

Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible

Fecha de recepción: 09/10/2007

Fecha de aceptación: 10/10/2007

Beatriz Elena Guerra Sierra¹

Actualmente el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; es así como la agricultura moderna ha ido incrementando el uso de microorganismos benéficos, tales como: bacterias promotoras de crecimiento vegetal, bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fosfato y hongos Micorrízicos arbusculares (MA).

Palabras clave

Micorriza arbuscular, sostenibilidad, suelo, agroecosistemas.

Key words

Arbuscular micorrhizal, sustainability, soil, agroecosystems.

Resumen

Actualmente el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; es así como la agricultura moderna ha ido incrementando el uso de microorganismos benéficos, tales como: bacterias promotoras de crecimiento vegetal, bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fosfato y hongos Micorrízicos arbusculares (MA). Es reconocido que la gran mayoría de plantas captan los nutrientes por medio de interacciones que establecen con los microorganismos que viven en la rizosfera, especialmente con aquellos que se han denominado simbiosiontes. De

estos simbiosiontes de la raíz, los hongos denominados micorriza arbuscular (MA), son tal vez las asociaciones más comunes que se establecen con la mayoría de las especies de plantas, y probablemente son, en cantidad, las más importantes. Esta simbiosis ha incrementado su interés, como insumo microbiológico en la agricultura moderna pues facilita la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos, además de proporcionar otros beneficios para la planta como la tolerancia a situaciones de estrés, estabilidad de los agregados del suelo, captación de metales pesados, entre otros, de tal forma que el hongo heterótrofo se beneficia de los sustratos carbonados procedentes de la fotosíntesis y del nicho ecológico protegido que encuentra dentro de la raíz. Los hongos micorrízicos arbusculares constituyen un insumo microbiológico promisorio para el desarrollo de una agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizantes biológicos, son quizás motivos para considerarlos

1. Directora Grupo de Investigación Microbiota. Universidad de Santander-Colombia. Candidata a Doctorado-Universidad Nacional de Costa Rica. Correo electrónico: bguerra0130@gmail.com.

como uno de los componentes importantes de la diversidad biológica del suelo.

Abstract

The use of beneficial microorganisms in agriculture plays an important role in the sustainability of ecosystems, so as modern agriculture has been increasing the use of beneficial microorganisms such as growth promoting rhizobacteria (PGPR), nitrogen-fixing bacteria, microorganisms' solubilizer phosphate; and arbuscular micorrhizal fungi (AMF). It is recognized that the vast majority of plants, capture nutrients through interactions which provides the plant with microorganisms living in the rhizosphere, especially with those who have called symbionts. Of these symbionts from the root, fungi called arbuscular micorrhizal fungi (AMF), are perhaps the most common associations to be established with the majority of species of plants, and are probably in quantity, the most important. This symbiosis has increased its interest as an input microbiological in modern agriculture facilitating the uptake of phosphorus, a limiting nutrient in most soils, as well as providing other benefits to the plant as tolerance to stressful situations, stability of aggregates soil, uptake of heavy metals among others, heterótrofo fungus benefits carbon source from photosynthesis and the ecological niche that protected inside root. Arbuscular micorrhizal fungi (AMF), establishing an microbiological input promising for the development of sustainable agriculture, its role in the functioning of ecosystems and their potential as biological fertilizers, are perhaps reason to consider them as one of the important components of biological diversity in the soil.

Introducción

Las características físicas, químicas y biológicas determinan la fertilidad de los

agroecosistemas. El papel de la actividad microbiana influye en la cinética de los procesos que se llevan a cabo en el suelo, tales como: la mineralización e inmovilización de nutrientes, e igualmente en la participación activa en el ciclado de nutrientes.

Actualmente, los microorganismos benéficos juegan un papel fundamental; entre ellos, se destacan los hongos formadores de micorriza arbuscular (MA), los microorganismos fijadores de nitrógeno y las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) (Azcón, 2000).

Múltiples trabajos han mostrado cómo los microorganismos influyen no solo en el desarrollo y crecimiento de las plantas, sino, también, en la contribución a la protección de la planta contra patógenos del suelo.

Sin embargo, para sostener y fortalecer los sistemas agrícolas, es necesario el conocimiento fundamental de los diversos componentes que lo integran y que pueden ser determinantes en su funcionalidad. Gran parte de la productividad de los cultivos está determinada por la fertilidad de los suelos (Barea J.1991).

La fertilidad del suelo puede considerarse desde tres puntos de vista: características físicas, características químicas y biológicas.

La combinación e interacción de las tres características mencionadas, producen cambios significativos en los ciclos biogeoquímicos del suelo y en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

En cuanto al componente biológico, es reconocido que la gran mayoría de plantas capta los nutrientes por medio de interacciones que establece con los microorganismos que viven en la rizosfera, especialmente con aquellos que se han denominado simbioses. De estos simbioses de la raíz, los hongos

Múltiples trabajos han mostrado cómo los microorganismos influyen no solo en el desarrollo y crecimiento de las plantas, sino, también, en la contribución a la protección de la planta contra patógenos del suelo.

Las micorrizas son las asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas, siendo consideradas como la simbiosis de la naturaleza más antigua y sorprendente.

denominados micorriza arbuscular (AM), son tal vez las asociaciones más comunes que se establecen con la mayoría de las especies de plantas, y probablemente son, en cantidad, las más importantes. Esta simbiosis facilita la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos, además de otras funciones importantes que ejerce la simbiosis (hongo-raíz), con múltiples beneficios para la planta que se mencionan en este trabajo.

Los hongos micorrizicos arbusculares constituyen un insumo microbiológico promisorio para el desarrollo de una agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizantes biológicos, son quizás motivos suficientes para considerarlos como uno de los componentes importantes en la agroecología moderna.

Antecedentes históricos

Hacia la segunda mitad del siglo XIX, varios investigadores notaron la presencia de hongos en las raíces de las plantas, evidenciando que no mostraban ningún síntoma de enfermedad o necrosis. Los hongos micorrízicos son pues tan antiguos como las propias plantas; esto se puede deducir de la observación del primer registro fósil, que se conoce de un vegetal, el fósil (Aglaophyton) del cuarzo Riñe, fechado en 370 millones de años, en la fase temprana Devoniana (Nicolson, 1975).

Así cuando la vida estaba únicamente en el agua, los vegetales podían utilizar directamente los elementos minerales disueltos en ella, y encontraban fácilmente recursos casi inagotables. Posteriormente, las plantas comenzaron a colonizar las tierras emergidas, hace unos 400 millones de años en el período Devónico, en donde encontraron condiciones totalmente adversas y hostiles.

Los suelos procedentes de la degradación de las rocas, en donde los elementos minerales se encontraban básicamente en forma insoluble, su concentración fue extremadamente pequeña, en las soluciones del suelo, y los intercambios entre las formas solubles e insolubles fueron lentos. Por lo tanto, las soluciones de elementos minerales en el suelo se agotaban rápidamente, debido a la extracción que las raíces llevaban a cabo, sobre todo en la zona radical.

Las primeras plantas terrestres tuvieron que adaptarse, a estas condiciones tan especiales, y solamente las que pudieron asociarse a hongos, y a ciertas bacterias, consiguieron colonizar los continentes (Le Tacon, 1985). Existe una evidencia fósil limitada de hongos del Paleozoico (Taylor and Osborn, 1996), pero la evidencia molecular sugiere que ellos divergieron de otros organismos vivientes en la era Proterozoica (Wang et al., 1999). Así que, es probable que los hongos terrestres colonizaron la tierra antes que las plantas.

Características generales de la micorriza arbuscular (MA)

Las micorrizas son las asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas, siendo consideradas como la simbiosis de la naturaleza más antigua y sorprendente.

Cincuenta años antes de Frank, estas asociaciones ya eran consideradas de naturaleza parasítica, hasta que en 1987 se pudo demostrar que la colonización de las raíces era más bien simbiótica en vez de parasitaria (Hayman, 1987).

Los hongos Micorrízicos se agruparon anteriormente en el Phylum Zygomycota, originalmente los hongos arbusculares habían sido clasificados en la familia Endogonaceae, en el orden Mucorales, debido a la semejanza superficial entre las esporas de las especies de Endogone y las de las especies Glomus esporcárpico

(Gerdemann and Trappe, 1974). Esta semejanza no tuvo validez, como criterio de grupo, debido a que *Endogone spp.*, forma zigosporas sexuales, mientras que la micorriza arbuscular (MA) produce únicamente esporas sexuales.

Más tarde, las micorrizas se agruparon en el orden Glomales, para reconocer su origen monofilético y su trayectoria única evolutiva (Morton and Benny, 1990). La evidencia molecular (como la secuencia de la subunidad pequeña de ARN) complementó la evidencia morfológica que afirma que este grupo es un linaje distinto y es un grupo supuestamente hermano de Basidiomycota y Ascomycota. La clasificación actual los agrupa en el Phylum Glomerulomycota que incluye los géneros: *Paraglomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Diversispora*, *Geosiphon*, and *Archaeospora* (Schuessler et al., 2001).

En la asociación mutualista que se establece con la micorriza, el hongo coloniza biográficamente la corteza de la raíz, sin causar daño a la planta, llegando a ser, fisiológica y morfológicamente, parte integrante de dicho órgano. A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo simbionte (heterótrofo), compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, y un hábitat ecológico protegido.

La importancia de esta simbiosis en el desarrollo de las plantas se entiende al tener en cuenta que la raíz es el puente entre la planta y el suelo y que, a su vez, el micelio del hongo micorrizógeno es el puente entre la raíz y el suelo. En consecuencia, la micorriza, como órgano de absorción y traslocación de agua y nutrientes, es una de las más sobresalientes adaptaciones de la raíz para desenvolverse adecuadamente en el ambiente edáfico (Guerrero. E. 1986).

Factores que afectan el desarrollo, actividad y

supervivencia de la micorriza arbuscular

Diversos factores pueden afectar el desarrollo, actividad y supervivencia de la micorriza arbuscular. Dentro de los más importantes, se encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y rotaciones de cultivos, de igual forma los factores medioambientales son determinantes (Gianinazzi, 1994).

Las prácticas agrícolas, tales como la aplicación de fertilizantes, la rotación de cultivos, la labranza y abono con cal afectan los niveles de la colonización de las raíces y el potencial de MA en campo. Por ejemplo, se ha encontrado que los altos niveles de la fertilización con fósforo bajan o inhiben la eficiencia de la micorriza en cultivos de soya (Ezawa, T. et al. 2000). Igualmente, los cambios en la fertilidad del suelo, debido a correcciones con fertilizantes minerales o materia orgánica, pueden afectar marcadamente la actividad de la población micorrizica del suelo, en términos de la cantidad de raíz colonizada y el número de esporas producidas (Hayman, 1987).

Generalmente, una alta fertilización química con N, P y K en forma completa al suelo, conducen a una colonización mínima por parte de la micorriza arbuscular, a tal grado que difícilmente se encontrarán asociaciones simbióticas en suelos cultivados intensivamente, en donde la MA tiende a extinguirse (Gianinazzi, 1994).

La fertilización química aplicada puede disminuirse de un 50 a 80%, ya que la MA mejora la absorción de nutrientes del suelo. Del 40 al 50% de los fertilizantes químicos aplicados se lixivian, contaminando suelos, ríos, arroyos, mantos freáticos y la atmósfera (Plenchette et al. 1983; Harrison, 1997).

El Nitrógeno

La fertilización química aplicada puede disminuirse de un 50 a 80%, ya que la MA mejora la absorción de nutrientes del suelo. Del 40 al 50% de los fertilizantes químicos aplicados se lixivian, contaminando suelos, ríos, arroyos, mantos freáticos y la atmósfera (Plenchette et al. 1983; Harrison, 1997).

El nivel de P en la solución del suelo está relacionado con la colonización radicular por la MA, al haber un nivel bajo de P, hay un bajo nivel de fosfolípidos en la membrana vegetal, que conduce a una mayor exudación radicular, lo cual trae como consecuencia una estimulación en la colonización del endófito.

*La micorriza arbuscular en cuanto a la absorción directa del nitrógeno, aparentemente no desempeña un papel importante, pero se ha demostrado que incrementa la capacidad de la fijación de nitrógeno en las leguminosas. La mayoría de las plantas colonizadas se benefician con la simbiosis y muestran un incremento en el crecimiento, absorción de nutrientes, fijación de N₂ atmosférico (si también se le asocia con *Rhizobium* o con *Frankia*), etc., sin embargo, la mayoría de las plantas muestra estas respuestas fisiológicas a la MA a niveles bajos de P en la solución del suelo. Así, como también con una alta fertilización nitrogenada se ha demostrado que se afecta negativamente, la simbiosis con la micorriza arbuscular (Daft y El-Giahmi, 1974; Boisson-Dernier et al., 2001).*

El Fósforo

El principal papel de la micorriza arbuscular es proveer las necesidades de fósforo a la planta, debido a que este elemento es extremadamente inmóvil en el suelo. Aun si el fósforo se adiciona en forma soluble al suelo, este terminará por inmovilizarse como fósforo inorgánico, fosfato cálcico, o cualquier otra forma fijada. (Jackson, R.M. and P.A. Mason, 1984, Wetterauer, D.G. and R.J. Killorn, 1996). Es conocido que la micorriza arbuscular es eficaz para incrementar la captación de nutrientes, particularmente fosforo y acumulación de biomasa de muchos cultivos, en suelos que contienen bajo fósforo (Osonubi, O. K. et al., 1991).

El nivel de P en la solución del suelo está relacionado con la colonización radicular por la MA, al haber un nivel bajo de P, hay un bajo nivel de fosfolípidos en la membrana vegetal, que conduce a una mayor exudación radicular, lo cual trae como consecuencia una estimulación en la colonización del endófito. Las formas existentes del fósforo en el suelo, son poco solubles en el agua y por ello su concentración es muy pequeña, en

la solución del suelo (0,03 mg litro⁻¹) (Nelsen et al., 1981).

Entre 95 y 99% del fósforo del suelo no está disponible para las plantas; esto incluye las formas orgánicas y mineral insoluble. La adición de cantidades bajas de fertilizante fosfatado es compatible, e incluso beneficia la simbiosis con la MA, ya que estimula el crecimiento de la planta, pero al incrementar la dosis se comienza a interferir la formación de la simbiosis, llegando incluso a la inhibición de la colonización. Las diferentes especies de MA muestran distintos grados de resistencia a la aplicación de fertilizantes y productos fitosanitarios; lo anterior trae como consecuencia, el interés práctico en relación con la selección de los MA, específicos para una planta en un determinado suelo, que ha recibido dichos aportes (Hayman, 1982).

Transporte del fosfato

El transporte del fosfato, desde la solución del suelo hacia la planta, se presenta en tres fases:

- 1. el fosfato es captado por las hifas externas de la planta, unas 1 000 veces más rápido, que por la difusión mediante de la solución del suelo,*
- 2. posteriormente, el fosfato es trasladado a través de las hifas intrarradicales, y*
- 3. finalmente, se da la transferencia al citoplasma o es acumulado en las vacuolas, en forma de gránulos de polifosfato, el cual es impulsado a través del lumen de las hifas, por corrientes citoplasmáticas hacia los arbusculos, en donde el polifosfato es degradado y el ion fósforo es transferido a la célula hospedadora (Le Tacon, 1985).*

Las micorrizas facilitan la absorción de los elementos menos solubles y móviles

como: fósforo, amonio, potasio, cobre, hierro y zinc. Para la formación de los

gránulos de polifosfatos, intervienen las polifosfatoquinasas específicas situadas en las hifas externas, mientras que en la degradación de dichos gránulos intervienen, las fosfatasas alcalinas (Subramanian et al., 1998; Estrada y Davies, 2001).

Impactos de la micorriza arbuscular en la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres

Interacción con metales pesados

La micorriza arbuscular (MA) se destaca como una de las simbiosis más

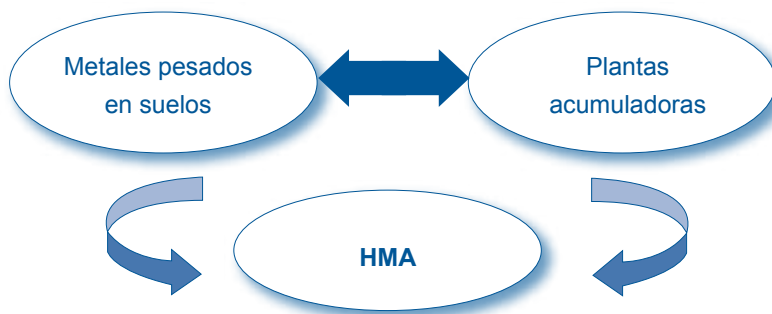


Figura 1. Figura representativa de la asociación simbiótica entre planta-micorriza arbuscular-metales pesados en suelos contaminados. Fuente: Leyval et al., 1997

generalizadas e importantes en los ecosistemas terrestres; esta simbiosis mutualística (figura 1) ejerce gran influencia en la nutrición y tolerancia de las plantas a estrés bióticos y abióticos (Siqueira y Saggin, 1995).

Con respecto a la importancia de la micorriza en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se ha comprobado que esta simbiosis tienen un efecto benéfico, ya que inmoviliza los metales en la raíz, reduciendo su translocación a la parte aérea de la planta y, en consecuencia, el flujo de metales a la cadena trófica (Pawłowska et al., 2000;

Del Val et al., 1999; Pawłowska et al., 1996; Barea et al., 1995; Leyval et al., 1995).

De otro lado, se ha comprobado que las plantas micorrizadas tienen un efecto benéfico, basado en la capacidad que confiere a la planta para inmovilizar metales en la raíz, reduciendo así su translocación a la parte aérea y, en consecuencia, el flujo de metales a la cadena trófica (Del Val et al., 1999).

Los reportes de las altas concentraciones de metales muestran variaciones en la acumulación de metal y la translocación dentro de la planta dependiendo del hongo, de la planta hospedera, densidad de la raíz, características del suelo, metales y su disponibilidad (Joner y Leyval, 2001; Leyval et al., 1997).

La micorriza arbuscular (MA) puede subsistir en suelos altamente contaminados con metales pesados; sin embargo, la colonización a menudo es reducida en esas condiciones. Varios metales pesados son fungitóxicos, en razón de la cual reducen la germinación de las esporas, el crecimiento micelial y, consecuentemente, la colonización micorrízica (Jamal, 2002).

Relación de la MA con la erosión del suelo

Se ha observado que la micorriza arbuscular (MA) interviene en la estabilización de suelos sueltos y dunas, mediante la formación de agregados de arena por el micelio fúngico. Los factores que contribuyen a mejorar la estructura del suelo son: las hifas de la MA y las raíces de las plantas, las cuales enredan físicamente a los micro agregados, formando así macroagregados, los residuos microbianos, exudados radicales y sustancias pegajosas (polisacáridos) producidas por la MA, los cuales disminuyen de esta forma la erosión del suelo (Clough y Sutton, 1978; Tisdall et al. 1997), y mejoran los infiltrados de agua y la captación del carbono en los

Recientemente y a escala mundial, está dándose cada día más la necesidad de adoptar estrategias de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental. Entre otros, los objetivos que se persiguen son la seguridad alimentaria, erradicar la pobreza y conservar y proteger el ambiente y los recursos naturales.

sistemas agrícolas (Rilling, M. C, et al. 1999).

En numerosos trabajos de campo, se ha evidenciado el efecto benéfico de la micorriza arbuscular sobre el desarrollo de las plantas que crecen en zonas erosionadas, resultando una mayor productividad agrícola, por lo cual estos hongos deben ser incluidos en los programas de revegetación de suelos desnudos. Sin embargo, las dificultades de llevarlo a la práctica con cierta posibilidad de éxito son considerables, ya que las plantas pueden desarrollar colonizaciones mezcladas, mediante el predominio del endófito de la MA, introducida o del hongo nativo. Por lo tanto, es necesario que el hongo por inocular tenga una gran capacidad competitiva y una excelente eficiencia, en la búsqueda y translocación de nutrientes (Mukerji et al. 1988; Tisdall et al., 1997).

La estabilidad de los agregados del suelo es una importante propiedad física de los suelos que puede verse afectada por los hongos micorrízicos arbusculares. Recientemente, una glucoproteína, producida por la micorriza arbuscular que promueve la agregación del suelo “glomalina”, se descubrió. Adicionalmente, también se conoce que las concentraciones de dióxido de carbono, más altas que la concentración normal, ayudan a promover la agregación del suelo, por el incremento en la producción de “glomalina”. Estos hallazgos podrían cobrar importancia en el futuro, en la utilización de la MA en el manejo del suelo, para promover la producción de agregados estables del suelo, mejorar los infiltrados de agua y la captación del carbono en los sistemas agrícolas (Rilling, M. C, et al., 1999).

Ecosistemas sostenibles y Micorriza Arbuscular

El inventario de los hongos micorrízicos de nuestros suelos, así como su

caracterización ecológica y manejo tecnológico, son propósitos coherentes con políticas agrícolas y forestales orientadas por el concepto de desarrollo sostenible. Por ello, además de despertar un interés científico en las esferas de la Botánica, la Micología y la ecología, el tema genera expectativas tecnológicas en agricultura, silvicultura y manejo de suelos (Guerrero E., 1996).

En los ecosistemas se consideran los hongos micorrízicos arbusculares (MA) como los de mayor distribución mundial, tanto por el gran número de los posibles hospederos, como por su distribución geográfica, puesto que han sido reportados desde la Amazonía, donde son predominantes, hasta el Ártico.

Recientemente y a escala mundial, está dándose cada día más la necesidad de adoptar estrategias de desarrollo agrícola para asegurar una producción estable de alimentos y que sea acorde con la calidad ambiental. Entre otros, los objetivos que se persiguen son la seguridad alimentaria, erradicar la pobreza y conservar y proteger el ambiente y los recursos naturales (figura 2).

El uso de hongos micorrízicos arbusculares encaja muy bien en los objetivos múltiples que persigue la agricultura sostenible. A nivel ambiental, contribuyen al aumento de productividad de los cultivos, regeneración de comunidades vegetales degradadas y mantenimiento del equilibrio del ecosistema. A nivel económico, contribuyen sustancialmente al aprovechamiento eficiente de fertilizantes, y a nivel social contribuyen a un desarrollo rural integrado, con el uso de recursos naturales (desarrollo de inóculos nativos) a escala local, favoreciendo así al establecimiento de agroecosistemas de producción sostenida.

Áreas de aplicación de la micorriza arbuscular

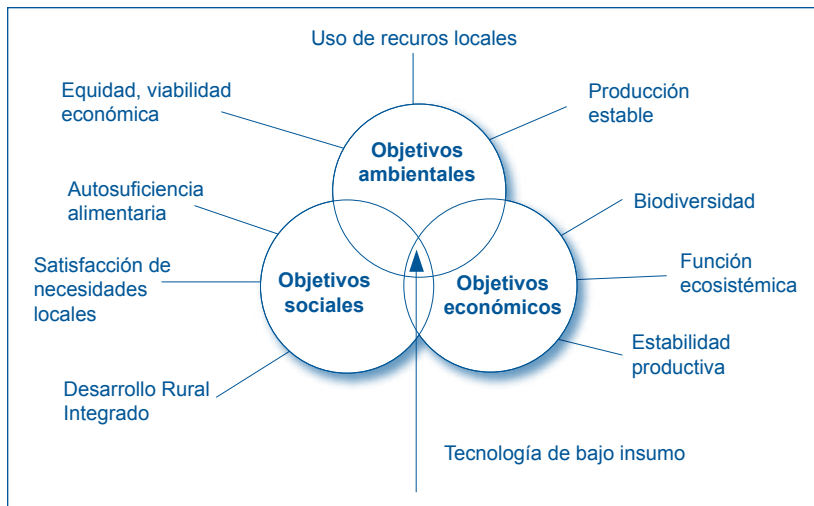


Figura 2. Rol de la Agroecología en la satisfacción de los objetivos múltiples de la agricultura sostenible
Fuente: Miguel Altieri y Clara I. Nicholls, 2000.

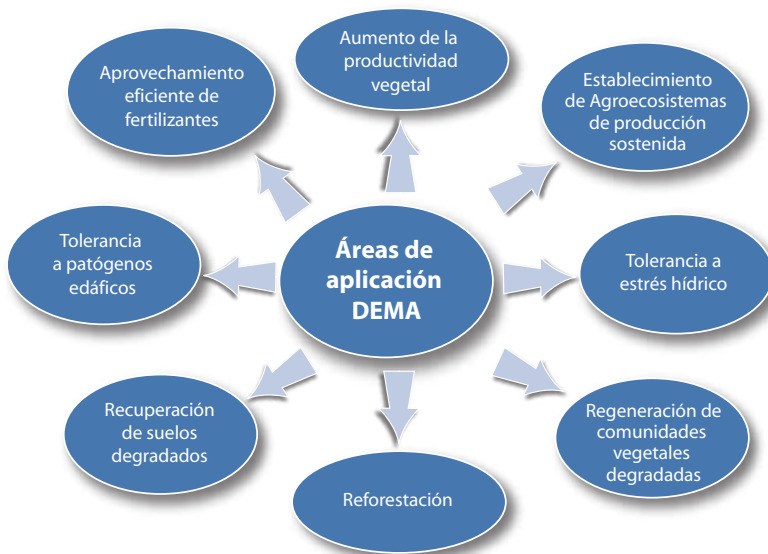


Figura 3. Áreas de Aplicación de la micorriza arbuscular
Fuente: Adaptación personal, tomada de Guerrero E., 1996.

La atención que se le ha dado a la micorriza arbuscular ha sido, principalmente, como biofertilizante, pero las ventajas que ella ofrece no solo están enfocadas a la nutrición mineral. Existen otros campos de aplicación de la micorriza arbuscular (figura 3).

Las plantas que han sido “micorrizadas” reciben beneficios adicionales, tales como, resistencia a estrés hídrico, exclusión y protección a patógenos del suelo y tolerancia a metales pesados.

Se ha visto que las poblaciones naturales de hongos micorrízicos son a veces insuficientes o ineficientes para que se dé una buena simbiosis; esto afecta negativamente al desarrollo de los cultivos; por ello es que se pueden incrementar estos hongos, mediante la producción de inóculos nativos de un determinado suelo, o también se han aplicado hongos que sin ser nativos han resultado ser eficientes y competitivos. De estas dos prácticas, se prefiere el manejo agroecológico de los hongos nativos y no la introducción de hongos exóticos, pues estos últimos no están adaptados a las condiciones edáficas de un ecosistema en particular.

El uso práctico de la micorriza en cultivos tropicales va encaminada a obtener una productividad sostenida y a establecer prácticas ecológicas que podríamos clasificar como amigas del medio ambiente.

En resumen, podría decirse que los hongos micorrízicos arbusculares confieren a la planta resistencia a las enfermedades, mejoran y ayudan a la captación de nutrientes vía raíz del vegetal, aumentan la captación del agua, por lo que las plantas “micorrizadas” obtienen una mayor tolerancia a las sequías, ayudan a la reforestación de suelos degradados, puesto que al producir un aumento en la superficie de la raíz, generan mayor anclaje y ofrecen además un aumento en el transporte de fósforo a la planta.

Consideraciones

- La vida moderna conlleva una sobreexplotación acelerada de los recursos naturales, como suelo, aire, agua, flora, fauna; todos ellos de elevada fragilidad a la contaminación

y a los sistemas de producción que perturban el balance ecológico. La degradación del medio ambiente es uno de los problemas más severos que afecta directamente a la producción agrícola; surge entonces el concepto de nuevas prácticas ecológicas, cuya fundamentación se basa en aprovechar y mantener la fertilidad natural del suelo mediante rotación y asociación en policultivos, aporte de residuos orgánicos, recuperación del equilibrio de los minerales del suelo y la potenciación de microorganismos benéficos como las micorrizas arbusculares.

Varios autores coinciden en definir a las micorrizas como asociaciones mutualistas entre un hongo y las raíces de la planta, en la que ambos miembros de la asociación se benefician y participan activamente en el transporte y absorción de nutrientes, influyendo tanto en la estructura como en la estabilidad de las comunidades vegetales.

- Varios autores coinciden en definir a las micorrizas como asociaciones mutualistas entre un hongo y las raíces de la planta, en la que ambos miembros de la asociación se benefician y participan activamente en el transporte y absorción de nutrientes, influyendo tanto en la estructura como en la estabilidad de las comunidades vegetales.
- La micorriza arbuscular es un recurso microbiológico fundamental en la estructura del suelo y en el mantenimiento de la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres; esto se evidencia por los múltiples beneficios que ofrece el hongo a la planta cuando se establece la simbiosis; en esta simbiosis juegan un papel importante los exudados radicales que estimulan el desarrollo de las poblaciones microbianas del suelo; allí se da un incremento de dichas poblaciones; este lugar de mayor actividad microbiana es conocido como “rizosfera”, pues es en esta zona donde los microorganismos estimulados llevan a cabo una serie de actividades que van a repercutir en el desarrollo de dicha rizosfera;

entre estas actividades, se destaca la producción de hormonas, enzimas, quelatos, etc., así como su participación en el ciclado de materia orgánica y su contribución al mantenimiento de la estructura del suelo (Azcón-Aguilar & Barea, 1992).

- El principal papel de la micorriza arbuscular es proveer las necesidades de fósforo a la planta, debido a que este elemento es un elemento extremadamente inmóvil en el suelo; pero adicionalmente a este y en términos generales los hongos micorrizicos arbusculares confieren a la planta resistencia a las enfermedades, mejoran y ayudan a la captación de nutrientes vía raíz del vegetal, aumentan la captación del agua, por lo que las plantas “micorrizadas” obtienen una mayor tolerancia a las sequías, ayudan a la reforestación de suelos degradados, puesto que al producir un aumento en la superficie de la raíz producen mayor anclaje, y contribuyen a la remoción de metales pesados y recuperación de suelos erosionados.
- En la agricultura moderna, las formas de producción se caracterizan, sobre todo, porque requieren una extracción continua de energía proveniente de la naturaleza. Este gasto energético provoca a su vez una descarga residual al aire, al agua y a la tierra, generando grandes cambios y problemas tal vez mayores que los que se pretendía solventar, el uso de recursos naturales como la micorriza, contribuye en parte a minimizar este problema.

“(…) Para muchos científicos la velocidad de dichos cambios, ya ha superado la capacidad de adaptación de la propia naturaleza: el efecto invernadero, la lluvia

2. José Luis Porcuna, Joaquín Arnau, y otros. Agro ecología, Agricultura Ecológica y Sostenibilidad. Un trió de moda. Servicio de sanidad vegetal. Silla. (Valencia) 2000.

y deposiciones secas ácidas, la disminución de la capa de ozono estratosférica, el incremento de las concentraciones de ozono troposféricas, la deforestación, la desertización, la contaminación del agua superficial y subterránea, la erosión genética en especies de animales y vegetales, las alteraciones de mecanismos hormonales en animales y el propio hombre, el incremento de plagas y enfermedades en las plantas cultivadas, son las señales palpables de que avanzamos hacia una situación de crisis ambiental profunda (...)"²

- La sostenibilidad de la naturaleza implica la regeneración de los procesos naturales y una subordinación a las leyes del retorno a la naturaleza³. Desde este concepto, la implementación de tecnologías agrícolas, como el buen uso de recursos microbiológicos del suelo, tal como la micorriza arbuscular, propenderán por mantener el equilibrio de los ecosistemas terrestres y la fertilidad de los suelos.
- En la actualidad, existen muy pocas dudas entre los científicos que han desarrollado trabajos con la micorriza arbuscular, de que estos sean benéficos para el crecimiento, desarrollo y supervivencia de las plantas en los ecosistemas terrestres.

Bibliografía

Altieri, M., y Nicholls C. *Agroecología. Teoría y práctica para una Agricultura Sostenible*. Primera edición: México D.F., 2000.

Azcón R. "Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola". En: Alarcón A., Ferrera Cerrato R.; (eds). *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza arbuscular*.

3. José Luis Porcuna, Joaquín Arnau, y otros. *Agro ecología, Agricultura Ecológica y Sostenibilidad. Un trió de moda ?Servicio de sanidad vegetal. Silla. (Valencia)2000*

Colegio de Posgraduados, Ediciones Mundi Prens, Montecillo, México, pp. 1-15-2000.

Barea J."Vesicular Arbuscular Micorrizae as Modifier of Soil Fertility", en Stewart, B. (ed) *Advances in Soil Sciences*.Vol.15. Springer Verlag. Nueva York. 1991.

Barea, J.M., y P. Jeffries. "Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil plants systems", pp. 521-559. In: B. Hock and A Varma (ed). *Mycorrhiza structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany. 1995.

Boisson-Dernier, A., Chabaud, M., García, F., Bécard, G., Rosenberg, C., Y Barker, D. G..." Agrobacterium rhizogenes-transformed roots of *Medicago truncatula* for the study of nitrogen-fixing and endomycorrhizal symbiotic associations". *Molecular Plant-Microbe Interact*. pp. 695-700. 2001.

Daft, M. J. y El-Giahmi, A. A. "Effects of *Glomus* infection on three legumes". En: *Endomycorrhizas* (Sanders, Mosse y Tinker, eds.), Academic Press, London. 580- 590. 1974.

Del Val, C., Barea, J. M., y Azcón-Aguilar C. "Assessing the tolerance to heavy metals of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from sewage sludge contaminated soils". *Appl. Soil Ecol.*, 11, 261-269. 1999.

Del Val, C., J. M. Barea, y C. Azcón-Aguilar. "Diversity of arbuscular mycorrhizal fungus populations in heavy metals-contaminated soils". *Appl. Environ. Microbiol.* 65, 718-723. 1999.

Ezawa, T., Yamamoto, K., y Yoshida, S. "Species composition and spore density of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under different conditions of P-fertility as revealed by soybean trap culture". *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 291-297. 2000.

Gianinazzi S y Sch"uepph." Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. *Birkh"ausser Verlag*, Basel. 226 pp. 1994.

Guerrero, E."Micorrizas Recurso Biológico del Suelo" Fondo Fen. Bogotá, Colombia, pp. 6-50.1996.

Hayman, D.S. "VA mycorrhizas in field crop systems". In: *Ecophysiology of VA micorrhizal*

En la actualidad, existen muy pocas dudas entre los científicos que han desarrollado trabajos con la micorriza arbuscular, de que estos sean benéficos para el crecimiento, desarrollo y supervivencia de las plantas en los ecosistemas terrestres.

- Plants*. (G. R, ed) pp 171-192 CRC Press, Boca raton, Florida. 1987.
- Harrison, M. J. *The arbuscular mycorrhizal symbiosis*. Academic Press Inc. England. ISBN 0-12-325560-0. 1.997.
- Jackson, R. M. y P. A. Mason, Edward Arnold, *Mycorrhiza* Ltd., London, pp: 60. ISBN 0-7131- 2876-3. 1984.
- Jamal, A., Ayub, N., Usman, M, y Khan, A. G. "Arbuscular mycorrhizal fungi enhance zinc and nickel uptake from contaminated soil by soyabean and lentil". *International Journal of Phytoremed*. 4 (39): 205-221.2002.
- Le Tacon, F.. "Las micorrizas: una cooperación entre plantas y Hongos". *Mundo Científico*, 49(5): 776.784. 1985.
- Leyval C., Joner E. J., Del Val C., y Haselwandter K. "Potential of arbuscular mycorrhizal fungi for bioremediation". *Mycorrhizal Technology in Agriculture*. Ed By S. Gianinazzi, H. Schuepp, J. M. Barea and Kaselwandter. 2000.
- Leyval, C., Joner, E., Del Val, C., y Haselwandter. K. "Potencial of arbuscular mycorrhiza for bioremediation". *Mycorrhiza*. 7 (2): 308-317. 2001.
- Leyval, C., Singh, B.R., y Janer, E.J."Occurrence and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in some Norwegian soils influenced by heavy metals and soil properties". *Water, Air Soil Pollut*. 83, 203-216. 1995.
- Leyval, C., Turnau, K., y Haselwandter, K. "Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological and applied aspects". *Mycorrhiza* 7, 39-153. 1997.
- Nicolson, T. H. "A flotation method for collecting spores of a phytomycetous mycorrhizal parasite from soil". *Phytopathology* 47:751. 752. 1975.
- Morton, J. B. y Benny, G.L. "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* 37:471-491. 1990.
- Osonubi, O., K. Mulongoy, O.O. Awotoye, M.O. Atayese y D.U. Okali, "Effects of ectomycorrhizal and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings". *Plant and Soil* 136:131-143. 1991.
- Pawlowska, T. E., Chaney, R.L., Chin, M. y Charvat, "Effects of metal phytoextraction practices on the indigenous community of arbuscular mycorrhizal fungi at a metal contaminated landfill". *Appl. Environ. Microbiol*. 6, 2526-2530. 2000.
- Pawlowska, T. E., Blaszkowski, J., y Ruhling, A." The mycorrhizal status of plants colonizing a calamine spoil mound in southern Poland". *Mycorrhiza* 6, 499-505. 1996.
- Plenchette, C., J. A. Fortin., y V. Furlan. "Growth response of several plants species to mycorrhizal in a soil of moderate P-fertility". *Plant Soil*. 70:199- 209. 1983.
- Rilling, M. C., Wright, S. F., Allen, M. F., y Field, C. B. "Rise in carbon dioxide changes soil structure". *Nature* 400:628. 1999
- Siqueira, J.O., y Moreira, E.M.S. "Microbial populations and activities in Spain", A. (2003). *Implications of microbial heavy metals. tolerance in the environment*. Reviews in undergraduate research, 2, 1-6. 1997
- Subramanian KS, Charest C. "Arbuscular mycorrhizae and nitrogen assimilation maize after drought and recovery". *Physiologia plantarum*.120:285-296. 1998.
- Schuessler, A., Schwarzott, D., y Walker, C.A. "New fungal phylum, the Glomeromycota: