

18.927

3 cop

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

LAS MICORRIZAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES

Carmen Rosa Salamanca Solís¹

María del Rosario Silva Herrera²

BOLETIN TECNICO No. 12

Noviembre de 1998

Villavicencio, Meta, Colombia



Corpoica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Regional Orinoquia



PROGRAMA NACIONAL DE TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGIA AGROPECUARIA

¹ I.A. Msc. en Ciencias, Investigador Programa Regional Agrícola, CORPOICA Regional B.C. I, La Libertad, A.A. 3129 Villavicencio, Meta, Colombia.

² Bióloga, Msc. en Ciencias Investigador Docente UNILLANOS, A.A. 2621 Villavicencio, Meta, Colombia

BOLETIN TECNICO No. 12

LAS MICORRIZAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES

La financiación de esta publicación se logró gracias al apoyo del Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria PRONATTA del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Autor:

C. R. Salamanca S.

M. del R. Silva H.

Villavicencio, Noviembre de 1998

Corpoica Regional Ocho
Programa Regional Métodos
de Transferencia de Tecnología
Edición: Nora Cubillos Quintero
Código 02.02.12.08.32.98

Tiraje: 500 ejemplares
Impresión: Macroimpresos
Teléfono 6641394
Transv. 29 No. 41-143
Villavicencio

CONTENIDO

	Página
Presentación	5
Introducción	7
Definición y Morfología	7
Proceso de Infección Micorrízica	11
Fisiología	13
Función de las Micorrizas Arbusculares	13
Ecología de la Micorriza	17
Biotecnología en las M.V.A.	18
Ganancias obtenidas por el efecto de las Micorrizas en cultivos agrícolas	19
Resultados de investigación en micorrizas en los Llanos Orientales	20
Conclusiones	24
Glosario	25
Bibliografía	26

PRESENTACION

La Orinoquia Colombiana comprende 26 millones de hectáreas pertenecientes al denominado Trópico Bajo. La diversidad agroecológica de los ecosistemas presentes y la necesidad de efectuar un aprovechamiento racional de sus recursos plantean la búsqueda de nuevas estrategias de manejo en Sistemas de Producción que sean sostenibles y a la vez competitivas.

El aprovechamiento racional de estos recursos incluye el componente microbiológico del suelo, básico en los procesos de transformación y uso de nutrientes por parte de las diferentes especies vegetales.

La asociación mutualista entre las raíces de las plantas superiores con algunos hongos microscópicos del suelo, denominada "micorriza", hace parte de este sistema.

El presente documento es una contribución para destacar la importancia de las micorrizas como una alternativa promisoría para el manejo del componente nutricional de las plantas. También reseña sus ventajas en la absorción y ciclaje de nutrientes, en la agregación del suelo y en su interacción con otros microorganismos en hábitat pobres en nutrientes y en suelos marginales y erosionados.

Jaime Triana Restrepo
Director Corpoica Regional Ocho

LAS MICORRIZAS COMO ALTERNATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES

INTRODUCCION

Las micorrizas son un sistema de raíces modificadas resultantes de la asociación de las raíces de las plantas superiores con ciertos hongos microscópicos del suelo. La asociación mutualista es prácticamente universal y ambos componentes de las Micorrizas Arbusculares (MA) : hongo - raíz (planta) resultan beneficiados. El hongo además de desarrollarse dentro de la corteza de las raíces (micelio interno) se extiende por la rizosfera mediante una red de hifas (micelio externo). La asociación se constituye en un sistema especializado y eficaz, para captar nutrientes de la solución edáfica y transportarlo hacia la planta. A cambio, el microsimbionte heterótrofo asociado recibe de la planta sustratos carbonatados, así como un nicho ecológico protegido.

Las MA desempeñan un papel importante en el ciclaje de nutrientes en el sistema suelo - planta, incidiendo principalmente en aquellos que tienen una lenta difusión, entre los que cabe destacar el fosfato. Las MA son importantes en la optimización fisiológica de la planta, principalmente por el aporte de nutrientes, como para la protección de la raíz contra patógenos.

De los diferentes tipos de formación de micorrizas, la MA es la de mayor distribución mundial y la especificidad depende del ecosistema y en menor grado de la relación con las especies de plantas hospedadas. La importancia práctica de la MA como recurso microbiológico del ecosistema es bien conocida, como una alternativa que contribuye a aumentar la eficiencia de la absorción de nutrientes, mejorar la fertilidad del suelo y las relaciones hídricas, restaurar la fertilidad del suelo en ecosistemas, mejorar la calidad nutricional de las especies vegetales ; además, las plantas con MA son más tolerantes a condiciones adversas del ambiente tanto bióticas como abióticas.

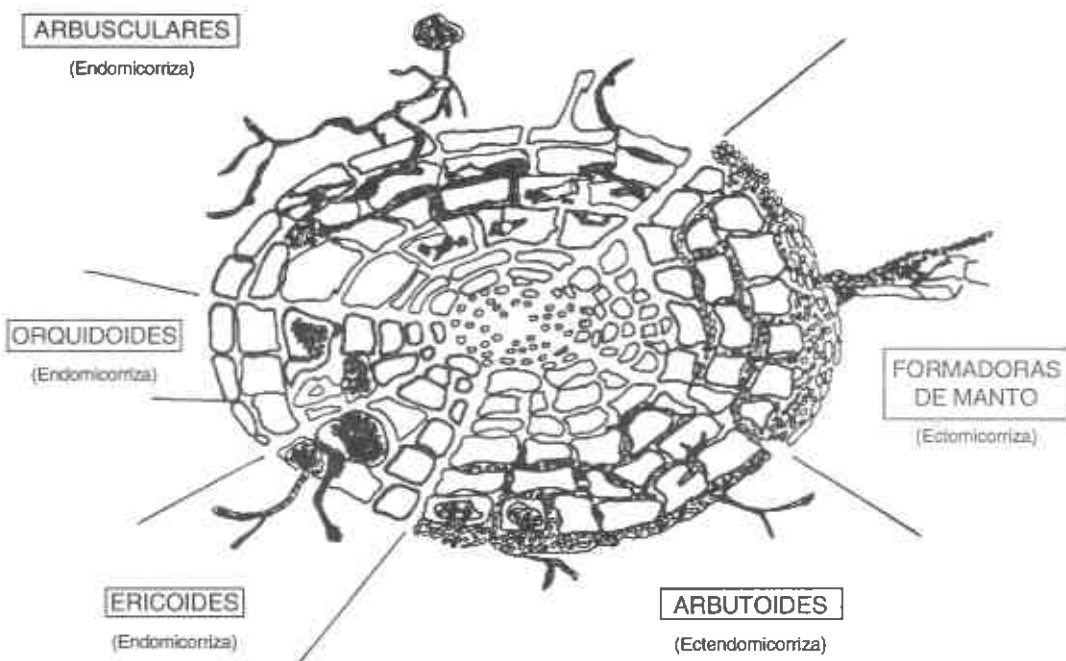
DEFINICIÓN Y MORFOLOGÍA.

Botánicamente "micorrizas" es la asociación mutualista (no patogénica) entre un hongo del suelo y las plantas superiores; la palabra Mycorriza (raíz - hongo) del

BIBLIOTECA AGRICOLA NACIONAL DE COLOMBIA

griego mykes [hongo] y rhiza [raíz] fue reconocido por Frank (1855), para describir la unión de dos organismos diferentes que forman un solo órgano microbiológicamente, donde ambos se benefician (Sieverding, 1991). Basándose en las características morfológicas de la infección, se distinguen cinco tipos de micorrizas : formadoras de manto (ectomicorriza), vesículo-arbusculares (endomycorriza), arbutoides (ecten domycorriza), ericoides (endomycorriza), y orquidoides (endomycorriza). (Barea, 1990). (Figura)1.

Figura 1. Tipos de Micorriza (Barea, 1990)



● Ectomicorriza.

La colonización de la raíz por las ectomicorrizas induce la ramificación y el engrosamiento y/o el cambio de coloración de las raíces lo cual puede observarse visualmente en el sistema radical. El sistema radical es bastante modificado por la presencia de los hongos micorrízicos que forman un tejido de hifas llamado el manto que cubre la superficie de la raíz; las hifas del hongo penetran entre las células de la raíz, pero nunca dentro de las células siendo este el punto de diferencia con la

endomycorrizas. Las células parecen estar separadas por una red de hifas denominadas red de Hartig, (Burbano, 1989).

Las ectomicorrizas son muy importantes para la nutrición forestal y en el proceso de reciclaje de nutrientes en los ecosistemas forestales. Las ectomicorrizas son por lo general *Basidiomicetos* y más específicamente, miembros de la subfamilia de los Agaricales o *Gasteromicetos*. Algunos *Ascomicetos* también forman ectomicorrizas, aunque con menor frecuencia. En la Tabla 1 se presenta un listado de los *Basidiomicetos* que forman micorrizas en las plantaciones forestales en Colombia y que han sido objeto de estudios (Burbano, 1989).

Tabla 1. Ectomicorrizas encontradas en plantaciones forestales en Colombia.

Huésped	Hongos
<i>Pinus radiata</i>	<i>Amanita muscaria</i>
<i>Pinus patula</i>	<i>Amanita muscaria</i>
<i>Pinus sp.</i>	<i>Amanita pantherina</i>
<i>Cupressus sp.</i>	<i>Boletus edulis</i>
<i>Pinus radiata</i>	<i>Boletus edulis</i>
<i>Pinus patula</i>	<i>Boletus edulis</i>
<i>Eucaliptus sp.</i>	<i>Clavaria sp.</i>
<i>Pinus sp.</i>	<i>Lentinus sp.</i>
<i>Cupressus sp.</i>	<i>Lycoperdon sp.</i>
<i>Pinus patula</i>	<i>Lycoperdon sp.</i>
<i>Pinus patula</i>	<i>Pholiota sp.</i>
<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Scleroderma sp.</i>
<i>Pinus radiata</i>	<i>Scleroderma sp.</i>
<i>Cupressus sp.</i>	<i>Suillus luteus</i>

Fuente : Orozco, citado por Cannon, 1984.

● Endomicorriza.

En más del 90% de los casos las Micorrizas son del tipo llamado Vesículo Arbuscular (MVA). El nombre procede de sus estructuras características : los arbuscúlos que se forman por división dicotómica de las hifas del hongo en el interior de las células de la corteza de la raíz y las vesículas, órganos de reserva inter o intracelulares.

Las MA se forman entre los hongos de la clase *Zigomycetes*, orden *Glomales* y raíces de las plantas superiores. Inicialmente el orden *Endogonales* (*Zygomycotina*) fue considerado una sola familia, *Endogonaceae*, ubicándose seis géneros : *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Sclerocystis* y les y

Scutellospora. Actualmente se consideran otras familias, la Glomaceae donde se ubican los miembros *Glomus* y *Sclerocystis*, Acaulosporaceae que comprende los géneros *Acaulospora* y *Entrophospora* y Gigasporaceae con los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora*, todos ellos formadores de las micorrizas MVA. (Morton, 1990 ; Sieverding 1991 y Barea 1990; Morton y Benny, 1990) (Tabla 2).

Los hongos endomicorrízicos son simbioses fisiológicamente obligados porque aún no se ha logrado su cultivo "in vitro" y necesitan colonizar la raíz para esporular y completar su ciclo de vida. Estos hongos son habitantes muy comunes del suelo, se pueden encontrar en cualquier ambiente ecológico, incluso en condiciones adversas por estrés nutritivo, hídrico y otros (Barea, 1990).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de los hongos micorrízicos VA

División:	EUMYCOTA
Grupo:	ZYGOMYCOTINA (Ficomicetos)
Clase:	ZIGOMYCETES
Orden:	GLOMALES
Sub orden:	Glomineae
Familia:	Acaulosporaceae
Géneros:	<i>Acaulospora</i> <i>Entrophospora</i>
Familia:	Glomaceae
Géneros:	<i>Glomus</i> <i>Sclerocystis</i>
Sub orden:	Gigasporineae
Familia:	Gigasporaceae
Géneros:	<i>Gigaspora</i> <i>Scutellospora</i>

Fuente: (Morton & Benny, 1990)

Glomus y *Sclerocystis* forman clamidosporas que se originan asexualmente. En *Glomus* las esporas se encuentran aisladas en el suelo o en grupo en esporocarpos. En *Sclerocystis* se forman en el interior de los esporocarpos donde se disponen en forma ordenada y radial.

Acaulospora, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora* forman las denominadas "azigosporas". En *Acaulospora* las azigosporas se forman lateralmente sobre una hifa que sustenta el sáculo esporogénico. En *Entrophospora* las esporas se forman en el interior del cuello del "sáculo esporogénico". En *Gigaspora* y *Scutellospora* se

forman terminalmente sobre suspensores en forma de bulbo. En *Gigaspora* el tubo de germinación emerge directamente a través de la pared de la espora. En *Scutellospora* los tubos de germinación se producen a partir de una estructura especializada, denominada "escudo de germinación" (Barea, 1990).

El hongo forma con la raíz un consorcio fisiológico caracterizado por la presencia de estructuras típicas en la epidermis de las mismas hifas, arbuscúlos y vesículas. Las estructuras del hongo dentro de la raíz de la planta están en contacto con el micelio externo que rodea en una red difusa de la raíz, lugar donde son formadas libremente en esporocarpos y zigosporas o clamidosporas del hongo. La taxonomía se basa en la morfología de las esporas, en los procesos de esporogénesis y en las características de la germinación de las esporas para la identificación del género y especies, por lo que es posible que la clasificación actual se modifique cuando se adquiera nuevos conocimientos de la biología de estos microorganismos (Burbano, 1989; Sieverding, 1991).

● Otros tipos de micorriza.

Además de las formas dominantes de micorriza, se han descrito otros tipos de menor distribución y cobertura en el mundo vegetal. Entre ellos, las de tipo "Orquidoide", propias y exclusivas de la familia Orchidaceae ; las de tipo "Ericoide", características de algunas especies del orden Ericales y las del tipo "Arbutoide", formadas en algunas especies del orden Ericales, en las que ocurren penetraciones intracelulares y desarrollo del red de Harting o de manto.

PROCESO DE INFECCION MICORRIZICA.

La infección o colonización de una raíz por parte de un hongo micorrizógeno es un proceso que involucra una secuencia de etapas reguladas por una precisa interacción entre endosimbionte y hospedero.

La pre - infección está asociada a la actividad de los propágulos infectivos presentes en el suelo que circunda la raíz. Dichos propágulos pueden ser esporas o micelio fúngico. Este último, generalmente se encuentra vinculado a raicillas de plantas vivas o segmentos de raíz infectados.

La penetración se inicia con la formación de un "punto de entrada" que se caracteriza por el desarrollo de un abultamiento o apresorio en el punto de contacto sobre la superficie de la raíz. Cada espora genera un solo punto de entrada, mientras que un segmento de raíz puede eventualmente originar más de uno. No es del todo claro si el mecanismo de penetración está mediado por un evento enzimático, por un evento mecánico o, por una combinación de ambos.

Una vez penetra el hongo, se genera un proceso proliferativo que conduce al establecimiento de una "unidad de colonización" que se puede extender hasta 1 cm de distancia a partir del punto de penetración. El avance de la infección está restringido a la epidermis y parénquima cortical. La "unidad de colonización" avanza mediante el crecimiento de hifas aceptadas que se extienden por entre las células corticales y que generan estructuras características, como los arbuscúlos y las vesículas.

Algunas semanas después de iniciada la infección, el hongo está en condiciones de esporular, lo cual está supeditado a las condiciones ambientales del suelo. En particular, la humedad parece ser un factor regulador de importancia, ya que se ha visto que el estrés hídrico en el suelo dispara la esporulación.

Las hifas externas están en capacidad de reinfectar el mismo sistema de raíz del cual se originan. Algunas de estas hifas generan "puntos de entrada" que provocan nuevas "unidades de colonización", lo cual supone que la infección avanza a lo largo de la raíz a través de unidades de colonización discontinuas. Este proceso de proliferación se puede trasladar a otros sistemas de raíz vecinos de la misma o diferente especie de planta. Se ha establecido que los hongos micorrizógenos se pueden mover en el suelo

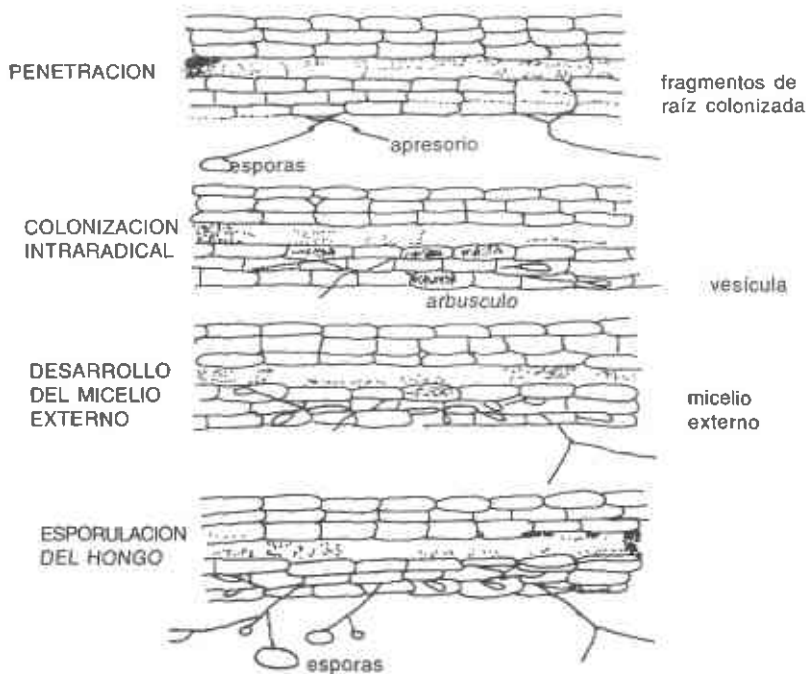


Figura 2. Proceso de infección micorrizica arbuscular (Tomado de Guerrero, 1996).

a razón de 0.6 - 3.2 m/año, lo cual da una idea de las posibilidades de expansión de la infección micorrízica (Powell, 1979, citado por Guerrero, 1996). Figura 2.

FISIOLOGÍA.

Recientemente, nuevas y prometedoras técnicas han sido desarrolladas para identificar los hongos MA con la ayuda de métodos bioquímicos y serológicos. Con ayuda de patrones enzimáticos obtenidos después de la separación de enzimas con electroforesis se pudieron distinguir especies de hongos MA, citados (Hepper et al, 1986 y Hepper, 1987, citados por Sieverding, 1991). Por la técnica de ELISA también se han identificado especies de MVA (Horton et al, 1987; Aldwell y Hall, 1987, citados por Sieverding, 1991).

Las micorrizas juegan un papel importante en la fisiología de las plantas porque aumentan la capacidad para absorber nutrientes. Tres pueden ser las razones para que haya el incremento en la absorción :

1. Las hifas pueden extenderse varios centímetros desde las raíces aumentando así la superficie del suelo para la absorción de aquellos elementos de poca movilidad como el fósforo.
2. Las micorrizas pueden ser importantes para la nutrición de las plantas porque los hongos pueden disolver minerales de sílice en algún grado, liberando elementos esenciales para aquellos.
3. Las hifas son de menor dimensión que las raíces de las plantas por lo tanto pueden penetrar entre los poros más fácilmente lo que repercute favorablemente en la extracción de nutrientes (Sieverding, 1991).

La relación hongo-raíz significa ganancia de los dos componentes, situación que resulta clara para el caso del trópico, en donde lo único que le falta a la planta para producir suficientes carbohidratos y crecer rápidamente son los nutrientes que se encuentran en el suelo y lo único que le falta al hongo para crecer rápidamente, es el carbohidrato. Viviendo juntos en esta relación simbiótica planta y hongo se benefician por igual (Burbano, 1989).

FUNCIÓN DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA)

Bajo condiciones naturales de campo casi todas las plantas cultivadas son infectadas por las HMA pero es difícil demostrar su función en el campo. La mayoría de los resultados de la MA son sobre experimentos conducidos bajo condiciones artificia-

les y condiciones controladas en laboratorio o invernadero. Sin embargo, es conocido que la fisiología de la planta es completamente cambiada después de estar asociada con los HMA.

La comparación de la función de las planta micorrizadas con las no micorrizadas es a menudo solamente posible, mediante investigación de las funciones de MA. (Sieverding, 1991).

- **Requerimiento de carbohidratos por la MA.**

La simbiosis entre las plantas y los hongos MA es mutualista y necesaria para el hongo porque recibe los fotosintatos de la planta. El grado de requerimiento del hongo no ha sido bien investigado y así parece que el flujo de carbohidratos es regulado por la planta hospedera y depende de las especies de hongos.

Se estima que el hongo requiere del 1 al 17% de los carbohidratos suministrados por la planta, para la producción de biomasa de las raíces, su desarrollo y su actividad funcional. El máximo requerimiento fotosintético (sacrificio de la planta en producción de materia seca), puede ser alto entre 40 y 60%.

Los carbohidratos demandados por los hongos limitan la producción de la biomasa en las plantas; además, los hongos MA necesitan carbohidratos para la producción de esporas. La materia seca de las esporas en el campo puede variar desde 10 a 1000 kg./ha mientras que la demanda de los hongos MA por nutrientes elementales como N,P,K, Ca y Mg es baja.

- **En la absorción de nutrientes.**

La mayor contribución de la MA ocurre cuando se trata de absorción de iones que se difunden lentamente o están presentes en bajas concentraciones en el suelo, como es el caso de P, NH₄, K, Zn y Cu, entre otros. Se ha comprobado que micronutrientes como el Zn, Cu, B y Mo son tomados activamente por las hifas de los hongos MA y transportados a la planta hospedera. Igualmente, otros microelementos esenciales para la planta como Fe y Mn, generalmente se encuentran en mayores concentraciones en las plantas micorrizadas. Por lo tanto, la principal función de las MA es el incremento de volumen del suelo explorado y el aumento en la eficiencia de absorción de nutrientes de la solución del suelo.

- **Ciclaje de nutrientes.**

Las esporas de los hongos MA son solamente una fuente secundaria de nutrientes en los ecosistemas naturales. Los nutrientes contenidos en las esporas de los hongos

pueden aportar de 10 a 60 g N/ha, de 4 a 50 g Ca/ha y de 1 a 10g Mg/ha. La tasa de retorno de las esporas MA pueden ser relativamente baja porque son estructuras de reserva. Sin embargo, la biomasa de micelio fungoso puede ser alta en suelos tropicales. Los hongos MA juegan un papel importante como medio de transporte de los nutrientes en el proceso de ciclaje de estos.

Los hongos MA realizan la absorción de nutrientes solubles del suelo eficientemente, evitando la fijación o el lavado. Esta función de los hongos HMA está concentrada en el horizonte A, donde se encuentra el mayor porcentaje de materia orgánica y donde ocurre el mayor crecimiento de las raíces.

- **En la agregación del suelo.**

Los suelos fértiles tienen un alto porcentaje de agregados estables. Los HMA unen y agregan las partículas a través del crecimiento intensivo del micelio, lo cual puede ser importante para mejorar las condiciones físicas del suelo y a la vez, previene la erosión del suelo, cualidad que conservan los HMA y que hace que revistan considerable importancia en ecosistemas con alta presencia de arenas, zonas montañosas de baja estabilidad y sometidas a fuertes procesos de erosión.

- **Bajo condiciones adversas.**

Condiciones físicas del suelo adversas están relacionadas con la textura y composición del suelo. La buena aireación es un requisito para el óptimo desarrollo y actividad fisiológica de la asociación MA.

Condiciones químicas del suelo adversas como el pH extremadamente bajo, alcalinidad, salinidad y altas concentraciones de elementos tóxicos como el Fe, Al y Mn, limitan la producción de los cultivos. El balance nutricional que promueve la presencia de la MA en términos de macro y micronutrientes conduce a que plantas micorrizadas toleren mejor condiciones adversas, sin que ello signifique que alcancen alta productividad, si sus genomas no están adaptados para resistir estos tipos de estrés.

Las condiciones climáticas de estrés más comunes en el trópico son generalmente la temperatura y la sequía. Se ha encontrado que el óptimo desarrollo de los HMA está a temperaturas del suelo de 25 a 30 °C y el contenido de agua del suelo entre 40 y 80%, del máximo de la capacidad de campo. Estos rangos están dentro del óptimo fisiológico para el crecimiento de la mayoría de las plantas tropicales. Hay evidencias que las plantas micorrizadas se recuperan más rápidamente de un corto período de estrés por agua.

• Interacción con otros microorganismos.

La interacción entre los hongos micorrízicos arbusculares (H.M.A) y el *Rhizobium* no es directa; esto se debe a que el micelio del hongo no invade el tejido nodular, aunque sí a las células adyacente al nódulo. La interacción de ambos microorganismos parece influenciar algunos fenómenos como la síntesis de fitohormonas por *Rhizobium* y por hongos MA, producción de enzimas pépticas que ablandan la pared celular de la planta hospedera común. Esta interacción sugiere una cooperación en el establecimiento de la doble simbiosis, la cual tiene una gran importancia desde el punto de vista ecológico. De esta forma, poseen una fuerte capacidad para competir con otros organismos en hábitats pobres en nutrientes (suelos marginales, con especial incidencia en suelos erosionados).

Las poblaciones de microorganismos solubilizadores de fosfato como *Pseudomonas spp*, *Agrobacterium spp*, *Bacillus niger*, *Penicillium spp*, entre otros, se incrementan en la rizosfera de las plantas micorrizadas e interactúan sinérgicamente con los HMA. Se considera que la influencia de estos microorganismos sobre el desarrollo de las plantas y de los HMA ocurre a través de la síntesis de enzimas y hormonas, mientras que el efecto de la HMA sobre dichas poblaciones ocurre a través de incrementos de exudados radicales fruto de un mejoramiento en la tasa fotosintética.

Varios investigadores han demostrado la interacción entre los HMA y los patógenos aunque los resultados son variables. En general se puede concluir que los HMA incrementan la resistencia de las plantas al ataque de los patógenos, especialmente los que atacan la raíz cuando ocurre un establecimiento del HMA previo al ataque de patógenos. En el caso de algunas enfermedades que atacan los tallos y las hojas, causados por virus, hongos o bacterias, la presencia de la micorriza arbuscular (MA) puede incrementar su presencia, pero a pesar de ello, las plantas micorrizadas sufren menos daño que las plantas no micorrizadas. En el caso de nemátodos fitoparásitos, se ha registrado que la MA reduce su incidencia y el daño causado es a menudo compensado por incrementos en el sistema radical y en el micelio del HMA, por lo tanto en la absorción de nutrientes.

Los mecanismos mediante los cuales ocurre el control de los patógenos se relacionan con cambios en la morfología de las plantas micorrizadas, tales como una mayor lignificación de las paredes celulares que dificulta la penetración del patógeno, el mejoramiento en la absorción de la planta hospedera, especialmente de P y K que hace que la planta sea menos susceptible al ataque de fitopatógenos del suelo. En las plantas micorrizadas sujetas al ataque de patógenos se han encontrado mayores contenidos de los aminoácidos arginina, fenilalanina, serina, isoflavonoides, fitoalexinas, los cuales pueden disminuir o inhibir el crecimiento de estos microorganismos (Sánchez, 1997).

ECOLOGÍA DE LA MICORRIZA

Los hongos micorrízicos son un importante grupo de microorganismos nativos del suelo que contribuyen substancialmente en el establecimiento, productividad y longevidad de los ecosistemas naturales y agroecosistemas; sin embargo, han sido poco estudiados, en parte porque la sistemática no ha suministrado las bases teóricas para relacionar el rango de diversidad y homogeneidad de las interacciones biológicas que existen en la naturaleza (Morton, 1990).

Las múltiples interacciones ecológicas que ocurren en el suelo son responsables del comportamiento de la micorriza y explican las diferencias observadas en la respuesta de las plantas a la inoculación en invernadero, en comparación con la inoculación en el campo.

El desarrollo de micorrizas se puede ver afectado por factores abióticos como el clima y las propiedades físico-químicas del suelo y por factores bióticos como son: el tipo de comunidad vegetal, condiciones fisiológicas de la planta hospedera, interacciones con otros organismos del suelo, la introducción de prácticas antrópicas (deforestación, sistemas de cultivo, aplicación de agroquímicos, etc.).

● Factores abióticos

Entre las propiedades físico-químicas del suelo, el pH parece ser uno de los factores que más influyen en el comportamiento de la micorriza y la diversidad de hongos micorrízicos. Con relación al clima, las investigaciones en cultivos de ciclo corto indican que la abundancia de esporas de hongos MA en el suelo, así como el porcentaje de colonización micorrízica de la raíz, se ven afectados por el patrón de lluvias y por el régimen hídrico del suelo. Bajo condiciones de sequía las plantas micorrízicas son más tolerantes que las no micorrízicas (Sieverding, 1991).

También se ha confirmado que un déficit en el suministro de agua al crear una situación adversa, estimula la producción de esporas del hongo MA. Esto explica el mayor número de esporas de MA durante la estación seca lo cual representa una adaptación del hongo a las condiciones de estrés hídrico en el suelo.

● Factores bióticos

Por tratarse de una asociación obligada entre hongo y planta, la ecología de la micorriza está condicionada en gran parte por la ecología de la planta.

En los ecosistemas naturales o antrópicos (cultivos agrícolas, plantaciones forestales) hay al menos dos niveles de aproximación de la ecología de la micorriza.

- a) El nivel rizósferico: interacciones entre la micorriza y la comunidad biótica del suelo.
- b) El nivel fitoecológico: relaciones espacio-temporales entre la micorriza y la vegetación.

La movilización de nutrientes entre el suelo y la raíz, necesario para el desarrollo de la vegetación, es un proceso regulado en gran parte por la comunidad biótica de la rizosfera y en ella juega un papel central la micorriza. El micelio fúngico externo y la epidermis de la raíz micorrízica son los componentes físicos de la micorriza que se integran de manera directa al ambiente de la micorrizosfera.

Las interacciones entre micorrizas y microorganismos del suelo son determinantes en el funcionamiento de los ciclos nutritivos en un ecosistema pero además, afectan el balance entre los procesos saprotrofiticos, patogénicos y simbióticos en el medio ambiente edáfico.

El desarrollo de la micorriza resulta afectada por otros microorganismos de la rizosfera, sea que estos se comporten como antagonistas o sinergistas ; es así como existen múltiples y complejas interacciones micorriza-microorganismos.

La relación *Micorriza-Rhizobium* ha sido objeto de especial estudio, por sus efectos sobre la economía del fósforo y del nitrógeno y se ha demostrado un efecto sinérgico propio de esta doble simbiosis o relación tripartita leguminosa-rizobio-hongos MA que favorecen el desarrollo de las plantas.

Así mismo, se ha explorado la interacción de la micorriza con otras bacterias fijadoras de nitrógeno, con microorganismos solubilizadores de fosfato, con patógenos y con agentes de control biológico. Además, las interacciones entre los hongos MA y la fauna del suelo también afectan el comportamiento ecológico de la micorriza, así como el funcionamiento y proceso sucesional de un ecosistema (Guerrero, 1996).

BIOTECNOLOGIA EN LAS M.V.A.

Debido al carácter de simbiosis obligados de los HMA, la preparación de inóculo masivo de alta calidad y libre de patógenos, se ha visto restringido.

Los tipos de inóculo que actualmente se utilizan son :

- a). Mezcla de raíces y suelo rizosférico, en el cual contiene micelio y esporas maduras del HMA.

- b). "Micorriza limpia", es decir, raíces bien colonizadas, en medio sin suelo, obtenidas en cultivo hidropónico.
- c). Estructuras de hongos, fundamentalmente esporas.
- d). Gránulos de arcilla, en los cuales el hongo previamente ha penetrado y esporulado abundantemente. Este método actualmente se encuentra en fase de experimentación.

El mejor sistema de micorrización, para especies cuyo ciclo de vida comprende la etapa de vivero (cítricos, hortalizas, etc.), es el trasplante de plántulas preinoculadas, ya que permite una micorrización controlada, un ahorro considerable de inóculo al ser aplicado a una superficie pequeña previamente desinfectada y una mayor resistencia a los riesgos de trasplante.

Las técnicas actuales de cultivo de tejidos de plantas pueden ser conectadas con las de micorrización *in vitro*, con el fin de obtener plántulas micorrizadas adecuadamente bajo condiciones controladas (Barea, 1990).

GANANCIAS OBTENIDAS POR EL EFECTO DE LAS MICORRIZAS EN CULTIVOS AGRÍCOLAS

Los hongos MA aportan al suelo y a la planta los siguientes beneficios:

- Desdoblan las sustancias insolubles para la absorción de los fertilizantes permitiendo la eficiente toma de fósforo, zinc, nitrógeno, calcio, azufre, molibdeno y boro entre otros.
- Proporcionan hormonas estimulantes en el crecimiento de las plantas, incluyendo auxinas, citoquininas y giberelinas.
- Aumenta el ámbito de la acción radicular para la absorción de agua y nutrientes por las plantas.
- Permite una mayor resistencia de las plantas a la sequía, a las altas temperaturas, a las toxinas (orgánicas e inorgánicas) y a la acidez del suelo.
- Protege las plantas de organismos patógenos radiculares, por la acción de una barrera infranqueable alrededor de la raíz y la producción de sustancias antibióticas que inhiben la acción de hongos patógenos y de nemátodos (Sieverding, 1991).

RESULTADOS DE INVESTIGACION EN MICORRIZAS EN LOS LLANOS ORIENTALES

A continuación se presentan los resúmenes de algunos de los últimos trabajos con micorrizas realizados en los suelos de los Llanos Orientales de Colombia:

- **Efecto de las micorrizas en el rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el Piedemonte Llanero**

Durante el segundo semestre de 1990, se realizó una investigación en un paisaje de terraza alta del Piedemonte Llanero con el fin de determinar el efecto de la simbiosis Micorriza Arbuscular (MA) en el rendimiento de sorgo. Los genotipos estudiados fueron las variedades Sorghica Real 40 y Sorghica Real 60 y la línea experimental IS 8577 del ISORMIL con tres niveles de fósforo (0-25-50 kg./ha P_2O_5) y tres dosis de micorrizas en forma de inóculo mixto : suelo + raíz + esporas (0-50-100 kg/ha) con la cepa C-1-1- de *Glomus manihotis* (54 esporas/g suelo). El diseño experimental consistió en un arreglo factorial de parcelas divididas con cuatro repeticiones.

Al analizar la micorriza nativa del suelo estudiado se encontró otra cepa de *G. manihotis* (C-20-1) la cual fue caracterizada por el CIAT (Figura 3).

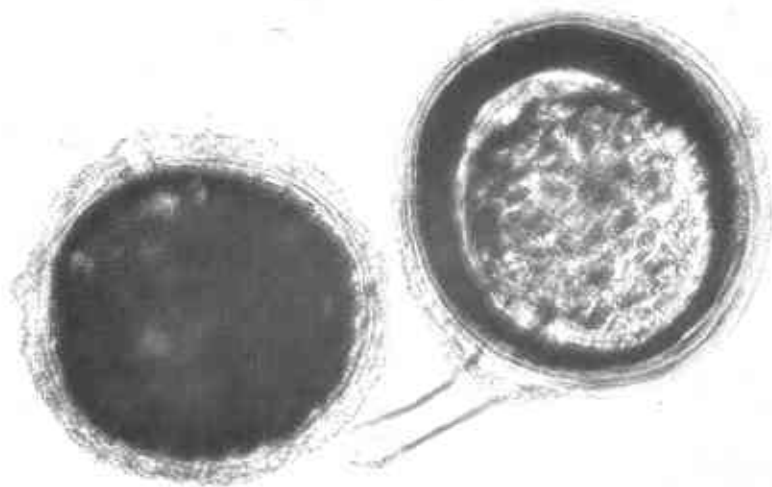


Foto : Silva, M. R.

Figura 3. *Glomus manihotis* C-20-1

Los resultados indican que al aplicar las dosis de 25 y 50 kg/ha de P_2O_5 se encontraron los mayores rendimientos (1.730 kg./ha y 1.748 kg./ha) sin presentar diferencia significativa.

En la dosis más alta de inóculo (100 kg./ha) hubo disminución en el rendimiento (1545 kg./ha), lo cual indica que al aplicar la dosis media de inóculo (50 Kg./ha) se obtuvo una mejor eficiencia.

La mayor producción de biomasa se obtuvo a medida que se aumentó la dosis de fósforo (P); sin embargo, no se reflejó en el rendimiento. El análisis económico demostró unos óptimos físicos de 47.7 para la dosis de micorrizas y 34.4 kg./ha para la dosis de P_2O_5 y los óptimos económicos fueron de 46.9 kg./ha para la dosis de micorrizas y de 22.1 kg./ha para la dosis de P_2O_5 .

De acuerdo con los resultados se obtuvo mayor rentabilidad al aplicar la dosis de 50 kg./ha de inóculo micorrízico y 25 kg./ha de P_2O_5 (Castillo, P.E y Silva, M.R. 1990).

- **Hongos Micorrízicos Arbusculares (H.M.A.) asociados a tres especies frutales y una pastura en tres municipios del Guaviare, Colombia.**

Los suelos del área intervenida del Guaviare son poco evolucionados y la mayoría de los sistemas de producción introducidos generan degradación. Varios factores limitan el uso de las fuentes de nutrientes necesarios para una eficiente producción agropecuaria. Una alternativa para contribuir a solucionar esta problemática es estudiar la biodiversidad de las micorrizas nativas y determinar la distribución de las especies en el ecosistema amazónico del Guaviare, para utilizarlas como inóculo a fin de mejorar la calidad nutricional de las pasturas y especies frutales.

La recolección de suelo rizosférico se realizó en San José, El Retorno y Calamar, en especies frutales de arazá (*Eugenia stipitata*), borojó (*Borojoa sorbilis*), chontaduro (*Bactris gasipaes*) y pasto *Brachiaria decumbens*.

Se realizó la extracción de esporas por el método de Ohms (1957) modificado por CIAT, la determinación del porcentaje de infección de raíces por la técnica de Phillips y Hayman (1970) y la identificación de los géneros y especies de H.M.A. según Shenck y Pérez, 1990.

El alto porcentaje de colonización de las raíces (54% - 75%) y el bajo número de esporas por g/suelo (5.5 - 8.0) indican que las plantas no presentaban ningún factor de estrés que las afectara y estimulara la producción de esporas.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

- El género *Glomus* predominó en 54.5%: *G. macrocarpum*, *G. etunicatum*, *G. geosporum*, *G. aggregatum*, *G. tenebrosum*, *Glomus sp.*;
- El género *Acaulospora* en 27.3% : *A. rehmsii*, *A. tuberculata*, *A. morrowiae*,
- El género *Entrophospora* en 9.1%: *E. colombiana* y *Scutellospora* en 9.1%: *S. persica*.

Los resultados confirman el concepto de especificidad ecológica de la asociación de las M.A pues *G. macrocarpum*, *G. etunicatum* y *E. colombiana* presentaron mayor frecuencia en las diferentes localidades y especies vegetales. En *B. decumbens* se encontró la mayor diversidad de H.M.A y presentó mayor afinidad con el género *Glomus* (55.5%). (Figuras 4 a la 9). (Trufem, S. ; Salamanca, C.R.; Rozo, L ; Silva, M.R.; Jimenez A.M.; CORPOICA-PRONATTA. 1997)



Figura 4. Colonización radical por HMA (Vesícula)

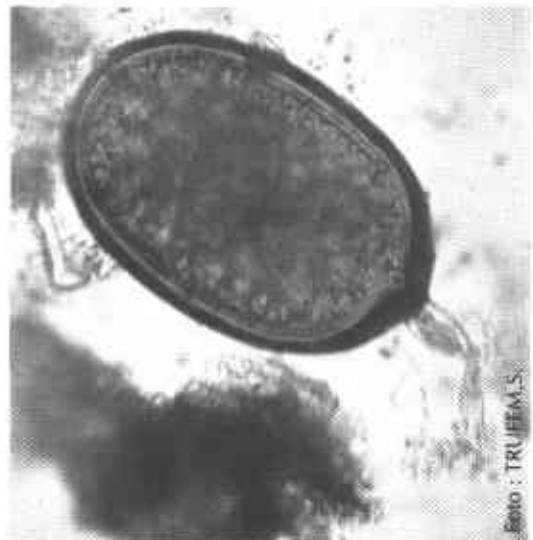


Figura 5. *Glomus macrocarpum*



Figura 6. *Glomus etunicatum*

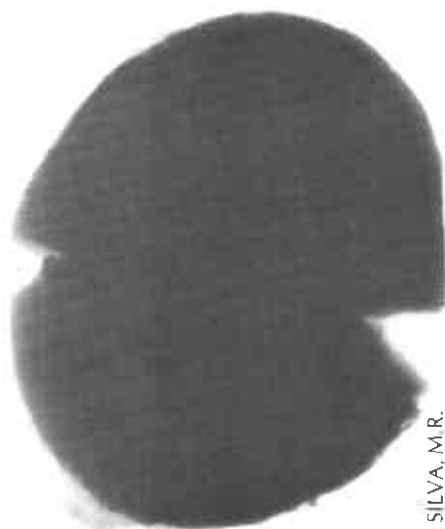


Figura 7. *Glomus tenebrosum*

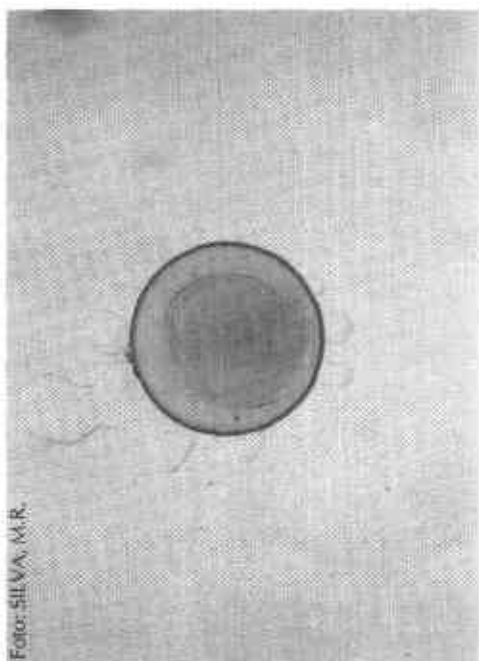


Figura 8. *Acaulospora tuberculata*

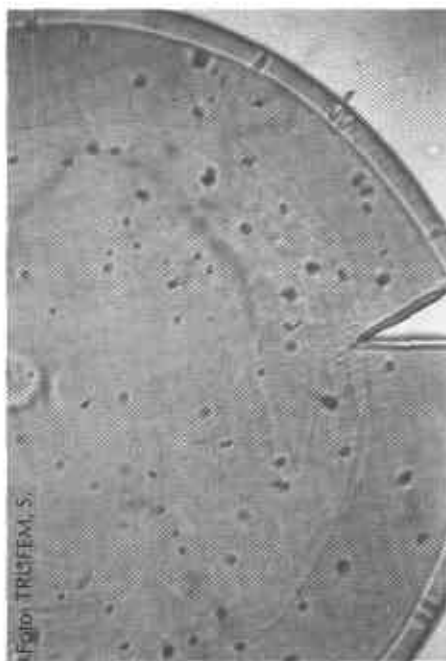


Figura 9. *Entrophospora colombiana*

CONCLUSIONES:

- Las micorrizas son una alternativa para disminuir el consumo de fertilizantes y volver más eficiente la utilización de los mismos.
- Las micorrizas constituyen una riqueza biológica básica para las zonas tropicales y subtropicales.
- La utilización de las micorrizas incide significativamente en la producción agrícola y forestal.
- Las micorrizas son de fácil manejo para la agricultura campesina y representa un insumo de bajo costo.

GLOSARIO

Azigospora : Son células reproductivas sexuales que se presentan en los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora*.

Clamidospora : Células especializadas formadas asexualmente y son estructuras de resistencia, se representan en los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*.

ELISA : Prueba serológica con reacción enzimática.

Esporocarpo : Son estructuras donde se encuentran las células reproductivas asexuales, presentes en los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*.

Micorrizosfera : Se refiere al pequeño volumen de suelo que cubre una raíz micorrízica.

Microtrofia : Capacidad de la planta para adquirir nutrientes por medio de un hongo.

Rizosfera : Volumen de suelo que rodea las raíces, en íntimo contacto con ella y que contiene poblaciones de microorganismos.

Sáculo esporógeno : Hinchamiento terminal de una hifa especializada.

Simbionte heterótrofo : Microorganismo que requiere nutrientes orgánicos y un nicho protector para crecer multiplicarse y mantener sus poblaciones y esto se lo proporciona la planta hospedera.

Simbiosis mutualista : Interacción que ocurre entre dos organismos vivos donde los implicados se benefician mutuamente.

BIBLIOGRAFIA

- BAREA, J.M. 1990.** Micorrizas vesículo-Arbusculares. En : Microbiología. Vol.II. Universidad de Sevilla, España, pp 271-278.
- BURBANO, H. 1989.** Los microorganismos del suelo. En : El suelo: Una visión sobre sus componentes bioorganicos. Universidad de Nariño, Pasto, pp 141-145.
- CASTILLO, P.E. y SILVA, M.R., 1990.** Efecto de las micorrizas en el rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el Piedemonte Llanero. Tesis de pregrado para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. p.94.
- GUERRERO, F.E., 1996.** Micorrizas. Recurso biológico del suelo. FEN. Santafé de Bogotá, pp 22-23.
- MORTON, J. B., BENNY, G. L. 1990.** 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 and emendation of *Glomaceae*. Mycotaxon, 37 : 471-491.
- MORTON, J.B. 1990.** Species and clones of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, (*Glomales*, *Zygomycetes*) Their role in macro and microevolutionary processes, West Virginia University, Morgantown. Mycotaxon. 37 :493-515.
- OLIVARES, J., BAREA, J.M. 1991.** Fijación del N y micorrizas En : Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol.II Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España, 259p.
- SALAMANCA, S.C.R.; TRUFEM, S.; ROZO, I.; JIMENEZ, A.M.; SILVA, M.R. 1997.** Hongos micorrizicos arbusculares (HMA) asociados a tres especies frutales y una pastura en tres municipios del Guaviare, Colombia. En: Memorias XVIII Congreso ASCOLFI, Fitopatología, Biodiversidad y micorrizas. Cali, Colombia. p.39-40.
- SANCHEZ de P.M. 1997.** Endomicorrizas y Agroecosistemas. En : Seminario internacional de Manejo Sostenible de la Producción Agropecuaria. Universidad Nacional de Palmira. Popayán, pp.49-71.
- SCHENCK, N.C. and PEREZ, Y. 1990.** Manual for the identification of V.A. mycorrhizal fungi. 3ª de. University of Florida. 241p.
- SIEVERDING, E. ; SANCHEZ DE P.M., BRAVO, N., 1989.** Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Palmira, pp :1-124.
- SIEVERDING, E. 1991.** Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Germany, 367p.