



MICORRIZAS:

antigua interacción entre plantas y hongos

Antonio Andrade-Torres

Introducción

Desde hace mucho tiempo me fascina el estudio de los hongos (micología) y mi interés se ha enfocado en el estudio de las interacciones entre hongos y plantas en los sistemas forestales y agroecosistemas. Integrando herramientas y conocimientos propios de la biotecnología y la ecología, busco entender el proceso ecológico denominado “micorriza”, con el fin de aplicar los resultados en la restauración ecológica y el establecimiento de especies vegetales de interés forestal o agrícola.

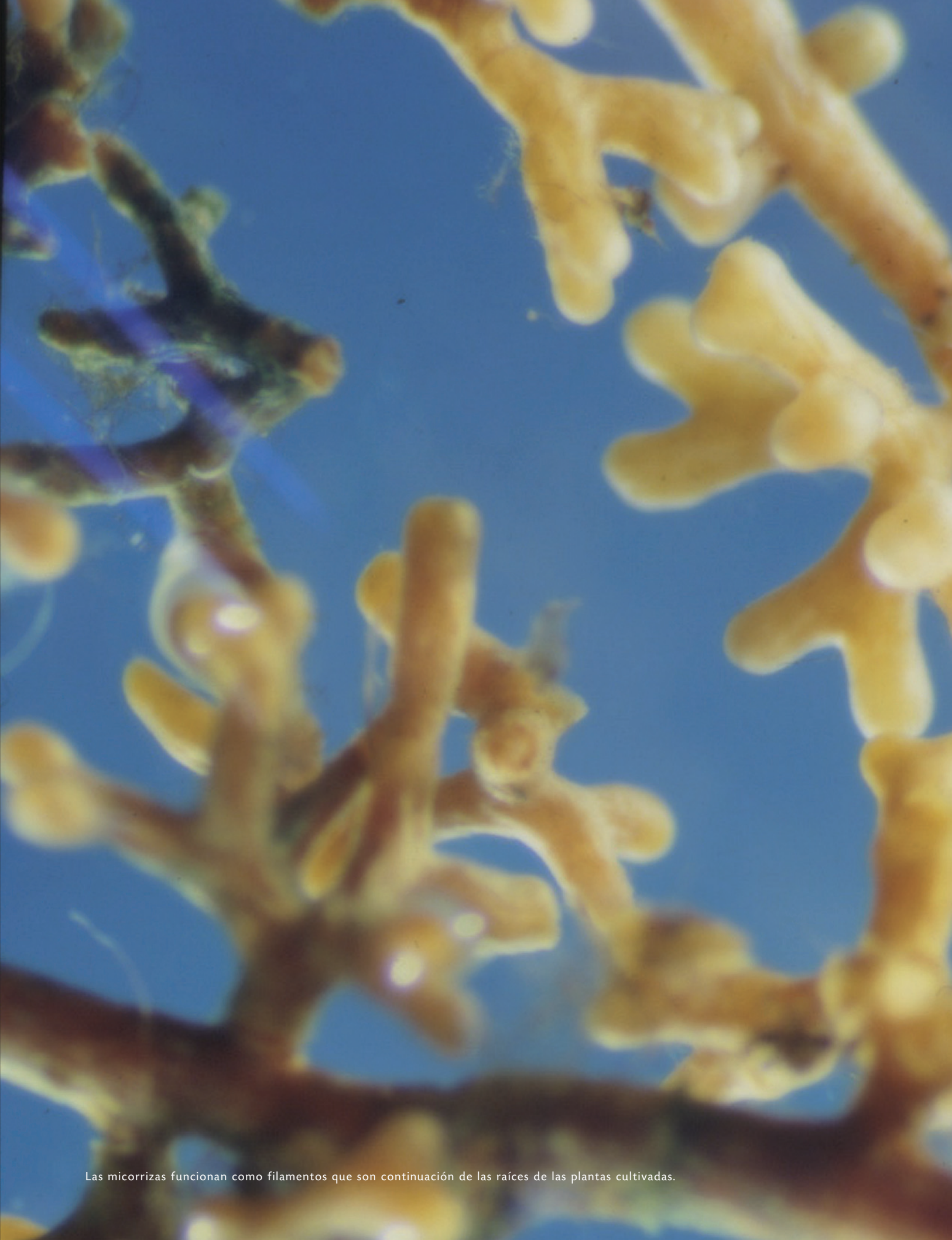
Desde tiempo atrás he observado que cuando se aplica el término “micorriza” se hace como si se tratara de una especie de hongo. El concepto más común es que “la micorriza es un hongo benéfico para las plantas”; es fácil escuchar incluso a colegas biólogos o agrónomos decir erróneamente: “se deben aplicar micorrizas”, “hemos aislado la micorriza de tal planta”, o “necesitamos producir micorrizas”, cuando en realidad se están refiriendo solamente a la especie de hongo, el cual sólo es uno de los involucrados en la interacción. Otro problema común es no saber cuántos tipos de micorriza se reconocen, y qué características presenta cada uno, por lo que se hace más difícil la comprensión del concepto.

Este artículo tiene la finalidad de aclarar a los lectores interesados en el tema el concepto de micorriza, así como presentar brevemente los tipos de micorriza actualmente reconocidos y la importancia que tienen en los sistemas ecológicos y agrícolas del planeta.

Descubrimiento de la micorriza

En 1831 Vittadini publicó sus observaciones sobre la manera en que diferentes especies de trufas (hongos comestibles de gran importancia económica en Europa, que pertenecen a los géneros *Elaphomyces* y *Tuber*; reino Fungi, clase Ascomycetes), se asociaban con las raíces de algunas especies de encinos (*Quercus* sp.) y otras plantas vasculares. En 1840 Hartig ilustró claramente lo que hoy conocemos como una *ectomicorriza*, y en 1841 Tulasne y Tulasne describieron cómo las hifas (filamentos tubulares que son la base estructural de los hongos) del hongo *Elaphomyces* se asocian a las pequeñas raíces secundarias de ciertos árboles, envolviéndolas completamente. Sin embargo, todas estas observaciones fueron interpretadas como una forma de parasitismo, pues aún no se tenía idea alguna del proceso ni su función. En 1842 Vittadini citó nuevamente esta asociación, pero ahora mencionó que estas pequeñas raíces eran nutridas por las hifas del hongo *Elaphomyces*. Posteriormente se presentaron algunos reportes más detallados como los de Hartig (1851), Boudier (1876), Reess (1880) y Gibelli (1882) (citados por García y López, 2002), que confirman que desde esa época se realizaron las primeras observaciones de micorrizas y, aunque aún no se acuñaba el término, ya empezaba a formarse cierta idea del sentido de esta asociación.

A principios de la década de 1880, al distinguido patólogo forestal alemán A. B. Frank se le encomendó la difícil tarea de realizar un estudio que lo llevara a encontrar la manera de incrementar la producción de



Las micorrizas funcionan como filamentos que son continuación de las raíces de las plantas cultivadas.

trufas en los bosques de Prusia (hoy en Alemania). Desafortunadamente para quienes gustan de las trufas, el profesor Frank no tuvo éxito en la misión, aunque por otro lado realizó una importante aportación al describir correctamente por primera vez la estructura esencial y el funcionamiento de la interesante relación entre “una especie de hongo y la raíz de un árbol”, la cual denominó *mykorrhiza*, que en griego significa “hongo-raíz”. Cabe destacar que el hongo asociado no es patógeno; es decir, no causa daño a la raíz.

Es importante reconocer que la micorriza no es sólo el hongo, como generalmente se cree, y mucho menos es algo estático; es más bien un proceso interesante en el cual se conforma una estructura que permite el mutuo intercambio de agua y nutrientes mediante la interacción de ciertas partes especializadas de al menos dos individuos (planta y hongo). Al igual que muchas otras interacciones entre especies, es resultado de una larga historia evolutiva. Por otro lado, durante este proceso se pueden presentar toda una gama de niveles de “beneficio” para cada una de las partes, dependiendo de las condiciones en que se establezca la interacción. Podemos considerar entonces que bajo ciertas condiciones (ambientales, fisiológicas o genéticas) ambas partes se “benefician” (+ / +). Pero si las condiciones son diferentes, puede ser “beneficiada” sólo una de las partes involucradas (+ / -), por lo que para el hongo o la planta en algún momento la interacción puede representar más un “costo” que un “beneficio”, lo que puede provocar la pérdida de la interacción.

Considerando todo lo antes mencionado, podemos proponer la siguiente definición general para la micorriza: “proceso ecológico –resultado de una historia evolutiva– caracterizado por una interacción en la que las hifas de al menos una especie de hongo y las raíces secundarias de una o más plantas conforman una estructura a través de la cual se realiza un intercambio de agua, nutrientes y reguladores del crecimiento”. De manera general, durante este proceso las hifas del hongo actúan como una extensión de la raíz, aumentando su superficie de exploración en el sustrato, lo que concede a la planta mayor oportunidad de absorber agua y minerales esenciales. Por otro lado, la planta proporciona al hongo carbohidratos (nutrientes),

resultado de su actividad fotosintética, y un ambiente estable para las hifas.

Se ha propuesto que este mecanismo de asociación apareció en nuestro planeta hace aproximadamente 400 millones de años (en el periodo Silúrico), coincidiendo con la aparición de las primeras plantas terrestres (musgos, helechos, equisetos, licopodios), por lo que también se ha sugerido que la micorriza pudo ser un factor importante en la invasión de la Tierra por las plantas, al favorecer la supervivencia de aquellas que presentaban la interacción.

Aunque es difícil probar esta hipótesis, recientemente se encontraron fósiles de esporas de hongos formadores de micorriza; dichas esporas tienen una antigüedad estimada en 460 millones de años (periodo Ordovícico). También se han encontrado plantas vasculares primitivas de los géneros *Rhynia*, *Asteroxylon* y *Psilophyton* de principios del Devónico (hace 300 millones de años), con estructuras que parecen corresponder a lo que hoy conocemos como *endomycorriza*. Por otro lado, se sugiere que los hongos basidiomicetos aparecieron en el Mesozoico tardío; es decir, hace sólo 80 millones de años, época en la que también aparecieron las pináceas, uno de los grupos de plantas que forman micorriza como una asociación casi obligada con basidiomicetos.

Breve historia de un término

Desde que se acuñó la palabra “micorriza”, ésta ha sido usada con diferentes connotaciones. En un principio Frank la usó en el sentido morfológico de la asociación, por lo que distinguió entre dos tipos de micorrizas (*endo* y *ectomicorrizas*), de acuerdo con la forma en que las hifas del hongo se asocian con las células de la raíz.

De acuerdo con Kelley (1931) y Vasilkov (1954), después de analizar el uso que había tenido la palabra “micorriza” hasta ese momento, concordaron en determinar que en general se había usado en sentido estrictamente morfológico, tal como lo hizo Frank originalmente; es decir, sin dar ninguna connotación ecológica, fisiológica o funcional de la relación. Es pertinente destacar que aun en la nomenclatura actual, el aspecto morfológico sigue teniendo mayor importancia

que el funcional. Para la década de 1960 ya se distinguían tres tipos principales de micorriza, denominadas *ectotrófica*, *endotrófica* y *ectendotrófica*. Estos términos incluyen ya una connotación fisiológica; sin embargo, de acuerdo con Wilde y Lafond (1967), aún eran usados en sentido puramente morfológico o estructural, lo cual creaba cierta incongruencia, por lo que sugirieron la necesidad de contar con nombres más adecuados, y propusieron los términos micorriza *ectoceular*, *endoceular* y *ectendoceular*.

Dos años más tarde, Peyronel y colaboradores (1969) analizaron los nuevos términos y consideraron la necesidad de modificarlos, argumentando que se relacionaban etimológicamente poco con la palabra original (micorriza), y que además la raíz latina “cellularis” no ha sido tradicionalmente incorporada para uso botánico en las lenguas eslavas (como el ruso), lo que dificultaría la aceptación y el uso de los términos. Propusieron entonces los términos que aún usamos para referirnos a los tres tipos estructurales de micorriza aceptados: “ectomicorriza”, “endomicorriza” y “ectendomicorriza”.

Tipos de micorriza

La clasificación actual fue propuesta por Harley y Smith en 1983, y fue refrendada por Smith y Read en 1997. Reconoce siete diferentes tipos de micorriza, considerando tanto sus características estructurales como el grupo taxonómico del hongo o la planta involucrada y las alteraciones morfológicas que experimentan las partes en el desarrollo de la nueva estructura.

Ectomicorriza

Se trata de una interacción en la que las hifas de un hongo penetran las raíces secundarias de la planta para desarrollarse, rodeando las células de la corteza radical, y forman una trama intercelular denominada *red de Hartig*, además de una capa de *micelio* (conjunto de hifas que constituyen el cuerpo o *talo* del hongo) en la parte exterior de la raíz, llamada *manto* (Figura 1). Como resultado de este proceso, se forma una nueva estructura que puede ser reconocida y clasificada, denominada *morfotipo ectomicorrícico*. El término “estructura

ectomicorrícica” se refiere al arreglo y organización de los tejidos fúngicos (del hongo) en la raíz, mientras que los *morfotipos* son la caracterización completa de las estructuras ectomicorrícicas en la raíz (Agerer, 1991). La ectomicorriza tiene gran importancia en los aprovechamientos forestales, ya que al parecer es requerida en diferentes etapas de la mayoría de los árboles maderables en los bosques fríos, y proporciona a la planta cierta protección contra algunos agentes patógenos. Se ha estimado que tres por ciento de las especies de plantas vasculares del planeta forman esta interacción, considerando principalmente a todas las *Pinales*, *Fagaceae* y *Betulaceae*, así como a diversas especies de *Salicaceae*, *Tiliaceae*, *Rosaceae*, *Leguminosae* y *Juglandaceae*. Los hongos involucrados en esta asociación son principalmente integrantes del grupo Basidiomycotina.

Micorriza arbuscular

Primero clasificada como endomicorriza, a la micorriza arbuscular también se le ha conocido como *micorriza vesículo-arbuscular*. Es una asociación obligada para los hongos que la forman, pero no para las plantas. En este caso no se forman la red de Hartig ni el manto, y se caracteriza porque las hifas penetran la raíz, se intro-

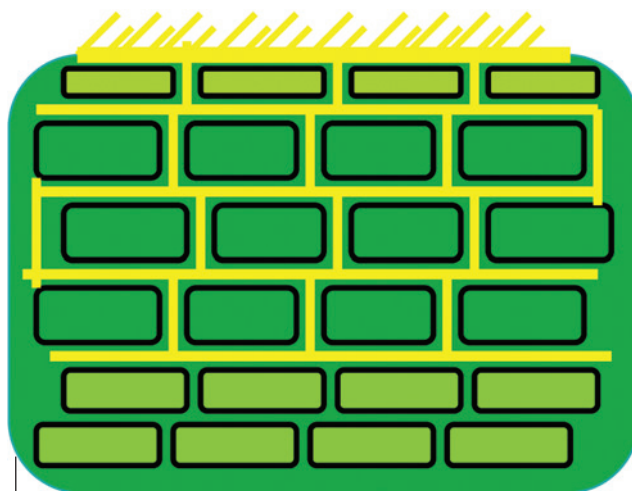


Figura 1. Ectomicorriza. Representación de un corte transversal de raíz donde se aprecian las células siendo rodeadas por las hifas del hongo (color amarillo). La trama de hifas se denomina red de Hartig. Nótese que las hifas nunca penetran las células. En la parte superior, sobre las células de la epidermis de la raíz, se aprecia la capa externa de hifas que forma el manto.

ducen en las células y pueden formar dos tipos de estructuras (Figura 2). Su principal característica es la estructura denominada *arbúsculo*, la cual se origina cerca del cilindro vascular de la planta mediante numerosas ramificaciones dicotómicas sucesivas de una hifa, y tiene la función de transferir nutrimentos desde y hacia la planta. La segunda estructura es llamada *vesícula*, y puede o no estar presente, dependiendo del hongo. Es de forma ovalada a esférica; puede formarse entre o dentro de las células radicales, y funciona como almacén de nutrimentos. La micorriza arbuscular tiene gran importancia en agricultura y fruticultura, ya que promueve un mejor desarrollo y aumenta la producción en diferentes especies de leguminosas, cítricos, papaya, aguacate, manzana, mango, fresa y durazno, entre muchos otros. Asimismo, la micorriza arbuscular se forma con diferentes especies de briofitas (musgos), pteridofitas (helechos), gimnospermas (*Pinaceas*, *Cycadaceas*), y muchas angiospermas (plantas con flor). Los hongos formadores de micorriza arbuscular pertenecen al grupo de los zigomicetos, familia *Endogonaceae*, géneros *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Entrophospora* y *Scutellospora*. Los zigomicetos fueron recientemente clasificados como *Glomeromycota* por Schüler y colaboradores (2001).

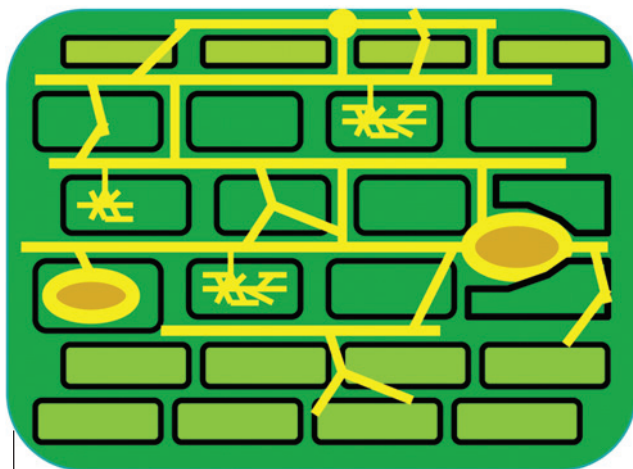


Figura 2. Micorriza arbuscular. Representación de un corte transversal de raíz donde se observa que las células de la planta pueden ser rodeadas o penetradas por las hifas del hongo (color amarillo). Nótese que hay tres arbúsculos y una vesícula formados al interior de algunas células y una vesícula formada en el espacio intercelular.

Micorrizas de orquídeas o endomicorriza orquídeoide

Es un subtipo de endomicorriza que se describió hace más de 100 años, en el que también se observa que el hongo penetra las células radicales y forma estructuras. Sin embargo, se distingue de las demás endomicorrizas en que se presenta principalmente en las orquídeas, y los hongos que la forman son del grupo Basidiomycotina (no son Zigomicetes o Glomeromycota, como en el caso anterior). Además, en este caso la planta (orquídea) es muy dependiente del hongo, ya que éste estimula la germinación de sus semillas y el crecimiento inicial de la plántula. En su fase de plántulas las orquídeas son *aclorófilas* (no presentan clorofila) y por tanto *saprobias* (no producen su propio alimento), por lo que dependen directamente de las aportaciones de compuestos de carbono y nutrimentos que proporciona el hongo. Para algunas especies de orquídea, esta dependencia se observa incluso en etapa adulta. Los hongos involucrados generalmente son de los géneros *Thanatephorus*, *Ceratobasidium*, *Ypsilonidium*, *Sebacina* y *Tulansnella*. Con menor frecuencia, se han identificado asociados a orquídeas hongos de los géneros *Marasmius*, *Xerotus*, *Hymenochaete*, *Armillaria*, *Fomes*, *Favolaschia*, *Coriolus*, *Telephora* y *Tomentella*.

Micorriza ericoide

Es otro caso de endomicorriza: el hongo también penetra las células radicales, pero se distingue porque la planta involucrada es generalmente del orden Ericales (comúnmente llamados brezos), aunque este tipo de micorriza se ha observado también en algunas briofitas (grupo de los musgos), y el hongo es del grupo Ascomycotina (no Basidiomycotina). Todas las especies de las familias *Ericaceae* (excepto por los géneros *Arbutus* y *Arctostaphylos*), *Epacridaceae* y *Empetraceae* forman micorriza ericoide; en cuanto a los hongos, se han identificado especies de los géneros *Scytalidium*, *Hymenoscyphus* y *Oidiodendron*, aunque muchas de las especies aisladas no han sido aún identificadas.

Ectendomicorriza

Este tipo de micorriza es especial, pues presenta características de las ectomicorrizas (red de Hartig y manto), pero simultáneamente presenta un cierto grado de

penetración intracelular, como en las endomicorrizas. En algunos casos no se forma el manto, pero siempre la red de Hartig. Esta interacción se presenta principalmente entre hongos de los grupos Basidiomycotina y Ascomycotina, y plantas coníferas del género *Pinus*, aunque también se ha reportado para algunas angiospermas (plantas con flores). *Wilcoxina mikolae* y *W. rehmii* son las dos especies de hongos asociados mejor caracterizadas (Peterson y Farquhar, 1994).

Micorriza arbutoide

Es un tipo de ectendomicorriza, pues se observa que simultáneamente el hongo penetra las células radicales de la planta y forma la red de Hartig. Se presenta en plantas de los géneros *Arctostaphylos*, *Arbutus* y *Pyrola*, integrantes del orden Ericales, comúnmente conocidas como madroños. Los hongos asociados son siempre Basidiomycotina; se han reportado especies de los géneros *Hebeloma*, *Laccaria*, *Poria*, *Rhizopogon*, *Pisolithus*, *Thelephora*, *Piloderma*, *Cenococcum* y *Lactarius*. Generalmente los hongos que forman micorriza arbutoide son capaces de formar ectomicorriza si interactúan con plantas del género *Pinus* (Peterson y Farquhar, 1994).

Micorriza monotropoide

Es otro tipo de ectendomicorriza que se caracteriza por establecerse solamente entre plantas de la familia *Monotropaceae* (perteneciente al orden Ericales), la cual tiene 10 géneros de plantas pequeñas completamente aclorófilas (sin clorofila), por lo que dependen mucho del hongo asociado para obtener nutrimentos. Las plantas asociadas son de los géneros *Sarcodes*, *Pterospora* y *Monotropa*. Los hongos asociados son siempre del grupo Basidiomycotina, principalmente de los géneros *Lactarius*, *Russula*, *Suillus* y *Rhizopogon*. Las semillas de las plantas del género *Monotropa* son pequeñas y presentan dificultades para germinar en ausencia de hongos asociados. Por otro lado, se ha observado que el hongo que forma micorriza monotropoide es capaz de colonizar las raíces de árboles cercanos (uno a dos metros) principalmente de los géneros *Pinus* y *Picea*, y transportar nutrimentos desde el árbol a las plantas aclorófilas (Peterson y Farquhar, 1994).

Estudio de la interacción en México

En nuestro país este tipo de estudios son muy recientes. Sin embargo, ya existen algunos grupos de investigación que desarrollan proyectos enfocados al estudio de la micorriza. Uno de los más importantes se encuentra en el Colegio de Postgraduados, y es liderado por el doctor Ronald Ferrera Cerrato, quien ha realizado numerosas investigaciones sobre micorriza arbuscular con especies agrícolas. El doctor Jesús Pérez Moreno, también en el Colegio de Postgraduados, ha estudiado algunos aspectos ecológicos de los hongos formadores de ectomicorriza. El doctor Arturo Estrada, en la Universidad Autónoma de Tlaxcala, ha estudiado la biodiversidad y aspectos taxonómicos de los hongos formadores de ectomicorriza.

En la Universidad Veracruzana también se desarrolla investigación en este campo: la doctora Dora Trejo realiza investigación sobre micorriza arbuscular con diferentes especies de plantas de interés económico. En el Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada (LABIOTECA) de la Universidad Veracruzana, una de las líneas de investigación que desarrollamos se enfoca al estudio de hongos formadores de micorriza en bosque de *Abies* y bosque mesófilo de montaña, principalmente; también estamos caracterizando los morfotipos de las ectomicorrizas formadas por diferentes especies de hongos asociadas con plantas del género *Pinus* y *Abies*, así como con plantas leñosas características del bosque mesófilo de montaña en Veracruz. La finalidad es entender el proceso de formación de micorriza para aplicarlo con fines de restauración ecológica o de establecimiento de plantaciones para aprovechamientos comerciales sostenibles. En este caso, los hongos formadores de ectomicorriza, además de que juegan un papel importante en la dinámica de sistemas ecológicos naturales o transformados por el ser humano (agroecosistemas), pueden ser aprovechados como fuente alimenticia y de ingresos económicos. Por ejemplo, algunas especies favorecen el establecimiento y desarrollo de plantas en etapas juveniles, aun bajo condiciones de estrés ambiental, y además producen esporangios (hongos) comestibles de alto valor nutricional, por lo que pueden ofrecer un ingreso extra si se manejan en sistemas de plantaciones.

Consideraciones finales

La micorriza es una importante interacción que se observa en la naturaleza. Es probable que la mayoría de las plantas vasculares hayan coevolucionado asociadas con hongos, al menos durante los últimos 100 millones de años. Por tanto, lo que hoy observamos y clasificamos es resultado de esta cercana interacción y la subsiguiente modificación y especialización de determinadas estructuras (hifas y raíces principalmente) en ambos grupos de organismos a través del tiempo. A esto se debe el que encontremos tanta especificidad y dependencia en algunos casos (por ejemplo, micorriza ericoide, micorriza monotropoide, micorriza arbuscular y endomicorriza orquideoide).

Aunque aún escaso, el conocimiento que tenemos sobre el funcionamiento de esta interacción ecológica y su amplia distribución tanto en número de especies de plantas y hongos como en ambientes, hace indiscutible considerar que la micorriza es importante. Podemos pensar también que la micorriza juega un papel preponderante en el mantenimiento de la salud de los ecosistemas, al promover un mejor desarrollo, supervivencia y éxito de los individuos (plantas y hongos) que la conforman.

Es deseable que la aplicación del conocimiento generado sobre este proceso sea útil en la producción de plantas para diferentes propósitos (alimenticio, forestal, ornamental, ambiental) y que genere resultados positivos en cuanto a productividad y eficiencia de los sistemas a mayor escala que la experimental. Sin embargo, aún conocemos muy poco, por lo que debemos estudiar mejor esta interacción entre plantas y hongos, pues al caracterizar bien este proceso será posible encontrar mejores formas de aprovechar una de las más comunes y tal vez la más importante de las interacciones observadas en el reino vegetal.

Antonio Andrade-Torres es doctor en ciencias, académico y fundador del Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA) de la Universidad Veracruzana, donde realiza investigación sobre biotecnología de plantas y hongos simbióticos.
aandrade@uv.mx

Agradecimientos

Se agradecen las valiosas observaciones y sugerencias vertidas sobre este manuscrito por parte del revisor anónimo, así como del doctor Carlos M. Contreras, del Instituto de Neuroetología de la Universidad Veracruzana; doctor Lázaro R. Sánchez Velásquez, del LABIOTECA, Universidad Veracruzana; doctor Martín Mata, del Jardín Botánico Francisco J. Clavijero del Instituto de Ecología, A. C., de Xalapa, Veracruz; y Víctor H. Rodríguez, Iván Oros y Rubén Guzmán, estudiantes que colaboraron leyendo las versiones de este artículo.

Lecturas recomendadas

- Allen, M. F. (1996), *The ecology of mycorrhizae*, Gran Bretaña, Cambridge University Press.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove y N. Malajczuk (1996), *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*, Australia, ACIAR Monograph 32.
- García, J. y A. López (2002), "Las micorrizas no son hongos", en línea, <http://www.uv.mx/institutos/forest/hongos> (acceso: 4 de julio de 2002).
- Gómez-Cruz, G. (1995), "La micorriza vesículo arbuscular en frutales", en Ferrera-Cerrato, R. y J. Pérez-Moreno (editores), *Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable*, México, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, pp. 184-199.
- Guzmán-Plazola, R. A. y R. Ferrera-Cerrato (1990), *La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas*, México, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Peterson, R. L. y M. L. Farquhar (1994), "Mycorrhizas-Integrated development between roots and fungi", *Mycologia*, 86 (3), 311-326.
- Peyronel, B., B. Fassi, A. Fontana y J. M. Trappe (1969), "Terminology of Mycorrhizae", *Mycologia*, 61, 410-411.
- Smith, S. E. y D. J. Read (1997), *Mycorrhizal symbiosis*, California, Academic Press.
- Schüler, A., Schwarzott, D. y C. Walker (2001), "A new fungal phylum, the Glomeromycota phylogeny and evolution", *Mycological Research*, 105, 1413-1421.
- Wilde, S. A. y A. Lafond (1967), "Symbiotrophy of Lignophytes and Fungi: its terminology and Conceptual Difficulties", *Bot. Rev.*, 33, 99-104.