

DEBEMOS VALORAR Y APROVECHAR SU PRESENCIA EN NUESTROS SUELOS MANEJANDO CON RESPETO EL AGROSISTEMA

Las micorrizas, una simbiosis de interés para la agricultura

Durante el pasado siglo la producción agrícola mundial presentó una gran evolución y un incremento en los rendimientos con la aplicación de fertilizantes minerales y productos químicos. El mantenimiento a través de los años de dichos rendimientos requirió de dosis masivas de diversos insumos de este tipo, generando una serie de factores negativos en los agroecosiste-

mas, tales como acumulaciones de nitratos, nitritos, pesticidas y otras sustancias perjudiciales desde el punto de vista ecológico. Entre las consecuencias negativas de estos manejos agrícolas están los efectos adversos sobre los habitantes microscópicos del suelo y sobre los procesos biológicos que condicionan la fertilidad de los mismos.

M. C. Jaizme-Vega.

Dpto. Protección Vegetal del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). La Laguna-Tenerife.

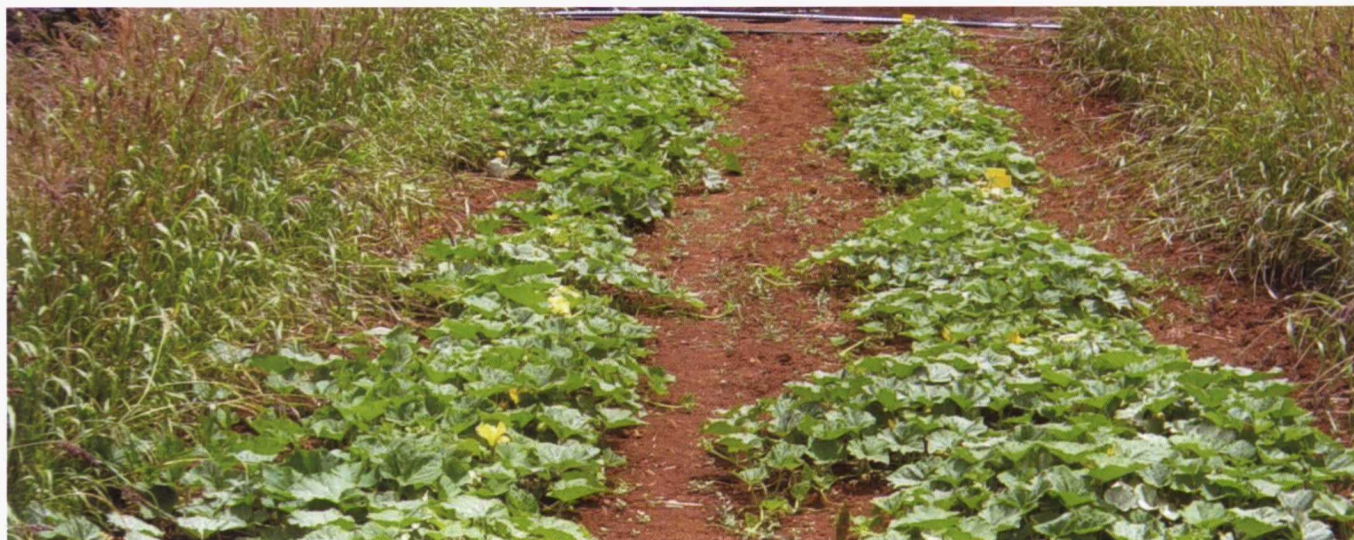
Actualmente, estos factores biológicos del suelo se han convertido en criterios de importancia para valorar la fertilidad del suelo, creando la necesidad de orientar los sistemas de producción agrícola hacia nuevas tecnologías basadas en un manejo agroecoló-

gico sostenible. Hoy en día, el concepto de calidad del suelo se relaciona directamente con la productividad, la salud y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Desde el punto de vista agronómico la calidad del suelo es expresado como fertilidad y define la capacidad de un suelo para soportar sostenidamente plantas sanas y productivas. Las interacciones de las propiedades físicas, químicas, biológicas y climáticas del sistema son las que identifican la fertilidad de los suelos. Entre estos factores, son quizás los componentes biológicos los últimos que se han to-

mado en cuenta en investigación y producción de cultivos, a pesar de su papel clave no solo en la fertilidad del suelo, sino en la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas naturales.

Las partículas minerales y orgánicas del suelo se asocian para formar agregados, constituyendo un entramado que alberga a la fase gaseosa o atmósfera del suelo y a la fase líquida o solución acuosa del suelo. El hábitat resultante es muy favorable para los microorganismos del suelo que se acomodan tanto en el exterior como en el interior de los agre-

Efecto de la aplicación de hongos micorrícicos sobre un cultivo de calabaza bajo criterios de agricultura ecológica.



gados, y se asocian a las raíces de las plantas creando una zona en torno al sistema radical de gran actividad conocida como rizosfera.

A pesar de la gran diversidad de tipos de microorganismos que cohabitan en la zona rizosférica (bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos, virus, etc.), la mayoría de los estudios están dirigidos a las bacterias y a los hongos. Estos microorganismos se relacionan de manera bien saprofítica o simbiótica con las plantas, ocasionándoles en muchos casos beneficios y en otros enfermedades (Barea *et al.*, 2002). Algunos microbios establecen con la planta las llamadas simbiosis mutualistas (dos microorganismos íntimamente asociados que se benefician mutuamente). Hay tres tipos de microorganismos dentro de este grupo:

a) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal (conocidas como PGPBs por sus siglas en inglés).

b) Hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA).

c) Bacterias fijadoras de N₂ atmosférico.

Las bacterias promotoras del crecimiento son capaces de mejorar el desarrollo de las plantas a través de un mejor aprovechamiento de los nutrientes y protegerlas frente a enfermedades. Las bacterias fijadoras de N₂, proporcionan a las plantas N₂ atmosférico. Los hongos MA mejoran el crecimiento, la nutrición, las relaciones hídricas y la salud de las plantas, además de la calidad del suelo.

Por todo ello, los hongos MA se consideran como componentes clave de la fertilidad del suelo, bien sea a través de la propia simbiosis o por su interacción con otros microorganismos de la rizosfera, lo que en significado agronómico merece una atención específica.

Generalidades sobre las micorrizas

La mayoría de las plantas que cubren la tierra, tienen la corteza de sus raíces colonizadas por un hongo del suelo que establece con ellas una simbiosis mutualística conocida como micorriza. En este tipo de asociación, ambas partes (hongo y planta) son altamente interdependientes y se benefician mutuamente. El hospedador, la planta, recibe nutrientes minerales del suelo captados a través del micelio de su huésped, el hongo. Por su parte, este último obtiene compuestos carbonados producto de la fotosíntesis de la planta. Una vez establecida la colonización

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) se consideran componentes clave de la fertilidad del suelo, bien sea a través de la propia simbiosis o por su interacción con otros microorganismos de la rizosfera

de la raíz, el hongo desarrolla hacia el exterior un micelio extramatricial y tridimensional que explora un determinado volumen de suelo en torno al sistema radical y, mediante el cual, optimiza la adquisición de agua y nutrientes de las raíces y establece conexiones con los restantes microorganismos de la rizosfera.

Las micorrizas pueden encontrarse en todos los ecosistemas terrestres bien sean bosques, selvas, desiertos, lagos, etc., y se sabe que su presencia garantiza la salud de la planta y la calidad del suelo. La universalidad de esta simbiosis implica a una gran diversidad taxonómica tanto de hongos como de plantas. Se reconocen al menos cinco tipos de micorrizas, entre ellas la micorriza arbuscular, de carácter universal que se establece en más de un 80% de las especies de plantas que cubren la corteza terrestre. La forman muchas especies de interés agronómico (le-

Aspecto al microscopio óptico de una raíz de maíz colonizada por un hongo MA.



guminosas, gramíneas, compuestas, rosáceas, labiadas, etc.) pertenecientes a las diferentes zonas agroclimáticas del planeta (áridas, tropicales, templadas, frías, etc.).

El origen de las micorrizas arbusculares está ligado al origen de las plantas y el primer indicio de ello lo presenta un fósil vegetal del Devónico cuyas raíces forman una asociación micorrízica. Ésta y otras evidencias similares nos indican que estos hongos estaban presentes desde los primeros estadios de la evolución de las plantas.

Esta asociación simbiótica garantizaba desde los primeros momentos un sistema biológico capaz de facilitar a las plantas la adquisición de P, de manera similar al desarrollado por las cianobacterias especializadas en la fijación de C y N atmosféricos. Las plantas y sus hongos micorrízicos han coevolucionado hasta nuestros días, constituyendo la asociación simbiótica hongo-planta más extendida.

Interacción con otros microorganismos

Los hongos formadores de micorrizas ocupan una posición privilegiada y estratégica en la rizosfera, interactuando con otros microorganismos en beneficio de la planta. Las principales consecuencias de esta cohabitación están relacionadas con una optimización en el ciclado de nutrientes, en la producción hormonal, en la capacidad defensiva de la planta y finalmente una mejora de la calidad del suelo. Hoy en día, se sabe además que las micorrizas son capaces de producir una glicoproteína no soluble en agua, la glomalina que contribuye, como si se tratara de un pegamento natural, a mantener unidos los agregados del suelo (Wright y Upadhyaya, 1998).

Hongos MA y bacterias fijadoras de nitrógeno

La fijación de nitrógeno es un factor clave para la productividad de los cultivos, y está confirmado que más de un 60% del N asimilado por las plantas tiene un origen biológico, y que la mitad de esta cantidad es producto de la simbiosis planta-bacteria. Los géneros de bacterias implicados en la relación simbiótica son *Rhizobium*, *SinoRhizobium*, *BradyRhizobium*, *MesoRhizobium* y *AzoRhizobium*, llamados colectivamente *Rhizobium*. Está reconocido universalmente que las plantas le-

guminosas mejoran la actividad fijadora de N_2 mediante la simbiosis micorrícica. En los últimos cincuenta años se han enfocado muchos trabajos hacia las consecuencias de esta simbiosis tripartita. Con la ayuda de isótopos se ha determinado en condiciones de campo que la micorrización incrementa la producción de materia seca y la concentración de N y N total en la cosecha, en determinadas leguminosas, además de contribuir eficazmente a un mejor ciclado de N en el sistema.

Las plantas leguminosas son capaces de enriquecer el suelo rizosférico a través de la fijación de N_2 , permitiendo aprovecharse de este hecho a otras especies no fijadoras que crezcan en dicha zona o en sus alrededores. Se ha demostrado que los hongos MA pueden incrementar la cantidad de N en dichas plantas mediante una optimización de la transferencia de este nutriente, a partir de la rizosfera de especies leguminosas.

Hongos MA y bacterias solubilizadoras de fósforo

Entre las consecuencias derivadas de la vida microbiológica del suelo, son especialmente relevantes aquellas actividades que conducen a mejorar la disponibilidad de P en los suelos. En general hay dos tipos de procesos, los que promueven la solubilización de fuentes de P no disponibles en suelo, y aquellos que mejoran la toma de nutrientes de fosfato soluble. La solubilización del P es realizada por un gran número

de bacterias saprofitas y hongos que actúan moderadamente sobre el P soluble mediante mecanismos de quelación. La toma de fósforo por las plantas es llevada a cabo por los hongos formadores de micorrizas (Smith y Read, 1997). Existe por lo tanto una relación sinérgica a nivel de estos microorganismos rizosféricos cuyo resultado es fundamental en el ciclo del P y que tiene efectos agronómicos deseables.

Hongos MA y bacterias de vida libre

Las bacterias de vida libre del género *Azospirillum* pueden promover el desarrollo de las plantas, particularmente cereales, bajo ciertas condiciones, debido a su capacidad de fijar N_2 . Se sabe que estas bacterias son capaces de producir hormonas (auxinas) que alteran la morfología, geometría y fisiología del sistema radical modificando su aptitud para la absor-

ción de N. Según se desprende de los estudios realizados, existe una interacción hongo-*Azospirillum* spp. positiva para la planta, basada en una mejor asimilación de N y P cuando están presentes la bacteria y el hongo MA, como consecuencia del efecto de estos microorganismos sobre la habilidad de la raíz para la toma de nutrientes (Barea, 2009).

Disminuyen los estreses en agricultura

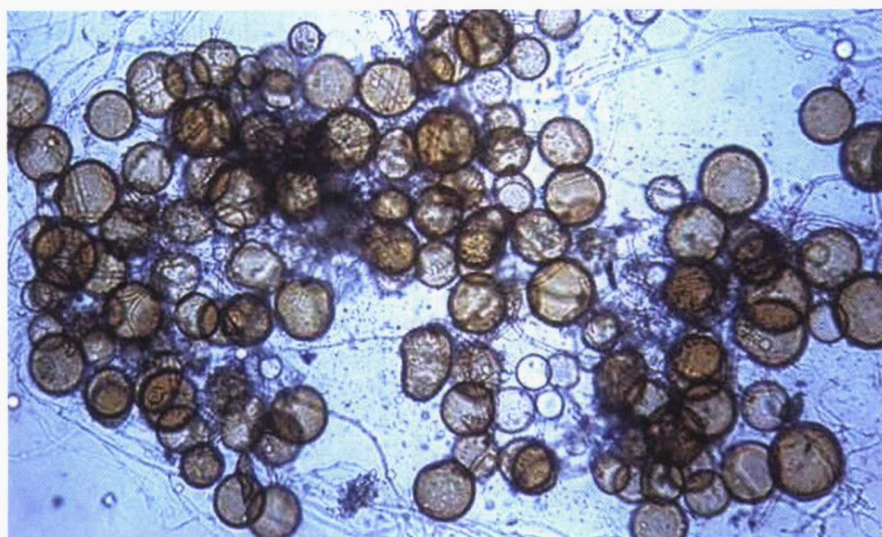
Las producciones agrícolas están muchas veces expuestas a factores estresantes de naturaleza biótica o abiótica, que pueden llegar a afectar los rendimientos. Los microorganismos patógenos de raíz, la sequía y/o salinidad y los diferentes contaminantes del suelo (biocidas, metales pesados) son los principales responsables de tales estreses.

Los hongos formadores de MA pueden contribuir a aliviar los daños producidos por hongos patógenos tales como *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Verticillium* (Jaizme-Vega et al., 1998) o por nematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) o lesionadores (*Pratylenchus* sp.) (Jaizme-Vega et al., 1997 y 2006). Hay descritos diferentes mecanismos mediante los cuales la presencia de la simbiosis contribuye al control biológico de estos patógenos. Uno de ellos, es la compensación de los daños causados por dichos microorganismos nocivos, mediante el efecto positivo de los hongos MA sobre el desarrollo de las plantas. Otro mecanismo serían los cambios microbianos producidos por efecto de la micorrización en la rizosfera. También está demostrado que la presencia de los hongos MA activa los mecanismos de defensa de la planta, provocando una resistencia sistémica inducida (RSI).

En ocasiones, los cultivos están expuestos a condiciones adversas del suelo y del ambiente, tales como sequía y salinidad, temperaturas extremas, pH muy bajo, etc. Los hongos MA promueven las plantas que los hospedan un mejor balance nutricional que conduce a una mayor tolerancia. Esta circunstancia, junto con una toma de agua más eficiente por parte de las hifas del hongo MA y un mejor ajuste osmótico de las plantas micorrizadas, así como otros mecanismos relacionados con el intercambio gaseoso y la activación de aguaporinas (cana-

La solubilización del P es realizada por un gran número de bacterias saprofitas y hongos que actúan moderadamente sobre el P soluble mediante mecanismos de quelación

Grupo de esporas del hongo MA *Glomus aggregatum* observado al microscopio óptico.





Aplicación de micorrizas en sistemas de producción vegetal: plataneras micropropagadas e inoculadas con hongos MA durante la fase de endurecimiento en vivero comercial.

Cómo manejar las micorrizas

En los últimos años, por diversas razones de índole económica y ecológica, ha sugerido un interés creciente por los sistemas agrícolas con bajos insumos químicos y producciones sostenibles. Esta circunstancia ha propiciado la búsqueda de microorganismos benéficos capaces de contribuir a la biofertilización de los suelos. A pesar del gran número de trabajos que reconocen las ventajas de la simbiosis sobre la productividad, el empleo de estos hongos no se ha extendido en los sistemas agrícolas debido al poco desarrollo que hasta hace unos años se había conseguido en la producción de inóculos de calidad garantizada y de interés económico. La dificultad de multiplicar al hongo en ausencia del hospedador, la incompatibilidad de la simbiosis en suelos con alto contenido en P y su vulnerabilidad frente a biocidas en general y fungicidas en particular, han limitado el uso extensivo de este microorganismo en los sis-

les proteínicos que facilitan el flujo de agua en la planta) (Barea, 2009), hacen posible una mayor resistencia de las plantas micorrizadas a estos tipos de estrés (Brundett, 1991). Por otra parte, la contaminación del suelo con metales pesados es un problema

difícil de resolver en agricultura. El establecimiento de los hongos MA puede ayudar a mejorar los efectos de las plantas empleadas para recuperar suelos contaminados, mediante el incremento de su resistencia frente a estos metales nocivos.



Orkel
experiencia desde 1.949

Representante en España:
c/Italia, 1. Bajo 3. 08320 El Masnou
Tel.: 93540 54 00. Fax: 93 540 54 01

BIOMETSA



temas agrícolas comerciales. Sin embargo, en la última década se han producido una serie de circunstancias (avances en el cultivo monoaxénico del hongo MA, demanda de nuevos productos por parte de un sector sensibilizado, incremento del precio de los fertilizantes, etc.) que ha impulsado la producción de inóculos y ya hay disponibles diferentes inoculantes y formulados adaptados a los diferentes sistemas de producción vegetal.

Este desarrollo en la aplicación de estos hongos, ha traído aparejado nuevos planteamientos acerca de la oportunidad de comerciar e introducir cepas originales de otros ecosistemas, capaces de adaptarse o no a condiciones locales concretas y sus posibles consecuencias sobre las cepas nativas. A este nivel de discusión hay

que añadir las diferentes estrategias de los fabricantes y comercializadores de inóculos que ofrecen productos formados por un solo aislado con demostrada eficacia en determinados ambientes, o por una selección de hongos (cóctel) que garantice el éxito del producto en varias situaciones. En otras ocasiones se oferta un producto combinado donde se integran hongos MA mezclados en ocasiones con hongos ectomicorrícicos y bacterias rizosféricas, acompañados de una serie de sustancias promotoras del crecimiento (vitaminas, hormonas, etc.) y de fertilizantes.

Esta situación, propia de un nuevo mercado y de las características biológicas de estos simbioses, es de esperar que se estabilice y que los técnicos y los productores, una vez superados estos primeros momentos, tengan la información necesaria para po-

der decidir el uso y la manipulación (multiplicación, almacenamiento) de este recurso en sus producciones.

Sin embargo, en algunas ocasiones las condiciones del cultivo y las circunstancias limitantes de la región, no permiten emplear inóculos comerciales, bien por su inviabilidad económica o simplemente por las dificultades en obtenerlos. En estos casos se hace necesaria la autoproducción, empleando la población nativa de hongos presentes en las capas superiores de las áreas de vegetación natural de las zonas, como inóculo potencial, fomentando así la biodiversidad del suelo de cultivo a partir de hongos micorrícicos aclimatados a las condiciones locales.

Como conclusión, debemos valorar y aprovechar la presencia de esta simbiosis en nuestros suelos, manejando respetuosamente el agrosistema, protegiendo y potenciando mediante las prácticas culturales adecuadas la actividad biológica de los suelos y garantizando así la fertilidad sostenida del sistema y la calidad de sus producciones. ●

PRÁCTICAS CULTURALES QUE BENEFICIAN A LAS POBLACIONES DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES

En sistemas agrícolas sostenibles es esperable encontrar poblaciones adaptadas de hongos MA, cuya diversidad y abundancia guardan relación con el tipo de prácticas agrícolas habituales. Las prácticas que contribuyen al incremento de las micorrizas son:

- No labranza. La roturación de los suelos resquebraja la red micelial reduciendo su infectividad.
- Rotaciones. La alternancia de cultivos micotróficos (la mayoría de los que tienen importancia agronómica como las rosáceas, gramíneas, leguminosas, compuestas, labiadas, etc.) con aquellos que no forman la simbiosis micorrícica (brassicas, chenopodiáceas, cariofiláceas, proteas, etc.) impide el descenso de propágulos infectivos.
- Variedades locales. Suele ocurrir que variedades seleccionadas por su eficiencia o por determinadas características postcosecha, corresponden a un genotipo de baja respuesta a la micorriza. En general, las variedades locales y adaptadas a los agrosistemas poseen mayor dependencia micorrícica y mayor capacidad para beneficiarse de la simbiosis.
- Abonos de cobertura y fertilización orgánica. En general niveles altos de N y P afectan negativamente al funcionamiento de las micorrizas. Por lo tanto, se aconsejan fertilizaciones moderadas y graduales a través de formas orgánicas, preferiblemente de origen vegetal o de productos poco solubles (fosfato de roca).
- Evitar fungicidas, herbicidas, nematocidas y fumigantes. Aunque en algunos casos los efectos negativos de ciertos fungicidas son temporales y en otros no disminuyen la infectividad de los hongos MA, la mayoría de los productos fitosanitarios de uso extensivo en agricultura son perjudiciales para las poblaciones de hongos benéficos del suelo. Para dichos productos, las dosis y modos de aplicación son determinantes en su efecto. Un comentario aparte merece el cobre, fungicida y bactericida de amplio uso, permitido por el momento en agricultura ecológica. Este producto, en sus diferentes formulados, es nocivo para el desarrollo de las poblaciones de hongos MA en sistemas agrícolas. Los herbicidas actúan indirectamente eliminando las plantas hospedadoras. Los fumigantes de suelo de origen químico, eliminan eficazmente los microorganismos de la rizosfera.
- Manejo del pH. Entre los factores que más influyen en el desarrollo de los hongos MA se ha registrado el pH. Aunque los hongos de la micorriza tienen alta capacidad de adaptación a condiciones de pH (se han registrado poblaciones desde 3 a 9), los factores que afectan el pH de la rizosfera influyen en los microorganismos presentes en ella.
- Otros factores. Otras circunstancias que pueden limitar una buena micorrización es un exceso de humedad o las bajas temperaturas. En general, los suelos sometidos a lluvia ácida, sobreexplotación, depósitos de ceniza, altas concentraciones de metales pesados, alto ozono, llevan a una selección de especies de hongos MA o a una alteración de sus funciones. Por otra parte, se sabe que los pequeños mamíferos (topos, ratas, etc.), las lombrices de tierra, los insectos y los pájaros contribuyen a la dispersión de los hongos MA.

BIBLIOGRAFÍA

- Barea, J.M., R. Azcón & C. Azcón-Aguilar, 2002. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality. *Anton Van Leeuwenhoek*, 81: 343-351
- Barea, J.M., 2009. Mycorrhizas and agricultural fertility. En: *Current Topics in Agriculture*. Editor J. Bonilla. Editorial Studium Press. USA
- Brundett, M., 1991. Mycorrhizal in natural ecosystems. *Advance in Ecological Research*, 21: 171-313
- Jaizme-Vega, M.C., B. Sosa Hernández, & J.M. Hernández Hernández, 1998. Interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and the soil pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* on the first stages of micropropagated Grande Naine banana. *Acta Horticulturae N° 490 Proceedings of the First International Symposium on Banana in the Subtropics*. (Editor V. Galán Saucó), ISHS.: 285-295
- Jaizme-Vega, M.C., A.S. Rodríguez-Romero & L.A. Barroso Núñez, 2006. Effect of the combined inoculation of two arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on papaya (*Carica papaya* L.) infected with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Fruits*, 61: 151-162
- Smith, S.E. & D.J. Read, 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego
- Wright, S.P. & A. Upadhyaya, 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198: 97-107.