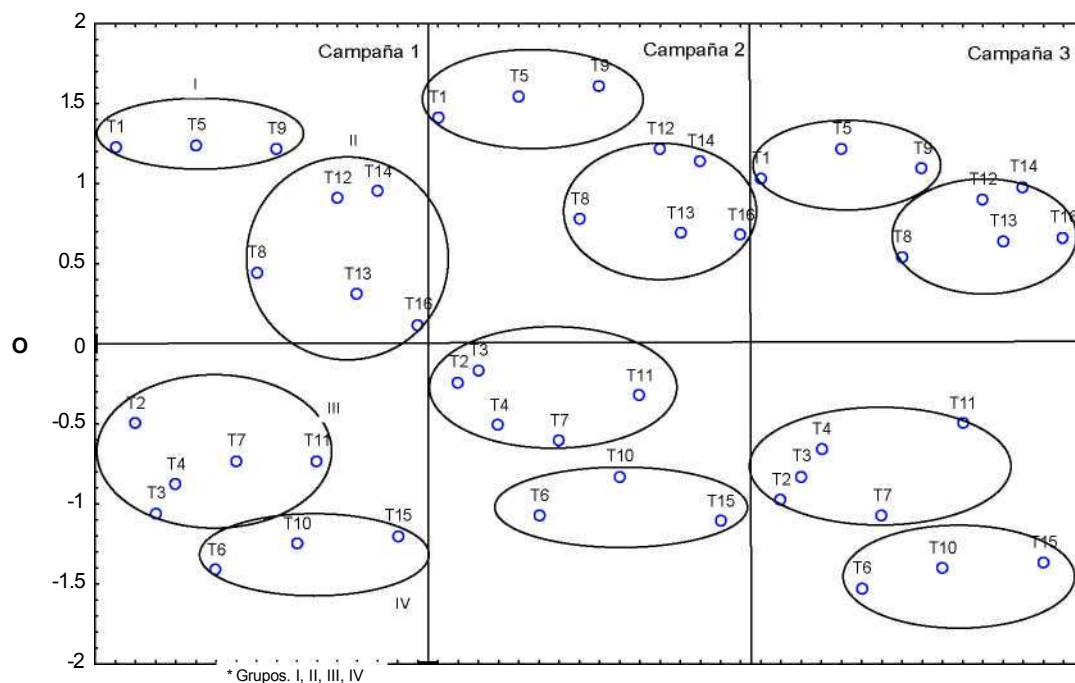


Figura 6. Efecto de la inoculación de 15 cepas de HMA sobre el crecimiento de posturas de café en Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzados) (Sánchez, 2001).

Los efectos agrobiológicos alcanzados por la inoculación de cada cepa en los diferentes años fueron similares, no variando además el agrupamiento relativo de las cepas en función de sus efectos, situación que avala muy favorablemente la inoculación de cepas de HMA en la producción de posturas de cafeto.

En el trabajo inicial desarrollado en el periodo 1990 - 94 (Fernández, 1999) en los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad), Cambisoles crómicos (Fersialíticos Pardo Rojizos) y Cambisoles éutricos (Pardos de alta fertilidad), también se presentó un buen comportamiento de las distintas especies pertenecientes al género *Glomus* (Tablas 5, 6 y 7).

Tabla 5. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas, sobre Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad), (Fernández, 1999; tratamientos seleccionados)

Expto. No.	HMA	Relación Suelo/humus de lombriz	A.F. (cm ²)	I.E. (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F (cm ²)
9	<i>Glomus clarum</i>	3:1	138.83 a	140	57.70 g
		5:1	33.61 ij	-42	
	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	3:1	119.55 ab	107	
		5:1	71.70 ef	24	
	Es x		6.32***		
10	<i>Glomus clarum</i>	3:1	210.30 a	143	86.38 e
	<i>Glomus sp</i> ¹	3:1	213.03 a	147	
	Es x		8.30***		

Medias con letras iguales en la misma columna / experimento no difieren significativamente, según dócima de Duncan para $p < 0,001$.

$$\text{I.E.} = \frac{\text{AF Tratamiento} - \text{AF Testigo}}{\text{AF Testigo}} \times 100$$

AF Testigo

Las especies de este género, según Barros (1987) y Sieverding (1991), poseen de manera general un amplio rango de distribución funcional predominando en ecosistemas de alta y media fertilidad, donde resultan extremadamente eficientes y competitivas. Los resultados

de estos trabajos permitieron extender dicho rango a las condiciones de baja y muy baja fertilidad.

En los mismos, la especie *Glomus clarum* presentó muy buen comportamiento en varias de las condiciones estudiadas. Su aplicación no sólo produjo efectos positivos sobre la producción de área foliar en las condiciones de baja fertilidad, sino también en las de media fertilidad, con incrementos significativos que oscilaron entre 80 % y 257 % (Tablas 5, 6 y 7). La inoculación solamente no fue efectiva en los Cambisoles húmicos - éutricos de alta fertilidad y porcentaje de saturación ($CIC > 25 - 30 \text{ cmol.kg}^{-1}$).

Un resultado similar encontró Ruiz (2001) estudiando el efecto de la inoculación de diferentes cepas sobre el crecimiento de varias especies de viandas, cultivadas sobre suelos Cambisoles calcáricos de alta fertilidad, reportando una alta efectividad de las cepas *Glomus intraradices* y *G. fasciculatum*, y un pobre efecto con la inoculación de *G. clarum*.

Tabla 6. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas, sobre Cambisoles húmicos-crómicos y crómicos (Fersialíticos Pardo Rojizo) de media fertilidad (Fernández, 1999; tratamientos seleccionados).

Expto. No.	HMA	Relación Suelo/humusde lombriz	A.F (cm^2)	I.E (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F. (cm^2)
1	<i>Glomus clarum</i>	3:1Po*	369.20 a	257	103.40 i
	<i>Glomus sp.</i> ¹	3:1Po*	349.50 b	238	
	Es x				5.89***
2	<i>Glomus clarum</i>	3:1	206.30 gh	-10	
		5:1	481.10 a	110	229.20 fg
	<i>Glomus sp.</i> ¹	3:1	249.70 ef	8	
		5:1	346.80 bc	51	
	Es x				13.90***
3	<i>Glomus occultum</i>	3:1	329.6 b	28.3	
		5:1	360.5 b	40.3	256.8 c
	Concentrado de cepas nativas	3:1	245.5 c	-4.4	
		5:1	438.7 a	70.8	
	Es x				7.35***

*En este experimento se trabajó con suelo: estiércol vacuno 3:1

Medias con letras iguales en la misma columna/experimento no difieren significativamente, para $p \leq 0.001$.

Otra de las especies con muy buena respuesta agrobiológica resultó ser *G. fasciculatum*, aunque estudiada en estos últimos experimentos solamente en los Cambisoles húmicos - éutricos y en los Cambisoles éutricos (Pardos). Se encontró siempre una respuesta positiva y estable a su inoculación, con incrementos en la producción de área foliar desde 18 % hasta 86 % (Tabla 7) con relación a los testigos sin inocular.

El estudio de las especies nativas aisladas en la Provincia de Villa Clara, *Glomus sp*¹ y *G. sp*² (Furrazola *et al.*, 1990), arrojó resultados positivos, presentando buen comportamiento cuando se inocularon en condiciones edáficas similares a su origen.

Tabla 7. Efecto de la inoculación de cepas eficientes de HMA y relación suelo: abono orgánico sobre la producción de área foliar e índices de eficiencia (I.E.) de las posturas sobre Cambisoles húmicos-éutricos y éutricos (Pardos).(Fernández, 1999;tratamientos seleccionados)

Expto.	HMA	Relación Suelo/humus de lombriz	A.F. (cm ²)	I.E (%)	Testigo 3/1 sin inocular A.F. (cm ²)
4	<i>Glomus clarum</i>	5:1	176.10 c	6	166.20 d
		7:1	299.60 a	80	
	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	207.40 b	25	
		7:1	307.70 a	86	
	Es x				5.67***
5	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	482.80 b	15	420.10 c
		7:1	533.20 a	27	
	Concentrado de Cepas Nativas	5:1	405.80 d	-3	
		7:1	487.50 b	16	
	Es x				2.10***
6	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	502.30 a	69	297.00 c
		7:1	495.60 a	67	
	<i>Glomus sp</i> ²	5:1	454.80 b	53	
		7:1	475.70 ab	60	
	Es x				12.08***
7	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	502.60 a	70	295.50 c
		7:1	495.60 a	68	
	<i>Glomus sp</i> ²	5:1	454.80 b	53	
		7:1	485.70 ab	64	
	Es x				11.90***
8	<i>Glomus fasciculatum</i>	5:1	402.50 a	18	341.50 bc
		7:1	364.37 b	7	
	<i>Glomus mosseae</i>	5:1	354.3 b	4	
		7:1	370.37 b	8	
	Es x				8.10***

Medias con letras iguales en la misma columna / experimento no difieren significativamente para p<0.001. ***.

También se estudió la inoculación de *Acaulospora scrobiculata* (tabla 5), obteniéndose la mejor respuesta a esta especie en los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad) con altos tenores de aluminio ($2.3 - 2.5 \text{ cmol Al. kg}^{-1}$ de suelo), coincidiendo a su vez con los resultados reportados por Barros (1987) que obtuvo la presencia de ésta en suelos con contenidos altos de este elemento.

Si bien en estos experimentos el número de especies utilizadas fueron diferentes, las principales fueron estudiadas en todas las condiciones y por tanto la información obtenida fue compatible y pudo integrarse.

Se encontró una alta efectividad de las especies del género *Glomus* en cualesquiera de las condiciones edáficas y dejando circunscrita la utilización de la especie *Acaulospora scrobiculata* para los suelos de más baja fertilidad, como los Acrisoles háplicos (Alíticos de baja actividad arcillosa) y Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña).

Con posterioridad Joao (2002) trabajando en Ferralsoles éutricos (Ferralíticos Rojos) con CIC cercana a 20 cmol.kg^{-1} , complementó los criterios obtenidos al encontrar un comportamiento muy superior de la inoculación con *Glomus fasciculatum* en comparación con el presentado por *Glomus clarum*

Una integración de la información obtenida se presenta en la tabla 8, donde se manifiesta la alta especificidad suelo - cepa eficiente que presentó la simbiosis endomicorrízica en la producción de posturas de cafeto y que resulta la base del criterio de selección de cepas eficientes para un agrosistema dado.

Se puede observar una transición “regular” entre las especies y / o cepas eficientes, cuando los suelos se agrupan en función de su fertilidad asociada o de un estimador cuantitativo de ésta, como puede ser la suma de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ intercambiables.

Un aspecto a destacar es que las cepas eficientes resultaron efectivas para un rango de suelos más o menos amplio dependiendo de la especie y / o cepa en cuestión, de forma tal que seleccionando dos o tres cepas se pueden obtener muy buenos resultados en prácticamente todo el espectro de suelos que se dedica a la producción de posturas de cafeto.

Asimismo, se evaluó en algunos experimentos el uso del concentrado de cepas nativas (CCN) (Herrera, 1991), originando efectos positivos en dos de los tres experimentos

realizados con el mismo, aunque inferiores a los encontrados con la inoculación de las especies eficientes.

Tabla 8. Recomendación de especies y / o cepas de HMA eficientes por tipos de suelos para la producción de posturas de cafeto.

Suelos	Especies y cepas de HMA recomendadas	Ca +Mg cmol.kg ⁻¹
Acrisoles háplicos (Alíticos de baja fertilidad)	<i>G. clarum</i> , <i>Glomus</i> . sp1 y <i>Acaulospora scrobiculata</i>	2,8
Nitisoles distrícos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña)	<i>G. clarum</i> , <i>G. intraradices</i> y <i>Acaulospora scrobiculata</i> .	4,0
Cambisoles húmicos - crómicos (Fersialíticos Pardos Rojizos)	<i>G. clarum</i> y <i>Glomus</i> sp2.	6,7 - 9,4
Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados)	<i>G. fasciculatum</i> , <i>G. mosseae</i> (5) y <i>G. mosseae</i> (8)	8,7
Cambisoles gleyicos (Pardos Gleyzosos)	<i>G. intraradices</i> , <i>G. mosseae</i> (5) y <i>G. fasciculatum</i> .	10,4
Ferralsoles éutricos (Ferralíticos Rojos)	<i>G. fasciculatum</i>	12 – 15
Cambisoles éutricos y húmico - éutricos (Pardos)	<i>G. fasciculatum</i>	16,8 - 39,9

() ecotipos de la especie *G. mosseae*, pertenecientes al cepario del Instituto de Ecología y Sistemática.

Si bien este fue un enfoque que valió la pena evaluar, la información indicó que no siempre deben obtenerse efectos positivos, lo cual puede estar relacionado fundamentalmente con una muy baja concentración de propágulos nativos eficientes en los concentrados, o bien que a pesar de estar bien adaptadas a las condiciones edáficas, las cepas no fueran eficientes. Asimismo, su alta dependencia de las concentraciones iniciales de propágulos en el suelo, atentan contra la reproducibilidad de su efecto.

La mayoría de las evaluaciones que se han reportado sobre propágulos nativos en los suelos dedicados a viveros de cafeto, han reflejado bajas concentraciones de éstos (Lopes *et al.*, 1986 y Siqueira *et al.*, 1987), lo cual fue corroborado por Sánchez (2001) en las condiciones de Cuba, al reportar valores de alrededor de 50 esporas / 100 g de suelo.

El éxito de la inoculación está relacionado no sólo con la infectividad y eficiencia de la cepa a aplicar, sino además con la cantidad y tipo de propágulos nativos (Dodd y Thompson, 1994), por lo cual la propia respuesta positiva encontrada con la inoculación de cepas previamente aisladas (*G. sp1* y *G. sp2*) y con la aplicación del CCN indican que la cantidad de propágulos nativos en los suelos dedicados a viveros ha sido baja y esto favorece el manejo de las asociaciones micorrízicas a través de la inoculación.

2.2.2 Raíces, tubérculos y hortalizas

Estos trabajos se ejecutaron durante el periodo 1993 – 1999, con fines similares, en un grupo amplio de cultivos: yuca, boniato, papa, ñame y malanga en dos suelos, Ferralsoles éutricos (Ferralítico Rojo) y Cambisoles calcáricos de alta fertilidad (Pardos con carbonato), incorporándose posteriormente la evaluación de tomate, pimiento, pepino y vitroplantas de plátano, pero solo en los Cambisoles. La diferencia fundamental con el anterior grupo de experimentos (3.2.1.) estribó en que la fuente de nutrientes evaluada fue la fertilización mineral (N P K).

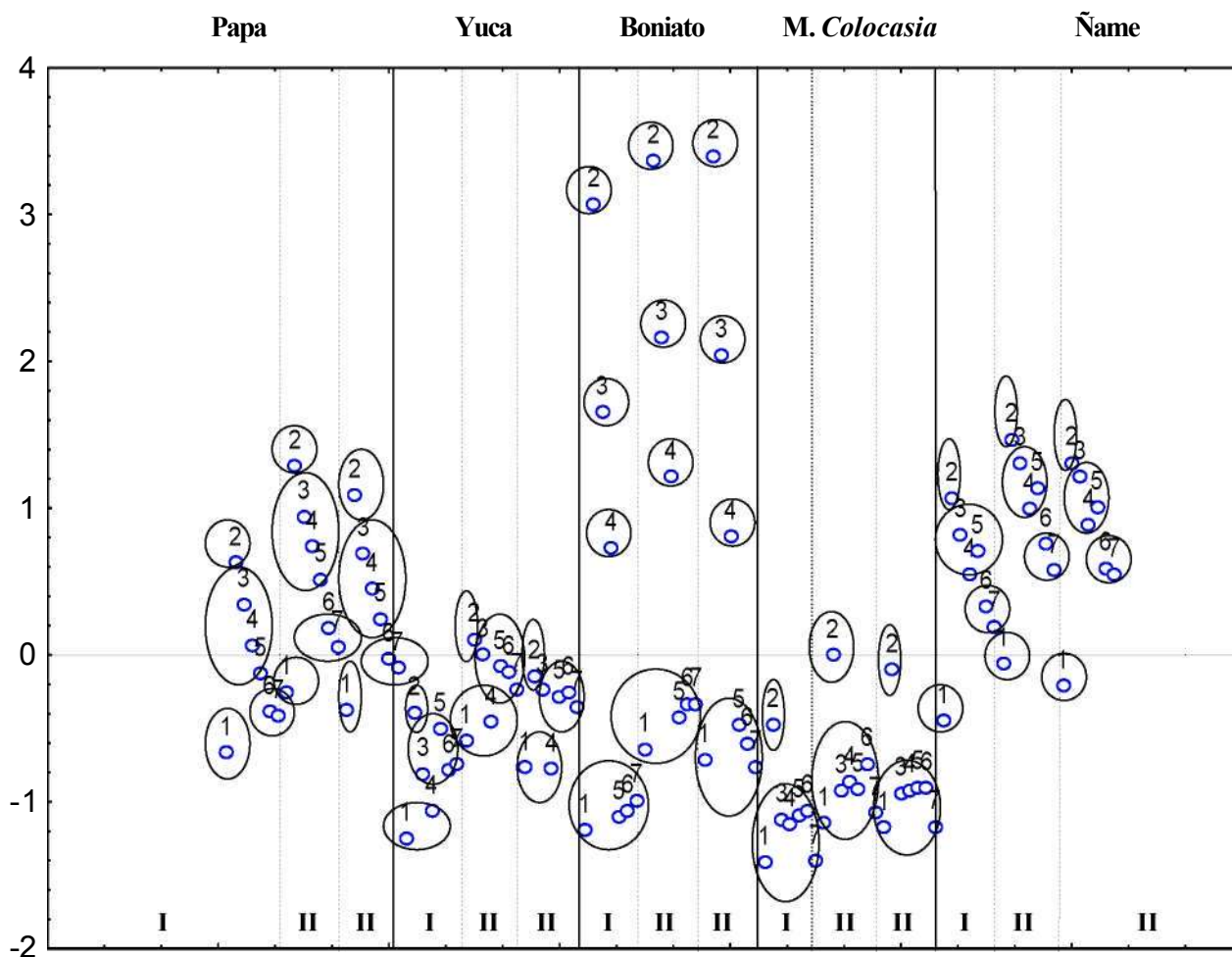
2.2.2.1 Influencia del tipo de suelo y el cultivo sobre la efectividad de las cepas de HMA

En las Figuras 7 y 8 se muestran los resultados del análisis de componentes principales, realizado para evaluar la efectividad de las cepas de HMA en las raíces y tubérculos en los dos tipos de suelos.

En ambos casos se formó un solo componente (C_1), debido a que las variables que los conformaron extrajeron 76,55 y 85,85 % de la variabilidad total existente en los Cambisoles calcáricos y Nitisoles éutricos respectivamente, lo cual indica el alto grado de relación entre las mismas.

Dentro de los resultados más importantes obtenidos se encontró el hecho del buen funcionamiento o efectividad de la inoculación con cepas de HMA en las raíces y tubérculos en ambos suelos, con comportamientos muy superiores al testigo sin inocular.

Sin embargo, el resultado más interesante fue que con independencia de los cultivos existió para cada suelo una cepa altamente eficiente, con cuya inoculación se obtuvieron siempre las mayores respuestas.



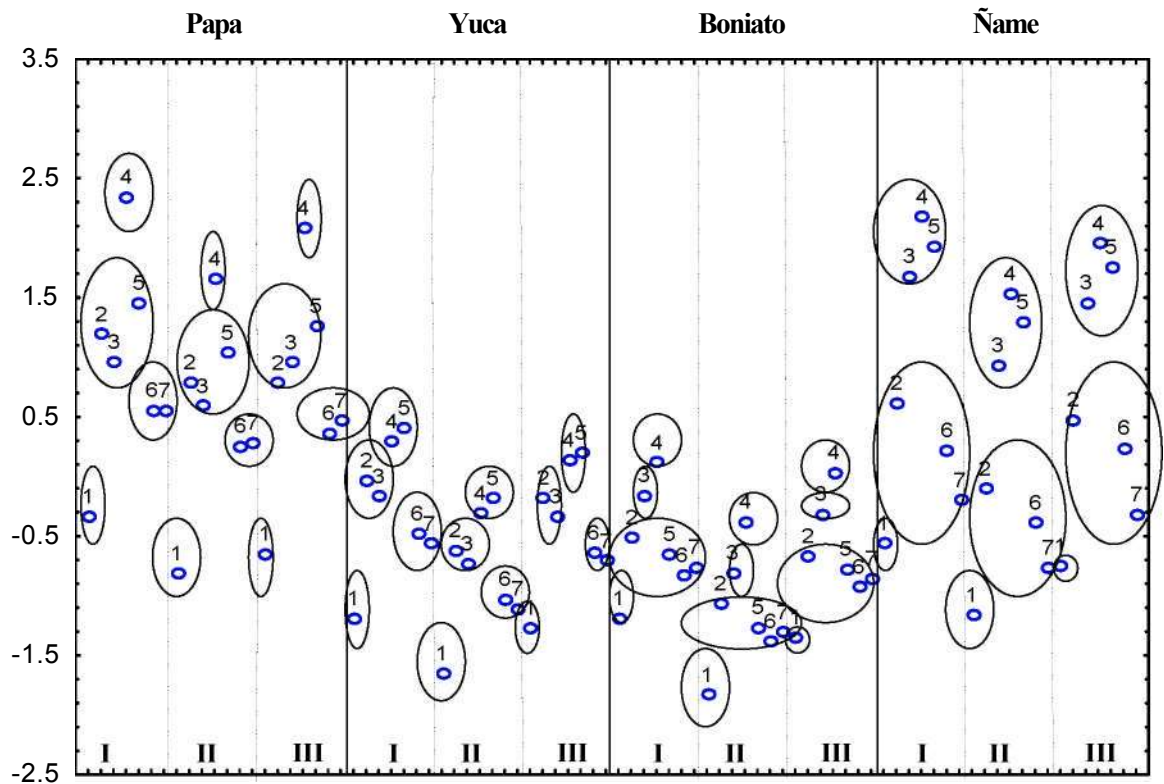
I, II, III = Años

Leyenda: 1: Testigo; 2: *G. intraradices*; 3: *G. fasciculatum*; 4: *G. mosseae*; 5: *G. manihotis*; 6: *G. occultum*; 7: *A. scrobiculata*.

Figura 7. Representación gráfica del comportamiento de las cepas de HMA por cultivo suelos Cambisoles calcáricos, según el componente principal C₁ (Ruiz, 2001).

Es decir se presentaron dos efectos al unísono, por una parte una alta especificidad suelo - cepa eficiente y por la otra una muy baja especificidad cultivo - cepa.

Esta conducta fue completamente reproducible en los diferentes años en que se repitieron los experimentos en ambos suelos, aún en presencia de los diferentes cultivos y requerimientos nutricionales de éstos, así como de las condiciones de disponibilidad de nutrientes que variaron de año en año (Tabla 9).



I, II, III = Años

Leyenda: 1: Testigo; 2: *G. intraradices*; 3: *G. fasciculatum*; 4: *G. mosseae*; 5: *G. manihotis*; 6: *G. occultum* y 7: *A. scrobiculata*.

Figura 8. Representación gráfica del comportamiento de las cepas de HMA por cultivo en suelos Nitisoles éutricos, según el componente principal C₁ (Ruiz, 2001).

Lo anterior, indudablemente es un elemento positivo y de alta repercusión para el manejo de las asociaciones micorrízicas en estos cultivos, ya que facilita la selección de las cepas eficientes para una determinada condición, siendo por tanto el tipo de suelo el factor fundamental que gobernó la eficiencia de las cepas.

La cepa de mayor efectividad para todos los cultivos estudiados en los Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) fue *Glomus intraradices*, siendo importante señalar que de forma general la inoculación con *Glomus fasciculatum* originó también efectos muy positivos, aunque inferiores a los obtenidos con *Glomus intraradices* y muy superiores al crecimiento obtenido con el testigo (suelo sin inocular).

Tabla 9. Programa de raíces, tubérculos y hortalizas. Características químicas de los suelos utilizados en los diferentes años.

Análisis en los diferentes años:												
		pH		Nt	MO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K	Nivel de
	Año	KCl	H ₂ O	(%)		(mg.100 gss ⁻¹)			(cmol.kg ⁻¹)			fertilidad
MICROPARCELAS												
Cambisoles calcáricos	1	6,0	7,4	0,15	1,46	1,43	21,67	43,48	4,06	0,66	0,56	Bajo
	2	6,5	7,6	0,19	2,77	5,96	31,33	47,17	3,04	0,85	0,73	Alto
	3	7,1	8,4	0,18	1,77	3,51	24,10	48,91	5,66	0,95	0,69	Medio
Nitisoles éutricos	1	5,4	6,1	0,13	1,35	15,31	21,47	20,32	1,90	0,23	0,55	Medio
	2	5,6	6,2	0,09	1,09	6,71	9,28	15,75	1,85	0,20	0,31	Bajo
	3	5,7	6,3	0,10	1,31	14,30	19,92	19,05	1,80	0,22	0,52	Medio
EXPERIMENTOS DE CAMPO												
Cambisoles calcáricos	1	6,0	7,4	0,15	1,46	1,43	21,67	43,48	4,06	0,66	0,56	Bajo
	2	6,5	7,6	0,19	2,77	5,96	31,33	47,17	3,04	0,85	0,73	Alto
	3	7,1	8,4	0,18	1,77	3,51	24,10	48,91	5,66	0,95	0,69	Medio
Cambisoles calcáricos	1	6,3	7,4	0,17	2,10	1,80	22,35	50,34	4,19	0,75	0,59	Bajo
	2	6,2	7,3	0,21	2,40	3,84	31,31	46,14	4,89	0,70	0,82	Medio
Cambisoles calcáricos	-	6,2	7,5	0,18	2,25	3,85	33,14	45,17	4,53	0,71	0,83	Medio

En los Nitisoles éutricos (Ferralíticos Rojos) la cepa de mayor efectividad fue *Glomus mosseae*, presentando además la inoculación con *Glomus clarum* un buen comportamiento, aunque inferior al obtenido con la inoculación de *Glomus mosseae*.

Los resultados obtenidos con raíces y tubérculos corroboran los encontrados con el café sobre la especificidad suelo - cepa eficiente de HMA, pero los amplían de forma importante ya que se pudo encontrar que las cepas seleccionadas como eficientes de acuerdo al tipo de suelo son válidas para los diferentes cultivos que se micorrizan.

Asimismo, los resultados obtenidos ilustran la importancia del tipo de cultivo sobre la efectividad de las cepas, es decir como se manifiesta la especificidad cultivo - cepa.

Se encontraron conductas muy disímiles entre los cultivos, por ejemplo en los Cambisoles calcáricos, en el cultivo del boniato fueron varias las cepas que presentaron buena efectividad (*Glomus intraradices*, *Glomus fasciculatum* y *Glomus mosseae*), mientras que para la malanga *Colocasia* se observó el carácter preferencial o selectivo sobre una sola especie de HMA (al menos con relación a las evaluadas), ya que fue *Glomus intraradices* la única que mostró adecuada efectividad con respecto al testigo sin inocular.

El cultivo de la yuca por su parte presentó otro tipo de especificidad cultivo - cepa, ya que en cualquiera de los dos suelos, *Glomus clarum* presentó un efecto similar al obtenido con la inoculación de la cepa más eficiente para cada uno de los suelos en cuestión.

Es decir, se manifestó en cierta medida la especificidad cultivo - cepa, la cual no siempre se presentó de la misma forma, pero siempre con menor importancia que la especificidad suelo - cepa y no variando los criterios derivados de esta última.

A partir de los resultados encontrados los cuales se reprodujeron fielmente en los diferentes años, aunque estos coincidieron con diferentes condiciones de disponibilidad de nutrientes (Tabla 9), se puede concluir que las raíces y tubérculos se comportan de forma similar al café en cuanto a los criterios de especificidad suelo - cepa "eficiente", demostrando los aspectos más generales planteados por Siqueira y Franco (1988) acerca de lo poco específica (cepa - cultivo) que se comporta la simbiosis endomicorrízica, siendo por tanto el tipo de suelo el factor o criterio fundamental para seleccionar las cepas más eficientes de HMA para lograr una micorrización efectiva en la producción agrícola.

Con posterioridad, en los Cambisoles calcáricos se estudiaron otros cultivos, con un esquema similar y con prácticamente las mismas especies de HMA, aunque se incluyó *Glomus spurgum* partiendo de algunos criterios favorables a su uso. Los resultados del análisis estadístico univariado en función del rendimiento y / o producción de masa seca (índice de eficiencia) se presentan en la tabla 10.

Ciertamente la inclusión de las hortalizas con características y requerimientos nutricionales muy diferentes a los de las raíces y tubérculos y con las cuales se obtuvieron los mismos criterios sobre cepas eficientes que se habían obtenido previamente (tabla 10), apuntan con mucha fuerza no solo a la especificidad suelo - cepa, sino además a la menor importancia de la especificidad cultivo - cepa, siendo por tanto el tipo de suelo la base para el manejo

eficiente de las asociaciones micorrízicas en la agricultura a partir de la selección e inoculación de cepas eficientes.

El hecho de que con los nuevos cultivos se introdujera el estudio de la especie *Glomus spurgum* y que esta presentara un efecto muy favorable, no modificó los criterios obtenidos sobre la alta eficiencia de la especie *Glomus intraradices* en estos suelos, así como sobre el comportamiento general adecuado y eficiente de la especie *Glomus fasciculatum*.

El cultivo del tomate mostró un ejemplo mas de cómo se expresa la especificidad cultivo- cepa, no variando los criterios de cepa más eficiente para ese tipo de suelo, pero obteniéndose una buena efectividad de la cepa *Glomus mosseae*, lo cual también había sido reportado por otros autores (Medina *et al.*, 1994 y Hernández, 2002) pero en Ferralsoles éutricos.

Los resultados conjuntos de ambos programas de investigación permiten plantear además, que de forma general existieron varias cepas de HMA que presentaron una “adecuada” efectividad para un grupo amplio de cultivos en cada condición edáfica. La expresión “adecuada” efectividad resultó un criterio más amplio que el de cepa eficiente derivado de la especificidad suelo - cepa y que se corresponde con la cepa mas efectiva en una condición edáfica determinada.

En la tabla 8 se mostró, a partir de la información obtenida en el cafeto, como la transición entre las especies y / o cepas de HMA eficientes en función de los tipos de suelos es un proceso gradual, en el cual las cepas resultaron eficientes o adecuadas, para un rango de tipos de suelos, con mayor o menor similitud, dependiendo del género y especie en cuestión.

Por ejemplo, *Glomus fasciculatum* resultó efectiva para suelos de fertilidad media y alta, *Glomus clarum* para suelos de fertilidad baja y media y *Acaulospora scrobiculata* solo para suelos de baja fertilidad. *Glomus intraradices* resultó efectiva en un diapasón mayor de fertilidades, pero no se encontró ninguna cepa que fuera efectiva para todo tipo de suelo.

Sieverding (1991) clasificó las cepas como de alta y de baja eficiencia, no quedando claro como influía el tipo de suelo sobre la eficiencia de una cepa en cuestión, por lo que estos trabajos permiten un criterio mucho más preciso de selección. Es decir, aún cuando la cepa sea de alta eficiencia, la misma actuará eficientemente solo en un grupo de suelos que puede ser más amplio o no dependiendo precisamente de la cepa en cuestión.

Tabla 10. Efectividad (IE %) de las especies inoculadas para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) (Ruiz y Rivera, 2001).

	Papa	Yuca	Boniato	Malanga	Ñame
	IE %	IE %	IE %	IE %	IE %
<i>G. intraradices</i>	43, 9a	48,8a	397,6a	110,0a	47,8a
<i>G. fasciculatum</i>	31,2ab	27,4bc	319,5b	6,6bc	39,8b
<i>G. mosseae</i>	24,7bc	1,1d	186,5c	20,0b	29,5c
<i>G. clarum</i>	18,0bc	38,0a	7,3d	3,3bc	35,4bc
<i>G. occultum</i>	5,4 c	29,8bc	3,6d	18,3b	22,5d
<i>A. scrobiculata</i>	1,8 d	20,2c	0,0d	- 10,0c	17,7d
cv %	12,8	7,1	6,9	8,6	3,5

Tabla 10. Continuación

Cepas	Plátano	Tomate	Pimiento	Pepino
	IE %	IE %	IE %	IE %
<i>G. intraradices</i>	68,0a	148,5 a	77,7 a	74,2 ^a
<i>G. fasciculatum</i>	56,3a	28,3c	38,2b	44,5b
<i>G. mosseae</i>	10,5cd	92,1b	37,6b	9,4c
<i>G. clarum</i>	29,2bc	23,2c	26,1c	18,7c
<i>G. occultum</i>	17,9cd	-	-	-
<i>A. scrobiculata</i>	45,2ab	-	-	-
<i>G. agregatum</i>	-	89,8b	32,8bc	43,0b
<i>G. spurcum</i>	-	130,0a	73,1a	71,2a
cv %	12,6	6,35	4,95	11,31

Letras diferentes implican diferencias significativas a $P < 0,05$ % según dócima de Duncan.

El conocimiento específico del cultivo a utilizar permitirá optimizar el criterio de selección en los casos que se requiera, como en el caso de la malanga *Colocasia* u otra especie

vegetal similar, pero todo parece indicar que éste no variará el criterio de especie más eficiente que se deriva de la especificidad suelo – cepa de HMA (Fig. 7, Tabla 8).

2.3. Influencia de la disponibilidad de nutrientes sobre la efectividad micorrízica

El otro factor fundamental para el manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas resultó ser la disponibilidad de nutrientes en el agrosistema, derivado del tipo de suelo y de los suministros de nutrientes (fertilización) en forma orgánica o mineral que sean necesarios para complementar los requerimientos de las plantas.

2.3.1. Posturas de cafeto

En el programa de cafeto la fuente de suministros de nutrientes estudiada fue el abono orgánico, evaluándose para cada suelo la influencia de diferentes relaciones suelo / abono orgánico sobre la efectividad micorrízica de cepas eficientes para cada uno de ellos (3.2.1.).

3.3.1.1. Influencia de la riqueza del sustrato sobre la efectividad de la simbiosis

En la figura 9 y en las tablas 5, 6 y 7, se presentan algunos de los principales resultados obtenidos por tipo de suelo. Para interpretarlos correctamente hay que partir de que la relación suelo / abono orgánico que se recomienda para la obtención de posturas óptimas de cafeto es 3/1 (Rodríguez, 1992).

En la figura 13 se muestra como precisamente con la relación 3/1 se obtuvo el menor efecto de la inoculación con cepas eficientes para esos tipos de suelos, obteniéndose la mayor efectividad de la micorrización en la relación 5/1. Relaciones que aportaran menos nutrientes que ésta, como la 7/1, no fueron tampoco adecuadas en estos suelos.

Un efecto similar se pudo observar en los suelos Luvisoles crómicos (Tabla 6) donde con la relación 3/1 la efectividad de la micorrización disminuyó, obteniéndose los mayores efectos sobre el crecimiento de las posturas micorrizadas con la relación 5/1; sin embargo en los Cambisoles éutricos de muy alta fertilidad, $CIC > 25 \text{ cmol.kg}^{-1}$ (Tabla 7) ya la relación 5/1 no resultó adecuada para obtener una micorrización efectiva, debiendo utilizarse entonces relaciones con menores cantidades de abono orgánico como la 7/1.

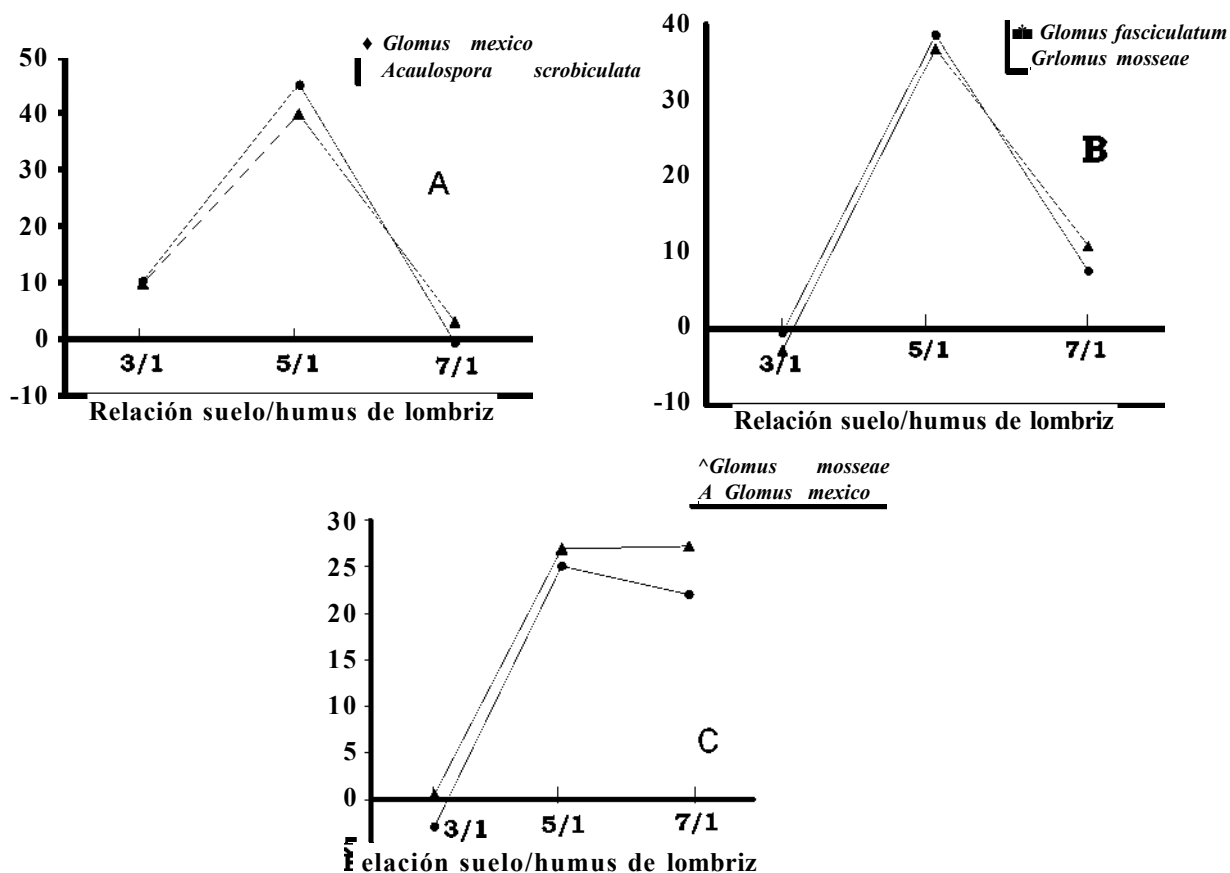


Figura 9. Influencia de la relación suelo / humus de lombriz sobre la efectividad de la inoculación con cepas eficientes (I. E.) en diferentes tipos de suelos: A - Nitisol dístico (Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña), B - Luvisol crómico (Fersialítico Rojo Lixiviado) y C- Cambisol gléyico (Pardo Gleyoso) (Sánchez, 2001).

Los resultados indican que para que la simbiosis sea eficiente la disponibilidad de nutrientes en el sistema debe ser inferior a la comúnmente utilizada para posturas no micorrizadas (3/1), lo cual coincide con los criterios más generales sobre efectividad micorrízica y disponibilidad de nutrientes reportados por Packovsky *et al.*, (1986b), Siqueira y Franco (1988) y Barea *et al.*, (1991).

El único suelo donde la relación 3/1 resultó efectiva para la micorrización fue en los Acrisoles háplicos de muy baja fertilidad (Tabla 5), no obstante el pequeño crecimiento de las posturas obtenidas en el tratamiento 3/1 sugiere que en estos suelos la misma fue insuficiente y por tanto no contradice los resultados correspondientes al resto de los suelos.

Por supuesto el obtener posturas con un óptimo crecimiento y por tanto altos requerimientos de nutrientes en presencia de cantidades menores de abono orgánico, son explicables en base al incremento en eficiencia del proceso de absorción de nutrientes por las plantas micorrizadas y por ende el incremento en el coeficiente de aprovechamiento de los nutrientes.

La alta disponibilidad de nutrientes disminuyó las estructuras micorrízicas en el interior de las raíces (Fernández, 1999 y Sánchez , 2001), expresadas tanto como masa del endófito (Herrera *et al.*, 1995), como por porcentaje de colonización (Phillips y Hayman, 1970), lo cual indicó que la disminución obtenida en la efectividad micorrízica fue consecuencia de un mal funcionamiento o inclusive, de la inhibición de la simbiosis.

Es importante dejar claro que la relación suelo / abono orgánico que permitió una óptima efectividad de la inoculación con cepas eficientes, dependió del tipo de suelo y en una relación inversa con su fertilidad asociada.

Se establecieron asimismo criterios de interpretación de la masa del endófito para una efectiva micorrización, los cuales fueron relativamente similares para suelos de media y alta fertilidad, 18 – 22 mg.g⁻¹, y que ascendieron en los Nitisoles dístricos de baja fertilidad hasta 30 – 32 mg.g⁻¹ y aún más en los Acrisoles (37 – 39 mg.g⁻¹) de muy baja fertilidad, sugiriendo que en los suelos de menor fertilidad se hace necesaria una mayor cantidad de estructuras fúngicas para garantizar el funcionamiento adecuado de la simbiosis.

El indicador masa de endófito no depende del tipo de cepa en cuestión, reflejando el grado de eficiencia o funcionamiento de la simbiosis, a través de evaluar la intensidad con que se colonizan las raíces. Los valores óptimos de masa de endófito están asociados a las condiciones de mayor efectividad de la inoculación y óptimos crecimientos de las posturas para cada condición edáfica en cuestión. En la tabla 11 se presenta un resumen de la información obtenida.

Asimismo, en estos trabajos quedo claro que las plantas micorrizadas necesitaron de un suministro óptimo de nutrientes, definido en este caso por la relación suelo / abono orgánico empleado y el tipo de suelo en cuestión, para que se alcance una micorrización efectiva, un adecuado funcionamiento de la simbiosis y un óptimo crecimiento de las posturas.

Suministros inferiores conllevaron a posturas con menor crecimiento, con baja efectividad de la inoculación y con una menor cantidad de estructuras fúngicas, lo cual puede ser observado en la figura 9 y en las tablas 5, 6 y 7, cuando la relación suelo / abono orgánico empleada fue menor que la recomendada para alcanzar una micorrización efectiva en cada uno de estos suelos.

Tabla 11. Relaciones suelo / humus de lombriz que permiten la mayor eficiencia micorrízica por tipos de suelos y algunas características químicas de los mismos; elaborado a partir de Fernández (1999), Sánchez (2001) y Joao (2002).

Suelo	Ca + Mg cmol. kg ⁻¹	Al int. cmol.kg ⁻¹	Relación suelo/humus más adecuada	Masa Endófito óptima mg.g ⁻¹
Acrisoles	2,5 – 2,8	> 2,3	3/1	37 - 39
Nitisoles dístricos	4,0 – 6,5	0,5 – 1,0	5/1	29 - 31
Luvisoles crómicos	8,0 – 10,0	-	5/1	20 – 22
Cambisoles crómicos	7,0 – 9,5	-	5/1	21 – 22
Cambisoles gléyicos	10,5 – 12,0	-	5/1	21 – 22
Ferralsoles éutricos	13, 0 – 15,0	-	5/1	22
Cambisoles éutricos	16,0 – 17,0	-	5/1- 7/1	18 – 20
Cambisoles éutricos	25,0	-	7/1	18 – 20
Cambisoles éutricos	40,0	-	7/1	19

Los resultados dejan claro que la efectividad de la inoculación no solo dependió de la selección adecuada de las cepas de HMA empleadas, sino del suministro de nutrientes o riqueza del sustrato en que crecen las plantas, siendo el factor tipo de suelo determinante en el manejo efectivo de la inoculación, del mismo no solo dependió la selección de cepas eficientes, sino la relación suelo / abono orgánico que permitió la máxima efectividad.

2.3.2. Raíces, tubérculos y hortalizas

Los experimentos realizados en este sentido se llevaron a cabo solo en los Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) en condiciones de microparcels y en experimentos de campo, en todos los casos repetidos durante dos años.

En estos se evaluó la influencia de la fertilización mineral N, P y K sobre la efectividad de la inoculación de la cepa *Glomus intraradices*, la cual resultó la cepa más eficiente entre las estudiadas en este tipo de suelo (tópico 3.2.2.).

En cada uno de los experimentos se consideró como 100% NPK la dosis óptima recomendada para cada uno de los cultivos, por el Programa de Investigaciones sobre nutrición y fertilización mineral de raíces y tubérculos cuyos resultados aparecen publicados por varios autores (Portieles *et al.*, 1982; 1983; Ruiz y Portielles, 1985 y Ruiz *et al.*, 1990). De forma similar se procedió con el resto de los cultivos.

2.3.2.1. Influencia de la fertilización mineral sobre la efectividad de la simbiosis

Los diferentes cultivos estudiados presentaron un comportamiento más o menos similar, el cual se ejemplifica a través de las figuras 10 y 11, correspondientes a los cultivos de yuca y boniato en condiciones de microparcels.

En las mismas se pueden observar los siguientes aspectos:

1. Una respuesta positiva a la inoculación de cepas eficientes de HMA, expresada en incrementos en el porcentaje de colonización micorrízica y en el rendimiento en comparación con el tratamiento testigo sin inocular.
2. La aplicación conjunta de la inoculación y de las dosis inferiores de fertilizantes minerales incrementaron la efectividad de la simbiosis, lo cual se expresó en incrementos en la colonización micorrízica y el rendimiento, obteniéndose en todos los cultivos una dosis óptima de fertilizantes para lograr la máxima eficiencia simbiótica o funcionamiento micorrízico. Esta dosis óptima para plantas micorrizadas con cepas eficientes garantizó los mayores rendimientos y resultó menor que la recomendada para obtener rendimientos similares pero en ausencia de inoculación (100 % NPK).
3. La aplicación de dosis superiores a las óptimas para las plantas micorrizadas, disminuyeron la colonización micorrízica y por ende la simbiosis hasta prácticamente inhibirla en presencia de la dosis de 100 % NPK; sin embargo los rendimientos no disminuyeron indicando que las plantas garantizaron sus requerimientos nutricionales, menos eficientemente, pero no a través de la micorrización.
4. Las dosis óptimas de fertilizantes para las plantas micorrizadas dependieron de los cultivos en cuestión.

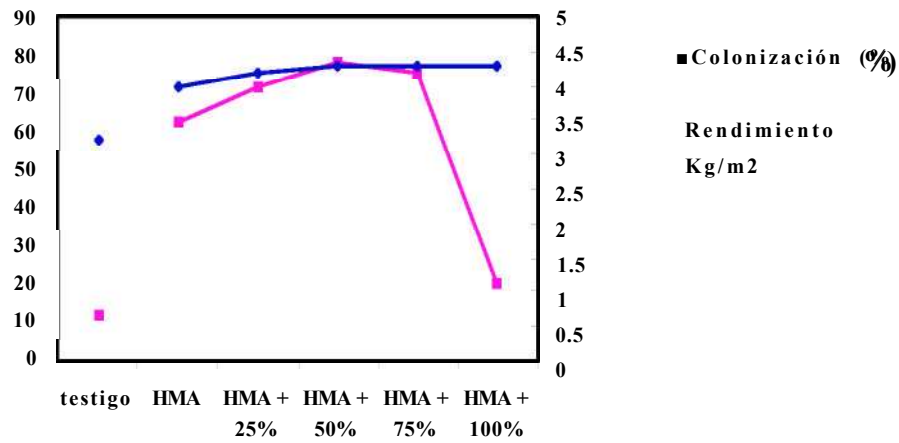


Figura 10. Influencia de la fertilización N, P y K sobre el funcionamiento micorrízico y el rendimiento del cultivo de la yuca en Cambisoles calcáricos (Ruiz, 2001).

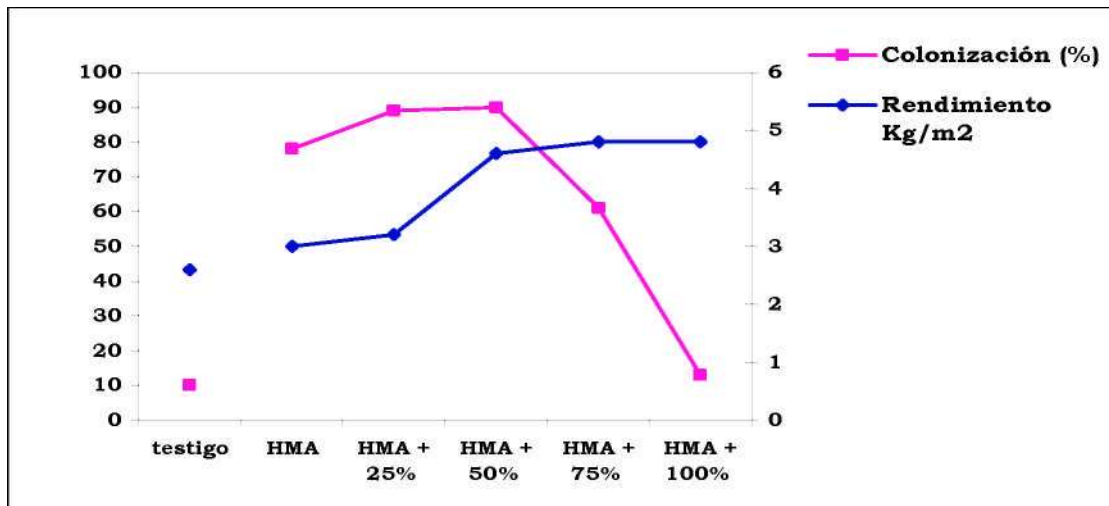


Figura 11. Efecto de la fertilización N, P y K sobre la colonización micorrízica y le rendimiento del cultivo del boniato cultivado en Cambisoles calcáricos (Ruiz, 2001).

Los resultados e influencia del suministro de nutrientes sobre la efectividad de la micorrización (inoculación) con cepas eficientes fue similar a la encontrada con los experimentos de posturas de cafeto, pero en aquellos los nutrientes se suministraron vía abono orgánico y con estos experimentos se demuestra además que la simbiosis micorrízica es compatible con la fertilización mineral.

La simbiosis micorrízica se comporta como un mecanismo que permite a las plantas garantizar sus requerimientos nutricionales para alcanzar inclusive los rendimientos potenciales determinados por la variedad, el clima, y las prácticas culturales, pero en función de las posibilidades del suelo o del sustrato de garantizar éstos, será necesario complementarlos, ya sea en forma orgánica o mineral.

Lo que es indudable es que las cantidades de nutrientes a aplicar “complementariamente” por una u otra vía, serán menores que las utilizadas en plantas no micorrizadas, lo cual es una consecuencia del incremento de la absorción mineral por las plantas micorrizadas.

Este resultado no solo tiene una importancia económica sino también medioambiental, puesto que conlleva a la utilización de menores dosis de fertilizantes y por ende disminuciones de las contaminaciones debido al lavado de los nutrientes en el perfil del suelo y a la escorrentía lateral.

En los experimentos de campo realizados con el objetivo de precisar las dosis de fertilizantes NPK para los diferentes cultivos se ratificaron los anteriores resultados. Los cultivos se diferenciaron de acuerdo con el porcentaje de la dosis de N, P y K con la cual se obtuvo la máxima efectividad de la simbiosis.

En las tablas 12 y 13 se presenta un resumen de la información obtenida, presentando para cada cultivo los rendimientos de los tratamientos testigo (sin fertilizante), 100 % NPK (dosis recomendada para altos rendimientos por los Sistemas de recomendación de fertilizantes del Minag) y el tratamiento seleccionado (HMA + NPK) en cada cultivo que presentó la mayor efectividad micorrízica y rendimientos estadísticamente similares al tratamiento con 100 % de NPK.

Tabla 12. Dosis óptima de fertilizante NPK para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos). Resultados de experimentos de campo (Ruiz, 2001).

CULTIVOS	TRATAMIENTO	PRIMER-AÑO		SEGUNDO-AÑO	
		t. ha ⁻¹	IE %	t. ha ⁻¹	IE %
YUCA	Testigo	35,5 c		37,06 c	
	HMA+ 25 % NPK	48,8 a	37,8	52,5 a	41,7
	100% NPK	50,3 a	41,6	52,0 a	40,3
	CV %	9,9		4,4	
BONIATO	Testigo	18,8 c		27,2 c	
	HMA + 50%NPK	36,1 a	92,6	40,1 a	47,4
	100 % NPK	38,3 a	99,36	41,4 a	47,6
	CV %	4,4		7,0	
MALANGA Colocasia	Testigo	25,5 c		29,0	
	HMA+ 50% NPK	36,7 a	43,9	40,9 a	41,0
	100 % NPK	38,3 a	50,1	41,4 a	42,7
	CV %	5,9		4,7	
MALANGA Xanthosoma	Testigo	17,9 c		23,2 d	
	HMA+ 50% NPK	40,1 a	124,2	42,7 a	84,1
	100 % NPK	40,3 a	125,1	43,2 a	86,2
	CV %	4,3		5,7	
ÑAME	Testigo	17,8 c		25,1 d	
	HMA+ 50% NPK	26,9 a	51,0	33,0 a	31,5
	100 % NPK	27,9 a	56,4	32,8 a	30,7
	CV %	6,8		4,3	
PEPINO	Testigo	5,9 c		7,0 c	
	HMA+ 50% NPK	13,1 a	122	15,43 a	120,4
	100 % NPK	13,35 a	126,7	15,56 a	122,3
	CV %	3,88		2,52	

En los diez cultivos estudiados la inoculación de cepas eficientes de HMA por tipo de suelo permitió obtener altos rendimientos, similares a los alcanzados bajo sistemas agrícolas intensivos con dosis altas de fertilizantes, pero en cualesquiera de ellos con dosis menores. En los cultivos de boniato, ñame, malanga *Colocasia* y *Xanthosoma*, y pepino fueron necesarias solamente dosis de alrededor del 50 % de las utilizadas en dichos sistemas. En el caso de la yuca solo fue necesario la aplicación de un 25 % de la dosis NPK recomendada comúnmente.

Tabla 13. Dosis óptima de fertilizante NPK para diferentes cultivos en Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos). Resultados de experimentos de campo (Ruiz, 2001).

CULTIVOS	TRATAMIENTO	PRIMER-AÑO		SEGUNDO -AÑO	
		t. ha ⁻¹	IE %	t. ha ⁻¹	IE %
PAPA	Testigo	18,0 d		20,5 d	
	HMA+ 75 % NPK	29,2 a	61,7	36,8 a	79,6
	100% NPK	30,1 a	66,9	37,2 a	81,2
	CV %	7,5		8,6	
TOMATE	Testigo	18,6 e		20,1 e	
	HMA + 75%NPK	40,9 a	119,6	41,9 a	108,9
	100 % NPK	41,1 a	120,9	42,0 a	109,0
	CV %	4,8		4,4	
PIMIENTO	Testigo	15,9 d		17,2 d	
	HMA+ 75% NPK	37,3 a	134	41,6 a	141,8
	100 % NPK	37,4 a	134	41,9 a	143,4
	CV %	3,6			
PLATANO	Testigo	15,6 d			
	HMA+ 75 % NPK	29,6 a	89,7		
	100 % NPK	29,7 a	89,7		
	CV %	6,9			

Para el resto de los cultivos (papa, tomate, pimiento y plátano) fueron necesarias las aplicaciones del 75 % de las dosis de NPK, pero aún así conllevó a un incremento importante en el aprovechamiento de los nutrientes y lo que es más importante, a disminuir

una de las causas potenciales de contaminación en la práctica agrícola intensiva, la derivada de la fertilización mineral.

La disminución de las dosis de fertilizantes en plantaciones que alcanzan altos rendimientos y que por tanto mantienen sus requerimientos nutricionales se logra a expensas de incrementos en la absorción de los nutrientes provenientes del suelo y de los fertilizantes, conllevando a incrementos en los coeficientes de aprovechamiento de éstos, así como a una disminución en los índices críticos de los elementos en el suelo.

Por supuesto, los resultados dependen del tipo de suelo y la disponibilidad de los nutrientes, de los cultivos y su nivel productivo y no se puede pretender que estos porcentajes no varíen por uno u otro factor, pero no debe haber dudas de que lo general es que se manifieste este fenómeno y deben servir de indicadores para la implementación del enfoque de “plantas micorrizadas eficientemente”, como base para los sistemas agrícolas productivos.

2.3.3. Influencia de la simbiosis micorrízica sobre la nutrición mineral de las plantas

No hay dudas de que la simbiosis actúa favorablemente sobre la absorción del fósforo, debido a que es un elemento que se mueve por difusión en la solución del suelo, presentando además una alta capacidad de fijación en los suelos tropicales y en primera instancia cualquier mecanismo que incremente la superficie de absorción y la accesibilidad al nutriente, influirá directamente sobre la absorción del mismo. Además de esto el P desarrolla un papel fundamental en el intercambio de sustancias que ocurre en los arbusculos (Harley y Smith, 1983; Gianinazzi - Pearson y Gianinazzi, 1983 y Sieverding, 1991).

En los últimos años se ha ido reconociendo en la literatura el efecto directo de las endomicorrizas sobre la absorción de otros elementos esenciales (Marschner y Dell, 1994), diferenciándolo del efecto indirecto que se puede obtener sobre la absorción de cualquier otro producto de las mejoras en la absorción de algún elemento limitante (George, 2000).

Por tanto, este propio autor argumenta muy claramente sobre no utilizar los incrementos en la absorción de los nutrientes como pruebas para inferir o comprobar el efecto directo de la micorrización sobre la nutrición o absorción de un elemento en particular, sino que se deben utilizar los incrementos en concentración, sobre todo cuando no se puedan emplear métodos isotópicos.

Asimismo, plantea que la simbiosis micorrízica actúa directamente sobre la absorción de prácticamente todos los elementos minerales esenciales como P, N (NH_4^{+1} , NO_3^{-1}), Zn, Cu, K, Ca, S (SO_4^{2-}) y Fe y de otros no esenciales como el Cd. Señala además que los estudios sobre nutrición mineral sin considerar la micorrización son ampliamente aceptados, sin embargo, son generalmente erróneos.

Los resultados obtenidos en este sentido en ambos grupos de experimentos (Fernández, 1999; Sánchez 2001 y Ruiz, 2001) fueron discutidos integralmente por Rivera *et al.* (2001), encontrándose que la simbiosis incrementó directamente la absorción de los tres macroelementos primarios, a través de aumentos en la concentración de estos nutrientes.

En las raíces y tubérculos, cultivos potasófilos, la simbiosis incrementó preferentemente la nutrición fosfórica y potásica (Tabla 14), mientras que en las posturas de cafeto fueron el fósforo y el nitrógeno los elementos más favorecidos (Tabla 15).

La información indicó que la micorrización más que presentar una preferencia por uno u otro elemento, se comportó como un mecanismo que permitió a las plantas obtener sus requerimientos nutricionales dependiendo por tanto de éstos y de la disponibilidad de los mismos en el sistema, la magnitud de los efectos y los elementos favorecidos (Rivera *et al.*, 2001).

Tabla 14. Participación de la micorrización en la nutrición de los cultivos.

CULTIVOS	CAMBISOLES EUTRICOS			FERRALSOLES EUTRICOS		
	N	P	K	N	P	K
YUCA	42	54	37	52	63	53
BONIATO	86	84	88	55	58	64
PAPA	51	56	51	59	45	28
MALANGA	61	68	65	-----		
ÑAME	50	52	53	60	66	65

Participación % = $\frac{\text{Absorción Tratamiento HMA} - \text{Absorción Control}}{\text{Absorción Tratamiento HMA}}$

Absorción Tratamiento HMA

Tabla 15. Efecto de la micorrización sobre la absorción de NPK por las posturas de cafeto en tres tipos de suelos.

SUELOS	N mg	IE %	P mg	IE %	K mg	IE %
Nitisoles dístricos						
5/1	64,9 c		7,4 c		88,2 c	
5/1 + HMA	95,0 a	46,4	10,9 a	46,1	115,3 a	30,7
Luvisoles crómicos						
5/1	75,8 c		7,5 b		92,0 b	
5/1 + HMA	107 a	41,5	9,9 a	31,5	117,2 a	27,5
Cambisoles éutricos						
5/1	77,9 b		8,0 b		91,9 b	
5/1 + HMA	103 a	32,0	11,1 a	31,5	115,4 a	20,3

2.4 La coinoculación HMA - rizobacterias.

En Cuba se han ejecutado numerosas investigaciones con resultados muy positivos sobre la efectividad de las aplicaciones simples de inoculantes microbianos a base de diferentes rizobacterias fijadoras de Nitrógeno como: especies de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* para leguminosas y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) como *Azotobacter chroococcum* para hortalizas y vegetales; especies de *Azospirillum* en arroz, maíz, sorgo y hortalizas; *Burkholderia cepacia* en maíz y *Pseudomonas fluorescens* para diferentes cultivos. Existen además, en forma comercial diferentes productos como: Biofert®, Azofert®, Dimargon®, Fosforina®, entre otros.

Es de señalar que en el caso de las RPCV se plantean la existencia de diferentes mecanismos de acción: control de fitopatógenos en *Burkholderia cepacia*; solubilización de fósforo en *Pseudomonas fluorescens*; fijación de Nitrógeno en alguna medida para *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum sp.* y en todos los casos estimulación del crecimiento a partir del propio metabolismo microbiano.

Desde el inicio de los 90 comenzaron en Cuba los trabajos encaminados a evaluar la coinoculación de diferentes géneros de rizobacterias y los HMA, basados no solo en la existencia natural de estos microorganismos en la rizósfera de las plantas micorrizadas y la existencia de relaciones mutualistas entre los mismos (Fitter y Garbaye, 1994; Höflich *et*

al., 1994 y Gryndler, 2000), sino que incluso se han encontrado bacterias promotoras del crecimiento en el interior de las esporas de los géneros *Gigaspora* (Bianciotto *et al.*, 2000 y Minerdi *et al.*, 2001) y más recientemente, en Cuba, en la especie *Glomus clarum* (Mirabal *et al.*, 2003).

Un resultado curioso fue el reportado por Rivera *et al.* (1997), en el programa de producción de posturas de cafeto micorrizadas, donde la esterilización de los sustratos previo a la inoculación micorrízica, disminuía el efecto agrobiológico de la misma, explicable por las relaciones mutualistas que se establecían en la rizósfera de las posturas micorrizadas, las cuales contribuían de una u otra forma a un mayor efecto de la inoculación micorrízica, y que desaparecían en presencia de la esterilización inicial.

Entre los primeros resultados sobre coinoculación se encuentran precisamente los obtenidos en este programa por Fernández (1999). La coinoculación *Azotobacter chroococcum* con cepas eficientes de HMA, fue válida en Cambisoles éutricos de alta fertilidad, potenciando significativamente los efectos alcanzados con las inoculaciones simples de HMA, aunque sin incrementos importantes en las estructuras fúngicas de las posturas, sugiriendo que las relaciones entre los microorganismos se expresaron como mecanismos complementarios.

Cuando la coinoculación se estudió en Acrisoles háplicos de muy baja fertilidad, los resultados fueron negativos y siempre inferiores a las aplicaciones simples de los microorganismos, explicable en base a una competencia por la baja disponibilidad de nutrientes en estos suelos, limitando incluso las estructuras fúngicas en las posturas micorrizadas.

A partir de estos resultados se recomendaron las aplicaciones conjuntas en suelos de media y alta fertilidad y en presencia de la relación 5/1(suelo / humus de lombriz) en el sustrato.

Posiblemente los mejores y más estables resultados de la coinoculación se hayan obtenido en la simbiosis tripartita, HMA – *Rhizobium* - leguminosas, basado en el hecho de que las relaciones simbióticas deben proporcionar un mayor intercambio entre los simbioses y efectos superiores a las plantas, que las relaciones basadas en asociaciones no simbióticas. En este caso la simbiosis *Rhizobium* - HMA aporta N₂ por una parte y las micorrizas incrementan la absorción de otros elementos entre los que se encuentran el P, muy importante para garantizar una adecuada fijación del nitrógeno y crecimiento de la planta.

Abunda la literatura internacional sobre esta coinoculación con resultados positivos (Packovsky *et al.*, 1986a), al igual que en el país (Corbera y Hernández, 1997; Corbera, 1998), siendo validada en grandes extensiones en Bolivia con muy buenos resultados (INCA, 1999; tópico 4.2.1).

En la tabla 16 se resumen algunos ejemplos obtenidos en Cuba sobre coinoculación micorrízica con diferentes géneros microbianos y cultivos. De forma general los resultados fueron positivos, reportándose valores superiores con relación a la aplicación simple de los inoculantes micorrízicos, siempre que se tuvo en cuenta la especificidad rizobacteria-cultivo, es decir aplicando rizobacterias que presentaron un efecto agrobiológico positivo sobre el cultivo en cuestión. En base a estos resultados es conveniente recomendar su uso y considerarla como una práctica dentro del manejo de las asociaciones micorrízicas en la producción agrícola.

Tabla 16 Efectos de la coinoculación HMA - bacterias rizosféricas sobre el rendimiento de diferentes cultivos. (Incrementos con relación al efecto de la aplicación de HMA.)

Especies de microorganismos	Cultivo	% Incremento	Referencia
<i>B. japonicum</i>	soya	30	Hdez y Hdez, 1996
<i>B. japonicum</i>	soya	31	Corbera y Hdez, 1997
<i>B. japonicum</i>	soya	15	Corbera, 1998
<i>B. japonicum</i>	soya	11 - 55	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	maíz	47	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	girasol	69	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. chroococum</i>	tomate	40	Terry <i>et al.</i> , 2002
<i>A. chroococum</i>	habichuela	29	Terry <i>et al.</i> , 2002
<i>A. brasilense</i>	tomate	36	Terry <i>et al.</i> , 1998
<i>A. brasilense</i>	maíz	23	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. brasilense</i>	sorgo	16	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>A. lipoferum</i>	tomate	17	Medina <i>et al.</i> , 1999
<i>B. cepacia</i>	papa	55	Hernández, 2001

2.5. La inoculación micorrízica y la rotación y / o secuencia de cultivos.

Si bien no abundan los resultados experimentales sobre permanencia de la efectividad de una cepa eficiente inoculada en una secuencia y / o rotación de cultivos en condiciones de experimentos de microparcels o campo, no deja de ser una temática muy importante y promisorio sobre todo a partir de la baja especificidad cepa – cultivo.

En la extensa recopilación de resultados presentados por Sieverding (1991), solo se reportan resultados de dos trabajos realizados con tales fines, en los cuales siempre el cultivo de la yuca fue el cultivo inicial de las secuencias estudiadas.

En los mismos no se encontró efecto residual de las inoculaciones de cepas efectivas, aunque por supuesto si se obtuvo respuesta positiva en el año de la inoculación.

Sin embargo, otra fue la situación en los resultados obtenidos en el programa de raíces y tubérculos realizado por Ruiz (2001) sobre Cambisoles calcáricos, en el cual se estudió el efecto residual de la inoculación de una cepa altamente efectiva para este tipo de suelo, *Glomus intraradices*, sobre una secuencia de cultivos formada por papa, boniato, yuca y boniato, en condiciones de microparcels y repitiéndose este experimento en dos ciclos completos

En la tabla 17 se muestran los resultados promedios de los dos ciclos en las variables rendimiento y porcentaje de colonización. La inoculación en cada uno de los cultivos produjo siempre un incremento significativo ($p < 0,05$) en ambas variables con relación al tratamiento control sin inocular, ratificando el efecto positivo de la inoculación con esta cepa para los diferentes cultivos en este tipo de suelo.

Al finalizar el sistema de rotación, con la cosecha del segundo cultivo de boniato, no se encontraron diferencias significativas en el rendimiento y el porcentaje de colonización de cada uno de los cultivos, entre los tratamientos siguientes: inoculación en todos los cultivos, inoculación cada dos cultivos e inoculación cada tres cultivos.

Cuando el inóculo se aplicó cada cuatro cultivos (una sola vez para todo el sistema), el rendimiento ($2,0 \text{ kg. (m}^2\text{)}^{-1}$) y el porcentaje de colonización (34 %) obtenidos en el último cultivo fueron significativamente inferiores a los producidos con los mejores tratamientos, aunque superiores al del control sin inocular.

La conducta reflejada anteriormente resultó muy promisorio para el manejo efectivo de las asociaciones micorrízicas, ya que dejó claro la factibilidad de utilizar la permanencia del

inóculo aplicado al menos durante dos o tres cultivos, y en última instancia es una consecuencia de la baja especificidad cepa - cultivo , de forma tal que cuando se introduce una cepa eficiente para un tipo de suelo la misma esta en posibilidades de asociarse con los diferentes cultivos, reproducirse, alcanzar una concentración adecuada de propágulos en el sistema y micorrizar efectivamente, al menos, el cultivo siguiente

Tabla 17. Permanencia de la efectividad de una especie eficiente de HMA inoculada en un sistema de rotación de cultivos sobre Cambisoles calcáricos (Pardos con carbonatos) (Ruiz, 2001).

	PAPA		BONIATO		YUCA		BONIATO	
	Rdto. Kg.m ²	Col. %	Rdto. Kg.m ²	Col. %	Rdto. Kg.m ²	Col. %	Rdto. Kg.m ²	Col. %
Control	2,0 b	3 c	2,1 b	5 c	2,1 c	7 c	1,8 b	4 d
Inóculo siempre	2,6 a	76 ab	2,8 a	75 a	3,1 a	81 a	2,5 a	79 a
Inóculo c/ dos cultivos	2,6 a	77 ab	2,5 a	70 b	3,1 a	79 a	2,2 a	71 a
Inóculo c/ tres cultivos	2,6 a	75 b	2,5 a	71 b	2,7 ab	69 b	2,3 a	79 a
Inóculo c/ cuatro cultivos	2,6 a	79 a	2,5 a	70 b	2,6 b	67 b	2,0 b	34 c
CV %	18,1	2,9	18,3	4,1	16,6	5,0	17,7	3,2

Sin dudas el fenómeno de permanencia de la efectividad del inóculo en el suelo, está vinculado a un complejo de factores inherentes al manejo del suelo, a las prácticas culturales entre las que se encuentra el suministro de nutrientes y productos fitosanitarios, a las propias características de dependencia micorrízica de los cultivos y a los marcos de plantación utilizados, todo lo cual conlleva a la capacidad de reproducción de propágulos en cantidades adecuadas para el cultivo posterior.

La información existente con relación a este tema es muy limitada, ambigua, sin conclusiones concretas y referidas en lo fundamental al efecto de las prácticas culturales

sobre la conservación de las poblaciones nativas de HMA (Primavesi, 1990; Sieverding, 1991; Sivila y Hervé, 1994 y Chu y Diekmann, 1994); siendo los resultados aquí presentados, los primeros en cuantificar y enmarcar en el tiempo la permanencia efectiva de propágulos correspondientes a cepas eficientes de HMA en un sistema de rotación de raíces y tubérculos.

Los trabajos posteriores realizados por Riera (2002) en condiciones de experimentos de campo sobre Ferralsoles éutricos, aplicando *Glomus clarum* y trabajando con diferentes secuencias, corroboran de forma general el efecto de permanencia del inóculo aplicado, evaluado a través del rendimiento (Tabla 18); pero en este caso solo se encontró en el primer cultivo posterior, aunque dependiendo de los cultivos empleados, tanto del precedente como del sucesor.

En relación con el comportamiento de la densidad visual, la cual evalúa el grado o intensidad del funcionamiento micorrízico, se encontró que la misma siempre disminuyó cuando se dejó de aplicar inoculante, aunque los valores encontrados en el primer cultivo posterior a la inoculación fueron bastantes cercanos a los obtenidos en presencia de la inoculación micorrízica.

En este trabajo se evaluó además la dinámica de las poblaciones de esporas en función de cada cultivo y tratamiento, arrojando una valiosa información que demostró que la inoculación elevó significativamente las esporas en cualesquiera de las secuencias, aunque fue dependiente del número de inoculaciones, del cultivo en cuestión y hasta del precedente, llegando a alcanzar poblaciones de alrededor de 800 – 900 esporas / 100g en los cultivos de boniato y girasol. Las poblaciones iniciales en estos experimentos oscilaron alrededor de las 50 esporas / 100g de suelo.

Tabla 18. Efectividad del inóculo aplicado (*Gl. clarum*) en diferentes secuencias de cultivos, en Ferralsoles éutricos, sobre el rendimiento y densidad visual de la micorrización en cada cultivo (Riera , 2002).

Secuencia : soya – maíz - boniato

	SOYA		MAIZ		BONIATO	
	t.ha ⁻¹	DV %	t .ha ⁻¹	DV %	t. ha ⁻¹	DV %
Control	1,83 b	1,42 b	5,15 b	2,55 b	20,3 b	1,92 c
Inoculación Primer cultivo	2,00 ab	3,7 a	5,37 ab	2,8 b	20,9 b	2,5 bc
Inoculación Dos cultivos	2,02 ab	4,4 a	5,62 a	4,8 a	23,4 a	3,4 b
Inoculación C/cultivo	2,12 a	4,4 a	5,67 a	5,1 a	24,95 a	5,7 a
Es x	0.06	0,2	0.11	0,35	0,59	0,39

Secuencia: soya – girasol – sorgo

	SOYA		GIRASOL		SORGO	
	t. ha ⁻¹	DV %	t. ha ⁻¹	DV %	t. ha ⁻¹	DV %
Control	1,91 b	1,62 b	1,71 b	2,8 c	2,64 c	0,6 c
Inoculación Primer cultivo	2,08 ab	4,85 a	1,77 ab	5,7 b	2,72 b	1,5 bc
Inoculación Dos cultivos	2,10 a	4,9 a	1,91 a	7,9 a	2,73 b	2,2 ab
Inoculación C/cultivo	2,16 a	4,6 a	1,94 a	8,4 a	2,82 a	2,9 a
Es x	0.05	0,25	0.05	0,30	0,02	0,30

Secuencia: arroz – frijol - boniato

	ARROZ		FRIJOL		BONIATO	
	t. ha ⁻¹	DV %	t. ha ⁻¹	DV %	t. ha ⁻¹	DV %
Control	1,09 b	0,91 c	1,59 b	0,45 b	22,6 c	1,38 c
Inoculación Primer cultivo	1,13 ab	1,46 bc	1,60 b	0,67 b	23,3 c	2,28 bc
Inoculación Dos cultivos	1,18 a	2,12 ab	1,77 a	2,08 a	25,5 b	4,23 ab
Inoculación C/cultivo	1,19 a	2,3 a	1,78 a	2,08 a	27,3 a	5,67 a
Es x	0.02	0,19	0.03	0,21	0,5	0,57

2.6. El uso de los abonos verdes y la efectividad micorrízica

En el periodo 1995 - 98 se desarrollaron un grupo de experimentos con vistas a evaluar el uso de los abonos verdes como fuente de nutrientes y de materia orgánica “in situ” y formando parte del sistema de producción de posturas de cafetos micorrizadas, con el objetivo de disminuir o sustituir el uso y transportación de las fuentes clásicas de abono orgánico (humus de lombriz, estiércol) y reducir la dependencia del “exterior” del sistema. Los trabajos se desarrollaron sobre Cambisoles gléyicos (Pardos Gleyzados), Luvisoles crómicos (Ferralsíticos Rojos Lixiviados) y Nitisoles distrícos (Ferralíticos Rojos Lixiviados) con características similares a las ya presentadas en la tabla 3.

Tabla 19. Masa seca y aporte de nutrientes medios de las diferentes especies utilizadas en los tres tipos de suelos estudiados. (Valores promedios de 3 campañas) (Sánchez, 2001).

Abonos verdes	Tipos de suelos	Masa Fresca (t. ha ⁻¹)	Masa Seca (t. ha ⁻¹)	N	P kg. ha ⁻¹)	K
Dolicho	Cambisoles ¹	14.69 d	2.60 d	85.93 c	9.65 d	31.12 d
Canavalia		29.61 c	4.31 c	146.04 b	13.04 c	51.98 c
Crotalaria		47.06 b	7.38 b	201.95 a	18.70 b	109.98 b
Sorgo		66.72 a	9.48 a	164.82 b	30.51 a	157.46 a
	E.S ±	1.72***	0.24***	5.31 ***	0.69***	2.01***
	CV %	7.16	7.17	6.17	6.60	4.20
Canavalia	Luvisoles ¹	33.40 c	4.64 c	160.44 b	15.18 c	56.76 c
Crotalaria		44.30 b	7.31 b	193.34 a	17.85 b	107.39 b
Sorgo		70.47 a	9.53 a	145.60 b	28.58 a	167.27 a
	E.S ±	1.84**	0.211***	4.50**	0.67***	3.34***
	CV %	6.43	5.10	4.70	5.63	5.26
Canavalia	Nitisoles ²	28.56 c	4.19 c	143.74 b	13.39 c	49.76 c
Crotalaria		37.80 b	6.36 b	165.03 a	17.17 b	98.90 b
Sorgo		60.05 a	8.95 a	156.15 ab	24.15 a	151.58 a
	E.S ±	1.39***	0.20**	3.75**	0.49***	2.43***
	CV %	5.67	5.37	4.19	4.65	4.20

Leyenda: 1 Valores promedio de tres campañas. 2 Valores promedio de dos campañas.

Cada una de las especies vegetales evaluadas como “abonos verdes” presentó un comportamiento diferenciado (Tabla 19), destacándose el sorgo y la crotalaria por las altas cantidades de masa seca y de nutrientes aportados, con valores superiores de N y P₂O₅ para la crotalaria y mayores de K₂O para el sorgo.

La canavalia tuvo un comportamiento inferior al mostrado por las especies anteriores, aunque muy superior al del dolicho. De forma general el tipo de suelo no presentó una influencia notable sobre el comportamiento de las especies.

En la tabla 20 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en tres campañas de producción de posturas sobre Cambisoles gléyicos (Pardo Gleyzoso), las cuales mostraron un comportamiento muy similar entre todas, encontrándose una respuesta diferenciada en los tratamientos, muy dependiente del tipo de abono verde empleado.

Tabla 20. Efecto de la aplicación de abonos verdes y HMA en la producción de posturas de cafeto sobre Cambisoles gleyicos (Pardos Gleyzosos) (Sánchez, 2001).

TRATAMIENTOS	1995-96		1996-97		1997-98		
	Área Foliar (cm ²)	Área F. (cm ²)	Col. (%)	E. A. mg.g-1	Área F. (cm ²)	Col. (%)	E. A. mg.g-1
Suelo	223.00 d	251.00 d	16.46 e	7.04 d	254.10 e	17.67 f	9.16 c
Suelo + HMA	240.30 c	255.10 d	28.0 cd	8.08 d	276.3 de	24.00 e	9.07 c
Dolicho	250.77 c	270.00 c	24.00 d	12.00 c	286.00 d	18.00 f	13.60 b
Dolicho + HMA	307.17 b	346.00 b	31.00 c	15.20 b	346.06 c	38.33 c	16.00 b
Canavalia	285.00 bc	281.20 c	32.33 c	13.00 c	295.40 d	30.00 d	15.30 b
Canavalia + HMA	372.17 a	424.21 a	50.67 a	19.62 a	396.2 ab	48.00 b	19.00 a
Crotalaria	312.00 b	341.00 b	33.00 c	15.49 b	338.12 c	37.33 c	15.90 b
Crotalaria + HMA	381.00 a	443.00 a	58.33 a	20.00 a	417.00 a	58.33 a	19.16 a
Sorghum	322.00 b	430.00 a	42.00 b	18.36 a	380.10 b	44.70 bc	19.40 a
Sorgo + HMA	379.50 a	432.70 a	52.33 a	19.54 a	413.40 a	57.00 a	20.23 a
3:1	385.07 a	450.70 a	24.33 d	12.00 c	414.60 a	20.00 f	13.40 b
3:1 + HMA	389.00 a	448.40 a	25.33 d	12.22 c	404.20 a	25.00 e	14.08 b
CV %	9.54	10.01	8.15	6.24	5.66	5.66	9.66
E.S ± Trat	12.34***	11.28***	1.15***	0.49**	11.95***	0.87***	0.88 ***

3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. Suelo = Suelo sin aplicar materia orgánica; HMA= *Glomus mosseae* ecotipo 1(IES-5); EA= Endófito arbuscular.

*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para P≤ .001.

Cuando se usó el dolico o la canavalia se encontró solo una ligera respuesta sobre el crecimiento de las posturas, pero con un desarrollo de éstas muy inferior al obtenido en el tratamiento de referencia suelo : humus 3/1 (Rodríguez, 1992); sin embargo, cuando estos tratamientos de abonos verdes se inocularon con una cepa eficiente de HMA, incrementaron fuertemente el crecimiento de las posturas e inclusive con la combinación *Canavalia ensiformis* + HMA, éstas no difirieron significativamente a las obtenidas en el tratamiento de referencia 3/1, indicando que la incorporación de esta especie de abono verde garantizó los requerimientos nutricionales para el cafeto micorrizado.

El crecimiento e incorporación del sorgo presentó un comportamiento superior al de las anteriores leguminosas, y las posturas obtenidas en dicho tratamiento fueron similares a las del tratamiento de referencia 3/1, oscilando entre el 84 y el 95 % del área foliar obtenida con éste, e inclusive en uno de los años no se encontró diferencia significativa entre ambos y en correspondencia la respuesta de las plantas a la inoculación con HMA (sorgo + HMA) fue mínima.

La explicación a los diferentes efectos obtenidos con el crecimiento e incorporación de las especies de abonos verdes y la inoculación con HMA, estuvo muy relacionada con el comportamiento de cualesquiera de los dos estimadores del funcionamiento micorrízico evaluados, el endófito arbuscular (Herrera *et al.*, 1995) y el porcentaje de colonización, en las posturas de cafeto.

Sorprendentemente el crecimiento y aplicación de las especies de abonos verdes originaron “*per se*”, en ausencia de la inoculación micorrízica, una elevación del endófito arbuscular o del porcentaje de colonización en las posturas de cafeto. Estos efectos estuvieron directamente relacionados con el crecimiento y la masa seca obtenida por cada especie de abono verde, indicando que en la medida que estas crecieron mejor se obtuvieron los mayores efectos sobre el endófito arbuscular de las posturas no inoculadas, o lo que es lo mismo, en este caso, una mayor efectividad de la micorrización nativa.

Otro aspecto importante fue que en aquellos casos que simplemente por la incorporación de los abonos verdes o por la combinación de estos con las especies de HMA se obtuvieron posturas con un crecimiento óptimo, fue indicativo que dichas especies de abonos verdes garantizaron el suministro de nutrientes necesario para una micorrización efectiva, y por

tanto sustituyeron completamente la aplicación inicial de abono orgánico, lo cual fue alcanzado con la canavalia, la crotalaria y el sorgo, pero no con el dolico.

En el caso del sorgo, éste de por sí elevó la masa del endófito de 7 mg.g^{-1} , que se obtuvo en el tratamiento control hasta $18 - 20 \text{ mg.g}^{-1}$, valores que están asociados con una alta eficiencia simbiótica y por supuesto, la inoculación con HMA combinada con la aplicación del sorgo no incrementó estos valores.

La información obtenida indicó que aunque existieron diferencias entre los aportes de nutrientes de las especies vegetales utilizadas, la causa principal del comportamiento diferenciado de los abonos verdes frente a la inoculación de las cepas de HMA en este tipo de suelo, estuvo relacionada con el efecto que estos causaron sobre la efectividad de la micorrización nativa del cafeto, la cual presumiblemente debe ser explicada por la elevación del número de propágulos nativos (esporas, hifas y raicillas infectadas) que se produjo con el crecimiento de los abonos verdes.

Ciertamente, el sorgo ha sido una de las plantas hospederas más utilizadas para reproducir inóculo micorrízico mediante la tecnología de canteros multiplicadores (Sieverding, 1991 y Herrera, 1991) y los datos sugieren que esto precisamente fue lo ocurrido, obteniéndose incrementos importantes en la concentración de esporas de HMA con el crecimiento de dichas especies vegetales, los cuales ascendieron desde $60 - 90$ esporas /100g hasta 450 esporas / 100 g producto de la utilización del sorgo o la crotalaria (Sánchez, 2001).

Aunque se encontró que en dos de los tres años estudiados no existió respuesta a la inoculación con especies de HMA en presencia de la utilización del sorgo como abono verde, pero como esta situación debió ser muy dependiente de las características específicas de los suelos utilizados y como no se estableció ningún criterio que permitiera establecer el grado de respuesta a la inoculación, se consideró que para obtener siempre un crecimiento óptimo de las posturas era conveniente la inoculación con cepas eficientes aún en este tipo de suelo.

El efecto de las aplicaciones de los abonos verdes sobre la producción de posturas en los Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados - Tabla 21) y Nitisoles dístricos (Ferralíticos Rojos lixiviados – Tabla 22) presentó similitudes con los efectos encontrados en los Cambisoles éutricos, en lo referente a la influencia positiva de los abonos verdes sobre el crecimiento de las posturas y sobre la potenciación de la micorrización nativa; sin

embargo el efecto fue inferior.

Si bien el *Sorghum vulgare* y la *Crotalaria juncea* originaron los mayores valores de masa de endófito en las posturas no inoculadas, los mismos fueron significativamente inferiores a los reportados como indicativos de una micorrización eficiente, que se corresponden con los valores de 20 – 22 mg.g⁻¹ en los Luvisoles crómicos o de 30 – 32 mg.g⁻¹ en los Nitisoles dísticos (Tabla 11), indicando que en estos suelos el crecimiento e incorporación de los abonos verdes de por si no garantizó una efectiva micorrización “nativa” de las posturas de cafeto

Tabla 21. Efecto de los abonos verdes e inoculación con HMA sobre la producción de área foliar, porcentaje de colonización y masa del endófito arbuscular en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).

Tratamientos	Año 1995-96	Año 1996 - 97			Año 1997 - 98		
	A. foliar	A. foliar	Col.	E. A	A. foliar	Col.	E. A
		(cm ²)	(%)	(mg.g) ⁻¹	(cm ²)	(%)	(mg.g) ⁻¹
Suelo	217.67 d	221.50 e	16.33 e	7.34 f	216.20 e	14.33 f	4.16 g
Suelo + HMA	220.17 d	230.00 e	25.33 d	8.34 f	227.05 e	21.44 e	6.18 f
Canavalia	271.67 c	283.33 d	17.00 e	11.00 cd	287.39 d	23.00 c	11.34 e
Canavalia + HMA	364.00 b	347.00 c	43.00 b	16.24 b	338.53 c	32.00 d	15.03 c
Crotalaria	340.17 b	315.83 c	37.33 c	15.86 b	296.10 d	26.00 d	13.00 d
Crotalaria + HMA	397.00 ab	360.67 b	51.00 a	19.64 a	360.00 b	49.33 a	19.90 a
Sorgo	324.83 b	332.33 c	40.0 bc	17.00 b	308.16 cd	30.00 c	15.33 c
Sorgo + HMA	352.00 b	356.50 b	51.33 a	21.40 a	330.10 c	37.00 b	17.00 b
3:1	438.50 a	438.08 a	27.12 d	10.00 de	417.00 a	24.00 de	11.20 e
3:1 + HMA	434.67 a	437.33 a	28.33 d	13.20 c	412.00 a	22.80 e	13.18 d
CV %	10.90	8.55	7.05	8.64	4.49	6.33	6.57
E.S ± Trat	14.69***	11.70***	1.36***	0.695***	7.32***	1.02***	0.48***

Leyenda: 3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. HMA= *Glomus fasciculatum*.

*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para $p \leq 0.001$.

Asimismo las posturas inoculadas con HMA en presencia de los abonos verdes presentaron un comportamiento inferior al testigo de producción, indicando que los abonos verdes en estos suelos no garantizaron totalmente los requerimientos nutricionales de las posturas micorrizadas.

Los resultados obtenidos en los experimentos en los cuales se complementaron los aportes de los abonos verdes con cantidades crecientes de abono orgánico (Tablas 23 y 24), permiten explicar las causas del comportamiento obtenido en ambos suelos.

En el Luvisol crómico (Tabla 23) la comparación de la mejor combinación micorrizada (9/1 suelo - abono verde / humus + HMA) con el tratamiento inoculado con HMA pero en presencia solo del abono verde, donde el primero tiene un comportamiento muy superior al segundo, indicó que efectivamente en estos suelos la aplicación de abonos verdes no garantizó totalmente los requerimientos nutricionales para una micorrización efectiva.

Tabla 22. Efecto de los abonos verdes e inoculación con HMA sobre la producción de área foliar, porcentaje de colonización y masa del endófito arbuscular en Nitisoles districos (Ferralíticos Rojos Lixiviados de montaña) (Sánchez, 2001).

Tratamientos	Años 1996 - 97			Años 1997 - 98		
	Área foliar (cm ²)	Col. (%)	E. A (mg.g) ⁻¹	Área foliar. (cm ²)	Col. (%)	E. A (mg.g) ⁻¹
Suelo	141.0 e	23.0f	6.12 h	153.1 f	24.3 g	5.80 f
Suelo + HMA	144.0 e	25.0 f	6.10 h	154.0 f	31.0 e	7.86 e
Canavalia	223.0 d	27.3 de	7.17 f	215.0 e	30.0 ef	9.83 d
Canavalia + HMA	251.0 d	40.0 c	12.08 e	261.0 de	47.0 b	14.11 c
Crotalaria	243.0 d	33.3 d	13.07 d	257.0 de	36.0 d	12.32 cd
Crotalaria + HMA	290.0 c	56.0 a	17.00 b	297.0 bc	51.0 a	17.00 b
Sorgo	285.0 c	46.0 b	13.00 d	266.1 cd	40.0 c	16.80 b
Sorgo + HMA	321.0 b	55.0 a	21.20 a	330.0 b	49.0 ab	19.15 a
3:1	410.0 a	27.0 de	16.90 b	416.0 a	28.0 f	15.96 b
3:1 + HMA	432.0 a	28.0 de	19.43 ab	440.0 a	30.0 ef	18.80 a
CV %	6.37	7.72	4.06	9.08	5.85	6.93
E.S ± Trat	10.08***	1.19***	0.279***	14.64***	0.905**	0.519***

Leyenda: 3:1, Tratamiento recomendado en las normas técnicas. HMA = *Glomus intraradices*

*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para $p \leq 0.001$.

Se vuelve entonces necesario complementar con algunas cantidades de abono orgánico (relación 9/1), las cuales fueron muy inferiores a las previamente encontradas para una óptima micorrización en este tipo de suelo (5/1) o a las utilizadas en la producción para la obtención de posturas de cafeto (3/1).

En forma similar la alta respuesta a la inoculación con HMA de la combinación abonos verdes: humus de lombriz (9:1), indicó que en estos suelos tampoco se logró una reproducción efectiva de la micorriza nativa por el crecimiento previo de los abonos verdes, lo que indica que o bien los propágulos nativos se encontraron en muy bajas cantidades, o que las especies presentes no fueron eficientes.

No obstante en estos suelos se encontró una reducción significativa y sustancial de la aplicación inicial de humus, del orden del 60 % de ésta, siendo necesarias aplicaciones de humus de lombriz en la proporción 9:1 e inocular con cepas eficientes de HMA para obtener posturas de óptimo crecimiento.

Tabla 23. Efecto de los abonos verdes, orgánicos e inoculación con HMA sobre la producción de posturas de cafetos en Luvisoles crómicos (Fersialíticos Rojos Lixiviados) (Sánchez, 2001).

Tratamientos	Años 1995 - 96	Años 1996 - 97		
	Área foliar (cm ²)	A. foliar (cm ²)	Col. (%)	E. A (mg.g) ⁻¹
Suelo	216.20 e	221.50 d	16.33 e	7.34 f
Suelo + HMA	227.05 e	230.00 d	25.33 d	8.34 f
SAV	296.19 d	315.83 c	37.33 c	14.86 cd
SAV + HMA	360.00 c	360.67 b	53.00 a	19.64 ab
9:1 SAV	359.98 c	371.00 b	29.00 d	14.80 cd
9:1 SAV + HMA	420.00 a	438.00 a	46.66 b	21.00 a
7:1 SAV	390.00 b	411.00 ab	28.00 d	15.60 c
7:1 SAV + HMA	426.00 a	445.83 a	46.33 b	19.00 b
5:1 SAV	424.10 a	413.83 ab	25.40 d	11.00 e
5:1 SAV + HMA	414.00 ab	443.50 a	34.33 c	13.40 d
3:1 N.Téc.	417.14 ab	438.12 a	27.12 d	10.00 ef
3:1 N. Téc. + HMA	412.00 ab	437.33 a	28.33 d	13.00 d
C.V %	4.60	11.69	6.70	5.89
E.S ± Trat.	9.57***	17.44**	1.24***	0.47**

Leyenda: 3:1, normas técnicas. HMA = *G. fasciculatum*. AV= mezcla de suelo y *Crotalaria*. 3:1, 5:1, 7:1 y 9:1. Relaciones de suelo abono verde: humus de lombriz.

Un aspecto interesante encontrado en este último experimento fue que cantidades superiores de humus de lombriz a la relación 9:1, en presencia de la incorporación de los

abonos verdes, no conllevaron a incrementos significativos en el área foliar de las posturas, e inclusive originaron disminuciones en los valores de EA.

Esta conducta fue indicativa de que las dosis superiores de humus de lombriz deprimieron la micorrización, explicable por el efecto negativo de la alta disponibilidad de nutrientes sobre la simbiosis micorrízica. Este efecto fue reportado anteriormente en presencia de altas dosis de abonos orgánicos o de fertilizantes minerales (tópicos 3.3.1.1 y 3.3.2.1).

En los Nitisoles dísticos, Ferralíticos Rojos Lixiviados, (Tabla 24) se encontró que fue necesario adicionar cantidades mayores de abono orgánico que en los Luvisoles (Ferralsíticos Rojos lixiviados) y alcanzar entonces una relación de 7:1, para lograr un

Tabla 24. Efecto de los abonos verdes, orgánicos e inoculación con hma sobre la producción de posturas de cafetos en un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (Nitisol Dístico) (Sánchez, 2001).

Tratamientos	Campaña 1997 - 98			
	Campaña 1996 - 97 Área foliar (cm ²)	Área foliar (cm ²)	Col. (%)	E. A (mg.g) ⁻¹
Suelo	141.00 d	153.12 g	24.33 e	5.80 g
Suelo + HMA	144.00 d	157.00g	31.00 d	7.86 f
SAV	285.00 c	286.00 f	40.00 c	16.80 d
SAV + HMA	321.00 c	330.27 de	49.00 b	19.15 c
9:1 SAV	313.00 c	306.00 ef	36.33 c	14.25 e
9:1 SAV + HMA	360.00 b	357.00 cd	50.33 ab	23.25 b
7:1 SAV	374.00 b	381.00 bc	39.33 c	13.90 e
7:1 SAV + HMA	421.00 a	446.21 a	54.00 a	30.40 a
5:1 SAV	430.00 a	441.00 a	38.33 c	16.73 d
5:1 SAV + HMA	434.10 a	445.31 a	46.00 b	17.44 d
3:1 N.Téc.	410.00 a	416.87 ab	28.00 de	15.96 d
3:1 N. Téc. + HMA	432.00 a	440.23 a	30.00 d	23.40 b
C.V %	6.68	6.63	7.20	5.20
E.S ± Trat.	13.07**	13.27**	1.21**	0.48**

Leyenda: 3:1, normas técnicas. HMA = *G. intraradices*. AV= mezcla de suelo y Sorgo. 3:1, 5:1, 7:1 y 9:1 Relaciones de suelo abono verde: humus de lombriz.

*Medias con letras iguales en la misma columna no difieren significativamente para $p \leq 0.001$.

sustrato adecuado que garantizara en unión de los abonos verdes y con la inoculación de HMA, posturas vigorosas con un adecuado crecimiento y una óptima micorrización, logrando sustituir hasta el 50 % de las cantidades de humus de lombriz.

De forma general se encontró que la utilización del sorgo o la crotalaria como abonos verdes, creciendo en el propio suelo que se va a utilizar para el desarrollo de las posturas, no solo presentaron una alta repercusión económica al sustituir cantidades importantes del abono orgánico, sino que además se integraron perfectamente dentro del sistema de producción de posturas micorrizadas.

El uso de los abonos verdes no se debe circunscribir a la aplicación conjunta con cepas eficientes de HMA al sembrar el cafeto, sino que su mayor importancia debe estar dada por la inoculación inicial de las especies de abonos verdes con cepas eficientes de HMA y su posterior reproducción “in situ”, por el propio crecimiento del abono verde, conformando un sustrato con muy alta concentración de propágulos eficientes y ser entonces la vía por la cual se logrará una también efectiva y aún más económica micorrización de las posturas.

2.7. Sistemas agrícolas micorrizados eficientemente

A lo largo de estos capítulos se ha podido comprobar la importancia de la simbiosis micorrízica para la vida vegetal, permitiendo que las plantas incrementen la eficiencia de los procesos de absorción de nutrientes y agua y por lo tanto se adapten mejor a condiciones de estrés nutricional e hídrico, pero esto no significa que la utilización práctica de la simbiosis debe quedar relegada a condiciones de estrés.

Ha quedado claro que la simbiosis micorrízica es tan consustancial con el desarrollo de las plantas como lo son los microorganismos del género *Rhizobium* con las leguminosas, existiendo suficiente información que permite la conceptualización e instrumentación de sistemas agrícolas que se basen en el modelo de plantas micorrizadas eficientemente.

Estos sistemas serían válidos no solo para condiciones de bajos insumos, sino también para las condiciones de una agricultura tecnificada que permita obtener altos rendimientos y en cualesquiera de los casos se potencie la vida biológica del suelo, disminuyan las contaminaciones por aplicaciones excesivas de fertilizantes y los efectos negativos de la sequía sobre las plantaciones agrícolas.

Los resultados expuestos en este capítulo establecen las bases para el manejo exitoso de esta simbiosis en la agricultura, quedando claro el papel determinante del tipo de suelo

como criterio para seleccionar e inocular cepas eficientes, e incluso para manejar algunas de las prácticas que incrementan la efectividad de la micorrización.

El hecho de encontrar una respuesta positiva a la inoculación de cepas eficientes en un amplio espectro de suelos, indica la existencia de bajas cantidades de propágulos nativos eficientes en los agrosistemas evaluados, demostrando la importancia agrícola de la simbiosis micorrízica más allá de las condiciones de suelos erosionados y de baja fertilidad, así como corrobora la necesidad de inocular cepas eficientes, previamente seleccionadas, como vía para garantizar concentraciones adecuadas de propágulos infectivos y eficientes.

La propia característica de la baja especificidad cepa – cultivo simplifica el manejo y permite además entrelazar exitosamente la efectividad de las inoculaciones de cepas eficientes en los cultivos componentes de las secuencias, existiendo evidencias importantes sobre la permanencia efectiva del inóculo aplicado al menos para el cultivo posterior, lo cual fortalece el uso de los abonos verdes, no solo como fuente de nutrientes y carbono, sino como una vía para potenciar los propágulos de cepas eficientes en el suelo.

Asimismo quedó establecido el concepto de suministro óptimo de nutrientes para las plantas micorrizadas, el cual permite la obtención de altos rendimientos. Este suministro de nutrientes puede ser dado en forma de abonos orgánicos o fertilizantes minerales y en cualesquiera de los casos las dosis a aplicar para plantas micorrizadas eficientemente, serán menores que las necesarias para alcanzar rendimientos similares en ausencia de la micorrización.

Las dosis de fertilizantes que comúnmente se recomiendan para la obtención de altos rendimientos inhiben la micorrización y suministros inferiores al óptimo para plantas micorrizadas limitan asimismo la efectividad de la simbiosis.

Dos importantes aspectos se desprenden de lo anterior: 1) la compatibilidad entre la simbiosis micorrízica y un manejo adecuado de la fertilización y 2) la necesidad de redefinir para los cultivos micorrizados eficientemente, los requerimientos de fertilizantes e índices críticos de los nutrientes en el suelo.

El propio concepto de rizósfera se amplía a hifósfera o micorrizósfera estableciéndose, entre otras, relaciones mutuamente beneficiosas con diferentes grupos microbianos (Fitter y Garbaye, 1994 y Gryndler, 2000), siendo la base de las asociaciones tripartitas obtenidas por coinoculación y entre las que se destacan: con *Rhizobium sp.* en leguminosas, con

Azospirillum sp. en arroz, tomate y maíz; con *Burkholderia cepacia* en papa y con *Azotobacter chroococcum* en cafeto, tomate, maíz, hortalizas en general, las cuales se han evaluado satisfactoriamente en condiciones experimentales y algunas en grandes áreas productivas (Rivera, *et al.*, 1993; Medina, *et al.*, 1994; Gómez, *et al.*, 1995; Corbera y Hernández, 1997; Rivera *et al.*, 1997; INCA, 1999; Hernández, 2002; Terry *et al.*, 2002).

A partir de la universalidad de la simbiosis endomicorrízica (Barea *et al.*, 1991) y de los diferentes resultados alcanzados surge el concepto de sistemas agrícolas micorrizados eficientemente (Rivera, 2000), que se basan en el modelo de la planta micorrizada efectivamente, obtenida a través de la inoculación de cepas eficientes y de un manejo que permita la máxima efectividad.

En la figura 12, se ejemplifican dos tipos de sistemas agrícolas micorrizados ambos basados en la inoculación de cepas eficientes. Los sistemas agrícolas micorrizados extensivos (SAM) y los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente (SAME).

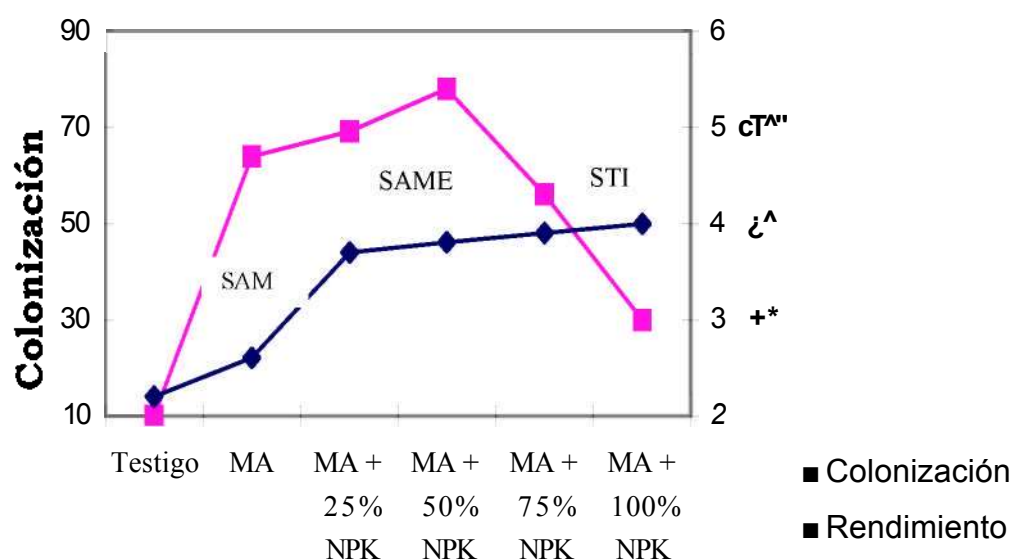


Figura 12. Tipos de sistemas agrícolas micorrizados en función del suministro de nutrientes.

En los primeros si bien no se garantizan todas las necesidades nutricionales de las plantas micorrizadas (agricultura de bajos insumos) y por ende los rendimientos no serán altos, sin

embargo se encuentra una respuesta exitosa a la inoculación, y los rendimientos son superiores a los obtenidos en ausencia de ésta.

En los segundos se garantizan los requerimientos de nutrientes de las plantas micorrizadas y se obtiene por tanto un óptimo desarrollo de la micorrización y de las plantas micorrizadas, así como altos rendimientos propios de una agricultura intensiva, siendo asimismo más resistentes a las condiciones de estrés hídrico y con menores requerimientos de fertilizantes minerales u orgánicos que los sistemas tradicionales intensivos (STI).

En la vida vegetal ha estado siempre presente esta simbiosis (Pate, 1994; Fitter y Moyersoen, 1996) y por tanto, en la propia práctica agrícola, pero en la mayoría de los casos de forma no eficiente y casi nunca consciente.

Lo que se pretende entonces, es potenciar este fenómeno e introducirlo consciente y efectivamente como base para la explotación agrícola. La base productiva son las plantas micorrizadas eficientemente, por lo que alrededor de estas se establecen y desarrollan las diferentes prácticas agrícolas que buscan y garantizan la optimización del sistema.

Es importante señalar por tanto, que la inoculación de cepas de HMA no se debe entender como la aplicación de un producto más en la agricultura, sino como un concepto de hacer agricultura. Una agricultura con una esencia agroecológica, conservacionista, protectora del medio ambiente y del recurso suelo y cuya implementación garantizará además altos rendimientos y responderá positivamente a las expectativas económicas, ambientales y sociales que exige el siglo XXI a la producción agrícola.

2.8. Referencias

- Barea, J. M. /et al./. Morfología, anatomía y citología de las micorrizas va. En: Fijación y Movilización de Nutrientes. Madrid. Tomo II. p 150 - 173. 1991.
- Barros, A. Micorrizas vesículo arbusculares em cafeiros da regio sul do estado de Minas Gerais. Tesis presentada para optar por maestría. Lavras.Minas Gerais. 97 p. 1987.
- Bianciotto, V.; Lumini, E.; Ianfranco, I. /et al./. Detection and identification of Bacterial Endosymbionts in Arbuscular Mycorrhizal Fungi Belonging to the Family Gigasporaceae. **Applied and Environmental Microbiology**. 66(10): 4503 - 4509. 2000.

- Corbera, J. y A. Hernández. Evaluation of the Rhizobium - MVA association on the growth and development of the cultivation of the soybean (*Glicine* [max] L. Merrill). **Cultivos Tropicales** 18 (1): 10 - 12, 1997.
- Corbera, J., Coinoculación *Bradyrhizobium japonicum* – Micorriza Vesículo Arbuscular como fuente alternativa de fertilización para el cultivo de la soya. **Cultivos Tropicales** 19 (1): 17 – 20, 1998.
- Chu, E. Y. e U. Diekmann. Efeito das actividades agricolas em populacao de fungo endomicorrízico nativo do solo da Amazonia Oriental. Florianópolis, S. C, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM,. p. 11. 1994.
- Dodd, J. C. y B. D. Thompson. The screening and selection of inoculant arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. **Plant and Soil**. 159, 149 - 158. 1994.
- FAO-Unesco. Soil Map of the World. Revised Legend. Reprint of World Soil Resources Report 60. FAO, Rome, 1988. 138p. 1989
- Fernández, F. Manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas de cafeto (*C. arabica* L. var. Catuaí) en algunos tipos de suelos. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas), INCA 102 p., 1999.
- Fitter, A. H. y J. Garbaye. Interactions between micorrhizal fungi and others soil organism. **Plant and Soil**. 159, 123 - 132. 1994.
- Fitter, A. H. y B. Moyersoen. Evolutionary trends in root - microbe symbioses. **PHIL. Trans. R. Soc. London**. B 351, 1367 - 1375. 1996.
- Furrazola, E. /et al./. Algunas especies de la familia *Endogonaceae* asociadas a eco y agroecosistemas de montañas. Resúmenes del V Congreso Latinoamericano de Botánica. La Habana. p 5. 1990.
- George, E. Nutrient uptake. En. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- Gianinazzi - Pearson, V. y S. Gianinazzi. The physiology of vesicular - arbuscular mycorrhizal roots. **Plant and Soil**. 71: 197 - 209. 1983.
- Gianinazzi - Pearson, V. y S. Gianinazzi. The physiology of improved phosphorus nutrition in mycorrhizal plants. En: Physiological and Genetics aspect of Mycorrhizae. Eds.:V. Gianinazzi - Pearson y S. G. Gianinazzi) INRA Paris. pp 101 - 109. 1989.

- Gómez, R. /et. al/. Aplicación conjunta de hongos MA y bacterias rizosféricas mediante la técnica de recubrimiento de semillas. En: Informe anual del Dpto. de Biofertilizantes. Documento interno INCA. 21p. 1995.
- Gryndler, M. Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. En. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Eds.: Kapulnik, Y. y D. D. Douds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000.
- Harley, J. L y S. E. Smith. Mycorrhizal Symbiosis. Ed Academic Press. New York. 483 p. 1983.
- Hernández A., y A.N. Hernández. Efecto de la interacción *Rhizobium*-MA en el cultivo de la soya(*Glicine max* (L) Merrill). **Cultivo Tropicales** 17(1): 5-7, 1996.
- Hernández, A., /et al./. Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos. MINAG, 1999.
- Hernández-Zardón A., Manejo agronómico integral de sustratos, métodos de siembra y biofertilización en la producción sostenible de tubérculos-semilla de papa por semilla sexual. **Cultivos Tropicales** 22(2): 21-27, 2001
- Hernández, M. I. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral del tomate (*Lycopersicum sculentum* Mill.). Tesis de Maestro en Ciencias, INCA, 65 p., 2000.
- Herrera, R. A. /et al./. Fertilización y micorrizas VA. Parte II. Efecto del nitrógeno, fósforo y el potasio sobre el crecimiento y las micorrizas d ela majagua. En: Veinte Aniversario de la colaboración checo-cubana en el ,campo de la Botánica. **Acta Botánica Cubana**, 20: 93- 110, 1984.
- Herrera, R. A. /et al./. Informe de Dpto. de Ecología de Suelos. IES. ACC.1991.
- Herrera, R. A. /et al./. Estrategia de Funcionamiento de las Micorrizas VA en un Bosque Tropical. Biodiversidad en Iberoamérica: Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales (Eds. Maximina Monasterio). Programa Iberoamericano de Ciencia y tecnología para el desarrollo. Subprograma XII, Diversidad Biológica, Mérida, 1995.
- Hoflich, G. /et al./. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganism. **Experientia**. 50, 897 - 905. 1994.
- Howeler, R. H. Aspectos prácticos de la investigación de micorrizas vesículo - arbusculares demostrados en el cultivo de la yuca. Cali: CIAT, p. 44 - 61,1985.

- INCA Efecto de las aplicaciones del biofertilizante Ecomic (HMA) en cultivos de interés económico, durante el periodo 1990 - 1998. Informe de investigaciones INCA (La Habana) , 45 p. 1999.
- Joao J. P. Efectividad de la inoculación de cepas de HMA en la producción de posturas de cafeto sobre suelos Ferralítico Rojo compactado y Ferralítico Rojo Lixiviado de montaña. Tesis de Maestría “Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes” INCA, 85 p., 2002.
- Lópes, E. S; R. Díaz y A. M. Costa. Problemas no desenvolvimento e na colonizacão micorrízica natural de mudas de café em viveiro. En: Reuniao Brasileira Sobre Micorrizas. Lavras. 156 p. 1986.
- Marschner, H. y B. Dell. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**. 159: 89 - 102. 1994.
- Medina, N /et al./. Evaluación agronómica de diferentes biofertilizantes en la nutrición mineral del Tomate (*Lycopersicum sculentum*, Mill) En: Resúmenes IX Seminario Científico INCA. 1994.
- Medina, N. et al., Uso y manejo de micorrizas arbusculares y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en los principales cultivos de interes económico para Cuba. Informe Final Proyecto PNCT 002 00106. INCA,1999.
- Minerdi, D.; Fani, R.; Gallo, R. /et al./. 2001. Nitrogen Fixation Genes in an Endosymbiotic *Burkholderia* Strain. **Applied and Environmental Microbiology**. 67(2): 725 - 732. 2001.
- Mirabal L., Ortega, E. y R. Rodes. Influencia de bacterias endospóricas de *Glomus clarum* en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Rev. Terra** (en prensa) 2003.
- Packovsky, R. S. /et al./. Comparison between P-Fertilizer and Mycorrhizal Plants. **Crops Science**. 26, 151 - 156. 1986 a.
- Packovsky, R. S. /et al./. Nutrient and growth interactions in soybeans colonized with *Glomus fasciculatum* and *Rhizobium japonicum*. **Plant and Soil**. 92, 37 - 45. 1986 b.
- Pate, J. S. The Mycorrhizal Association: Just one way nutrients acquiring specialization in natural ecosystem. **Plant and Soil**. 159, 1 - 10. 1994.

- Phillips, J. M. y D. S. Hayman. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection **Trans. Brit. Mycol. Soc.** 55, 1970.
- Portieles, J. M.; Ruiz, L. y E. Sánchez. Estudio del consumo y coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*) **Cienc. Téc. Agric. V. Trop.** 6(1-2): 85 - 100, 1983.
- Portieles, J. M.; Ruiz, L.; A. de la Nuez *et al.*. Estudio del consumo y los coeficientes de aprovechamiento de los fertilizantes y el suelo en el cultivo de la malanga isleña (*Colocasia esculenta*). **Cienc. Téc. Agric. V. Trop.** Suplemento 33 - 44, 1982.
- Primavesi, A. Manejo ecológico do solo. A. agricultura em regioes tropicais. Sao Paulo: Livraria Novel S.A., 1990. p. 164 - 197. 1990.
- Riera, M. Comunicación personal. 2002.
- Rivera, R. Disponibilidad de nutrientes y fertilización en los sistemas agrícolas micorrizados: resultados en la producción de posturas de cafeto y de raíces y tubérculos. XII Seminario Científico del INCA. Libro de Resúmenes. La Habana, Nov. 2000.
- Rivera, R. *et al.*. Efectividad de la simbiosis micorrízica, suministro de nutrientes y nutrición de las plantas. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Libro de Resúmenes, Cuba 2001.
- Rivera, R.; F. Fernández; C. Sánchez *et al.*. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos (VA) y bacterias rizosféricas sobre el crecimiento de las posturas de cafeto. **Cultivos Tropicales** 18(3): 15 - 23, 1997.
- Rivera, R. A. *et al.*. Efecto de la coinoculación *Azospirillum brasilense* y hongos micorrizógenos va en el cultivo del arroz. En: Informe del trabajo anual de 1992 sobre Biofertilizantes. INCA. Documento Interno. La Habana. 15 p. 1993.
- Rodríguez, I. Certificado de Introducción del resultado científico técnico “Utilización del humus de lombriz en la producción de posturas de cafeto”. Dirección Nacional de Café y Cacao. 1p. 1992.
- Ruiz, L. Efectividad de las asociaciones micorrízicas en especies vegetales de raíces y tubérculos en suelos pardos con carbonatos y Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba. Tesis de grado (Dr. En Ciencias Agrícolas) INCA 117p., 2001.

- Ruiz, L. y J. M. Portieles. Estudio de la interacción de NPK sobre los rendimientos del boniato (*Ipomoea batatas* Lam.) en la época de primavera. **Ciencia Téc. Agric. V. Trop.** 8(2): 53 - 69, 1985.
- Ruiz, L.; Milián, J. O. y J. M. Portieles. Clima, suelo y fertilización en el cultivo del ñame (*Dioscorea* spp.). Boletín de Reseñas Viandas Tropicales 6: 15 - 25, 1990.
- Ruiz, L y R. Rivera. Ruiz L y R. Rivera. La importancia del tipo de suelo en la selección de especies eficientes de HMA en la horticultura tropical. **Horticultura Mexicana Vol. 8 : , 2001.**
- Sánchez C. Uso y manejo de los hongos micorrizógenos y abonos verdes en la producción de posturas de cafeto en algunos suelos del macizo Guamuhaya. Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas), INCA 105 p. 2001.
- Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Federal Republic of Germany. 371 p. 1991.
- Siqueira, J. O. y A. A. Franco. Biotecnología do solo. Fundamentos e Perspectiva. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS. Brasília, D. F . 235 p. 1988.
- Siqueira, J. O. /et al./. Micorrizas vesículo arbusculares en mudas de cafeeiro produzidas no sul do estado de Minas Gerais. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasília. 22 (1), 31 - 38, 1987.
- Sivila, R. C. y D. Herve. Comportamiento microbiológico del suelo en terrenos agrícolas en descanso. Florianópolis, SC, Brazil: Univ. Federal Sta. Catarina. Resúmenes V REBRAM, p. 12. 1994.
- Terry E., M.A. Pino y N. Medina. Efectividad agronómica de Azofert y EcoMic en el cultivo del tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill). **Cultivos Tropicales** 19 (3): 33-37, 1998.
- Terry E., Z. Terán, M.A. Pino et al., . Biofertilizantes , una alternativa promisorio para la producción hortícola en organopónicos. **Cultivos Tropicales**, 23(3): 43-46, 2002.
- Trappe, J. M. Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. En: Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Eds.: Safir, G. R. CRC Press. Boca Raton. P 5 – 25. 1987.

CAPÍTULO 3. AVANCES EN LA PRODUCCIÓN DE INOCULANTES MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

3.1. Metodologías generales de cultivo de hongos Glomales

Para realizar el cultivo de los hongos Glomales se han propuesto diversas metodologías, unas más complejas que otras, pero todas con un denominador común: involucran una planta hospedera o explantes de raicillas, ya que estos micetos se asocian con las plantas debido a su condición de simbiosis obligados para cumplimentar su ciclo de vida satisfactoriamente.

Lo que diferencia realmente una metodología de otra es el medio en el cual se desarrolla esta simbiosis.

Las tecnologías más utilizadas son aquellas que involucran a la planta en un medio o sustrato sólido, empleando materiales que van desde suelo, turba, perlita, vermiculita, arena, arcilla, arcilla calcinada, varios compostales vegetales y forestales y / o mezclas de algunos de ellos (Morton *et al.*, 1993).

También se han hecho crecer plantas en medios hidropónicos, poniendo en contacto a las raicillas micorrízicas con una fina película de solución nutritiva que fluye de manera continua y a velocidad constante, aportando todos los requerimientos nutrimentales de la planta. Esta metodología tiene como inconveniente que es preciso ser muy riguroso en el control del pH de la solución, pues al no encontrarse en el suelo, carece por lo tanto de la capacidad de estabilización química o buffer y el mismo puede variar con la entrada al medio de los exudados de la planta. Por otra parte, es necesario preinocular la planta con el hongo deseado, previo al contacto con la solución nutritiva (Elmes *et al.*; 1984).

Otra importante metodología propuesta para la producción de inoculante micorrízico, lo constituye sin duda el cultivo aeropónico, desarrollado por Hung y Sylvia (1988), el cual se basa en el cultivo de plantas preinfectadas en una cámara oscura, donde sus raicillas colonizadas con el hongo deseado, son irrigadas temporalmente a través de un dosificador de solución nutritiva, creciendo de forma acelerada de 12 a 15 semanas. Posteriormente, las raicillas y propágulos micorrízicos son cosechados o removidos de la cámara, los segmentos radicales cortados a 1 cm, y las esporas aisladas por tamizado, para su posterior uso. Según Sylvia y Jarstfer (1992), se logra un material muy homogéneo y libre de patógenos.

La técnica más novedosa desde el punto de vista científico, resulta el cultivo dual de raíces y hongos micorrizógenos (cultivo monoaxénico). Estos trabajos iniciaron con el cultivo *in vitro* de micorrizas por parte de Mosse y Hepper (1975), en raíces de tomate, pero no fueron muy tomados en cuenta, hasta que Mugnier y Mosse, (1987) lograron la producción *in vitro* usando raíces transformadas por el plásmido RitDNA presente en las bacterias *Agrobacterium tumefaciens* y *Agrobacterium rhizogenes*.

A partir de entonces se han desarrollado muchos protocolos para el crecimiento *in vitro*, los cuales se realizan en tres fases, esterilización superficial de esporas y raíces, incubación de placas durante 12 semanas y cosecha de inoculante micorrízico concentrado.

Este método resulta muy prometedor para la producción de inoculante micorrízico arbuscular, sin embargo, este tipo de cultivo monoaxénico no es tan sencillo pues debe tomarse en cuenta que cada especie de hongo micorrizógeno y de hecho cada una de las simbiosis, constituyen un sistema con diferentes requerimientos nutricionales, aún en órganos individuales, como es el caso de la raíz.

Por otra parte, el hecho de que todavía no están bien establecidos los niveles de atmósferas de CO₂ que propician el intercambio gaseoso de la simbiosis, las fuentes de nutrientes, los requerimientos de cada hongo que se pretenda cultivar, los microorganismos de naturaleza endófito que intervienen en el proceso, etc., apoya la necesidad futura de esfuerzos de investigación profunda en esta metodología tan prometedora.

Actualmente, cuando se pretende potenciar la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares, el uso de sistemas que involucren sustratos sólidos, suelos o la mezcla de este último con sustancias inertes, presentan una superioridad clara en cuanto a la cantidad de especies y géneros de Glomales que pueden ser cultivados (Fig. 13).

Además, otra de las ventajas de la producción de micorrizas en sustratos sólidos y / o suelos, consiste en que se puede almacenar por periodos largos de tiempo de hasta 5 años a temperaturas de 4 °C (Morton, 1993).



Figura 13. Número de especies y géneros totales de Glomales cultivados de acuerdo al medio de cultivo en donde se desarrollen. (Tomado de <http://invam.caf.wvu.edu>.)

3.2. Producción de inóculos micorrízicos

El avance que se ha logrado en el tema de las asociaciones micorrízicas incluye también el desarrollo de técnicas que permiten la producción masiva de inoculante de alta calidad; sin embargo, siempre serán necesarios los estudios ecológicos para la selección de nuevas especies, e incluso de ecotipos de una misma especie adaptados a ambientes específicos (Manjares *et al.*, 2000).

3.2.1. Tipos de Hongos. Características principales de su producción

El grupo de investigación que dirige la colección más prestigiosa de especies de Glomales, INVAM, ha recuperado, durante la producción continua de micorrizas arbusculares con fines taxonómicos, suficiente información acerca de las principales características reproductivas de las especies que forman la asociación micorrízica arbuscular (INVAM, 1993). De esta forma, determinaron diferencias esenciales relacionadas con el potencial infectivo y la genealogía de los organismos fúngicos.

De acuerdo con esto, se presentan consistentes y marcadas diferencias entre los miembros de *Gigaspora* y *Glomus*, los géneros más cultivados y estudiados en la literatura y a su vez, más extendidos en el planeta. A continuación detallaremos las diferencias esenciales entre estos géneros, las cuales pueden ser extrapoladas a los dos subórdenes existentes en los Glomales: Gigasporinae y Glominae (Ver Capítulo 2).

Género: *Gigaspora*

Según Biemann y Linderman (1983), solo las esporas parecen ser los propágulos infectivos en las especies pertenecientes a este género y el 90 % de las que han sido aisladas de suelos tienen capacidad infectiva. Según Walker (1992), su distribución en Europa es muy baja o nula.

Género: *Glomus*

Todos los propágulos son altamente infectivos, por lo tanto el cultivo de ellos se puede comenzar a partir de cualquiera de las partes deseadas; los inóculos, aún sin esporas mantienen un elevado potencial infectivo. Generalmente las especies de este género han sido reportadas como eficientes en los diferentes tipos de suelos estudiados (Ver Capítulo 3).

3.2.2. Plantas hospederas para la reproducción de inoculante micorrízico

Otro aspecto importante a la hora de reproducir estos hongos es el genotipo del hospedante. Con relación a esto se debe seleccionar una especie con dependencia micorrízica, preferentemente una planta de ciclo corto (4 - 6 meses), que posea a su vez un sistema radical que garantice una adecuada producción de propágulos micorrízicos. Entre las especies que han demostrado ser buenas hospedantes se encuentran:

Brachiaria decumbens, *Plantago lanceolata*, *Sorghum bicolor*, *Sorghum vulgare*, *Paspalum notatum*, *Fragaria sp.*, *Zea mays* y *Allium cepa*.

3.2.3. Producción de inoculantes comerciales

La producción de inoculantes de HMA tiene características peculiares, puesto que para completar su ciclo de vida necesitan reproducirse en las raíces de una planta hospedera donde colonizan las raicillas y desarrollan los propágulos fúngicos, todo lo cual constituye en su conjunto el inóculo micorrízico, a diferencia de la gran mayoría de los inoculantes microbianos que son obtenidos por vía fermentativa de manera artificial (Sieverding, 1991). En el presente documento, se hará énfasis en la producción de inoculante sólido a escala comercial y en especial, los avances obtenidos en Cuba en la utilización de un inóculo de este tipo, diseñado para el revestimiento de semillas de especies vegetales de siembra directa en campo, como los granos, leguminosas, etc.

El proceso de producción del inóculo tiene dos etapas fundamentales:

- 1.- Producción de la fuente de inoculante primaria o inóculo certificado.
- 2.- Producción del inoculante agrícola o comercial.

3.2.3.1. Inóculo certificado

La primera etapa se considera esencial, pues de esta dependerá el éxito en los sucesivos pasos de la obtención del inoculante micorrízico.

En este caso se puede partir de diferentes fuentes de inóculo como esporas, hifas, micelio externo del hongo o de las propias raicillas colonizadas. Sin embargo, en las especies del género *Glomus* se recomienda comenzar el proceso a partir de una o varias esporas pregerminadas, en ausencia de micelio externo u otro resto de propágulos, debido a que las esporas pertenecientes a este género poseen un elevado poder infectivo y por otra parte, resultaría más fácil evitar contaminaciones con otros hongos micorrízicos no deseados (Morton *et al.*, 1993).

En esta etapa, el primer aspecto que tiene que ser abordado es la selección de cepas altamente infectivas y efectivas.

Actualmente existen varias técnicas para reproducir el inóculo certificado, sin embargo, el cultivo en recipientes con sustratos sólidos estériles individuales o una mezcla de ellos y una planta hospedera, proporciona un ambiente adecuado para la gran mayoría de las especies de HMA que se conocen.

En este sistema se reproduce el inóculo a partir de la aplicación de la cepa pura debajo de la semilla del hospedero seleccionado y la correspondiente asociación que se establecerá entre la planta y el hongo, alcanzándose, al concluir el ciclo biológico del cultivo, las mayores cantidades de propágulos infectivos (Fig. 14 a).

Durante el crecimiento y desarrollo de la simbiosis micorrízica en este sistema, es recomendable mantener un nivel balanceado entre los elementos nutritivos, de manera que no se creen desequilibrios nutrimentales que afecten el desarrollo de la misma. Para evitar este fenómeno, se aplican diferentes soluciones nutritivas de acuerdo a las necesidades de las plantas, sin afectar el funcionamiento micorrízico.



Fig. 14. Diferentes fases del proceso de producción de EcoMic®. Producción y almacenamiento de inóculo certificado (a y b); áreas de producción y de secado del inóculo agrícola (c, d, e y f).

En el caso concreto de nuestro Instituto (INCA), se realiza el paso previo de multiplicación a partir de inoculantes monospóricos el cual, después del segundo o tercer ciclo, garantiza la presencia de un morfotipo específico que es empleado integralmente como fuente para la obtención del inóculo certificado, incluyendo no solo esporas, sino además fragmentos de raicillas colonizadas y de hifas o micelio externo del hongo.

Por supuesto, esto se realiza siempre y cuando exista un adecuado control de calidad y seguridad que garantice la pureza de la especie reproducida.

Una vez concluido el ciclo de vida de la planta hospedera se procede a separar la parte aérea, dejándose secar el sustrato en el propio recipiente a temperatura ambiente, conteniendo este las raicillas colonizadas, el micelio externo y las esporas que en su totalidad constituyen el inóculo certificado. Este tipo de inoculante debe ser extremadamente puro, pues de ello dependerá la futura producción masiva de esta cepa en la fase agrícola

Posterior al secado, se empaca en bolsas de polietileno o se envasa en recipientes plásticos herméticos para posterior almacenamiento en cámara fría a 4 °C (Fig. 14 b).

En nuestra experiencia, hemos mantenido inoculantes sólidos almacenados de manera viable hasta un período de dos años y una concentración final de esporas. gramo^{-1} de sustrato que oscila entre 120 y 350, de acuerdo al tipo de especie multiplicada y la época del año en que se desarrolla la simbiosis. Las mejores producciones generalmente se obtienen en el período de verano, con temperaturas medias que oscilan entre 30-32° C, coincidentemente, con la mejor etapa de reproducción del *Sorghum vulgare* (Tabla 25).

Tabla 25. Concentración de esporas y tiempo máximo de almacenamiento de las principales especies de la colección del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. (Cuba).

Clave	Especie de HFMA	Concentración Esporas. gramo^{-1}		Tiempo máximo de almacenamiento (años)
		Primavera	Otoño -	
Incam 2	<i>Glomus clarum</i>	- Verano	Invierno	2
Incam 3	<i>Glomus spurgum</i>	250	175	1.5
Incam 4	<i>Glomus fasciculatum</i>	274	215	1.5
Incam 5	<i>Glomus mosseae</i>	150	75	1
Incam 7	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	126	85	1

3.2.3.2. Inoculantes agrícolas

El inoculante micorrízico puede ser producido con fines investigativos en una escala menor, bajo condiciones controladas, sin embargo el empleo de este producto biológico en una escala productiva, conlleva a un redimensionamiento tanto en tamaño como en calidad. La producción de inóculo agrícola de micorrizas arbusculares es esencialmente similar al certificado en cuanto a normas de procedimiento, lo que cambia entonces son las condiciones y los materiales que se usan para su obtención.

Generalmente la mayoría de los productores de inoculante agrícola, emplean la metodología descrita por Sieverding (1991), basada en el manejo de áreas controladas y aisladas del suelo, en formas de canteros multiplicadores que pueden llegar a medir hasta 25 m de largo, según las posibilidades de manejo por la empresa productora.

Los canteros o áreas de reproducción, (representan los recipientes en la producción del inóculo certificado), se pueden construir sobre el propio suelo, del largo que se estime, de 1 metro de ancho y de 0.20 metros de profundidad efectiva, de manera que en una distancia de aproximadamente 5 metros lineales y utilizando sustratos con densidad aparente de 1g.cm^{-3} , se puedan cosechar alrededor de una tonelada métrica de producto final.

Estos depósitos pudieran ser de polietileno negro reutilizable hasta en dos cosechas, de concreto (fig 14 c, d y e) o simplemente de acuerdo con Sieverding (1991), realizarlos sobre el propio suelo, eliminando la capa biológicamente activa en una profundidad de hasta 25 cm, apisonar el subsuelo y colocar entonces el sustrato deseado para la posterior reproducción de hongos micorrizógenos .

El proceso de inoculación es similar al del inoculante micorrizógeno certificado, los canteros son llenados con el sustrato, posteriormente es colocada una cantidad de inoculante certificado por debajo de la semilla, sembrada la misma y al término del ciclo de vida de la planta se desecha la parte aérea, se seca el sustrato en un área techada con suficiente ventilación y se procede al procesamiento del sustrato, a través de un potente molinado y empaque en bolsas.

3.3. Producción del inoculante comercial EcoMic®

3.3.1. Obtención del bioproducto

Hace aproximadamente unos 15 años se vienen desarrollando en nuestro país toda una serie de investigaciones relacionadas con el uso y manejo práctico de la simbiosis micorrízica arbuscular en agroecosistemas cubanos; pero no fue hasta el año 1993 que se comenzaron a buscar nuevas metodologías de inoculación que redujeran las cantidades de inóculo que se aplicaban a los cultivos agrícolas, pues según las dosificaciones recomendadas hasta ese momento, por la literatura internacional, para los inoculantes producidos a base de mezclas de suelo y materia orgánica, resultaba poco viable la aplicación de volúmenes del orden de 2 a 6 toneladas por hectárea, en un solo ciclo reproductivo y sin poder garantizar su permanencia futura en los ecosistemas.

En este sentido se probaron varios inoculantes y medios de recubrimiento de semillas, que si bien funcionaron, su aplicabilidad distaba de ser eficiente, pues para lograr este objetivo se mezclaban con el inóculo cantidades relativamente altas de sustancias adherentes y secantes que encarecían significativamente la aplicación de la micorriza por la vía de recubrimiento de semilla. (Gómez *et al*, 1995).

Tomando en cuenta estos aspectos, se diseñó un nuevo producto, EcoMic®, el cual se desarrolló sobre un sustrato mineral específico, donde el hongo coloniza las raíces de la planta produciendo durante el proceso gran cantidad de propágulos fúngicos en sus raíces, contando además con una excelente propiedad adherente, pues con la sola presencia de agua hace efectiva la metodología de recubrimiento de semillas.

3.3.2. Ensayos básicos de validación de EcoMic®

Durante una serie de experimentos se logró comprobar la superioridad de este producto, comparado con otro inoculante tradicionalmente producido en Cuba. En la prueba de ambos inoculantes, solo se varió el sustrato, ambos se produjeron en *Sorghum vulgare* y con la cepa *Glomus fasciculatum*.

Los resultados experimentales mostraron que el inoculante EcoMic®, alcanzó una mayor calidad y funcionamiento micorrízico, basado en el número superior de propágulos obtenidos con relación a los encontrados en el soporte tradicional de multiplicación, mezcla suelo: arena: materia orgánica (3:1:1 v/v), tanto en la cantidad de esporas totales con un

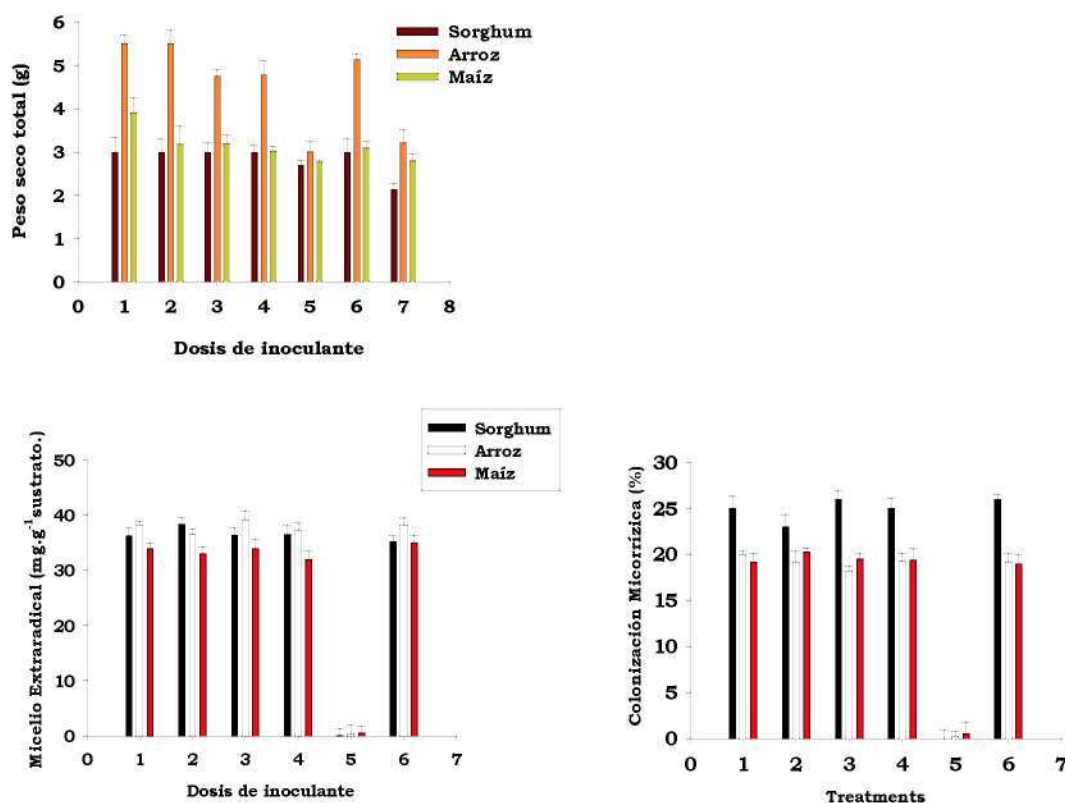
valor de 245 esporas .g⁻¹ sustrato, como en la producción de micelio externo arbuscular, el cual se duplica en relación con el sustrato tradicional (Tabla 26).

Tabla 26. Colonización radical, esporulación, micelio externo y frecuencia arbuscular de *Glomus fasciculatum* en *Sorghum vulgare* presente en los inoculantes tradicionales sobre suelo: arena: materia orgánica (S:A:MO) y Ecomic[®] a los 60 y 120 días de establecida la simbiosis micorrízica.

Este fenómeno estuvo muy relacionado con las características físico - químicas del sustrato donde se desarrollaron. En este sentido diversos autores (Tisdall y Oades, 1982 y Miller y Jastrow, 2000), han puesto de manifiesto el papel positivo de la compactación presente en el sustrato sobre la emisión de hifas externas que penetran a su vez los microagregados estructurales del sustrato, formando en breve una mayor cantidad de macroagregados estables, con un aumento en la concentración de oxígeno y favoreciendo por lo tanto la respiración y el funcionamiento micorrízico.

El recubrimiento de las semillas con EcoMic[®] se estudió inicialmente en condiciones controladas y aún en las variantes que implicaron una menor dosis de propágulos (10 %), el inóculo garantizó una producción de masa seca adecuada y una presencia significativa de colonización micorrízica, así como una alta producción de micelio externo, sin diferir significativamente con el control inoculado con una dosis de 5 gramos de inoculante tradicional localizado debajo de la semilla (Fig. 15).

Este éxito en el recubrimiento con bajas dosis de inoculante, se debe entre otros aspectos a la gran cantidad de propágulos micorrízicos presentes y especialmente, a la presencia de cantidades de micelio externo activo, propágulo sumamente infectivo y de rápida regeneración en presencia de condiciones óptimas de “germinación”. Sin embargo, en el caso en que se recubrió con el inoculante tradicional el 100 % del peso de la semilla, no se



Leyenda: Dosis de recubrimiento de EcoMic en semillas - 1: 100 %, 2: 50 %, 3: 20 % y 4: 10 %
 Recubrimiento con inoculante tradicional (5: 100%)
 Inoculación con el proceso tradicional (6: 5 g / planta)
Control sin inocular: 7

Figura 15. Efectos del recubrimiento de semillas de Sorgo (*Sorghum vulgare*), arroz (*Oriza sativa*) y maíz (*Zea mays*) con diferentes dosis de EcoMic e inoculante tradicional sobre el peso seco total (g), Micelio externo y colonización micorrízica los 30 días de inoculados los cultivos.

encontraron efectos positivos, lo que evidencia la poca potencia de ese inoculante y la inviabilidad de ser utilizado aún en las dosis mayores para el recubrimiento de semillas.

Según Jasper *et al.* (1989), el micelio extrarradical ha desarrollado mecanismos que le permiten permanecer infectivo en el sustrato cuando la estructura de este se mantiene conservada.

Recientemente, aunque en estudios realizados *in vitro*, Bago *et al.* (2000) reportaron que el contenido citoplasmático de las hifas principales o “corredoras”, las más abundantes en la red fúngica a diferencias de las hifas absortivas o BAS, puede mantenerse intacto por largos periodos, incluso años; sugiriendo además, que dicha prolongada vitalidad es debida a la preservación de compartimentos dentro de la hifas externas, donde quedan atrapados numerosos núcleos y contenido citoplasmático viable a la espera de mejores condiciones ambientales o a los exudados de una nueva raíz hospedera en las proximidades.

La respuesta exitosa al recubrimiento de semillas con EcoMic® encontrada en la fase controlada se corroboró en parcelas experimentales, un ejemplo de las cuales se presenta en la tabla 27 para los cultivos de sorgo y maíz.

Se muestra primeramente el efecto positivo de la inoculación micorrízica sobre el rendimiento de ambos cultivos, así como la factibilidad de realizar ésta a través del recubrimiento de las semillas en dosis tan bajas como el 10 % del peso de las mismas.

En el capítulo V se presentan los satisfactorios resultados de las campañas de validación de este producto aplicado a través del recubrimiento de las semillas en los cultivos de siembra directa, lo cuales permiten recomendar la utilización de la simbiosis a escala productiva.

Tabla 27. Evaluación de dosis de recubrimiento de EcoMic® sobre el rendimiento de sorgo (*Sorghum vulgare* cv. V4) y de maíz (*Zea mays* var M-22).

Dosis de Inoculantes	Maíz	Sorgo
	⁻¹ (t.ha)	⁻¹ (t.ha)
Ecomic® 20%	2.90 b	4.89 b
Ecomic® 10 %	2.95 a	5.50 a
Inoculante tradicional (5g. semilla ⁻¹)	2.93 a	5.48 a
Control	1.85 c	3.12 c
ES x	0.15***	0.11***

3.4. Producción masiva y dosificación de EcoMic® por semillas

Se han fabricado hasta la actualidad más de 7 plantas productoras de este biofertilizante en países como Cuba, Colombia y Bolivia, evaluándose asimismo con éxito en España y México.

El producto EcoMic® es una serie de inoculantes microbianos elaborados a partir de propágulos de determinadas especies de hongos micorrizógenos arbusculares individuales, de probada infectividad y alta eficiencia.

En la elaboración de este producto se emplean las siguientes especies de HMA de forma individual: *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus claroideum* y *Glomus clarum*.

El mismo se obtiene a partir de la inoculación previa de este microorganismo a plantas hospederas por recubrimiento de sus semillas, que incluyen por lo general las especies *Sorghum vulgare* y *Brachiaria decumbens* y de su posterior desarrollo en el sistema radical. El inoculante está listo cuando se cumple el ciclo reproductivo de los cultivos y es extraído conjuntamente con el sustrato, el cual incluye todos los propágulos infectivos del hongo micorrizógeno (esporas, raicillas infectadas y fragmentos de hifas). No obstante, éste puede ser extraído en cualquier otro momento, dependiendo de la cantidad de propágulos existentes en el sustrato).

En la actualidad este producto se fabrica bajo la tecnología de canteros multiplicadores descrita anteriormente (Fig. 16 a, b, c, d, e y f).

3.4.1. Dosificación para recubrimiento de semillas

Este inoculante se aplica de acuerdo a los diferentes tipos de semillas:

(a) **(b)**

SEMILLAS GRANDES: Papa, Boniato, Yuca, Malanga.

Cantidad de inóculo: 20 % peso de la semilla total. ha⁻¹

Cantidad de agua: 5 % semilla total. ha⁻¹

Aplicación: Mezcla de agua + inóculo + semillas.

SEMILLAS MEDIANAS: Maíz, Soya, Sorgo, Algodón, etc.

Cantidad de inóculo: 10 % peso de la semilla total. ha⁻¹

Cantidad de agua: 2 % semilla total. ha⁻¹

Aplicación: Mezcla de agua + inóculo + semillas.

SEMILLAS PEQUEÑAS: Arroz, Pastos, etc.

Cantidad de inóculo: 10 % peso de la semilla total. ha⁻¹

Cantidad de agua: 2 % semilla total. ha⁻¹

Aplicación: Mezcla de agua (1%) + inóculo + semillas.



Figura 16. Pasos de obtención de EcoMic® comercial. a y b: preparación y siembra de canteros multiplicadores; c y d: etapas de desarrollo del hospedero *Brachiaria decumbens* inoculadas con *Glomus fasciculatum*; e: molino para el procesamiento del inoculante y f: almacén de inóculo comercial. Fotos a, b y c, corresponden a Planta de producción desarrollada en Bolivia (cortesía de Ms. C. D. Lara y Fotos d, e y f, Planta desarrollada en Colombia (cortesía de Dr. C. R. Plana).

3.5. Normas de calidad y producto libre de fitopatógenos

En la producción de EcoMic[®], tanto el producto certificado de altísima pureza, como el agrícola, elaborado a cielo abierto, donde se manejan volúmenes de producción de hasta 100 toneladas, se aplica un riguroso control de la calidad, y se monitorea de forma sistemática, tanto la colonización micorrízica, como la producción de micelio externo y el grado de pureza de las poblaciones de hongos micorrizógenos que se cultivan.

Los rangos de concentración de esporas / gramo de sustrato, establecidos para ambos tipos de inoculantes son las siguientes:

Inóculo Certificado

Glomus fasciculatum: 125 - 250 esporas / gramo sustrato

Glomus clarum: 250 - 350 esporas / gramo sustrato

Glomus mosseae: 70 - 50 esporas / gramo sustrato

Inóculo Agrícola

Cualquiera de las cepas anteriores: 20-30 esporas / gramo sustrato

Por otra parte, la tecnología de producción desarrollada (Fernández *et al.*, 1999) garantiza en ambos tipos de inoculantes que los productos obtenidos estén libres de fitopatógenos. Para estos fines se encuentra instrumentado un sistema de control de la calidad que evalúa muestras representativas de ambos procesos y que se realiza por un Centro de Referencia contratado a estos efectos.

3.6. Referencias

- Bago, B.; Azcón - Aguilar, C.; Shachar - Hill, Y /*et al.*/ El Micelio externo de la micorriza arbuscular como puente simbiótico entre la raíz y su entorno 78 - 92.. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Eds.: A. Alarcón y R. Ferrera – Cerrato. IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México. 2000.
- Biermann, B. y R. G. Linderman. Effect of container plant growth medium and fertilizer phosphorus on establishment and host growth response to vesicular - arbuscular mycorrhizae. J. Ame. Soc. Hort. Sci. 108: 962 - 971. 1983.
- Elmes, R. P.; Hepper, C. M.; Hayman, D. S. /*et al.*/ The use of vesicular - arbuscular mycorrhiza roots by the nutrient film technique as inoculum for field sites. Ann. Appl. Biol. 104: 437 - 441. 1984.

- Gómez, R.; Fernández, F. y B. Noval. Resultados del recubrimiento de semillas con micorrizas va. Informe de Resultados. INCA. 1995.
- Hung, L. L. y D. M. Sylvia. Production of vesicular arbuscular mycorrhiza fungus inoculum in aeroponic culture. *Appl. Environment Microbiology*. 54: 353 - 357. 1988.
- INVAM. Newsletter Vol 3, No 2. September, 1993. Tomado de <http://invam.caf.wvu.edu>.
- Jasper, D. A.; Abbott, L. K. y A. D. Robson. Hyphae of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus maintain infectivity in dry soil, except when the soil is disturbed. *New Phytology*. 112: 101 - 107. 1989.
- Manjarrez, M. J.; Alarcón, A y, R. Ferrera - Cerrato. Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad. En: *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Eds.: A. Alarcón y R. Ferrera - Cerrato IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Mundi Prensa. México. 2000.
- Miller R. M. y Jastrow, D. J. Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure. Chapter 1. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Eds.: Y. Kapulnik y D.D. Douds. Jr. 3 - 18. Kluwer Academic Publisher. Printed in the Netherlands. 2000.
- Morton, J. B.; Bentivenga, S. P. y W. W. Wheeler. Germplasm in the international collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. *Mycotaxon* 48: 491 - 528. 1993.
- Mosse, B. y C. .M. Hepper. Vesicular arbuscular mycorrhizal infections in root organ cultures. *Physiol. Plant. Pathol.* 5: 215 - 223. 1975.
- Mugnier, J y B. Mosse. Vesicular - arbuscular mycorrhizal infection in transformed root - inducing T - DNA roots growth axenically. *Phytopathology* 77: 1045 - 1050. 1987.
- Sieverding, E. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft fur techniische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 371 p. 1991.
- Sylvia, D. M. y A. G. Jarstfer. Sheared - root inocula of vesicular arbuscular mycorrhiza fungi. *Appl. Environment Microbiology*. 1: 229 - 232. 1992.
- Tisdall, J. M. y, J. M. Oades. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sciences*. 33: 141 - 163. 1982.
- Walker, C. Systematic and Taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales): a possible way forward. *Agronomie* 12 (10), 887 - 897. 1992.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE VALIDACION

4.1. Introducción

A lo largo de este documento ha quedado claro no solo la importancia de la simbiosis micorrízica para el desarrollo de la inmensa mayoría de las especies vegetales, sino la existencia de regularidades en su comportamiento que han permitido establecer las bases científico técnicas para su utilización efectiva, en la cual se destaca el factor tipo de suelo como un elemento decisivo para la selección de cepas adecuadas y para el manejo de la simbiosis a partir de su integración con elementos componentes de los sistemas agrícolas, así como la baja especificidad cepa - cultivo.

Esta última, de alta repercusión práctica, simplifica en grado sumo el manejo de la simbiosis y se manifiesta en que la mayoría de los cultivos se micorrizarán efectivamente con cepas previamente seleccionadas para cada tipo de suelo.

No obstante, para la introducción de la simbiosis en la práctica productiva ha sido decisivo el desarrollo de productos como el EcoMic®, el cual amplió el espectro de acción práctica de la simbiosis al aplicarse exitosamente a los cultivos de siembra directa en cantidades que oscilan alrededor de 1 – 10 kg .ha⁻¹ y de esta forma lograr superar uno de los grandes inconvenientes de los inoculantes tradicionales micorrízicos, la necesidad de altas cantidades lo cual impide su introducción masiva en la agricultura.

Estamos entonces en posibilidades de valorar qué resultados se han alcanzado con la introducción de la simbiosis micorrízica de forma consciente y a través del producto EcoMic® en la producción agrícola y como se integran con el resto de las prácticas que se realizan en cada modelo y tipo de cultivo.

4.2. Resultados de las campañas de validación

A continuación se muestran algunos de los resultados derivados de la utilización eficiente de la simbiosis micorrízica en la agricultura, a partir de la inoculación del producto EcoMic®, en lo fundamental mediante el recubrimiento de semillas.

Se presentan los resultados de dos modelos bien diferentes de producción: 1) el modelo de altos insumos con grandes áreas de producción y la utilización de maquinaria agrícola y otros recursos y 2) el modelo de pequeños campesinos con áreas relativamente pequeñas,

una vinculación “familiar” a la producción de la misma y donde generalmente se utilizan pocos recursos externos al sistema.

En el modelo de altos insumos se presentará la amplia información obtenida en la provincia de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, sobre Luvisoles éutricos de alta fertilidad (Pijeira, Lara y Mederos, 1998) así como algunos avances sobre otra campaña actualmente en ejecución, en el estado de Tamaulipas, México, sobre Vertisoles mólicos pélicos de fertilidad media. En ambos casos se utilizó la aplicación del EcoMic® vía recubrimiento de las semillas y utilización de máquinas sembradoras.

La región de Santa Cruz de la Sierra, se caracteriza por poseer un clima tropical así como que el tipo de suelo predominante en dicha región, Luvisol éutrico, es también típico de condiciones tropicales, y partiendo de la relevancia del suelo para el manejo y efectividad de la simbiosis micorrízica, referida a lo largo de este trabajo, conlleva a que los resultados encontrados en esta región sean válidos para otras con suelos similares.

Esta consideración deberá tenerse en cuenta para cualquiera de los ejemplos presentados en este capítulo, es decir cada uno de los resultados serán aplicables en condiciones edáficas similares e incluso en aquellos suelos en los cuales el tipo de cepa utilizada ha demostrado efectividad (Tabla 8).

Mas allá de la extrapolación para regiones con suelos similares, el aspecto más importante que persiguen estas campañas de validación es comprobar a escala productiva la efectividad de este enfoque, de la vía de aplicación, así como la factibilidad de integrarse dentro de los modelos agrícolas utilizados.

En el modelo de bajos insumos se mostrarán los resultados de la validación con campesinos en pequeñas extensiones de tierra, tanto en Casanare, Colombia sobre Fluvisoles éutricos (Sosa, 1999), como en Cuba sobre Ferralsoles éutricos (Calderón et al, 2002), ambos de alta fertilidad, en diferentes cultivos muy comunes en la América tropical, como frijol, yuca, maíz, arroz, entre otros.

Además, se considerarán en el tópico correspondiente a bajos insumos los resultados obtenidos sobre pastizales (Sosa, 1999), los cuales de forma general son pocos atendidos y por tanto, el manejo de la simbiosis micorrízica puede conllevar también a efectos muy satisfactorios.

En todos los casos la cepa utilizada correspondió a *Glomus fasciculatum*, en correspondencia con los resultados anteriormente discutidos de ser una cepa adecuada para suelos de media y alta fertilidad (Tablas 8 y 10).

4.2.1. Modelo de altos insumos

En la tabla 28 se presenta un resumen de la información obtenida en los modelos agrícolas de altos insumos, tanto en Santa Cruz, Bolivia como en Colombia y Cuba, donde se puede observar en todos los cultivos incrementos que oscilaron entre 16 y 78 % con una media general de 43,5 %, indicando una alta respuesta de los cultivos a la inoculación micorrízica, vía recubrimiento de las semillas, en dosis correspondientes al 10 % de su peso.

Tabla 28. Resultados de las campañas de validación del inoculante micorrízico EcoMic® (*G. fasciculatum*) en diferentes cultivos y tipos de suelos. Modelo agrícola de altos insumos. Dosis 10 % en peso de la semilla, aplicado mediante recubrimiento de esta.(INCA, 1999)

Cultivo-País	Suelos	Área ha	HMA t. ha ⁻¹	Testigo t. ha ⁻¹	Incremento %
Arroz-Colombia	Fluvisol éutrico	16	4.8	2.7	77.7
Algodón -Bolivia	Luvisol éutrico	94	0.94	0.69	38.0
Maíz-Cuba	Ferralsol éutrico	16	2.84	2.34	21.3
Maíz-Cuba	Ferralsol éutrico	16	5.41	3.04	77.9
Maíz-Bolivia	Luvisol éutrico	150	2.92	2.16	35.1
Maíz-Bolivia	Luvisol éutrico	150	3.12	2.51	24.3
Trigo-Bolivia	Luvisol éutrico	50	3.19	2.75	16.0
Trigo-Bolivia	Luvisol éutrico	50	3.12	1.82	71.4
Soya-Bolivia	Luvisol éutrico	150	2.73	1.94	40.7
Soya-Bolivia	Luvisol éutrico	150	2.20	1.78	23.5
Soya-Bolivia	Luvisol éutrico	750	2.93	2.32	26.3
Frijol-Bolivia	Luvisol éutrico	11	1.71	0.96	78.1
Girasol-Bolivia	Luvisol éutrico	40	1.23	0.86	43.1

Es importante observar como en las validaciones se incluyeron cultivos, como algodón, trigo, girasol, frijol, maíz, sorgo, chile, lenteja entre otros, sobre los cuales no se presentó

información en el capítulo 2, corroborando por tanto los conceptos más generales sobre universalidad de la simbiosis (Siqueira y Franco, 1988).

En las figuras 17, 18 y 19 se presenta una información más ampliada en algunos cultivos seleccionados, dejando claros los diferentes sitios y rendimientos obtenidos y donde se destaca no solo que siempre se obtuvo una respuesta positiva a la inoculación micorrízica, sino también que esta fue encontrada aún en relación con testigos que presentaron rendimientos adecuados

En estos ejemplos, correspondientes a una agricultura de altos insumos se destaca la importante superficie de validación utilizada en cada caso, que llegó a alcanzar en algunas de las zonas dedicadas al cultivo de la soya hasta 750 ha., lo cual fortalece la información obtenida y demuestra la factibilidad de manejar la simbiosis micorrízica a una escala netamente productiva. La figura 20, correspondiente a esta campaña de validación, es una constancia gráfica de uno de los extensos campos de soya utilizados en dicho trabajo.

El procedimiento propuesto de inoculación, vía recubrimiento de las semillas, fue perfectamente compatible con las máquinas utilizadas para sembrar estas grandes extensiones. Asimismo, la inoculación micorrízica se acopló exitosamente en el caso de la soya y el frijol (Figuras 17 y 19) con la práctica usual de inoculación con *Rhizobium*. Ambos ejemplos demuestran la satisfactoria integración de diferentes prácticas establecidas alrededor del modelo de planta micorrizada eficientemente que conformando por tanto los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente

A continuación en las figuras 21, 22, 23 y 24 se presentan fotos correspondientes al desarrollo de los cultivos en la campaña de validación efectuada en el estado de Tamaulipas, México Las mismas permiten observar las grandes áreas que se han utilizado en la validación, utilizando para la siembra en todos los casos máquinas sembradoras de alta velocidad que han permitido sembrar las semillas recubiertas con EcoMic® .

En todos los casos las diferencias encontradas fueron muy marcadas, aún en la etapa de crecimiento de los cultivos, obteniéndose una clara constancia del efecto positivo de la inoculación con EcoMic®, así como de la integración de esta práctica con la tecnologías agrícolas existentes en la región.

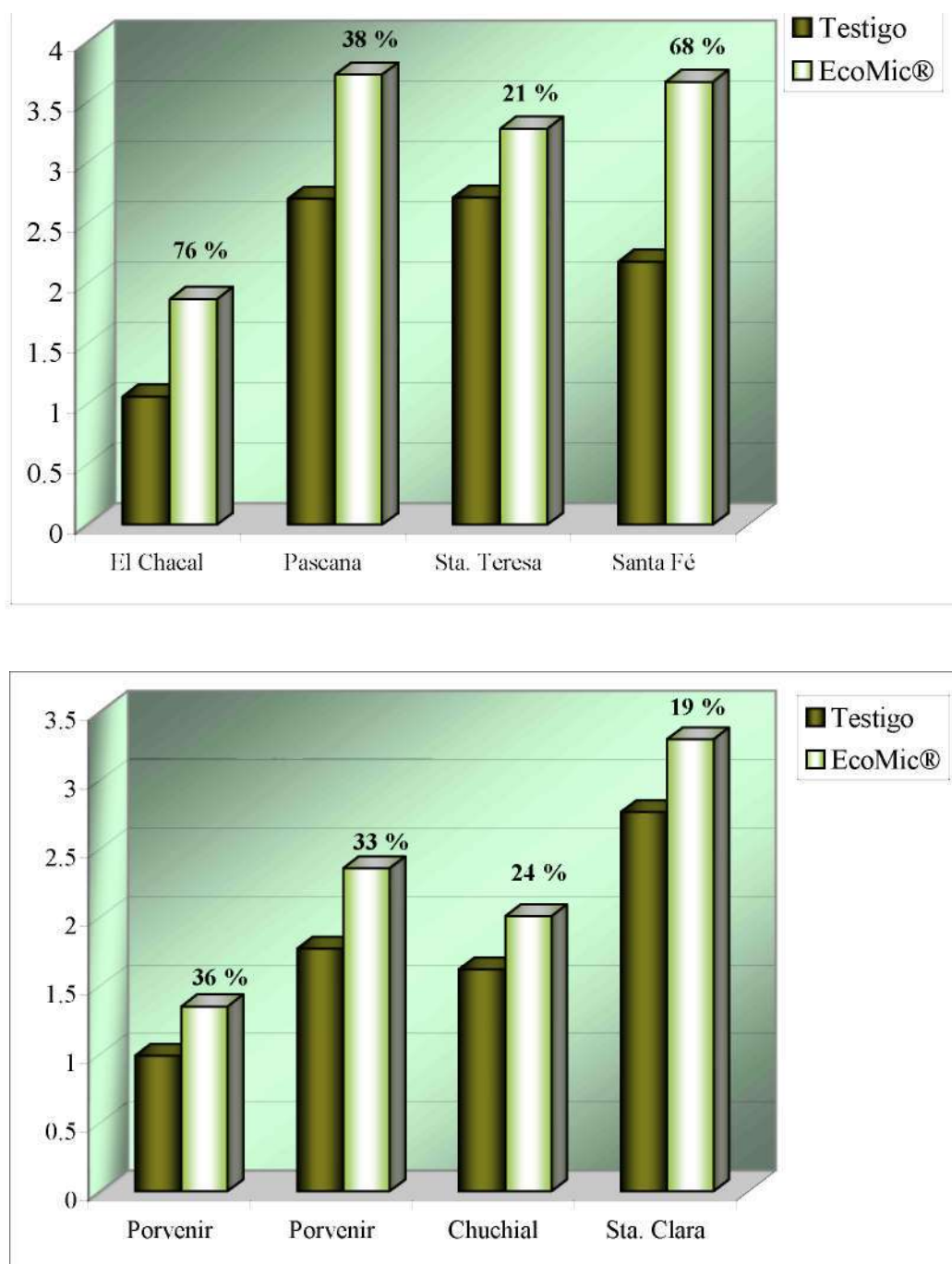


Fig. 17. Efecto de la inoculación con EcoMic® sobre el rendimiento de la soja en Luvisoles éutricos. Bolivia. En todos los casos el cultivo fue inoculado con *Rhizobium*

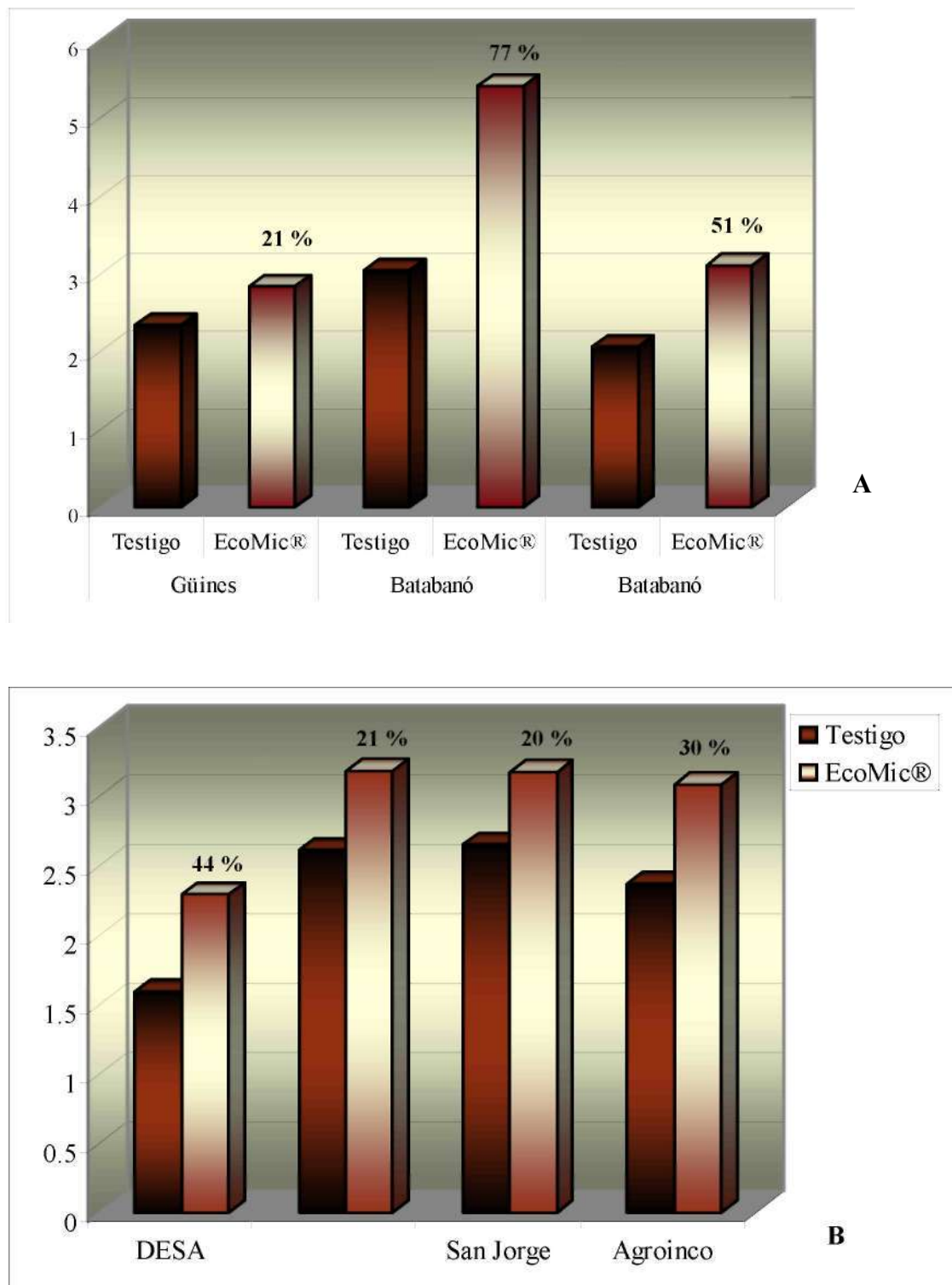


Fig. 18. Efecto de la inoculación con EcoMic sobre el rendimiento del maíz. (A) Ferralsol éútrico en Cuba y (B) Luvisol éútrico en Bolivia.

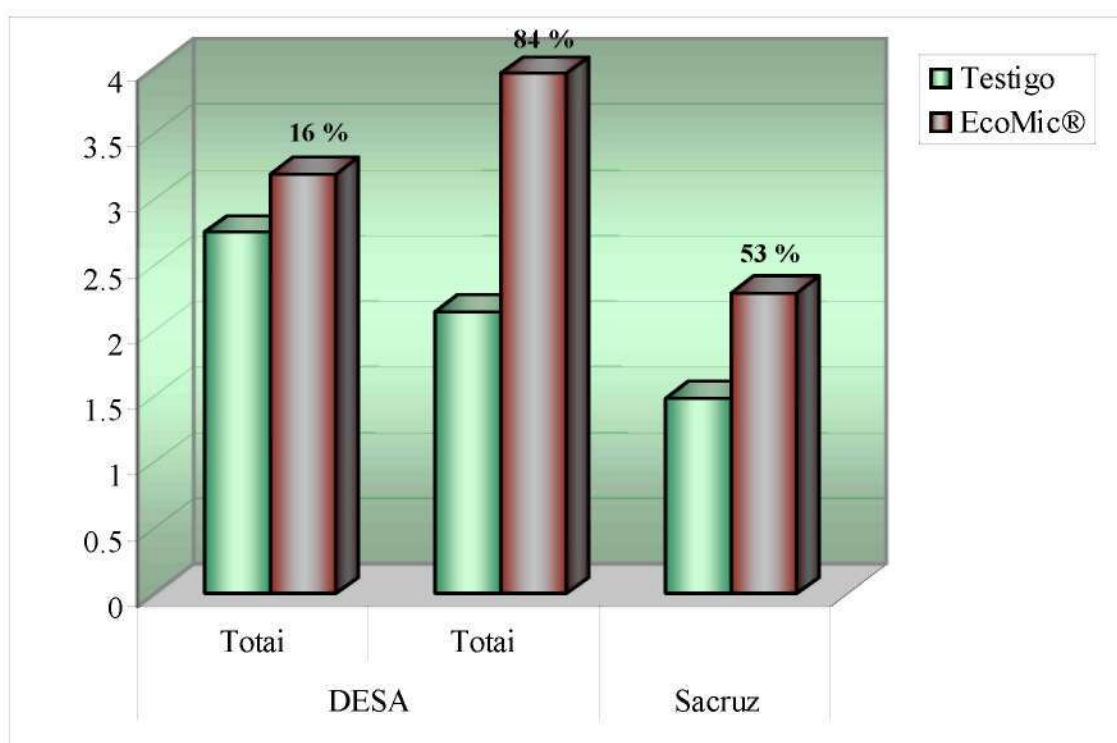
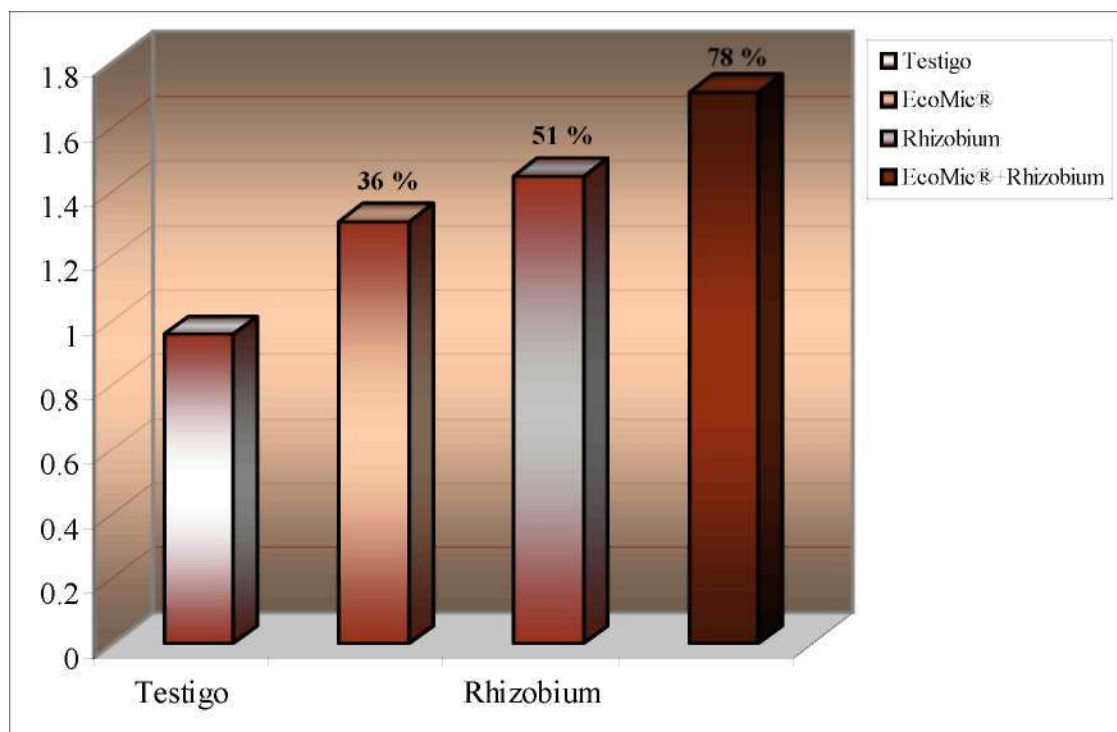


Fig. 19. Efecto de la inoculación con EcoMic sobre el rendimiento del frijol en Cuba (A) y del girasol en Bolivia. (B) (nótese la efectividad de la coinoculación con *Rhizobium* en el frijol).

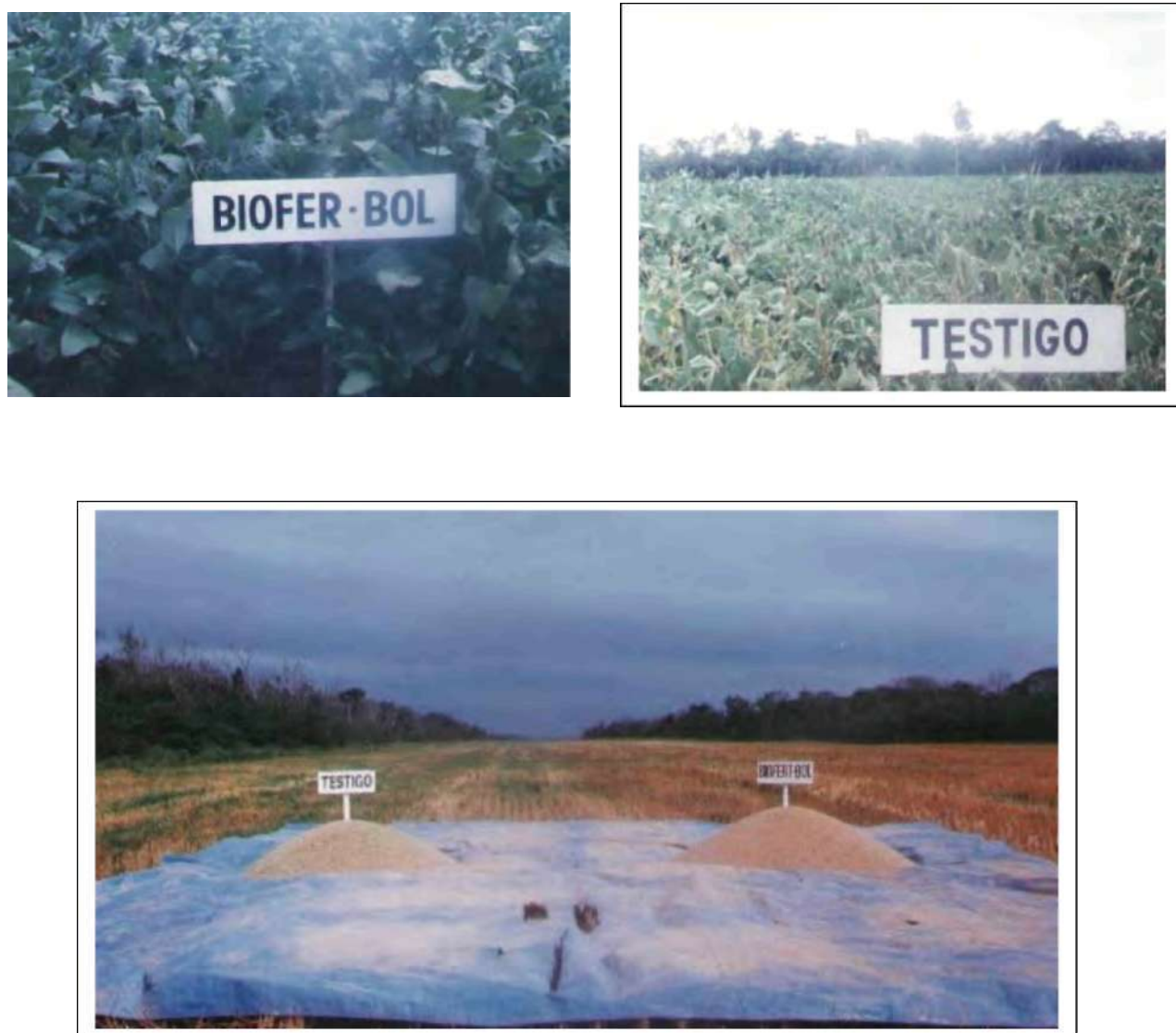


Fig. 20. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® sobre el crecimiento y rendimiento de la soya sobre Luvisol éutrico, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 1997. Nótese la extensión del área de validación, así como el mayor crecimiento y producción de las plantas inoculadas, siendo la cosecha superior al menos un 30 %. (Foto cortesía del Ing. L. Pijeira).

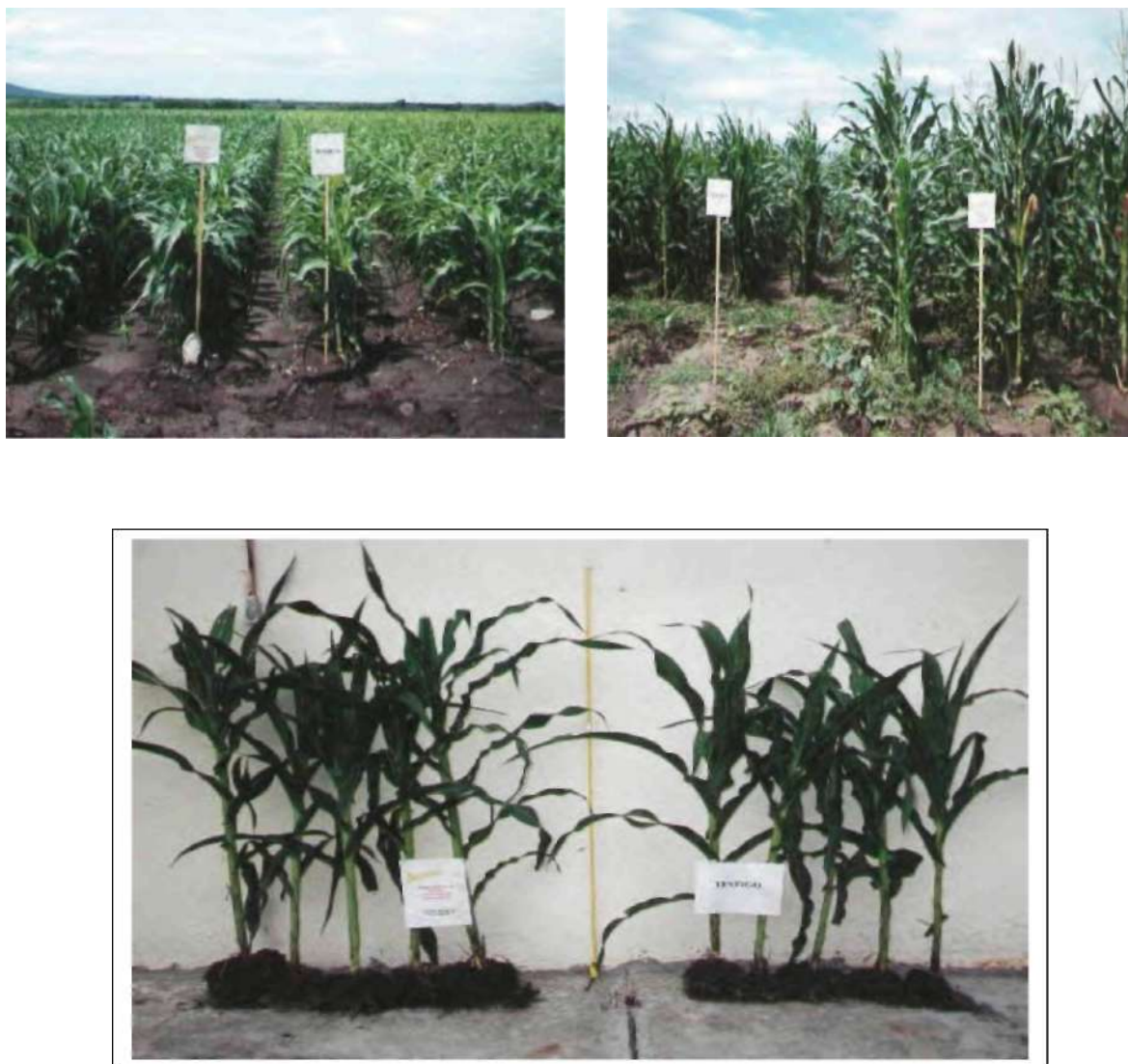


Fig. 21. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® sobre el crecimiento del maíz, en diferentes etapas de la plantación, Estado de Tamaulipas, México, 2002. Nótese el mayor crecimiento aéreo y radical de las plantas inoculadas. (Fotos cortesía del Ing. L. Pijeira).



Semillas de sorgo recubierta con EcoMic®. Detrás, tanque para realizar el recubrimiento y a la derecha máquina sembradora.



Fig 22. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® sobre el crecimiento del sorgo, en diferentes etapas de la plantación, sobre Vertisoles, Estado de Tamaulipas, México, 2002. Nótese el mayor crecimiento aéreo, radical y futura cosecha de las plantas inoculadas, así como la gran extensión del área de validación. (Fotos cortesía del Ing. L. Pijeira).



Fig. 23. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® sobre el crecimiento de chile, en el Estado de Tamaulipas, México, 2002. Nótese el mayor crecimiento aéreo y radical de las plantas inoculadas. (Fotos cortesía del Ing. L. Pijeira).



Fig. 24. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® sobre el crecimiento de melón (a) y lenteja (b y c), en el Estado de Tamaulipas, México, 2002. Nótese el mayor crecimiento aéreo y radical de las plantas de lentejas inoculadas. (Fotos cortesía del Ing. L. Pijeira).

4.2.2. Modelo de bajos insumos

En la tabla 29 se presentan ejemplos de validaciones realizadas con diferentes cultivos en modelos agrícolas de bajos insumos, en Cuba y Colombia. En cualesquiera de los casos se encontraron incrementos importantes en el rendimiento por la inoculación del EcoMic®, vía recubrimiento de la semilla, los cuales oscilaron entre 12 y 80 %, con un incremento promedio de 45,7, muy similares a los obtenidos en las campañas de validación en el modelo agrícola de altos insumos (Tabla 29).

Tabla 29. Resultados de las campañas de validación del inoculante micorrízico EcoMic® (*G. fasciculatum*) en diferentes cultivos y tipos de suelos. Modelo agrícola de bajos insumos. Dosis 10 % en peso de la semilla, aplicado mediante recubrimiento de esta. (INCA, 1999; Sosa, 1999 y Calderón *et al.*, 2002).

Cultivo-País	Suelo	Área ha	HMA t. ha ⁻¹ 6,8	Testigo t. ha ⁻¹ 4,6	Incremento %
Arroz-Cuba	Gleysol Petroférrico				47,8
Arroz-Colombia	Fluvisol éutrico	2	2,15	1,30	65,3
Arroz-Colombia	Fluvisol éutrico	2	2,40	1,40	71,4
Algodón – Colombia	Gleysol mólico		2,6	2,2	18,2
Algodón – Colombia	Gleysol mólico		2,5	1,9	31,5
Maíz-Colombia	Fluvisol éutrico	1	2,96	1,64	80,5
Maíz-Colombia	Fluvisol éutrico	1	2,59	1,45	78,6
Frijol-Colombia	Luvisol éutrico	1	0,50	0,29	72,4
Frijol-Cuba	Ferralsol éutrico	1	15 qq	22 qq	46,7
ríjol-Cuba	Ferralsol éutrico	2,5			25,0
Soya-Cuba	Ferralsol éutrico	0,5	2,63	1,5	75,3
Maíz-Cuba	Ferralsol éutrico	3,0			12, 4
Mani-Cuba	Ferralsol éutrico	1,2			12,0
Ajo-Cuba	Ferralsol éutrico	3,2			40,0
Tomate-Cuba	Ferralsol éutrico	2,3	27,3	21,8	20,0
Cebolla-Cuba	Ferralsol éutrico	0,6			35,2

En este tipo de agricultura tanto la siembra como el recubrimiento se realizan de forma manual, esta última dentro de recipientes o sobre mantas de polietileno, dependiendo de la cantidad de semillas a tratar (Fig. 25).

En cultivos que se siembran por semilla vegetativa como la yuca o el boniato, se recomienda la inmersión de éstas en una mezcla de EcoMic® de consistencia pastosa y agua (Fig. 26), alcanzándose una alta efectividad de la micorrización con este método.

En algunas ocasiones se ha utilizado una suspensión acuosa del EcoMic® aplicado con mochila (sin boquilla), para realizar la inoculación en el momento de la siembra de la caña de azúcar o de otros cultivos que se siembren por semilla vegetativa. En la figura 27 se muestra dicha aplicación en una siembra de caña de azúcar en el valle del Cauca, Colombia con resultados exitosos; no obstante no hay mucha información al respecto.

En los casos de leguminosas como soya y frijol, también se practica exitosamente la coinoculación con cepas de *Bradyrhizobium* y *Rhizobium* respectivamente. En varios de los cultivos, como maíz, frijol y yuca, sobre todo en Colombia, se aplicó el EcoMic® conjuntamente con Biobras®, estimulador del crecimiento a base de análogos de brasinoesteroides y con un efecto positivo comprobado en una amplia gama de cultivos reflejado también en la aplicación conjunta (Nuñez, 1999).

La micorrización incrementó la resistencia de las plantas a la sequía, tal y como se observa en la figura 27, correspondiente a una plantación de frijol en la Habana. Las plantas micorrizadas en ese caso, presentaron no solo un mayor crecimiento sino una mayor población, lo que permitió rendimientos muy superiores y del orden de un 60 % mayor.

Como se puede observar, en este modelo de producción agrícola se alcanzó una alta efectividad de la inoculación micorrízica, lográndose no solo mayores rendimientos por acción de incrementos en la absorción de los nutrientes, sino por una mayor resistencia al déficit hídrico, muy común en dicho modelo agrícola. Asimismo el manejo de la simbiosis se integró perfectamente con las diferentes prácticas culturales, adecuándose con las posibilidades económicas de los agricultores.

En la tabla 30 se presenta información sobre la validación en diferentes especies de pastos en Colombia (Sosa, 1999), mostrándose como en todos los casos existió una importante respuesta a la inoculación micorrízica, la cual se enmarcó entre 33 y 115 % con un

promedio general de 58,9 %, presentando por tanto una respuesta ligeramente superior a la obtenida en los otros cultivos (Tablas 28 y 29).

El grueso de los ensayos de validación en pastos se realizó mediante el recubrimiento de semillas al fomentar pastizales y en dosis de 2 kg:ha⁻¹ de EcoMic®; sin embargo algunos ensayos se realizaron en pastizales establecidos recién cortados, en los cuales el inoculante se introdujo exitosamente vía aplicación a voleo, extendiendo el inóculo con arena en una relación 1/10.

Tabla 30. Efecto de las aplicaciones de EcoMic® (*G. fasciculatum*) en pastos cultivados sobre Fluvisol éutrico. Monte Líbano, Colombia. (datos tomados de Sosa, 1999).

Especies	Area ha	HMA t masa verde.ha ⁻¹	Testigo t masa verde.ha ⁻¹	Incremento %
<i>Brachiaria brizantha</i>	16	15.30	7.10	115.0
<i>Brachiaria brizantha</i>	30	38.3	26.3	45.6
<i>Brachiaria decumbens</i> + <i>Dictoneura</i>	15	31.8	24.0	32.5
<i>Brachiaria decumbens</i>	5.5	26.3	16.8	56.5
<i>B. decumben</i> + <i>B. brizantha</i>	55	33.5	19.7	70.0
<i>Climacuna</i>	6	24.0	18.0	33.3

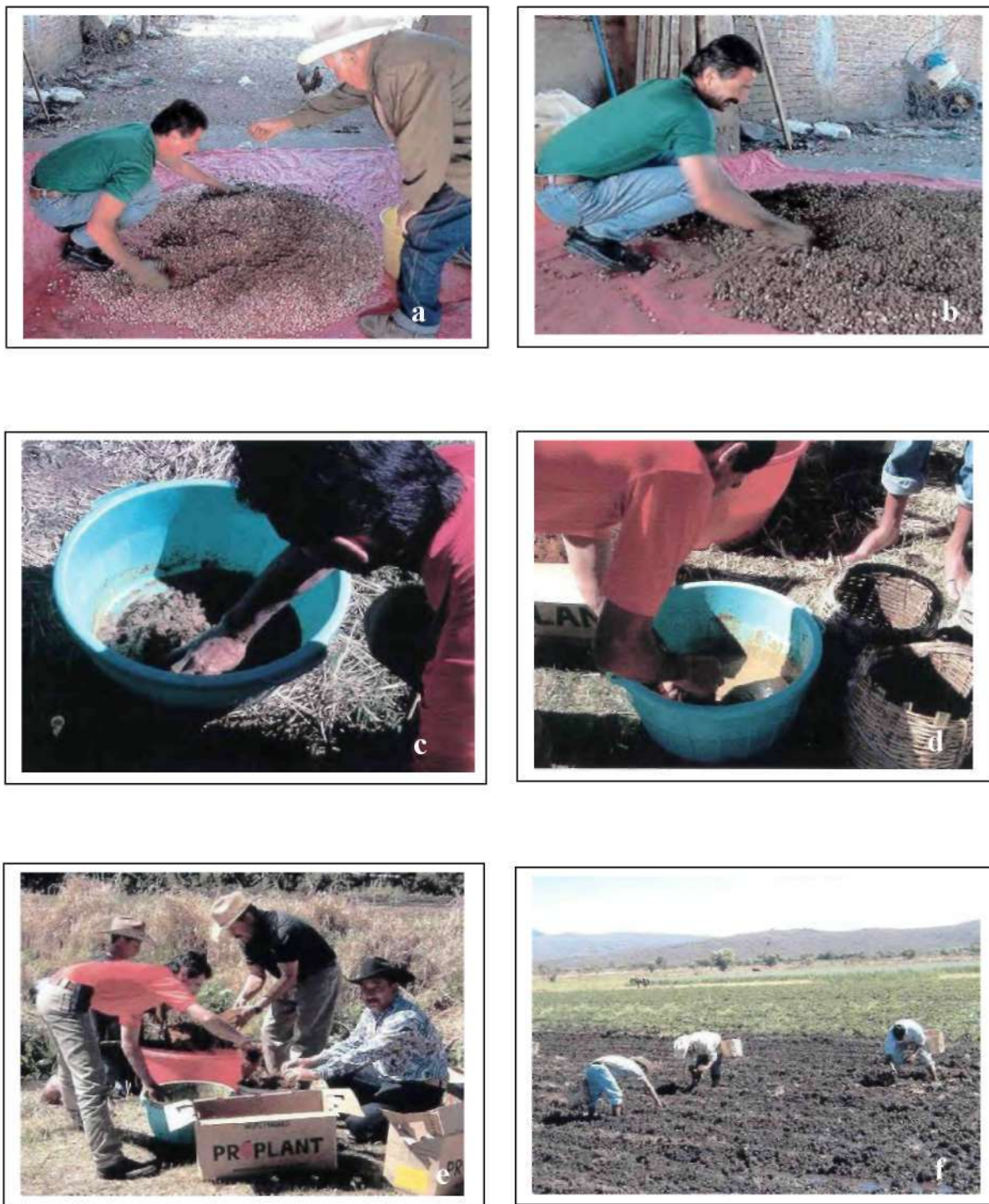


Fig. 25. Diferentes fases en el recubrimiento y siembra manual de las semillas de sorgo con EcoMic®. Fotos a y b, recubrimiento de semilla; c, d, e y f recubrimiento y siembra. Tamaulipas, México 2002. (Fotos cortesía del Ms.C. D. Lara).

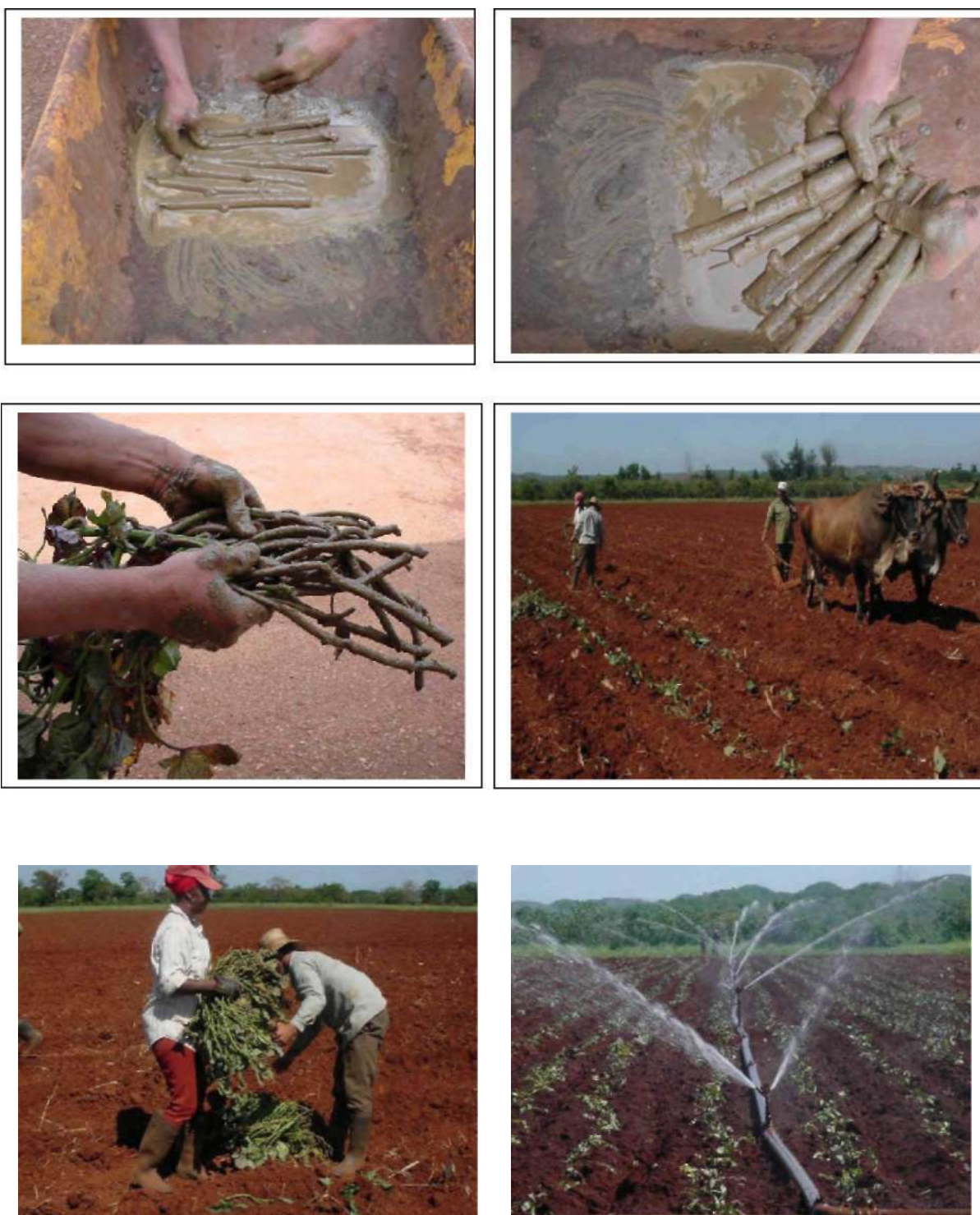


Fig. 26. Diferentes fases en el proceso de recubrimiento y siembra de boniato y yuca con EcoMic®. Note como se logra la aplicación via inmersión de la semilla en la mezcla pastosa del producto. (Fotos cortesía del Dr. M. Bertolí e Ing. A. Rodríguez).



Fig.27. Efecto de la inoculación con EcoMic® en el cultivo del frijol en la provincia Habana, Cuba, en una temporada con severa sequía (a y b). Nótese la despoblación y mucho menor vigor en las plantas no tratadas. (Fotos cortesía del Ms C. A. Calderón); c - Aplicación de suspensión de EcoMic® en la siembra de caña de azúcar en Colombia (Foto cortesía del Dr. F. Fernández).

4.3. Valoración integral de los resultados

Los resultados alcanzados en las campañas de validación del EcoMic®, sirven de ejemplo del efecto beneficioso derivado del manejo de la simbiosis micorrízica en la agricultura y demuestran con creces la factibilidad del empleo de la misma. En todas las condiciones valoradas se obtuvieron resultados importantes en el rendimiento de los cultivos con incrementos medios que oscilaron entre 40 y 55 %.

Es de destacar como este efecto beneficioso y de alta repercusión económica y ambiental, no solo se obtuvo para el agricultor que trabaja en pequeñas extensiones y con una agricultura de bajos insumos, sino también para medianas y grandes empresas agrícolas con recursos y donde el manejo efectivo de la simbiosis no solo logra un impacto económico, al incrementar rendimientos y disminuir cantidades de fertilizantes, sino también de conservación del medio ambiente y resulta por tanto una vía concreta hacia la sostenibilidad del sistema.

La aplicación exitosa del inoculante micorrízico EcoMic®, mediante el recubrimiento de las semillas en los cultivos de siembra directa como granos, cereales, raíces y tubérculos, hortalizas, su aplicación directa al suelo o a los sustratos en otros cultivos o fases de estos en los cuales también los inoculantes micorrízicos tradicionales fueron exitosos, como posturas de frutales y cafeto, semilleros de hortalizas y otros cultivos y adaptación de vitroplantas, permiten la introducción y el manejo de la simbiosis en la práctica productiva y de esta forma el uso efectivo de las micorrizas arbusculares deja de ser una posibilidad para convertirse en un hecho.

Asimismo la consistente y reproducible respuesta positiva a la inoculación con EcoMic® ha sido indicativa de que las concentraciones de propágulos infectivos y efectivos en los agrosistemas ha sido baja, lo cual esta en concordancia con los criterios al respecto expuestos por Sieverding (1991) y otros investigadores, no obstante es un elemento a tener en cuenta cuando se inician los trabajos en un agroecosistema.

Bajo condiciones de producción, los agricultores han integrado con resultados muy satisfactorios, sus prácticas productivas alrededor de las plantas micorrizadas eficientemente, demostrando la validez del concepto de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente.

Por ejemplo, en el cultivo de la soya sobre suelos Luvisoles éutricos en Bolivia, la semilla previamente inoculada con HMA y con *Rhizobium* se sembró mecanizadamente, sometiéndose con posterioridad el cultivo a todo un grupo de labores con resultados tan positivos como los obtenidos por los campesinos de Colombia sobre suelos Fluvisoles éutricos y Gleysols mólicos, donde el maíz, el arroz y los frijoles se sembraron manualmente.

La validez de este enfoque se ha comprobado asimismo en plantaciones bajo condiciones de cubiertas plásticas. En la región de Murcia, España, se ha evaluado con éxito la inoculación de cepas eficientes de HMA en 40 hectáreas bajo cultivo intensivo, en dosis de 2 g/postura, garantizando rendimientos superiores a las 150 t. ha⁻¹, un mayor vigor de las plantas y extensión de su periodo productivo, mayor resistencia a enfermedades; asimismo, se ejecutaron satisfactoriamente otros ensayos con diferentes cultivos como pimiento, alcachofas, entre otros.

La amplitud de las diversas condiciones evaluadas, dadas por el amplio espectro de cultivos, condiciones edafoclimáticas y modelos de producción agrícolas y el consistente y reproducible efecto encontrado en todas ellas y en las diferentes escalas de trabajo, no solo es una consecuencia de la universalidad de la simbiosis, sino que evalúa satisfactoriamente los principios desarrollados para su manejo, la efectividad del inoculante EcoMic® y de sus vías de aplicación y la factibilidad del modelo planta micorrizada eficientemente como base de la producción agrícola.

Consideramos por tanto que estamos en presencia de un resultado integral, desarrollado con un enfoque de sistema, de alta repercusión para la agricultura tropical, disponiendo no solo de las bases científico técnicas para su manejo, sino también de un producto para su introducción, su tecnología de fabricación y de aplicación y suficiente información sobre la efectividad e integración con las diferentes prácticas productivas.

Consideramos que es el momento ideal de impulsar y materializar plenamente este enfoque a una escala general, productiva, que permita a los agricultores incorporar estos conocimientos y tecnologías, que sirva de elemento constitutivo y de vía hacia la materialización de una producción agrícola sostenible.

4.4. Referencias

Calderón /*et al.*/. El papel de los biofertilizantes en la actividad de extensión agrícola del Inca. Su crecimiento en los últimos tres años. INCA, la Habana 19 p., 2002.

Coll; F. /*et al.*/.

INCA Efecto de las aplicaciones del biofertilizante Ecomic (HMA) en cultivos de interés económico, durante el periodo 1990 - 1998. Informe de investigaciones INCA (La Habana) , 45 p. 1999.

Núñez, M. /*et al.*/.

Pijeira, L.; Lara, D y J. D. Mederos. Informe final sobre campaña de validación del Biofert-Bol (EcoMic®) en Sta Cruz de la Sierra, Bolivia. Mindalae Sa – Comercial Mercadu SA., 70 p., 1998.

Sosa, J. Informe final de resultados de validación del biofertilizante Biomonte (Ecomic®) en municipios del Departamento de Córdoba, Colombia. Fundación San Isidro-Comercial Mercadu SA, 63 p., 1999.

CAPITULO 5. UN ESTUDIO DE CASO: EL CARIBE

5.1. Introducción

A lo largo de este documento ha quedado establecido no solo el valor científico técnico de los resultados sobre la simbiosis micorrízica y su manejo agrícola, sino de la factibilidad de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente que son la expresión técnico productiva de la misma, formando parte de estos incluso la producción del inoculante.

Además ha quedado establecido el impacto económico, ambiental e incluso social de estos resultados a través de la mejora en la calidad de vida de los productores, debido a que origina mayores ingresos y contribuye a su capacitación y aumento del nivel cultural, así como repercute directamente en la mayor accesibilidad de los alimentos a la población en general.

El presente capítulo persigue valorar la introducción de este enfoque en la producción agrícola, no solo a partir de la necesidad que tenga una región, país o provincia de incrementar su producción de alimentos, sino de lograr un camino concreto hacia la sostenibilidad, así como de evaluar si la información técnica que se ha generado puede satisfacer en primera instancia una recomendación para su utilización.

Se escogió para esta valoración el Gran Caribe, que incluye no solo el conglomerado de islas situadas en el mar del mismo nombre, sino también la América continental bañada por dicho mar, aunque en ocasiones se utilice indistintamente y con el mismo alcance el término Caribe.

Esta región se destaca no solo por su dependencia de la producción agrícola para lograr su seguridad alimentaria y por las condiciones de subdesarrollo imperantes en los países que la componen, sino también por su gran diversidad.

Ésta no solo comprende la geografía y la geología, sino también los aspectos históricos, económicos, políticos, entre otros; sin embargo es un requisito para un desarrollo social justo de la región que responda a las exigencias de un actual mundo globalizado, que se encuentren e implementen vías hacia un agricultura sostenible formando parte de estrategias comunes y máxime si pueden corresponder a resultados científico - técnicos generados en la propia área.

Por tanto en el capítulo se abordará una caracterización del Caribe y con posterioridad, teniendo en cuenta la importancia decisiva del factor tipo de suelos en la implementación

exitosa y manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente, se profundizará en su distribución y tipos de suelos por países, lo que permitirá conocer que grado de alcance concreto tiene la información científico técnica que se ha presentado en los capítulos anteriores, con vistas a su introducción como sistema productivo en el Caribe.

Por supuesto se debe aclarar que con independencia de la importancia económica social del Caribe, este análisis es un ejemplo para demostrar la factibilidad de la utilización de la simbiosis micorrízica en la agricultura tropical, aunque su efecto beneficioso no se limita solo a condiciones tropicales, y por tanto no debe entenderse que el manejo de la simbiosis micorrízica a escala productiva debe quedar limitado solamente al Gran Caribe.

5.2. Características del Caribe

5.2.1. El Caribe

Si bien, Ramos (2002) plantea que “la complejidad y heterogeneidad que caracterizan la región caribeña ha conducido a la existencia de multiplicidad de definiciones en torno a lo que debiera entenderse como ‘el Caribe’ y la variada influencia histórica representada por la colonización por parte de diversos países europeos y por el influjo de los territorios caribeños continentales; la diversidad étnica y lingüística; la insularidad y la continentalidad, son algunos de los factores que han contribuido a la conformación de una región fragmentada, plagada de identidades parciales, pareciendo no existir un solo Caribe, sino una multiplicidad de ‘Caribes’ yuxtapuestos entre si”, es válido afirmar que en lo geográfico, histórico, étnico, cultural, social, político, económico, etc., el Caribe es un conjunto de países independientes, semi independientes y dependientes de otros países de América y de Europa, pero inseparables en cualquier estudio.

Desde el punto de vista conceptual la definición que utilizaremos es la del *Gran Caribe* (la cuenca), que comprende las islas y partes contiguas de tierra continental, bañadas por el mar del mismo nombre.

Más allá de la diversidad concordamos con Girvan (2002) cuando plantea que “El Caribe del mañana no estará atado exclusivamente a un espacio geográfico o a una definición. Será una comunidad que comparta estrategias económicas, sociales y políticas, con la inclusión de diferentes idiomas y expresiones culturales”.

Países y territorios que constituyen el Caribe

El Caribe está integrado por: Anguila (Reino Unido), Antigua y Barbuda, Antillas Neerlandesas (Países Bajos), Aruba (Países Bajos), Bahamas, Barbados, Belice, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, El Salvador, Granada, Guadalupe (Francia), Guatemala, Guayana Francesa (Francia), Guyana, Haití, Honduras, Islas Vírgenes Americanas (E.U.A.), Islas Caimán (Reino Unido), Islas Vírgenes Británicas (Reino Unido), Jamaica, Martinica (Francia), México, Monserrat (Reino Unido), Nicaragua, Panamá, Puerto Rico (E.U.A.), República Dominicana, San Cristóbal y Nieves, San Vicente y las Granadinas, Santa Lucía, Suriname, Trinidad y Tobago, Turcas y Caicos (Reino Unido) y Venezuela.

Situación geográfica

De este conjunto de países y territorios que integran el Caribe, México, Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Guyana, Suriname y Guayana francesa, forman parte de América del Norte, América Central o América del Sur, así como que excepto El Salvador tienen costas en las Antillas.

Los límites caribeños por el sur son los territorios costeros de Guayana francesa, Suriname, Guyana, Venezuela, Colombia y Panamá, por el oeste los de Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Guatemala, Belice y México; bañados por las aguas del Océano Atlántico, del Mar Caribe o del Golfo de México.

Extremo Norte: Isla Pequeño Abaco, Bahamas: 27 grados de Latitud Norte.

Extremo Este: Kitridge Point, Barbados: 59 grados y 25 minutos de Longitud Oeste.

Extremo Sur: Península de Azuero, Panamá: 7 grados y 15 minutos de Latitud Sur.

Extremo Oeste: Desembocadura del Río Suichiate, entre México y Guatemala.

Geología y relieve

El Caribe es de una gran complejidad geológica, contiene varios sistemas orográficos unidos a las estructuras de América del Norte y del Sur. No se conoce con certeza su edad geológica. Las costas del Océano Atlántico, del Mar Caribe y del Golfo de México son en general bajas, salpicadas de lagunas. El Archipiélago de las Antillas está constituido por una cadena de islas relativamente montañosas, que junto a las

montañas submarinas, forman un solo sistema orográfico que une las estructuras de América del Norte y de América del Sur.

Este conjunto de países y territorios presenta grandes diferencias en su geología y relieve, en su hidrografía, en sus recursos naturales (el suelo, entre los más estratégicos) y en particular, en su biodiversidad, aspecto de gran importancia en su agricultura a través del tiempo.

El suelo, como es conocido, es un complejo natural integrante activo de la biosfera, es la zona de intercambio de sustancia y energía entre la parte sólida de la Tierra, la atmósfera y la hidrosfera, donde se produce, circula y se transforma la materia viviente y la inerte. Constituye el sustrato ideal de todos los organismos que habitan la Tierra, convirtiéndose en un recurso natural de gran trascendencia para la producción agropecuaria y forestal; es uno de los más importantes recursos naturales, es el fundamento de toda la naturaleza viva y prácticamente la única base natural para la producción de alimentos y materias primas de origen vegetal .

Los suelos del Caribe no son una excepción a lo que ha ocurrido a nivel planetario. En los últimos cuatro siglos y particularmente en el Siglo XX se han deforestado, no siempre racionalmente, más áreas para la agricultura que en todos los milenios precedentes en que el Hombre la ha practicado. Ello, sumado al empleo de sistemas agrícolas inapropiados, ha provocado grandes pérdidas de suelo y de su fertilidad por erosión, por lixiviación, compactación, salinización y desertificación, que los ha hecho perder productividad.

Aunque es cierto que los suelos del Caribe, por estar éste ubicado en el Trópico, están muy expuestos al agotamiento a causa de su origen y composición y a la influencia de las altas temperaturas y de las altas precipitaciones, lo que ha provocado fundamentalmente el estado actual de su deterioro es el empleo de sistemas agrícolas no apropiados para explotarlos y una alta presión de explotación sobre los suelos de las zonas más llanas, de fácil acceso, de laboreo mecanizado y con posibilidades de irrigación.

La solución es recuperar esos suelos mediante el empleo de sistemas agrícolas apropiados y conservarlos en el tiempo. En general, en el Caribe, hay que detener prácticamente la Frontera Agrícola que el siglo XX le entregó al XXI.

Hidrografía

Los principales ríos del Caribe mexicano desembocan en el Golfo de México; el Caribe de la América Central recibe abundantes lluvias todo el año y tiene ríos largos y caudalosos que desembocan en el Mar Caribe; el Caribe de la América del Sur tiene el río más caudaloso del mundo, el Amazonas y otro gran río, el Orinoco, además de contar con el Lago Maracaibo. En todo el Archipiélago de Las Antillas los ríos son de poco caudal y aunque tiene varios lagos y lagunas, solo el Lago Enriquillo, en República Dominicana, es digno de mencionarse.

En contraste con el aumento de la demanda de agua por las poblaciones caribeñas, en crecimiento, la disponibilidad de ésta disminuye, precisamente por una mayor demanda y por la disminución de la disponibilidad de aguas de calidad, dada su contaminación por acciones antropogénicas y por la alteración del balance hidrológico que estas han provocado. Sobre todo en las islas, cuando se sobreexplotan sus acuíferos naturales, se corre un gran riesgo de salinización del suelo, por la intrusión del agua salada del mar.

No hay otra alternativa que modificar la actitud del Hombre, de sus instituciones y de sus gobiernos, con respecto al agua, para conservarla y para hacer de ella un recurso verdaderamente renovable, ya que no basta con que se cumpla el ciclo hidrológico si su producto inicial y final (el agua), se contamina y se utiliza inadecuadamente.

El suelo y el agua son dos de los más importantes recursos naturales que requiere el Hombre para hacer agricultura y hay que hacerlo consciente de ello.

Clima

El clima del Caribe se clasifica como Tropical; no obstante la latitud y longitud, la altitud, las diferencias entre la masa continental y el conjunto de islas y la configuración de sus relieves, determinan particularidades climáticas para cada uno de los actuales países y territorios que lo constituyen, así como diferencias muy apreciables dentro de ellos mismos, por lo que hay regiones caribeñas que tienen clima tropical húmedo, otras tropical moderado y algunas subtropical.

La lluvia es el factor climático de mayor influencia en la agricultura caribeña. Entre los meses de junio y noviembre la región del Caribe es azotada por violentos huracanes y fuertes depresiones tropicales que se mueven, fundamentalmente, de Este a Oeste,

siendo las inundaciones uno de los peores desastres naturales que provocan los huracanes y las depresiones tropicales que azotan al Caribe.

En el Archipiélago de las Antillas y en particular en las Antillas Mayores, las lluvias, abundantes, arrastradas generalmente por los vientos alisios y por los fenómenos tropicales citados, se precipitan fundamentalmente de mayo a octubre, provocando dos estaciones bien marcadas; ésta, de abundantes lluvias y otra de noviembre a abril donde éstas son escasas y se producen solo para la parte norte, en general, provocadas por la influencia de las masas de aire frío que avanzan hacia el Sur – Este, desde América del Norte.

La parte continental tiene varias formas de distribución de las precipitaciones lluviosas durante el año.

La existencia de una época seca, obliga a la mayoría de los agricultores caribeños, sobre todo a los más pobres, a los que no pueden regar, a sembrar y plantar en la época de abundantes lluvias, que coincide en general con la de las más altas temperaturas, lo que limita la producción de especies vegetales comestibles que requieren temperaturas más bajas para su crecimiento y desarrollo.

Biodiversidad de la flora

La flora caribeña es muy variada, tanto en las tierras continentales como en las insulares.

Crece en el Caribe la mayoría de las plantas tropicales, entre ellas las maderas preciosas y dentro de éstas, las llamadas maderas duras del trópico.

Puede afirmarse que aún después de cinco siglos de explotación irracional de la flora caribeña, aun hay poblaciones naturales, sobre todo en la parte continental, en las islas mayores y en los lugares de mayor altitud y difícil acceso para el Hombre. En algunas islas pequeñas existen poblaciones de acacias, aroideas, balata, bombáceas, bromeliáceas, cañas bajas, caobas, escitamináceas, hebeas, helechos arborescentes, heliconias, lauráceas, magueyes, orquídeas (entre ellas, la vainilla), palmas, robles, árboles maderables y tintóreos, así como otros árboles y plantas propios de las selvas tropicales.

El caribeño

El Hombre Caribeño y su cultura actual son el producto, nada homogéneo, de algo más de cinco siglos, de fusión étnica y cultural de ancestros provenientes de todos los continentes del mundo; puede afirmarse que la fusión étnica y cultural que lo caracteriza, comenzó con la fusión de los europeos y africanos fundamentalmente y posteriormente, en menor grado, de los asiáticos, con las diversas etnias y culturas, milenarias, que habitaban esta región del mundo.

“Un grupo de factores contribuyen a una relativa homogeneidad del Caribeño y su cultura: condiciones climáticas comunes, lo que queda de la herencia precolombina, la historia colonial europea, la masiva migración forzada de africanos, las migraciones naturales de otras regiones (India y China) y la relativamente rápida mezcla de los componentes de la cual surgió lo que se puede llamar una “Cultura Mulata” específica del Caribe. No obstante, se señalan importantes diferencias entre estos países: de superficie; de población; de status político en términos de Desarrollo Humano y geográfico, dispersión de las islas; lingüístico, con tres bloques principales (español, francés, inglés), más el holandés y el creole; el factor geopolítico, con la influencia de Estados Unidos de América versus Europa y el factor económico: competición de los productos exportables y para el turismo, falta de complementariedad e integración” (Khelladi, 2002).

El Caribeño, como sus países, ha estado sometido a un intenso saqueo de sus recursos naturales, lo que no vino acompañado de la creación de sólidas bases estructurales, debido a la dependencia económica y política de sus antiguas metrópolis europeas desde el siglo XV y de los Estados Unidos de América a partir del siglo XIX, fundamentalmente.

Las desigualdades económicas, con la excepción de Cuba a partir de 1959, crean un gran abismo entre los ricos terratenientes y la clase pudiente en general, que es la minoría, pero que tiene el poder y las riquezas y las grandes mayorías desposeídas, que sufren la pobreza crónica, la falta de escuelas y maestros, de educación; la insuficiente atención médica, la falta de salud, la falta de viviendas, a lo que se suma el despiadado “robo de cerebros” que con tantos esfuerzos forma el Caribe.

A este desolador panorama social se une la realidad de un deterioro ambiental acelerado, muestra del amplio poder destructivo del capital en el ámbito de la relación sociedad – naturaleza.

La actual globalización neo liberal destruye la naturaleza en una competencia desregulada y cada vez más salvaje, por lo que se puede hablar de una crisis ecológica en el Caribe.

No obstante los graves problemas enunciados que sufre hoy el Caribeño y su Caribe, esa unidad dialéctica entre lo homogéneo y lo heterogéneo que caracterizan a la naturaleza, al Hombre y a su cultura, hacen del Caribe una región singular del mundo, una región con potencialidades para alcanzar mayores índices de Desarrollo Humano, basados en el desarrollo de sus talentos y sobre todo en el comprometimiento de esos talentos humanos en el Desarrollo de su país, de su región caribeña y no solo de sus limitados y vulnerables recursos naturales, a los que habrá que proteger, mejorar y darles un uso cada vez más racional y sostenible en el tiempo.

5.2.2. Agricultura y seguridad alimentaria en el Caribe

La agricultura actual del Caribe, parte muy importante de su cultura, se ha ido modificando y enriqueciendo, desde la que practicaban sus pobladores originales con las especies vegetales autóctonas y con sus técnicas de producción también autóctonas, con los aportes de especies vegetales y de técnicas de producción del resto del mundo, traídas por los inmigrantes voluntarios e involuntarios que formaron lo que hoy constituyen sus pueblos; especies vegetales y técnicas de producción, muchas de ellas, validadas en la práctica productiva durante siglos y otras, producto de la expansión de la llamada Revolución Verde, en la segunda mitad del pasado siglo XX, y hoy, para satisfacer no solamente las necesidades del consumo local y regional y para la exportación o para satisfacer los gustos o tradiciones alimentarias del Caribeño, que también se modifican, sino, además, para garantizar, en parte, las necesidades alimentarias de los turistas de otras partes del mundo que lo visitan.

Como aspecto general y fruto del legado económico - histórico de la plantación esclavista, desde el siglo XVI, aún hoy, en los inicios del siglo XXI, como países subdesarrollados, muchos países y territorios caribeños continúan produciendo cultivos suministradores de materias primas baratas para el mundo desarrollado, a precios cada vez más bajos, que apenas cubren los costos de producción y, en algunos casos para

industrializarlos en los propios países o en países vecinos y satisfacer demandas locales o regionales de su población y del turismo, fuente de ingresos financieros externos cada vez más importante y a su vez peligrosa, en lo que a la protección de los recursos naturales y del medio ambiente se refiere.

Entre estos cultivos llamados industriales, deben citarse: algodón (*Gossypium sp.*), banano (*Musa sp.*), caña de azúcar (*Sacharum officinarum*), café (*Coffea arabica* y *C. canephora*), cacao (*Theobroma cacao*), coco (*Cocos nucifera*), cítricos (*Citrus sp.*) (limas ácidas y dulces, limones, mandarinas, naranjas, tangelos, tangerinas, toronjas.), algunas especias, como anís (*Pimpinella anisum*), canela (*Cinnamomun zeylanicum*), clavo de olor (*Coryopullus aromaticus*), nuez moscada (*Alyristice fragans*), pimienta (*Piper nigrum*) y vainilla (*Vanilla fragans*, *V. palmarum*, *V. panifolia*...); papa o patata (*Solanum tuberosum*), piña o ananás (*Ananas sativus*), sisal o henequén (*Agave americana*), tabaco (*Nicotiana tabacum*) y maderas preciosas, entre otros.

Además se producen, para el consumo local o regional y para el turismo fundamentalmente: acerola o carambola (*Averrhoa carambola*), ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum*), aguacate (*Persea americana*), anón (*Annona*), arroz (*Oriza sativa*); boniato, batata, camote o papa dulce (*Ipomaea batata*); caimito (*Chrysophylum caimito*), ciruela (), canistel (), cañandonga o caña fistula (*Cassia fistula*), chayote (*Sechium edule*), chirimoya (*Annona cherimolia*); frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y otros frijoles; guanábana (*Annona muricata*), guayaba (*Psidium guayaba*); hortalizas, plantas aromáticas y condimentosas como Acelga (*Beta vulgaris* variante *cycla*), ají (*Capsicum annum*), ajo (*Allium sativum*), albahaca (*Occimum basilicum*), apio (*Apium graveolens*), berenjena (*Solanum melongena*), berro (*Nasturticum officinale*), calabaza (*Cucurbita sp.*), cebolla (*Allium cepa*), cebollino (*Allium schoenoprasum*), col (*Brassica olearacea*), coliflor (*Brassica olearacea* variedad *botrytis*), brócoli () y otras crucíferas; cilantro (*Coriandrum sativum*), comino (*Cuminum cyminum*), culantro (), espinaca (*Spinacea olearacea*), guisante (*Pisum sativum*), habichuela (), hierba buena (*Mentha sativa*), hinojo (*Foeniculum vulgare*), jengibre (), lechuga (*Lactuca sativa*), melón (*Cucumis melo*), menta (), nabo (*Brassica napus*), orégano (*Origanum vulgare*), pepino (*Cucumis sativus*), perejil (*Petroselenium hortense*), pimienta (*Capsicum annum*), rábano (*Rhaphanus raphanistrum*), remolacha (*Beta*

vulgaris), sandía (*Citrullus vulgaris*), tomate (*Lycopersicum sculentum*), verdolaga (*Postulaca oleracea*), zanahoria (*Daucus carota*); judía (), litchí (), malanga o guagúí (), maní o cacahuete (*Arachis hypogea*), maíz (*Zea mais*), mamey o zapote (*Mammea americana*), mamey de Santo Domingo (), mango (*Manguifera indica*), mamoncillo (), maracuyá (), marañón (), millo (*Panicum miliaceum*), níspero (*Mespilus germanica*), ñame (), papaya (*Carica papaya*), plátano (*Musa sp.*), sorgo (*Sorgum vulgare*), tamarindo (*Tamarindus indica*), tuna o nopal (*Opuntia ficus-indica*), yuca o mandioca (*Manihot utilissima*), zapote (), entre otros, sin contar las llamadas plantas medicinales.

Además de las plantas enumeradas, los agricultores caribeños cultivan decenas de especies de plantas ornamentales y de flores, autóctonas o introducidas, que junto a los cientos de especies maderables y otras sin usos actualmente definidos, pero potencialmente importantes, que crecen en sus territorios, forman una de las mayores reservas de recursos fitogenéticos del mundo. Reserva fuerte, pero frágil y vulnerable a la vez, como la naturaleza del Caribe, como el Caribeño y su cultura.

Es indiscutible que el proceso global de modernización agrícola ha permitido importantes progresos en la producción agrícola del Caribe, pero ha tenido efectos muy asimétricos en los niveles de ingresos y productividad de los pequeños agricultores pobres en comparación con los productores que se dedican a la agricultura industrial, a los de mayores posibilidades económicas, ello ha provocado la ruina de muchos agricultores pobres y por tanto la migración rural y el indeseable incremento de la urbanización irracional e insalubre, de la creación de verdaderos cinturones de barrios miserables alrededor de las grandes ciudades.

Para la mayoría de los pequeños agricultores y de las personas que viven en las zonas rurales, el empleo e ingreso derivado de la producción de alimentos básicos debía ser la clave para conseguir mayor acceso a los alimentos, a alimentos variados e inocuos.

5.2.3. Los suelos del Caribe

Las diferencias geográficas entre la formación continental e insular en toda la región, así como la geología, con un vulcanismo marcado en algunos países del área continental y ausente en otros con carácter insular (como por ejemplo en Cuba), conjuntamente con el desarrollo de las civilizaciones donde la civilización prehispánica de los Mayas tuvo una

influencia más marcada en la actividad agrícola que en las civilizaciones indígenas de las islas del Caribe (como por ejemplo en Cuba donde los taínos y siboneyes eran comunidades más atrasadas), provocan una marcada influencia en la diversidad biológica en la región, sobre todo en los suelos, sus características y estado actual.

Los suelos son muy diversos, identificándose para el área, como suelos más extensivos 11 Grupos y 31 Unidades de Suelos (según el mapa mundial de suelos de la FAO, 1972, y la Leyenda revisada, FAO, 1989). Los Grupos de suelos más extensivos son: Cambisol, Nitisol, Acrisol, Luvisol, Andosol, Fluvisol y Rendzina (Leptosoles réndzicos), según la Leyenda Revisada, FAO, 1989). Con menos extensión se tienen los Grupos de Ferralsol, Regosol, Histosol y Planosol.

5.2.3.1. Características de los suelos predominantes en la región

Cambisoles: Después de revisar diferentes trabajos (Instituto de Suelos, 1970, 1973; Hernández, 1978, Hernández *et al.*, 1990, 1991a,b y Arcía *et al.*, 2001); estos suelos en el área continental se presentan en México (en la región ondulada premontañosa paralela a la costa en los estados de Veracruz y Tabasco, y en Campeche, Yucatán y Quintana Roo), Belice, Guatemala y Honduras, en la parte central de Nicaragua y son poco extensivos en Colombia y en Venezuela. En las islas caribeñas representa el suelo más extensivo de Cuba, estando presente además en Haití, República Dominicana y otras islas pequeñas.

Dentro del Grupo, las Unidades más frecuentes son: Cambisol éutrico (el suelo más extensivo), Cambisol vértico y en menor escala Cambisol crómico, Cambisol dístrico, Cambisol calcárico y Cambisol gléyico.

Los Cambisoles son suelos de perfil ABC, de mediana a poca profundidad, que tienen un horizonte A de color pardo oscuro a pardo, franco a franco arcilloso, estructura nuciforme-granular, friable, con buena porosidad; mientras que el horizonte B es de color pardo a pardo amarillento, franco a franco arcilloso, estructura de bloques subangulares, compactado en estado seco y plástico en estado húmedo, medianamente poroso; el horizonte C es de color pardo claro a amarillento claro, con pequeños fragmentos de la roca subyacente.

Las Unidades de suelos presentes en Centroamérica y El Caribe tienen las siguientes características:

Cambisol éutrico: son Cambisoles que tienen más del 50% de saturación por bases.

Cambisol vértico: se presentan en los relieves más bajos dentro del área de distribución de los Cambisoles, y tienen estructura más gruesa, del tipo prismática, sobre todo en los horizontes A y B.

Cambisol crómico: tienen el horizonte B de color pardo rojizo o pardo amarillento.

Cambisol districo: resultan los suelos de fertilidad baja, ya que tienen un lavado fuerte de nutrientes y bases, con un grado de saturación menor del 50%.

Cambisol calcárico: están en las regiones más secas dentro del área de distribución de los Cambisoles. Por ejemplo, en Cuba se distribuyen en llanuras onduladas con clima tropical relativamente seco, con precipitaciones anuales entre 900 y 1200 mm. Estos suelos tienen carbonato de calcio en el perfil.

Cambisol gléyico: son suelos que están sometidos a la influencia temporal del sobrehumedecimiento en alguna parte del perfil, de forma tal que presentan manchas como resultado del proceso de gleyzación, siempre por debajo de los 50 cm de profundidad.

Nitisoles: son suelos de perfil ABtC, de color rojo a rojo amarillento, con horizonte Bt argílico y en el cual se manifiestan las propiedades níticas, por una estructura poliédrica o de bloques subangulares y muchas caras brillantes (shiny peds), como resultado de la presencia de sobreescurrecimientos o cutanes de la arcilla con el hierro. Estos suelos son de fertilidad media y tienen alta fijación del fósforo del suelo.

Dentro del Grupo se encuentran las siguientes Unidades de suelos:

Nitisol éutricos: resultan los suelos más fértiles y productivos dentro del Grupo, caracterizados por un grado de saturación por bases mayor del 50%

Nitisoles districos: por el contrario, son pobres y ácidos, con un grado de saturación por bases menor del 50%, se consideran de fertilidad baja.

Acrisoles: son posiblemente los suelos de fertilidad más baja del área referida, excepto los Acrisoles húmicos, que son ricos en materia orgánica, y con buena estructura en el horizonte A. Son suelos de perfil ABtC, con horizonte A de textura franco a franco arenosa, color pardo amarillento, estructura terronosa fina, poco estable y muy baja actividad biológica. El horizonte B es más arcilloso que el A, de color rojo amarillento y estructura de bloques subangulares, y generalmente con consistencia que dificulta la penetración de las raíces de los cultivos (cítricos, café, caña de azúcar).

Son suelos con grado de saturación menor de 50%, en las condiciones tropicales predomina el aluminio cambiante, pH en KCl igual o menor de 4,0-4,5 (sobre todo en el horizonte B), capacidad de intercambio catiónico menor de 24 cmol.kg⁻¹ en arcilla. Es frecuente encontrar Acrisoles, con una capacidad de intercambio catiónico menor de 6-10 cmol.kg⁻¹ en la masa del suelo.

En la región tenemos las siguientes Unidades de suelos:

Acrisol háplico: resultan pobres en materia orgánica

Acrisol férrico: presenta nódulos ferruginosos en el perfil

Acrisol plíntico: son de reacción muy ácida y compactados

Acrisol húmico: son los más extensivos en el área, y son los mas fértiles dentro del Grupo, ya que tienen el horizonte A con un espesor de 15-30 cm, de color pardo oscuro, rico en materia orgánica (por lo general mayor de 4%) y buena estructura.

Todos los Acrisoles pueden considerarse de fertilidad baja, por su acidez, capacidad de intercambio, compactación y contenido en nutrientes. La excepción lo constituye el suelo Acrisol húmico que se considera de fertilidad media.

Luvisoles: estos suelos al igual que los Nitisoles y Acrisoles son suelos lixiviados, de perfil ABtC, pero tienen capacidad de intercambio catiónico mayor de 24 cmol.kg⁻¹ en arcilla. El horizonte A es de color pardo amarillento a amarillento, a veces rojo amarillento y la textura es franco a franco arenosa; el horizonte Bt es más arcilloso, con agregados gruesos, que dificultan la penetración de las raíces de los cultivos. En el área se presentan las siguientes Unidades de suelos:

Luvisol háplico: son los típicos, pobres en materia orgánica

Luvisol crómico: con colores rojo-rojo amarillento

Luvisol férrico: con nódulos ferruginosos en el horizonte Bt

Luvisol gléyico: están en los lugares más bajos, expuestos al sobrehumedecimiento, por lo que presentan drenaje deficiente.

En general los Luvisoles tienen capacidad de intercambio catiónico más alta en el suelo, por lo que se consideran de fertilidad media, excepto los Luvisoles háplicos, que son de fertilidad baja.

Andosoles: en las regiones continentales que están mas cercanas a la cordillera montañosa que da al Pacífico y en algunas islas del Caribe, se presentan los Andosoles.

Cuando el relieve lo permite, estos suelos se utilizan en la agricultura en granos como en la región León-Chinandega de Nicaragua (Hernández y González, 1988).

Como es bien conocido, los Andosoles se caracterizan por la presencia de vidrio volcánico y alofanos, y por lo general tienen buena fertilidad. Entre las Unidades de suelo más difundidas está el *Andosol mólico*, que resulta el suelo de mejor fertilidad; aunque debe destacarse que todos los Andosoles tienen la limitación del relieve y su alta susceptibilidad a la erosión. Está presente además el *Andosol úmbrico*, muy productivo también, pero desaturado en superficie y los de fertilidad más baja son los *Andosoles vítricos* (de textura arenosa).

Vertisoles: son suelos arcillosos, profundos, con presencia de bloques prismáticos con caras de deslizamiento (slickensides). En condiciones naturales el suelo presenta un horizonte A11 (0-15 cm) con textura arcillosa, color oscuro, estructura granular, que pasa a un horizonte A12 (20-35 cm) arcilloso, oscuro, estructura de bloques subangulares de 5-7 cm de tamaño, y más abajo en profundidad comienzan a manifestarse los bloques prismáticos, inicialmente de tamaño mediano (10-15 cm), pasando finalmente a bloques de tamaño grande 20-30 cm con caras de deslizamiento bien manifiestas. En estas condiciones el horizonte A tiene un contenido de materia orgánica de 4-6%.

Sin embargo, por el uso agrícola de estos suelos (sobre todo por el cultivo del arroz), se produce la mineralización de la materia orgánica, disminuyendo su contenido a 1-2%, y además la pérdida de los agregados finos de la parte superior del perfil, quedando entonces los bloques prismáticos en la superficie del suelo o muy cerca de la misma. Cuando esto ocurre, el suelo en superficie se agrieta mucho en época de seca y se compacta, por lo que entonces se pueden calificar como suelos poco fértiles.

Dentro del Grupo de Vertisoles, en el área de Centroamérica y El Caribe se presentan las Unidades de:

Vertisol éutrico: son Vertisoles de color oscuro, resultando los más típicos y más productivos, con más del 50% de saturación por bases.

Vertisol dístrico: menos extensivos, de color rojo amarillento, muchas veces asociados a los Nitisoles y con un grado de saturación menor del 50%.

Gleysoles: estos suelos, al igual que los Vertisoles, tienen drenaje deficiente, son de perfil AgCgG, muchas veces con la presencia de un manto freático a menos de 200 cm de profundidad. Dentro del Grupo se encuentran las siguientes Unidades de suelo:

Gleysol mólico: es un Gleysol de buena estructura en superficie, siendo la mejor variante dentro del Grupo.

Gleysol éutrico: son Gleysoles que tienen más del 50% de saturación por bases en el complejo de intercambio.

Gleysol dístrico: son de menor productividad, ya que tienen reacción ácida, dado por un grado de saturación por bases menor del 50%.

Gleysol plíntico: resultan los menos productivos, pues aparte de la presencia de plintita, que los hace muy compactos en época de seca, son de reacción muy ácida, a veces con más del 50% de aluminio cambiabile.

Los Gleysoles se pueden calificar como suelos de baja fertilidad, excepto los Gleysoles mólicos que son de fertilidad media. En general estos suelos son poco aptos para la agricultura y en gran medida se utilizan solamente en el cultivo del arroz.

Fluvisoles: en asociación con los Gleysoles y a veces con los Vertisoles, están los Fluvisoles (suelos Aluviales). Por sus características estos suelos resultan de buena fertilidad, estando limitados solamente por problemas de drenaje. En el área solamente se identifica la Unidad de suelo *Fluvisol éutrico*, que es un suelo de buen contenido en materia orgánica, adecuada estructura, textura franco arenosa a franco arcillosa y grado de saturación por bases mayor del 50%.

Rendzinas (Leptosoles réndzicos): son ricos en materia orgánica, y presentan un contenido adecuado de materia orgánica, pero tienen la limitación de su escasa profundidad, con una roca caliza dura y compacta, la mayoría de las veces a 20-30 cm de profundidad. Además pueden tener un contenido alto de gravas en el perfil. Por esto las Rendzinas se utilizan en la agricultura solamente en cultivos que desarrollan un sistema radicular poco profundo como algunos vegetales.

Los restantes Grupos de suelos que se identifican en la región de Centroamérica y El Caribe (*Ferralsoles*, *Regosoles*, *Planosoles*, *Lithosoles* e *Histosoles*) resultan menos extensivos que los anteriores. Dentro de ellos, los ***Lithosoles*** no son aptos para la explotación agrícola, y los ***Histosoles*** prácticamente no se cultivan y se mantienen como reserva forestal. Los

Regosoles resultan de mayor importancia, son suelos de perfil AC, pero de textura loam, que resultan erosionables cuando se encuentran en pendientes mayor de 2-3%; un área relativamente extensiva de estos suelos se encuentra en la cuenca del río Tuxpan en el estado de Veracruz (México), y es ampliamente utilizado en cítricos (naranja). Algunos resultados sobre la conservación de estos suelos se han obtenido por un sistema de terrazas utilizando el cítrico como barrera viva (Juana E. Cruz, 2000).

Ferralsoles: resultan suelos adecuados cuando tienen buena textura (loam arcillosa a arcillosa) y sobre todo los Ferralsoles ródicos. Un caso de estos suelos se encuentra en Cuba, en asociación con los Nitisoles. En general se utilizan en caña de azúcar, cítricos y café, y en otros como la papa, con buenos rendimientos en estos cultivos.

Planosoles: por su parte resultan suelos poco productivos, con perfil A1-E-Btg-Cg, con marcada influencia de la hidromorfia y generalmente con contenido alto de aluminio cambiabile y fuerte acidez; además presentan problemas de compactación fuerte.

5.2.3.2. Agrupamiento de los suelos del Caribe por su fertilidad

Por las características expuestas, los suelos en el área se pueden agrupar en Fertilidad alta, media y baja (Fertilidad alta: Unidades de suelo que son ricos en materia orgánica y/o pH adecuado, grado de saturación mayor de 50%, buen drenaje y adecuada capacidad de intercambio catiónico; Fertilidad baja: suelos que tiene serias limitaciones agroproductivas, ya sea por drenaje impedido, fuerte acidez, alto contenido de aluminio cambiabile, muy poca profundidad, alto contenido de sales o muy baja capacidad de intercambio catiónico; Fertilidad media: suelos que tienen capacidad agroproductiva intermedia entre los de fertilidad alta y los de baja).

Suelos de Fertilidad alta	Suelos de Fertilidad media	Suelos de Fertilidad baja
Andosol mólico	Cambisol crómico	Cambisol dístrico
Andosol úmbrico	Cambisol gléyico	Acrisol háplico
Cambisol éutrico	Acrisol húmico	Acrisol férrico
Cambisol vértico	Luvisol crómico	Acrisol plíntico
Cambisol calcárico	Luvisol férrico	Vertisol dístrico
Fluvisol éutrico	Luvisol háplico	Gleysol dístrico
Regosol éutrico	Luvisol gléyico	Gleysol plíntico
Nitisol éutrico	Andosol vítrico	Planosol dístrico
Ferralsol ródico	Gleysol mólico	Leptosol réndsico

Gleysol éútrico
Vertisol éútrico
Vertisol cálcico
Nitisol dístrico

Histosol
Solonchak

En relación con los *Histosoles* y *Lithosoles*, estos no se tienen en consideración, ya que generalmente no son utilizados en la producción agrícola.

5.2.3.3. Grupos y unidades de suelos predominantes por países en el Caribe

5.2.3.3.1. Países de la región continental aledaña al Golfo de México y al Mar Caribe

México (Estados de Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo).

Predominan los Acrisoles háplicos, Acrisoles húmicos, Cambisoles dístricos, Cambisoles éútricos (para Veracruz, Oaxaca y Tabasco) y Leptosoles réndzicos, Cambisoles crómicos, Luvisoles gléyicos y Vertisoles éútricos (para la zona costera de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) (Hernández *et al.*, 1990, 1991a,b; Castillo, 2000; Castañeda, 2000; Palma *et al.*, 2001; Arcia *et al.*, 2001; Salgado *et al.*, 2001; Ibáñez *et al.*, 2001; Arminda *et al.*, 2001).

Hacia la parte norte paralelo a la costa se encuentra un área relativamente extensa, en la cuenca del río Tuxpan donde predominan Regosoles calcáricos (Cruz García, 2000).

Belice

Se presentan Gleysoles dístricos, Acrisoles háplicos, Cambisoles dístricos y Cambisoles vérticos. En la parte norte en la frontera con Yucatán, se tienen Leptosoles réndzicos y Cambisoles crómicos. En la costa hay franjas de Histosoles.

Honduras

En la franja costera se tienen Histosoles y Gleysoles mólicos. Posteriormente, por encima de la costa, hay una franja extensiva de Acrisoles háplicos y Acrisoles húmicos. Transversalmente, hacia la costa se presentan Luvisoles háplicos, Leptosoles réndzicos y Cambisoles dístricos.

El Salvador

Este país tiene sus costas hacia el Océano Pacífico, aunque siendo un país centroamericano se tiene en cuenta en este trabajo. En el mismo predominan 3 Unidades de suelos: Nitisol éútrico, Andosol vítrico y Andosol mólico.

Nicaragua

En la costa del Mar Caribe hay un área extensiva de Histosoles, Gleysoles plínticos y Gleysoles mólicos. Posteriormente se presenta un área notable de Acrisoles húmicos, Acrisoles plínticos y Acrisoles háplicos.

Hacia la parte central montañosa, hay Nitisoles dístricos y Luvisoles férricos. Posteriormente Cambisoles éutricos y Cambisoles vérticos.

Entre la cordillera volcánica y el Océano Pacífico, se forman Andosoles vítricos y Andosoles mólicos; y en la costa Vertisoles pélicos (Hernández y González, 1988).

Costa Rica

Hacia el Mar Caribe hay Regosoles dístricos, Gleysoles mólicos, Histosoles y Planosoles dístricos. Posteriormente se presenta una faja de Acrisoles húmicos y Acrisoles háplicos. En la cordillera volcánica del Pacífico encontramos Andosoles húmicos, Andosoles vítricos y en los relieves más bajos Nitisoles éutricos. Ya en la costa del Pacífico se distribuyen Cambisoles crómicos y Luvisoles crómicos (Chávez Solera, 2001).

Panamá

Para la costa del Mar Caribe se presentan Histosoles y Acrisoles húmicos, que en ocasiones se extienden hasta el Pacífico. Hacia el Golfo de Panamá hay un área extensiva de Nitisoles dístricos.

Colombia

De la parte del Mar Caribe hacia el centro del país se encuentra un área muy extensiva de Fluvisol éutrico, al oeste de esta franja se tienen Acrisoles háplicos y Luvisoles háplicos. Hacia la frontera con Venezuela, en la parte norte de la Guajira, en una región árida se distribuyen Calcisoles, Regosoles éutricos y más al sur, ya en una zona tropical subhúmeda, Nitisoles dístricos, Luvisoles háplicos y Cambisoles mólicos.

Hacia los llanos orientales y llanos de la Amazonia hay Gleysoles dístricos, Gleysoles plínticos, Acrisoles húmicos y Acrisoles plínticos (Guerrero, 1974; Bornemisza y Alvarado, 1974).

Venezuela

En la costa del mar Caribe se presentan los siguientes suelos:

Acrisoles háplicos en forma muy extensa, con una región menos extensa de Acrisoles plínticos, hacia la cuenca del Orinoco; ya en la parte de las terrazas aluviales de este río, en

la parte más alta se presentan Gleysoles dístricos y hacia la desembocadura del río, Gleysoles éutricos, así como Solonchaks gléyicos en la desembocadura del Orinoco.

Hacia los llanos centrales predominan suelos lixiviados (Luvisoles y Acrisoles) (Lobo y Pla Sentis, 2001).

En la parte occidental del país, en la frontera con Colombia, en las montañas bajas se presentan Cambisoles dístricos y Luvisoles férricos principalmente, y aledaño al Lago Maracaibo, Gleysoles dístricos, Fluvisoles éutricos y Luvisoles férricos.

En la parte norte, semiárida de la Guajira, Calcisoles, Regosoles éutricos y Cambisoles éutricos.

En la tabla 31 se muestran las diferentes Unidades de Suelo, su extensión relativa y su fertilidad por los diferentes países de Centroamérica.

5.2.3.3.2. Países de las Islas del Mar Caribe. Antillas Mayores

Cuba

Es uno de los países con mayor desarrollo en la Edafología en el Caribe. Tiene 2 mapas de suelos realizados en todo el país en escalas 1:250 000 (Instituto de Suelos, 1970) y en 1: 25 000 (Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1990). Además en este país se cuenta con un sistema propio de clasificación, cuya última versión (Hernández *et al.*, 1999) se ha plasmado recientemente en un mapa de suelos 1: 500 000 (Trémols *et al.*, 2000). Por los resultados de estos trabajos y muchos otros más sobre génesis, clasificación y cartografía se puede concretar lo siguiente:

El suelo predominante en Cuba, en las llanuras onduladas, alturas y premontañas es el Cambisol éutrico. En las llanuras occidentales hay Ferralsoles ródicos, Nitisoles ródicos (provincias Habana y Matanzas) y Acrisoles háplicos y Acrisoles plínticos en Pinar del Río e Isla de la Juventud.

En la llanura oriental del Río Cauto y en franjas costeras predominan Vertisoles pélicos, Gleysoles vérticos, Fluvisoles éutricos, Solonchaks y Solonetz. En la llanura de Alto Cedro, en la parte oriental, hay Vertisoles cálcicos. En muchas regiones onduladas con lluvias menores de 1200 mm se encuentra como suelo predominante el Calcisol y algunos Leptosoles réndzicos. En el Valle de Guantánamo se distribuyen Solonchaks, Solonetz y Calcisoles.

En las regiones montañosas encontramos suelos muy evolucionados, Acrisoles, Alisoles y Ferralsoles géricos, formados de corteza de intemperismo, en combinación con Cambisoles éutricos, en relieves jóvenes o inestables.

En las provincias centrales desde el límite con la provincia de Matanzas hasta el límite de las provincias orientales, el suelo predominante es el Cambisol éutrico, formado sobre diferentes tipos de rocas; mientras que hacia las costas tenemos Vertisoles, Gleysoles y en ocasiones Acrisoles plínticos.

Hay una zona relativamente extensa en la Ciénaga de Zapata, con Histosoles, mientras que en la parte sur de Isla de la Juventud y en la parte más occidental, en la península de Guanahacabibes, se presentan llanuras cársticas relativamente jóvenes con suelos de Rendzina (Leptosoles réndzicos), pero de color rojo.

Puerto Rico

En la llanura costera se tienen Vertisoles Pélicos y Feozems mólicos, con algunas partes de Leptosoles réndzicos. Además Ferralsol háplico e Histosoles.

En la llanura cárstica predominan Cambisoles éutricos, Acrisoles órticos y Ferralsoles háplicos. En la costa norte y sur se forman Fluvisoles éutricos (Wolf, 1974; Abruña *et al.*, 1974; USDA, 1973).

República Dominicana

Predominan en este país los Cambisoles dísticos, Cambisoles crómicos con Luvisoles háplicos y Luvisoles crómicos; además encontramos también algunas regiones de Nitisoles ródicos (con más del 50% de saturación por bases), éutricos; y también ácidos, dísticos. En la parte norte, en las zonas bajas hay Fluvisoles éutricos y Vertisoles éutricos.

Haití

Al igual que en Cuba y en la República Dominicana, el Grupo de suelos más extensivo en Haití es el Cambisol, con las Unidades de Cambisol crómico y Cambisol éutrico. Además se presentan Nitisoles dísticos y pequeñas regiones de Nitisoles éutricos. En las partes bajas, hacia la costa occidental hay fajas de Fluvisoles éutricos.

Jamaica

En esta isla caribeña de habla inglesa, el suelo predominante es Nitisol dístico, y en segundo lugar en extensión tenemos Luvisol crómico, Cambisol crómico, Fluvisol éutrico y pequeñas áreas de Acrisol háplico.

A continuación se presenta la tabla 32 que muestra las diferentes Unidades de Suelo, su extensión relativa y su fertilidad por los diferentes países de Las Antillas Mayores.

5.2.3.3.3. Países de las Islas del Mar Caribe. Antillas Menores

Barbuda

Predominan suelos Nitisoles éutricos y Leptosoles réndzicos con algunas áreas de Cambisoles vérticos y Leptosoles líticos.

Antigua

El suelo más extensivo es el Cambisol éutrico, aunque también hay áreas de Fluvisol éutrico, con pequeñas regiones de Cambisol crómico, Leptosoles líticos y réndzicos y Fluvisoles éutricos.

Guadalupe

Tiene una gama de suelos más variada, con Cambisoles crómicos, Nitisoles dístricos y Andosoles mólicos como los más representativos, también Fluvisol éutrico y Leptosol réndzico, con algunas áreas de Acrisol húmico y Cambisol vértico.

Dominica

Predominan los Cambisoles vérticos, Andosoles mólicos, Vertisoles éutricos y Nitisoles éutricos, con algunas regiones de Leptosol réndzico y lítico.

Martinica

El suelo más extensivo es el Nitisol, con mayor área de Nitisol dístrico, y con poca extensión el Nitisol éutrico. Como suelos representativos de esta isla están también el Andosol mólico, Vertisol éutrico, Cambisol vértico y Fluvisol éutrico, asociado este último a pequeñas áreas de Gleysol húmico.

Santa Lucía

Esta pequeña isla presenta como suelo más extensivo el Cambisol vértico y también el Nitisol éutrico.

San Vicente y Las Granadinas

Los suelos más extensivos son: Nitisol éutrico y Cambisol vértico, con pequeñas áreas de Luvisol crómico, Luvisol vértico, Vertisol éutrico y Leptosol réndzico.

Barbados

Los Leptosoles réndzicos ocupan una buena parte de esta isla, conjuntamente con los Nitisoles éutricos y Cambisoles éutricos, además hay pequeñas áreas de Vertisoles éutricos y Leptosoles líticos.

Granada

Los Cambisoles son los suelos más extensivos, con predominio del Cambisol vértico y en menor escala el Cambisol éutrico. Además se encuentran los Nitisoles éutricos y Fluvisoles éutricos. Hay pequeñas áreas de Leptosoles réndzicos y Leptosoles líticos con Luvisol crómico y Luvisol vértico.

Trinidad y Tobago

Los Acrisoles son los suelos más representativos en esta isla, conjuntamente con Fluvisoles éutricos, Luvisoles háplicos y Luvisoles crómicos.

Islas Caimán

Por los trabajos de Hernández y Delgado (1998), se constata que en la Isla Caimán Grande el suelo predominante es el Leptosol réndzico, con algunas áreas de Cambisol calcárico y Cambisol crómico y pegado a la costa, Solonchak.

A continuación se presenta la tabla 33 que muestra las diferentes Unidades de Suelo, su extensión relativa y su fertilidad por los diferentes países de las Antillas Menores.

Tabla 31. Relación de los suelos del Caribe continental (por países) según su fertilidad
1: Más del 50% del área; 2: 30-50% del área; 3: 10-30% del área; 4: Menos del 10% del área

SUELO	Méjico	Belice	Guatemala	Honduras	El Salvador	Nicaragua	Costa Rica	Panamá	Colombia	Venezuela
FERTILIDAD ALTA										
Androsol mólico			4			4				
Andosol úmblico			4			4		4		
Cambisol éútrico						4				
Cambisol vértico	3	3				4				
Cambisol calcárico									4	3
Fluvisol éútrico	4								2	4
Regosol éútrico	4	4	4		4				4	
Nitisol éútrico	4		3	4	2	3	4			
Ferralsol róxico									4	3
FERTILIDAD MEDIA										
Cambisol crómico	3	3					4			
Acrisol húmico	4			3		2	3	1		
Luvisol crómico	4						3		2	4
Luvisol férrico	4		4			4				4
Luvisol háplico			3	3					2	
Luvisol gléyico	4									
Andosol vítrico	4		4	4	2	4	3			
Gleysol mólico				4		4	4			4
Gleysol eútrico		3	4		4					3
Vertisol éútrico	3		4		4	4				
Nitisol dístrico				4				2		

Tabla 32 Relación de los suelos de las Antillas Mayores (por países) según su fertilidad
1: Más del 50% del área; 2: 30-50% del área; 3: 10-30% del área; 4: Menos del 10% del área

SUELO	Cuba	Haití	República Dominicana	Puerto Rico	Jamaica
FERTILIDAD ALTA					
Cambisol éutrico	2			2	
Cambisol vértico	4			4	
Cambisol calcárico	4				
Fluvisol éutrico		3		3	3
Regosol éutrico			4		
Nitisol éutrico	3	4	4		
Ferralsol róxico	3				
FERTILIDAD MEDIA					
Cambisol crómico		2	2		3
Cambisol gléyico	4				
Luvisol crómico	3	4			4
Luvisol háplico			3		
Gleysol mólico	3				
Gleysol éutrico	4				
Vertisol éutrico	3		4	4	
Vertisol cálcico	4				
Nitisol dístrico		4		3	2
FERTILIDAD BAJA					
Acrisol háplico	3		4	3	4
Acrisol plíntico	4				
Alisoles háplicos	3				
Planosol dístrico	4				
Leptosol réndzico	3			4	4
Histosol	4				
Solonchak	4				

Tabla33. Relación de los suelos de las Antillas Menores (por países) según su fertilidad
1: Más del 50% del área; 2: 30-50% del área; 3: 10-30% del área; 4: Menos del 10% del área

[illegible]



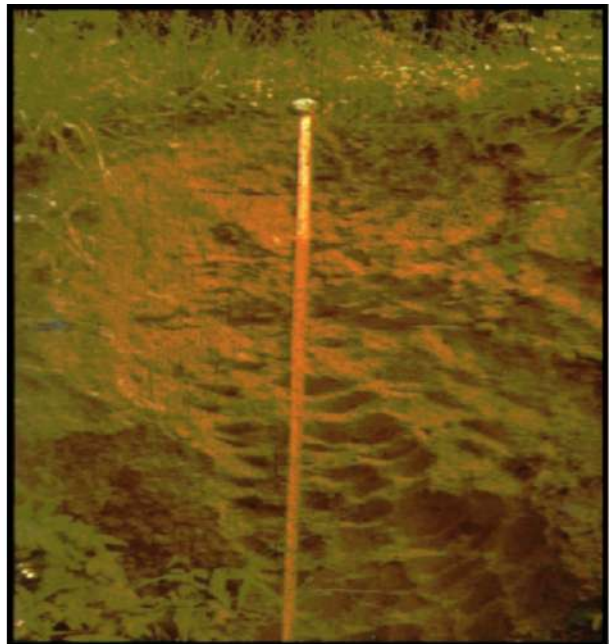
Planosol dístrico. Cuba



Acrisol plántico. Cuba



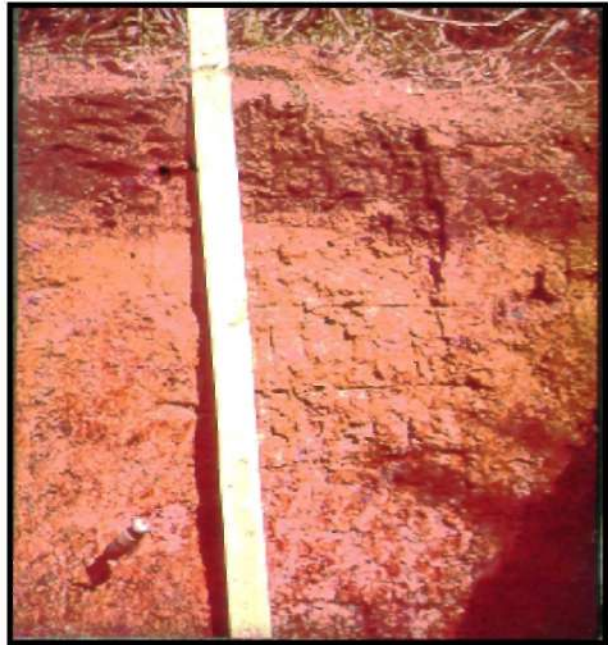
Nitisol ródic - éútrico. Cuba



Luvisol háptico. México



Ferralsol ródico-éutrico. Cuba



Gleysol plíntico. Cuba



Andosol vítrico. Nicaragua



Andosol mólico. Nicaragua.



Cambisol crómico. Cuba



Cambisol éutrico. Cuba



Cambisol calcárico. Cuba



Solonchak háplico. Venezuela



Vertisol éutrico. México



Vertisol éutrico. Cuba

5.3. Consideraciones generales sobre la utilización de los Sistemas Agrícolas Micorrizados en la Agricultura del Caribe.

En este capítulo se presentó una amplia caracterización de los suelos más comunes en la región y su distribución por países y en el capítulo 2 quedó establecida la importancia del suelo para la selección de cepas eficientes y el manejo exitoso de la simbiosis micorrízica.

Consecuentemente, en la tabla 34 se presenta un resumen de los principales tipos de suelos de la región, quedando claro que en todos ellos existe información positiva sobre la inoculación de cepas de HMA. Se reportan, además, las cepas más eficientes por tipo de suelo, a partir de los resultados de los programas de investigación antes mencionados (tópico 2.2) y de las campañas de validación con productores (capítulo 4).

Lo anterior es un buen punto de partida para la introducción de este enfoque en la región, ya que se dispone de criterios experimentales, o mejor aún, obtenidos en las campañas de validación, para la recomendación de cepas eficientes en los grupos de suelos más extendidos, e inclusive se dispone de información a nivel de Unidades de Suelo, aunque en la tabla solo se desagrega el grupo de los Cambisoles por presentar un rango muy amplio de capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre las diferentes Unidades.

Tabla 34. Recomendación de cepas eficientes para los grupos de suelos más extendidos en la región caribeña.

GRUPOS	Existencia de información experimental o de validación	Cepas de HMA recomendadas
Acrisoles	si	<i>Glomus clarum</i> y <i>Acaulospora scrobiculata</i> ,
Nitisoles	si	<i>G. clarum</i> , <i>G. intraradices</i> y <i>A. scrobiculata</i>
Luvisoles	si	<i>G. fasciculatum</i> y <i>G. mosseae</i>
Cambisoles húmicos-crómicos y crómicos	si	<i>G. clarum</i> y <i>Glomus</i> sp2.
Cambisoles gléyicos	si	<i>G. intraradices</i> y <i>G. fasciculatum</i>
Ferralsoles	si	<i>G. fasciculatum</i> y <i>G. mosseae</i>
Cambisoles éutricos	si	<i>G. fasciculatum</i>
Cambisoles calcáricos	si	<i>G. intraradices</i> , <i>G. spurgum</i> y <i>G. fasciculatum</i>
Andosoles	si	<i>G. fasciculatum</i>
Fluvisoles	si	<i>G. fasciculatum</i>

Por supuesto, esto no significa que no se recomiende continuar la ejecución de tareas de prospección, aislamiento y selección de nuevas cepas eficientes, así como para condiciones edáficas específicas, y con vistas a perfeccionar localmente estas recomendaciones.

No obstante, no hay dudas que se dispone de una valiosa y amplia información experimental refrendada positivamente por los productores, tanto en modelos de altos como de bajos insumos, que permiten no solo su implementación en la práctica productiva, sino que además debe servir como punto de partida para impulsar programas de Innovación Tecnológica e Investigación + Desarrollo (I + D) y a su vez para la búsqueda de fuentes de financiamiento que permitan su aplicación en la agricultura de la región.

La FAO definió de la siguiente manera la agricultura y el desarrollo rural sostenible: “El manejo y conservación de la base de los recursos naturales, y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de manera de asegurar el logro y la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones actuales y futuras. Dicho desarrollo que es viable, conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no produce degradación ambiental, es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable” (Enoki, 1999).

A lo largo de este documento se ha argumentado la importancia de potenciar la simbiosis micorrízica en la producción agrícola, siendo el eje alrededor del cual se desarrollan los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente, y que sirvan como una vía concreta hacia la sostenibilidad. Los resultados obtenidos en las campañas de validación con productores demostraron la factibilidad práctica, beneficios e impactos de este enfoque, el cual se encuentra insertado y en amplia concordancia con los conceptos anteriormente mencionados de la FAO sobre sostenibilidad.

A manera de resumen se relacionan algunos de los principales argumentos que aconsejan su introducción en la agricultura del Caribe:

1. se dispone de una amplia información experimental y de validación con resultados muy satisfactorios, con un alto impacto económico, ambiental y social, que incluyen los cultivos más importantes así como los suelos más extendidos en la región.
2. se ha obtenido un amplio e importante conocimiento sobre los factores que gobiernan la efectividad de la micorrización, siendo el tipo de suelo uno de los determinantes en la

misma; disponiéndose de criterios científico técnicos sobre el manejo efectivo de la simbiosis y su integración con diferentes prácticas culturales.

3. se dispone de un conocimiento amplio sobre los tipos de suelos y la distribución de estos en la región, así como de su la evaluación agroproductiva de estos.
4. se posee una adecuada experiencia en el montaje de plantas productoras de biofertilizantes micorrízicos, así como un sistema de producción que garantiza un producto estandarizado.
5. se evaluó satisfactoriamente un enfoque de trabajo conceptualizado en la propia región, con el cual se comprobó como la generación de resultados de I + D concebidos a ciclo completo, lograron introducirse en la práctica productiva, desarrollándose toda una serie de actividades de interfase del tipo de validación, innovación tecnológica, empresariales entre otras y en las cuales se destacó el enfoque participativo de las validaciones con los agricultores..
6. se dispone de un amplio colectivo numeroso grupo de investigadores, extensionistas, productores de biofertilizantes, agrónomos y técnicos en general, que son el soporte para la introducción de este enfoque en la región, para continuar generando e integrando nuevos conocimientos en la práctica productiva, así como desarrollando nuevos productos
7. la generación de tecnologías de producción agrícola “conservacionistas”, más celosas del cuidado del medio ambiente, basadas en potenciar la actividad biológica del suelo e integrar las diferentes prácticas agrícolas alrededor de ésta, conllevando menores dosis de fertilizantes minerales, impulsando el impulso del uso de los abonos verdes y los orgánicos, garantizando altas producciones con menores costos, una mayor calidad biológica de las cosechas y minimizando reducción al mínimo de las contaminaciones del manto freático por lavado y arrastre de fertilizantes.
8. la utilización de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente implica una culturización de los productores y una ampliación de sus conocimientos, siendo además una vía para introducir los conceptos “medioambientalistas” en nuestra población, necesidad del siglo XXI para el desarrollo de sistemas agrícolas de producción sostenibles en la región.

Sirva el presente documento, como un aporte de los hombres y mujeres del Caribe a su región, con el afán de contribuir al desarrollo técnico de la agricultura y por ende al desarrollo económico, social y medioambientalista de los países y pobladores.

Sirva a su vez para demostrar que el Caribe genera Ciencia y Tecnología y las autoridades competentes deben demostrar que saben utilizarlas.

5.4. Referencias

- Abruña, F.; R. W. Pearson y R. Pérez Escobar. Respuestas del maíz y del frijol al encalamiento en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico. En Manejo de Suelos en la América Tropical. CIAT, Cali-Colombia, pp 267-286. 1974.
- Arcia, J.; R. Marín; I. Machado y M. Marín. Agrupamiento de suelos para el manejo de la agricultura cañera en la región del Alto Veracruz. Resúmenes XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, Varadero-Cuba, p.92. 2001.
- Arminda, L.; D. Espinosa y D. J. Palma. Calidad de un Vertisol cultivado continuamente con caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México. Resúmenes XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero-Cuba, p 83. 2001.
- Bornemisza, E. y A. Alvarado. Manejo de Suelos en la América Tropical. CIAT, Cali-Colombia, Univ. Estatal Carolina del Norte. 1974.
- Castañeda Armenta, M. Los suelos y su aptitud del Rancho Actopan de la Universidad Veracruzana. Tesis de maestría en Ciencias del Suelo. Univ. Veracruzana, Xalapa, México, 79p. 2000.
- Castillo Tlapa, R. Cartografía de suelos y sus factores limitantes del Rancho torreón del Molino, Facultad Medicina Veterinaria, Universidad Veracruzana, Veracruz, México, 92p. 2000.
- Cruz García, J. E. Conservación de suelos mediante un sistema de construcción de terrazas modificado en frutales (cítricos). Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. Univ. Veracruzana, Xalapa, México, 88p. 2000.
- Chaves Solera, M. Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. Experiencia de los últimos 20 años. Resúmenes XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, p. 114. 2001.

- Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes. El Mapa Nacional de Cuba, escala 1: 25 000. XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. La Habana, Cuba. 1990.
- Enoki, A. FAO y desarrollo Rural Sostenible. [Consultado 23-4-02]. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/opinion/anterior/1999/enoki.htm>
- FAO-Unesco. Mapa de Suelos del Mundo (hoja III), escala 1: 5 000 000. 1972.
- FAO-Unesco. Soil Map of the World. Revised Legend. Reprint of World Soil Resources Report 60. FAO, Rome, 1988. 138p. 1989.
- Forsythe, W. y S. Schweizer. La resistencia a la penetración y la rata de infiltración como indicadores de las condiciones físicas de un suelo de Costa Rica. Resúmenes XV Congreso latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, p.49. 2001.
- Girvan, N. Reinterpretar al Caribe. *Revista Mexicana del Caribe*, 2000, no7. [Consultado 20-3-2002]. Disponible en: <http://www.acs-aec.org/SG/rei2.htm>
- Guerrero, R. Suelos del Oriente de Colombia. Manejo de Suelos den la América Tropical. CIAT, Cali, Colombia, Univ. Estatal de Carolina del Norte. Pp. 61-81. 1974.
- Hernández, A. Los suelos Pardos (Cambisoles) del clima tropical subhúmedo de Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Agrícolas (en ruso). Instituto de Suelos V.V. Dokuchaev de Moscú, URSS., 210 p. 1978.
- Hernández, A.; J. M. Pérez; D. Bosch y L. Rivero. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Editorial AGRINFOR, La Habana, 64p. 1999.
- Hernández, A.; O. Ascanio; A. Molina y D. Ponce. Características y Cartografía de los suelos 1:25 000 y factores limitantes para el cultivo de la caña de azúcar, en las áreas cañeras del Ingenio Motzorongo, Veracruz, México. SUCROMER, Veracruz, México, 135p. 1991.
- Hernández, A.; O. Ascanio; A. Molina y J. L. Durán. Características y Cartografía de los suelos 1:25 000 y factores limitantes para el cultivo de la caña de azúcar, en las áreas cañeras del Ingenio Refugio, Veracruz-Oaxaca, México. SUCROMER, Veracruz, México, 115p. 1991.
- Hernández, A.; R. Marín y J. Arcia. Características y Cartografía de los suelos 1: 25 000 y factores limitantes para el cultivo de la caña de azúcar, en las áreas cañeras del Ingenio

- La Margarita, Oaxaca, México. Inst. Investigaciones Caña de Azúcar, La Habana, Cuba, 94p. 1990.
- Ibáñez, A.; E. Fuentes; G. Alvarez y N. E. García. Sustancias húmicas en suelos cafetaleros de la Finca El Sinaí, Oaxaca. (México). Resúmenes XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, Varadero, Cuba, p.30. 2001.
- Instituto de Suelos. Génesis y Clasificación de los Suelos de Cuba. Acad. Ciencias Cuba, La Habana, 315p. 1973.
- Instituto de Suelos. Mapa genético de los suelos de Cuba, escala 1: 250 000. Instituto Cubano Geodesia y Cartografía, 19 hojas a color. 1970.
- Khelladi, Y. La telemática, herramienta para la integración regional del Caribe. [Consultado 20-3-2002]. Disponible en: <http://funredes.org/ftp/DOCUMENTOS/SOCI-CA-C-94-CARINT.TXT>
- Lobo, L y Pla Sentis, I. Efectos de la degradación física sobre el régimen de humedad de un Alfisol de los llanos centrales de Venezuela. Resúmenes XV Congreso latinoamericano y V Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, p.50. 2001.
- Palma, D. J.; A. Triano y N. Del Rivero. Caracterización de los suelos bajos y bordos de playa en la Cuenca Baja del río Tonalá, Tabasco, México. Resúmenes XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, p. 89.
- Ramos Martínó, E. ¿De la agonía a la resurrección?: El papel de la OEA en los conflictos del Caribe. [Consultado 15-4-2002]. Disponible en: <http://www.lacal.usb.ve>
- Salgado, S., D. J. Palma, L. C. Lugones. Indicadores de sustentabilidad en los suelos Vertisol y Fluvisol cultivados con caña de azúcar. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, p. 92. 2001.
- USDA. Soils of the Southern States and Puerto Rico. Bulletin No. 174. 105p. 1973.
- Wolf, J. M. Relaciones Suelo-Agua en Oxisoles de Puerto Rico y Brasil. Manejo de Suelos en la América Tropical. CIAT, Cali, Colombia, Univ. Estatal de Carolina del Norte. Pp. 147-157. 1974.

5.6 Anexo. Datos de interés sobre los países y territorios que integran el Caribe .

País o Territorio	Capital	Superficie (Miles km²)	Poblac. (Millones de Habit.) (2000)	Habit./ Km² (2000)	Natal./ 1000 Habit. (2000)	Mortal./ 1000 Habit. (2000)	%Crecim. anual Habit. (2000)	Mort. Inf./ 1000 nacidos (2000)	Esper. de Vida) (Años) (2000)	% Poblac. Urbana (2000)	PIB/ Habit. (USD) (2000)	Hab./ Médico (1995)	% Analfab. (1995)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Anguila (R.U.)	El Valle	0,091	0,011797	83,3 (1995)									
Antigua y Barbuda	Saint John's	0,441	0,068	153,99	22	6	1,6	7	71	37	8450	-	-
Antillas Neerlandesas (P.B.)	Willems-tad	0,960	0,210134	260 (1996)									
Aruba (P.B.)	Oranjes-tad	0,193	0,069539	379,8 (1996)									
Commonwealth de las Bahamas	Nassau	13,864	0,310	22,36	21	5	1,5	18	74	84	-	692	2
Barbados	Bridge-town	0,430	0,250	581,40	14	9	0,5	14	75	38	-	1124	3
Belice	Belmopan	22,965	0,254	11,6	32	5	2,7	34	72	50	2260	-	30

República de Colombia	Santa Fe de Bogotá	1141,748	40,037	35,07	26	6	2,0	28	69	71	2470	1105	9
País o Territorio	Capital	Superficie (Miles km²)	Poblac. (Millones de Habit.) (2000)	Habit./ Km² (2000)	Natal./ 1000 Habit. (2000)	Mortal./ 1000 Habit. (2000)	%Crecim. anual Habit. (2000)	Mort. Inf./ 1000 nacidos (2000)	Esper. de Vida) (Años) (2000)	% Poblac. Urbana (2000)	PIB/ Habit. (USD) (2000)	Hab./ Médico (1995)	% Analfab. (1995)
R. de C. Rica	San José	51,100	3,589	70,23	22	4	1,8	13	77	45	2770	1133	5
República de Cuba	La Habana	110,920	11,217	101,13	13	7	0,6	7	75	75	1436 ()	172	3 ()
Commonwealth de Dominica	Roseau	0.751	0,076	101,20	16	8	0,8	15	78	-	3150	1873	-
República de El Salvador	San Salvador	21,041	6,280	298,46	30	7	2,4	35	70	58	1850	1515	29
Granada	Saint George's	0,344	0,098	284,88	29	6	2,3	14	71	34	3250	1769	-
Guadalupe(F)	BasseTerre (C. Admin.) Pointe a Pitre (C. Econ.)	1,780	0.424000	238,2 (1999)									
República de Guatemala	Ciudad de Guatemala-la	108,889	12,670	116,36	37	7	2,9	45	64	39	1640	4000	44

Guayana Francesa (F)	Cayena	91,0	0,172605	1,6 (1995)									
País o Territorio	Capital	Superficie (Miles km²)	Poblac. (Millones de Habit.) (2000)	Habit./ Km² (2000)	Natal./ 1000 Habit. (2000)	Mortal./ 1000 Habit. (2000)	%Crecim. anual Habit. (2000)	Mort. Inf./ 1000 nacidos (2000)	Esper. de Vida) (Años) (2000)	% Poblac. Urbana (2000)	PIB/ Habit. (USD) (2000)	Hab./ Médico (1995)	% Analfab. (1995)
República de Guyana	George-town	214,970	0,698	3,25	24	7	1,7	63	66	36	780	-	2
República de Haití	Port-au-Prince	27,750	6,423	231,46	33	16	1,7	103	49	34	410	10855	55
República de Honduras	Tegucigalpa	112,088	6,130	54,69	33	6	2,8	42	68	45	740	1266	27
I. Vírgenes (USA)	Charlotte Amalie	0,352	0,120917										
Islas Caimán (R.U.)	George Town	0,259	0,034763										
Islas Vírgenes Británicas (R.U.)	Road Town	0,153	0,019615										
Jamaica	Kingston	10,991	2,609	237,38	22	7	1,6	24	71	50	1740	6420	15
Martinica (F)	Fort-de-France	1,1	0,382 (1999)	338,7 (1999)	16,5	5,9							

Estados Unidos Mexicanos	Mexico D.F.	1958,201	99,639	50,88	24	4	2,0	32	72	74	3840	615	10
Monserrat (R.U.)	Plymouth	0,112	0,006409										
País o Territorio	Capital	Superficie (Miles km²)	Poblac. (Millones de Habit.) (2000)	Habit./ Km² (2000)	Natal./ 1000 Habit. (2000)	Mortal./ 1000 Habit. (2000)	%Crecim. anual Habit. (2000)	Mort. Inf./ 1000 nacidos (2000)	Esper. de Vida) (Años) (2000)	% Poblac. Urbana (2000)	PIB/ Habit. (USD) (2000)	Hab./ Médico (1995)	% Analfab. (1995)
República de Nicaragua	Managua	130,682	5,074	38,83	36	6	3,0	40	68	63	370	2039	34
República de Panamá	Panamá	75,517	2,857	37,83	22	5	1,7	21	74	56	2990	562	9
Estado Libre Asociado de Puerto Rico (E.U.A.)	San Juan	8,959	3,916	437,10	17	8	0,9	11	74	71	-	-	11
República Dominicana	Santo Domingo	148,442	8,443	56,88	28	6	2,2	47	69	62	1770	949	18
San Cristóbal y Nieves	Bassete-rre	0,269	0,043	159,85	20	11	0,9	24	67	43	6190	2200	3
San Vicente y las Granadinas	Kings-town	0,389	0,112	287,92	19	7	1,2	20	73	44	2560	2619	-
Santa Lucía	Castries	0,6167	0,157	254,58	19	6	1,2	17	72	48	3660	2512	2

República de Suriname	Paramaribo	163,820	0,434	2,65	26	7	1,9	29	60	69	1660	1274	7
República de Trinidad y Tobago	Puerto España	5,123	1,295	252,78	14	7	0,7	16	71	72	4520	1520	19
País o Territorio	Capital	Superficie (Miles km ²)	Poblac. (Millones de Habit.) (2000)	Habit./ Km ² (2000)	Natal./ 1000 Habit. (2000)	Mortal./ 1000 Habit. (2000)	%Crecim. anual Habit. (2000)	Mort. Inf./ 1000 nacidos (2000)	Esper. de Vida) (Años) (2000)	% Poblac. Urbana (2000)	PIB/ Habit. (USD) (2000)	Hab./ Médico (1995)	% Analfab. (1995)
Turcas y Caicos (R.U.)	Cockburn Town	0,430	0.017502										
República Bolivariana de Venezuela	Caracas	916,445	24,170	26,37	25	5	2,0	21	73	86	3530	633	9

© 2003, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)

Este libro puede ser usado libremente con fines académicos, siempre que se respeten los derechos de autor y sean reconocidos mediante la correcta citación.