

1.Introducción



Raíces no micorrizadas (izquierda); raíces micorrizadas (derecha).

El origen etimológico del término "micorriza" proviene del griego "mykos" (hongo) del vocablo latino "rhiza" (raíz). Se dice que las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de las plantas terrestres y ciertos hongos del suelo. Su existencia se conoce desde 1885, pero fueron consideradas curiosidades

excepcionales. Hoy se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres están *micorrizadas*. Se dice que es una "asociación mutualista" dados los beneficios que reporta la misma para ambos participantes. Comprende la penetración radical por parte del hongo y la carencia de respuesta perjudicial hacia éste por parte de la planta hospedera.

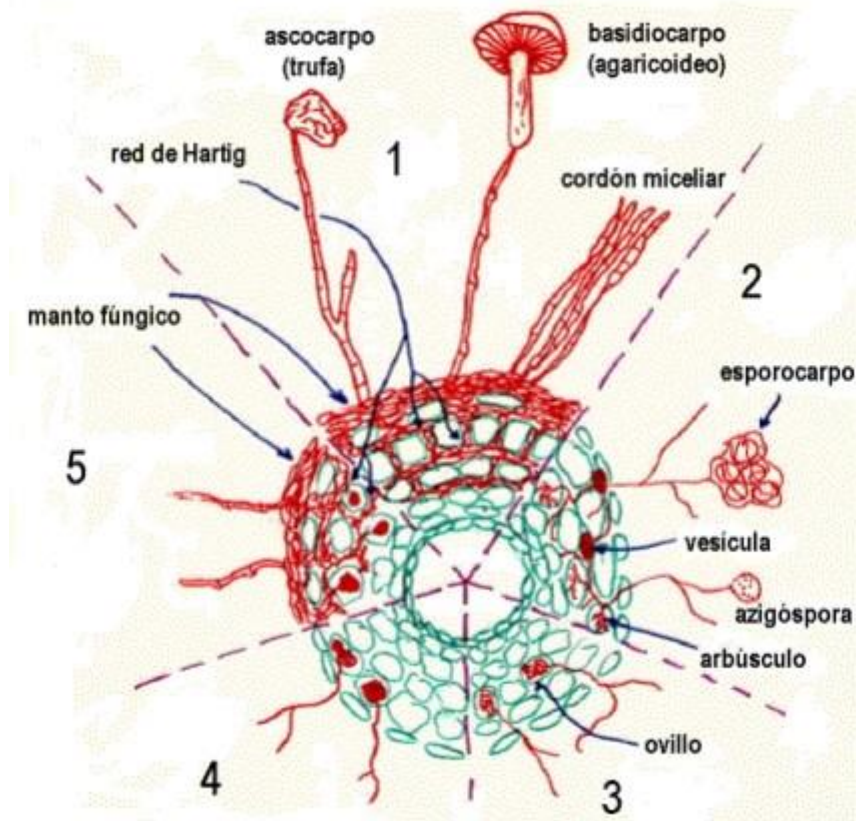
Se tiene constancia de que las primeras plantas superiores que abandonaron el ambiente acuático hace casi 400 millones de años, los riniófitos, poseían ya hongos asociados a sus raíces. Posiblemente, la colonización de la tierra firme, un ambiente mucho más hostil que el agua, hubiera sido imposible sin la asociación de las plantas con diversos microorganismos. De hecho, se ha acuñado el término micotrofia para denominar la alimentación mediante un hongo. Es posible que, en comunidades naturales, las plantas sean micótrofas obligadas.

No todas las plantas aceptan la micorrización de igual modo, pudiendo encontrarse toda una gama de tolerancia al respecto. Algunas familias, entre las que destacan comelináceas, crucíferas, fumaráceas, poligonáceas, urticáceas, quenopodiáceas y ciperáceas, pueden crecer perfectamente en solitario. En otros casos, como las leguminosas o los cítricos, la asociación con hongos u otros microorganismos es esencial para el éxito del vegetal.

2. Clasificación

Las micorrizas presentan notables diferencias, y pueden ser clasificadas en varios tipos *Ver figura 1*. Se pueden distinguir tres grupos fundamentales según la estructura de la micorriza formada: Ectomicorrizas o formadoras de manto; Ectendomicorrizas, que incluye Arbutoides y Monotropoides; y las Endomicorrizas, caracterizadas por la colonización intracelular del hongo.

Fig. 1.
Principales tipos de micorrizas



1. Ectomicorrizas; 2. Micorrizas vesículo-arbusculares (MVA);
3. Micorrizas orquioides; 4. Micorrizas ericoides; 5. Micorrizas arbutoides.

Ectomicorrizas (o micorrizas ectotróficas)

- Son denominadas también formadoras de manto. Un manto fúngico cubre las raíces, y a partir de él surge una red de hifas intercelulares (red de Hartig) que no penetran en las células del hospedante.

- Estas micorrizas se dan en árboles y arbustos pertenecientes a las familias betuláceas, fagáceas, pináceas, salicáceas y tiliáceas, así como en algunas especies de ericáceas, juglandáceas, leguminosas, mirtáceas y rosáceas.
- Los hongos responsables son trufas (ascomicetos) agaricoideos (basidiomicetos), tal vez varios miles de especies, así como *Endogone* (zigomicetos).

Ectendomicorrizas (o micorrizas ectendotróficas)

- Se denominan también arbutoides. Presentan manto, red de Hartig y penetración intracelular similar a las ericoides.
- Se da entre diversas ericáceas (*Arbutus*, *Arctostaphylos*), piroláceas, cistáceas y monotropáceas.
- Los hongos responsables son basidiomicetos, aunque en el caso de las cistáceas la micorriza ocurre con las criadillas de tierra (*Terfezia*).

Endomicorrizas (o micorrizas endotróficas)

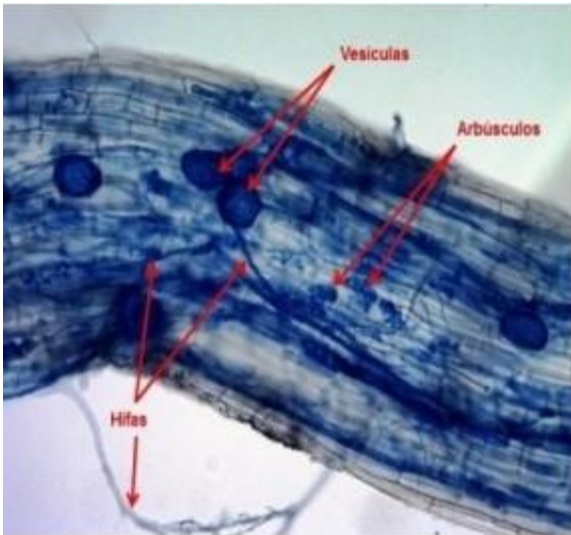
- No forman un manto fúngico ni red de Hartig en la raíz; el micelio puede ser intercelular o intracelular.
- Se distinguen:
- Micorrizas vesículo-arbusculares o 'MVA'
- Forman unas estructuras especializadas, los arbusculos, dentro de las células del córtex radical, que no llegan a romper la membrana plasmática (la cual se invagina entorno a ellos). Por medio de los arbusculos se realiza la transferencia de nutrientes entre los dos simbioses.

También son frecuentes las vesículas, de localización variable y que funcionan como órganos de reserva. En el micelio exterior se pueden formar zigósporas o esporocarpos.

- Las MVA se dan en más del 80% de las especies de vegetales superiores (briófitos, pteridófitos, gimnospermas y angiospermas).
- Los hongos responsables son glomeromicetos (antes se incluían en zigomicetos) de la familia endogonáceos (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Scutellospora*).

Micorrizas orquíoides (fig. 1):

- El hongo suele formar ovillos en las células de la raíz.
- Se dan entre orquídeas y basidiomicetos. Estas plantas carecen de clorofila en alguna fase de su vida, por lo que necesitan obligatoriamente al hongo para sobrevivir.
- Micorrizas ericoides
- En este caso, el hongo forma en las células de la raíz estructuras sin organización aparente, como masas compactas.



Micorrizas Vesículo-Arbusculares (MVA) en una raíz.

Se dan entre diversos géneros de ericáceas (Erica, Vaccinium, Rhododendron, Calluna) y ascomicetos (también con basidiomicetos como Clavaria).

Ectomicorrizas: Se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Este tipo de micorrización predomina entre los árboles de zonas templadas, se

producen principalmente sobre especies forestales y leñosos, siendo especialmente característico en hayas, robles, eucalipto y pinos. Los hongos que la forman son tanto Basidiomycota como Ascomycota. Ectendomicorrizas: Presentan características intermedias entre las Ectomicorrizas y las Endomicorrizas, pues presentan manto externo, como las ectomicorrizas, pero también penetran en el interior de las células, como las endomicorrizas y no existen vesículas ni arbúsculos. Este grupo se presenta tanto en Basidiomycota como Ascomycota y son más abundantes en angiospermas que en gimnospermas. Su distribución es restringida. Arbutoides: Presenta un manto externo junto con hifas que penetran a las células para formar rulos.

Endomicorrizas: Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y arbúsculos.

Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículoarbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta.

3. Las micorrizas vesículo - arbusculares

Este tipo de micorriza se encuentra en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico (Sieverding, 1991) y está presente en la mayoría de las Angiospermas; siendo las familias Chenopodiaceae y Cruciferae, las excepciones de mayor importancia. La asociación simbiótica Micorrízica – Arbuscular se forma en muchas especies perennes leñosas, incluyendo muchas Gimnospermas aparte de las Pináceas (Harley y Smith, 1983). Estos hongos pertenecen al pequeño orden Glomales dentro de la clase Zygomycetes y su origen está en un rango de 353 a 452 millones de años atrás, estando presentes en familias de plantas que tienen miembros de alta importancia económica Poaceae, Fabaceae, Solanaceae y Rosaceae.

Tabla 1.
Ventajas de las micorrizas MVA

| | |
|--|--|
| Favorece la captación de agua y nutrientes minerales | Especialmente en Fósforo y Nitrógeno. También K, Ca, S, Zn, Cu, Sr, etc. |
| | El sistema enzimático y la distribución de los micelios hacen que los hongos sean más eficaces que las raíces para la absorción de agua y minerales. |
| | Los filamentos hifales son capaces de prospectar volúmenes de suelo mucho mayores que las raíces no micorrizadas. |
| Estimulación de crecimiento: aumento considerable de la producción de biomasa aérea y radical | Mayor y más rápida disponibilidad de nutrientes en el sistema vascular de las plantas, que acelera su actividad fotosintética para mantener su equilibrio fisiológico. |
| | Producción de fitohormonas por parte del hongo. |
| | Mejora de la estructura del suelo. Protección del sistema radical frente a patógenos fúngicos. |

Los vegetales asociados a los mismos se benefician por el incremento en la toma de nutrientes como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cobre, molibdeno, hierro y manganeso, pues el hongo funciona como una extensión del sistema radical de la planta, facilitando a través de su red de hifas una mayor

absorción de éstos en el suelo. En esta asociación el componente fúngico de la simbiosis se nutre de los carbohidratos almacenados en las células mesodérmicas en formas sencillas de fructosa, glucosa y sacarosa y de los exudados radicales de las plantas.

Las ventajas proporcionadas por la micorrización para las plantas son numerosas. Gracias a ella, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada. En las tablas 1 y 2 se detallan las ventajas y los beneficios que producen las micorrizas en una producción agrícola o forestal.

4. Las Micorrizas 'MVA' en la agricultura

El interés de las micorrizas en Biotecnología es evidente. Aunque los hongos Micorrizógenos están presentes en casi todas partes, ciertas actividades humanas, prácticas agrícolas o la erosión pueden dar lugar a suelos o sustratos desprovistos de hongos adecuados, o éstos pueden hallarse en muy escasa cantidad. En este caso, el crecimiento de las plantas puede resentirse; muchos casos de fracaso agrícola o forestal pueden deberse a la carencia de micorrizas, o a que las condiciones ambientales no favorecen su formación.

Tabla 2.
Beneficios de las Micorrizas MVA

| VENTAJAS | BENEFICIOS |
|---|---|
| Aumento del aprovechamiento de los fertilizantes y nutrientes del suelo. | Disminución de los costos de producción . |
| Favorece la captación de agua y nutrientes minerales. | Aumento de la producción agrícola. |
| Estimulación del crecimiento aéreo y radical. | Ciclo productivo más largo con mayores producciones y mayor seguridad para el agricultor. |
| Protección frente a patógenos. | Disminución del costo de aplicación de fungicidas y mayor seguridad para el agricultor. |
| Mejora la estructura del suelo. | No degrada los suelos y contribuye a la regeneración de estos. |

Desde el punto de vista agrícola, los problemas no se dan tanto en los países desarrollados. La fertilización química es muy eficaz, y las plantas cultivadas pueden crecer sin micorrizas; no obstante, la presencia de hongos siempre ayuda a la asimilación de N y P en formas poco asequibles al vegetal. Estos problemas se dan más en países tropicales. Los terrenos cultivables han sido arrebatados a la selva, y suelen tener un pH bajo. Al introducir encalados y otras correcciones, se elimina a la microflora natural y las plantas pueden encontrarse con dificultades para asimilar nutrientes. Por tanto, el empleo rentable de micorrizas se convierte a veces en un tema de investigación prioritario.

Los intentos de repoblación con plantas autóctonas (más difícil aún si no lo son) pueden encontrar dificultades. Estas plantas suelen obtenerse en viveros, en los que las condiciones imperantes (buena fertilización química y empleo de fungicidas y otros biocidas) no favorecen precisamente la micorrización. Estas plantas, al ser trasplantadas a su hábitat definitivo, pueden hallarse virtualmente indefensas frente a las agresiones ambientales (sequía, enfermedades, etc.). La reforestación con plantas micorrizadas, por tanto, se muestra cada vez más útil si se desea tener éxito. Los hongos más estudiados actualmente para este fin son los formadores de manto (sobre todo, con coníferas y *Quercus*) y los MVA (leguminosas, gramíneas, etc.).

La labranza y todas aquellas actividades que manipulan los primeros centímetros del suelo cultivable, producen la ruptura y disgregación del micelio externo de las MVA. Debido a que este micelio contribuye sustancialmente en la formación de la estructura del suelo, su destrucción trae consecuencias indeseables para la infiltración y demás propiedades físicas del suelo. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes químicos en dosis elevadas, además de los problemas de contaminación que suele provocar, inhibe la actividad de las MVA. De hecho, su aplicación prolongada (especialmente en monocultivos) disminuye notablemente la presencia de las MVA en los sistemas agrícolas, conllevando la pérdida de la diversidad de hongos micorrícicos presentes en el suelo y la selección de especies de MVA menos mutualistas (Johnson, 1993; Johnson et al., 1992). La aplicación de fungicidas y de plaguicidas con fines fitosanitarios también tiene efectos en las MVA, los cuales no son fácilmente predecibles debido a la complejidad de interacciones que se establecen en la comunidad de organismos del suelo (Sieverding, 1991). La mayoría de las plantas de interés agronómico como el cacao, café, coco, algodón, cebolla, ajo, yuca, papa, todos los cítricos, todas las leguminosas y gran parte de los cereales forman MVA. Sin embargo, no todas estas especies, dependen de la misma manera de las MVA para su crecimiento. Aquellos cultivos con raíces gruesas y pocos pelos radicales, como por ejemplo el ajo, la cebolla, las leguminosas y los cítricos, tienden a ser muy dependientes de las micorrizas y la disminución en la

productividad de dichos cultivos puede deberse a un manejo inadecuado de los insumos que se aplican, los cuales pueden conducir a la muerte o desaparición de los propágulos de MVA. Por lo tanto, el uso de estos microorganismos edáficos (MVA) en la agricultura constituye una alternativa promisorio frente a los fertilizantes minerales. Desde el punto de vista ecológico, la utilización y/o aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preservan la biodiversidad y se contribuye con una producción más estable y sostenida a largo plazo en equilibrio con el entorno. En este sentido, la reintroducción y el mantenimiento de las MVA asociadas a los cultivos agrícolas luce como un objetivo deseable con el fin de mejorar su rendimiento y productividad.

5. Efectividad de las Micorrizas Vesículo - Arbusculares

La utilización de las micorrizas como biofertilizantes no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar desde comúnmente 50 - 80 % y en ocasiones hasta un 100 %. Se plantea que de las cantidades de fertilizantes aplicadas, sólo se aprovecha un 20 %, y el resto normalmente se filtra o se lixivia sin remedio; con la aplicación de las micorrizas, puede ser recuperado por las plantas un porcentaje mucho mayor; ya que un pelo radical, puede poner a disposición de una raicilla, los nutrientes y el agua que se encuentra hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio extramático de las MVA pueden hacerlo hasta 80mm, lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor.

El beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrícicas vesículo arbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y en donde el potencial de explotación de éstas es mucho mayor que en regiones de clima templado). Al estudiar la bio-fertilización como alternativa para la nutrición mineral del tomate en la etapa de semillero, Medina (1994), logró los mayores incrementos en la variante que disponía de los requerimientos de NPK más el *Azotobacter chroococcum*, aunque fueron inferiores cuando se utilizó el *Azospirillum brasilense* o el hongo *Glomus manihotis*, permitiendo la coinoculación con estos dos últimos microorganismos la sustitución del 50 % del fertilizante requerido en la etapa de plantación.

Las investigaciones encaminadas a determinar la efectividad de inocular cepas de hongos MVA en las diferentes especies vegetales son muy promisorias para el

desarrollo de una agricultura moderna, la cual necesita métodos que conduzcan a obtener producciones mayores o al menos sostenibles teniendo en cuenta todos los componentes del agroecosistema.

6. Posibilidades de aplicación

En el tema ambiental hoy se abre un mundo de posibilidades de aplicación, con el respaldo de investigaciones y experiencias prácticas llevadas a cabo por un equipo de especialistas del más alto nivel. Entre otras, son posibles las siguientes aplicaciones:

La biorremediación y reforestación de suelos contaminados con metales pesados e hidrocarburos. La estabilización de relaves mineros y sedimentos de residuos industriales sólidos, así como el control de la erosión hídrica y eólica mediante la generación de cubiertas vegetales. La recuperación de estrata herbácea afectada por faenas mineras e industriales. Transplante de bofedales, bosquetes y formaciones vegetales nativas. La generación de cubiertas vegetales y/o reforestación de espacios ambientalmente desfavorables: stress hídrico y salino, extremos de pH, exceso de viento, altas pendientes, entre otras.

Fuentes:

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/tipos-micorrizas/tipos-micorrizas.pdf>

<https://w3.ual.es/GruposInv/myco-ual/micorr.htm>

Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress

Heikham Evelin, Rupam Kapoor and Bhoopander Giri

Annals of Botany. Vol. 104, No. 7 (December 2009), pp. 1263-1280

Oxford University Press

La Agricultura Razonada. Laboratorios A-L de México.



LABORATORIOS A-L DE MÉXICO S.A. DE C.V.

Calle Esmeralda # 2847. Colonia Verde Valle.

www.laboratoriosaldemexico.com.mx

44550 Guadalajara, Jalisco.

Tel. 33 3123 1823 y 33 3121 7925.

Información adicional: kcalderon@allabs.com. WhatsApp 33 28 03 79 60.

Laboratorios de Agroecología con una visión social y solidaria

VALORAMOS LA LIBERTAD DE INFORMACIÓN.

ESTE ARTÍCULO ES GRATUITO Y PUEDE SER REPRODUCIDO SIN NINGUNA LIMITANTE.