

Patricia Guadarrama Chávez, Irene Sánchez Gallén,

Hongos y plantas

beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares

A lo largo del desarrollo de la ecología, las interacciones de los organismos a las que más se ha prestado atención han sido la competencia y la depredación, mientras que el estudio de las asociaciones mutualistas se ha formalizado más recientemente.

Mutualismo y simbiosis se han tomado como sinónimos. Sin embargo, el concepto de simbiosis se refiere a una asociación íntima de organismos en la cual existe una integración fisiológica; en ella se incluyen relaciones donde una de las especies le causa daño a la otra como el huitlacoche, endoparásito que es un hongo que infecta la estructura reproductiva de plantas de maíz, o las clamidias y rickettsias, que se alojan en tejido humano), y relaciones donde ambos participantes obtienen beneficios, como ocurre en los líquenes, asociaciones entre cianobacterias y hongos, en las micorrizas, entre raíces de plantas y

trimentos y el mantenimiento de la diversidad vegetal.

¿Qué son las micorrizas? El término micorriza fue usado por primera vez por Frank en 1877 para describir la asociación mutualista que se presenta entre plantas y hongos. Una definición más actual, y que hace referencia a su comportamiento fisiológico, es la sugerida por Fitter y Moyersoen en 1996: "interacción biotrófica no patogénica y sustentable que se establece entre hongos y raíces".

Los hongos involucrados, tanto macro como microscópicos, incluyen los basidiomicetes (*Amanita*, *Rhizoctonia*), ascomicetes (*Cenococcum*, *Tuber*), cigomicetes (*Endogone*) y glomeromicetes (glomerales), y se establecen en las raíces, que pueden ser las raíces propiamente dichas de las plantas vasculares (gimnospermas y angiospermas, plantas sin y con flor, respectivamente), el gametofito hi-

pógeo de muchas briofitas (musgos) y helechos, y los esporofitos de muchos helechos.

Existen seis tipos de micorrizas, divididos así por la forma de penetración que presenta el hongo en la raíz (figura 1), así como por las estructuras características que desarrolla y las especies de hongos y plantas que participan (cuadro 1).

Las asociaciones micorrízicas son cosmopolitas y generalistas porque se encuentran en la mayoría de los hábitats naturales y están presentes en casi todos los grupos de plantas, sin embargo, dependiendo del ambiente y de las especies interactuantes, los participantes pueden ser facultativos u obligados.

Las micorrizas arbusculares

La micorriza arbuscular es la más estudiada, debido a la variedad de há-

hongos, y en los corales, entre pólipos y algas. Por su parte, el mutualismo es, en términos ecológicos, una interacción donde hay beneficios mutuos y el balance entre beneficio y costo es positivo. Estos beneficios se reflejan en diferentes parámetros poblacionales como el incremento en la supervivencia y la reproducción de los organismos de las poblaciones participantes.

Las asociaciones mutualistas han desempeñado un papel relevante en el desarrollo y mantenimiento de la vida en la Tierra. Como ejemplo basta decir que el origen de los eucariontes —organismos con células nucleadas—, a partir de los procariontes, así como las comunidades actuales de corales y bosques templados —muy importantes por su diversidad biológica y por sus servicios como ecosistemas—, se sustentan en relaciones mutualistas.

De todos los tipos de interacción mutualista presentes en la Tierra, aquellas que ocurren bajo el suelo, como la interacción de bacterias fijadoras de nitrógeno y las raíces de leguminosas, y entre hongos micorrizógenos y las raíces de las plantas han sido las menos exploradas, en gran medida debido a que el estudio a este nivel representa muchas complicaciones metodológicas. El hecho de no tomar en cuenta lo que sucede en el suelo es inadmisibles, ya que éste no sólo es un sustrato físico para los organismos que lo habitan, sino que ellos influyen en sus propiedades, así como en su hidrología, aeración y composición de gases. Además, la biota edáfica es muy importante en la descomposición de la materia orgánica y la estabilización de sustratos, y por lo tanto en el ciclo de los nu-

bitats donde se encuentra y la cantidad de especies vegetales en la que se establece. Sus beneficios son múltiples.

La captación de nutrimentos

Los hongos micorrizógenos arbusculares aumentan la capacidad de adquisición y de asimilación de recursos por parte de la planta hospedera, ya que, en comparación con las raíces, las hifas externas de estos hongos poseen una mayor habilidad para explorar el suelo. La toma de nutrimentos del suelo, principalmente fósforo, es favorecida por el diámetro (3 a 30 μm) y longitud de las hifas (0.03 a 6.95 m g^{-1} de suelo). Estos hongos pueden explorar una mayor extensión de suelo (hasta de 9 m), lo que da como resultado una ventaja competitiva al hospedero debido a que resuelven las limitantes para la adquisición de nutrimentos minerales que se difunden del ambiente radical y que se mueven lentamente en la solución del suelo. Este hecho es aún más relevante en ambientes oligotróficos, es decir escasos en nutrimentos, como muchos suelos de nuestro país.

Protección contra el estrés hídrico

La asociación micorrízica arbuscular promueve la resistencia a deficiencias hídricas en la planta hospedera por medio de diferentes mecanismos, que van desde una respuesta física, hasta una bioquímica. Se ha demostrado que las plantas micorrizadas sometidas a condiciones de déficit de agua resisten por más tiempo las condiciones de sequía y se recuperan más rápidamente. Uno de los mecanismos que explican este hecho es que el micelio de los hongos micorrizógenos influye en el ambiente edáfico previniendo la formación de claros entre



M
RH

Figura 1

Colonización de raíces por hongos micorrizógenos. a) Micorrizas con manto fúngico, b) sin manto fúngico.

las raíces y el suelo, lo que mantiene la continuidad del líquido en la interfase del suelo y la raíz. Además, las hifas extrarradicales incrementan la zona de captación de agua, e incluso pueden tomar agua del suelo cuando ésta se encuentra con un valor de potencial hídrico que no permite que sea extraído por las raíces de las plantas.

De manera general, la asociación micorrízica altera de tal forma las relaciones hídricas, independientemente

del tamaño de la planta, que se puede decir que esta influencia es de gran valor ecológico ya que favorece el establecimiento, vigor, productividad y supervivencia de las plantas en un medio con condiciones limitadas de agua. Estas características permiten que se presente un efecto sinérgico que incrementa las probabilidades de establecer de nuevo la comunidad vegetal en un sitio con escasez de agua.

Modificación de la estructura del suelo

Los agregados del suelo son un componente importante para la conservación de las comunidades naturales. Las hifas externas de los hongos micorrizógenos arbusculares forman agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína llamada glomalina, y contribuyen a darle estructura y estabilidad al suelo. Los agregados de mayores dimensiones (20 a 200 mm de diámetro) formados

Micorrizas con manto fúngico

Ectomicorriza

Se presenta en general en plantas leñosas perennes, coníferas, donde la ramificación de la raíz corta y lignificada impide la captura óptima de nutrimentos. En este caso, el hongo, además de incrementar la absorción de sales minerales, tiene la capacidad de utilizar fuentes nitrogenadas no disponibles para las plantas y de producir antibióticos.

Distribución: bosques boreales, bosques templados, bosques de dipterocarpaceas en Asia.

Plantas hospederas: gimnospermas y angiospermas.

Hongos endófitos: cigomicetos, ascomicetos, basidiomicetos, deuteromicetos.

Arbutoide

Las plantas que la presentan son de la familia Arbutoideae, son leñosas y fotosintéticas. Los hongos en este caso son los órganos de absorción, por lo que se ha señalado que este tipo de micorriza es una ventaja selectiva para estas plantas.

Distribución: zonas templadas.

Plantas hospederas: ericales y briofitas.

Hongos endófitos: ascomicetos y basidiomicetos.

Monotropoide

Monotropa es un género de plantas epiparásitas no fotosintéticas que obtienen carbono de otras especies de plantas. Este tipo de micorriza la desarrollan plantas aclorófilas y los hongos involucrados forman ectomicorrizas con plantas autotróficas cercanas, transfiriendo así carbono orgánico a la planta monotropoide.

Distribución: zonas templadas.

Plantas hospederas: monotropas.

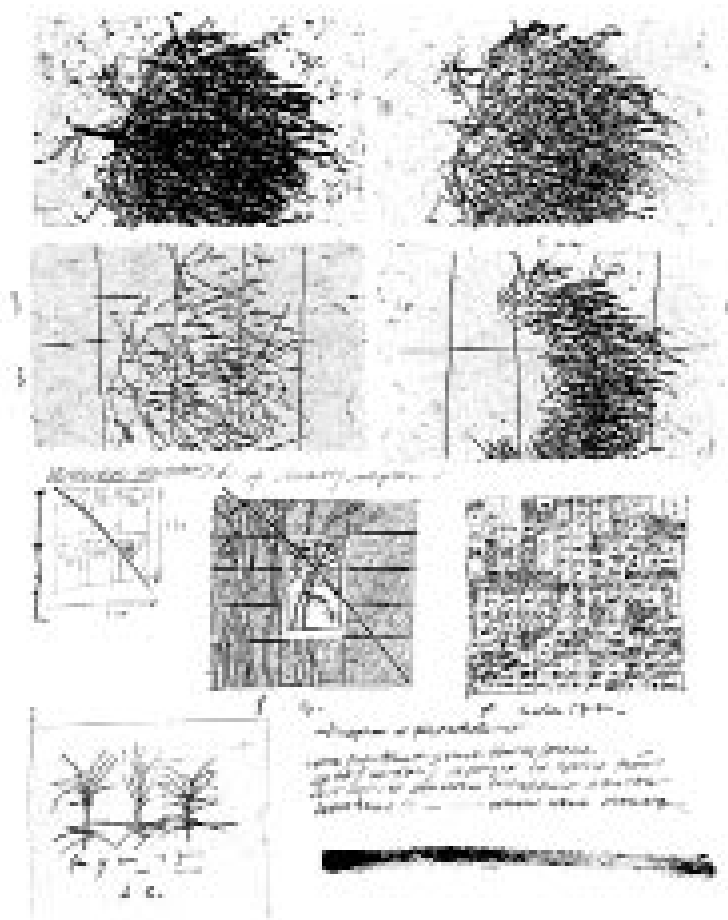
Hongos endófitos: ascomicetos y basidiomicetos.

Micorrizas sin manto fúngico

Arbuscular

El hongo no causa modificaciones a la raíz. Dentro de las células de la cor-

Características de los diferentes tipos de micorriza.



por las hifas micorrízicas mejoran la capacidad de retención de agua, pues tales agregados tienen poros grandes que retienen suficiente agua para prevenir deficiencias de humedad alrededor de la raíz y proveer suficiente drenado en época de lluvias. Por ejemplo, en las dunas costeras las hifas unen los granos de arena formando agregados resistentes al viento, por lo que estos hongos son un factor biótico que contribuye de manera importante al mantenimiento y la dinámica de estos ecosistemas.

Si llega a ocurrir una remoción de la cubierta vegetal, puede haber un efecto negativo en la comunidad de microorganismos rizosféricos, ya que

éstos dependen del flujo continuo de fotosintatos —azúcares producto de la fotosíntesis de los vegetales—, hacia la rizósfera, sin los cuales la producción de los polisacáridos extracelulares, causantes de la formación de los agregados, disminuye, provocando una consecuente disminución de estos últimos.

Además, los hongos micorrízicos, junto con otros microorganismos de la rizósfera, influyen en la estructura del suelo al producir compuestos húmicos, acelerando con ello la descomposición de minerales primarios y secretando polisacáridos que son particularmente eficientes para estabilizar la estructura, unir granos

minerales y homogeneizar partículas finas del suelo, como arcillas y humus que mantienen la porosidad.

Protección contra el ataque de patógenos

Al asociarse con hongos micorrízicos arbusculares, las plantas pueden resistir y recuperarse más rápidamente del ataque de depredadores, es decir herbívoros y parásitos de hojas, flores, tallos y raíces. Esto porque las plantas son más vigorosas al tener una nutrición mineral de mayor calidad y por la activación de algunos mecanismos de defensa, tales como la producción de exudados.

A nivel radical, la asociación micorrízica cambia la estructura y fisiología de la planta, y puede provocar alteraciones en la comunidad de organismos patógenos del suelo, disminuyendo sus poblaciones, la cantidad de propágulos infectivos y el grado de infección.

De manera general, la asociación micorrízica ha demostrado una mayor protección a las plantas hospederas contra el ataque de fitopatógenos de raíces. Los mecanismos por medio de lo que esto sucede pueden ser varios o sinérgicos, incluyendo la ocupación de un espacio en la raíz y la producción de exudados.

Nuevas líneas de investigación

Los primeros estudios sobre los hongos micorrízicos indicaron que las plantas incrementan su biomasa bajo condiciones controladas de invernadero utilizando especies vegetales de importancia económica. Al estudiar el proceso de germinación y colonización del hongo, así como de la forma en que se realiza la toma de nutrimentos por estructuras específicas como las estructuras absorbentes

ramificadas, descubiertas por Bago recientemente, otros trabajos en raíces transformadas bajo condiciones controladas han hecho una contribución relevante al conocimiento de la fisiología de esta interacción.

Sin embargo, al llevar estos estudios a ambientes naturales las especies vegetales no responden de la misma forma, y los incrementos en biomasa y los beneficios nutricionales no son tan evidentes a corto plazo. Esto probablemente se encuentra relacionado con que las condiciones controladas de dichos estudios no consideraron los factores abióticos y las interacciones con otros organismos que están presentes en el campo. Lo mismo se aplica para los trabajos realizados en microcosmos, en los que se manipulan especies vegetales y de hongos y se simulan algunas características particulares de un ecosistema. Los resultados obtenidos muestran la relevancia de esta interacción sobre la diversidad y productividad de las comunidades, pero hay que tomar con reserva los resultados al extrapolarlos al campo.

La problemática de la extrapolación al campo ha sido abordada apenas en fechas recientes en proyectos de restauración, rehabilitación o regeneración de comunidades perturbadas, en los cuales se pretende aprovechar las características benéficas de los hongos micorrizógenos arbusculares para lograr un establecimiento exitoso de la vegetación en tales comunidades, ya sea original o no. Algunos de los problemas adicionales que conlleva una perturbación (por procesos naturales o antropocéntricos) a la que continuamente están expuestas las comunidades naturales son la baja densidad de estos hongos, el exceso o déficit de agua, la escasez

de nutrimentos y de suelo, la toxicidad por algunos minerales, la presencia de plagas y el establecimiento de plantas exóticas que no desarrollan asociación con hongos micorrizógenos.

El uso de los hongos micorrizógenos como una herramienta biológica puede aumentar la velocidad de crecimiento y madurez de las especies vegetales, así como su probabilidad de establecimiento y supervivencia, de tal forma que puede acelerar la recuperación de aquellos sistemas ecológicos perturbados. Con ello también se promueve la recuperación del componente microbiano en su conjunto y de algunas características fisicoquí-

micas del suelo, lo cual ha sido comprobado en las prácticas de recuperación donde se han empleado plantas germinadas en vivero e inoculadas con estos hongos.

¿Y las plantas sin micorrizas?

Como se ha señalado en los párrafos anteriores, la condición micorrízica es una generalidad en todas las comunidades vegetales, sin embargo se pueden encontrar familias que tienen especies que no presentan ningún tipo de asociación micorrízica, pues esta característica ha evolucionado varias veces en diferentes líneas filogenéticas. Los estudios que se han





Figura 1. Micrografías de raíces de plantas micorrizadas y no micorrizadas. Se muestran diferentes tipos de colonización y estructuras fúngicas presentes en las raíces.

realizado en este sentido son escasos y poco concluyentes, por lo que no se conocen los mecanismos fisiológicos que han desarrollado las plantas para la obtención de nutrimentos y la exclusión de los hongos.

Uno de los métodos más utilizados para determinar si una especie de planta es o no micorrízica consiste en evaluar la presencia de colonización en sus raíces, la cual se puede conocer colectando raíces y aplicando diferen-

tes técnicas de tinción o de procesamiento de manera que al microscopio se observan diferentes estructuras fúngicas. Por lo tanto, antes de determinar si una especie vegetal es o no micorrízica se tiene que considerar que puede no estar colonizada (aunque sea susceptible de colonizarse) porque no se halla en contacto con algún tipo de inóculo, también podría ser que se haya establecido en ambientes donde es inaccesible el desarrollo de hongos

micorrizógenos (como suelos inundados), o que sus raíces fueron colectadas en una estación del año o en una etapa de desarrollo inapropiadas.

Cuando las plantas son en verdad no micorrízicas, los mecanismos que evitan la colonización son la presencia de compuestos fungitóxicos en el tejido cortical de la raíz, como exudados y aceites "mostaza" en algunas especies, aunque existen otros factores que no necesariamente son quími-

cos, sino mecánicos y aún desconocidos. Por ejemplo, al penetrar la raíz en una planta micorrízica el hongo es rodeado por el plasmalema del hospedero y no es dañado por ninguna acción enzimática, mientras que en el caso de plantas no micorrízicas sí se observa una actividad de muerte en los tejidos, llamada necrofílica. Asimismo, las plantas carnívoras no forman asociaciones micorrízicas, sin embargo presentan una estrategia de captura de nutrimentos que involucra la “caza” de insectos, y tienen mecanismos especiales para absorberlos. Las bromelias tampoco son micorrízicas, sino rosetófilas, y capaces de capturar agua y nutrimentos del ambiente. Familias como las crucíferas, amarantáceas y chenopodiáceas también contienen especies que no forman micorrizas, y lo que las caracteriza es un sistema radical muy desarrollado con muchos pelos radicales, una alta asignación a la parte

aérea de la planta y una reproducción temprana.

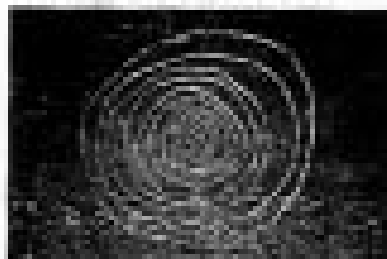
Su importancia

En conclusión, al asociarse con los hongos micorrízicos las plantas incrementan su eficiencia en la toma de nutrimentos y agua del suelo, lo cual puede repercutir en un incremento en biomasa y una mayor protección contra el ataque de patógenos y los efectos tóxicos de algunos metales.

Por su parte, los hongos obtienen fotosintatos indispensables para sus actividades metabólicas y consiguen un microhábitat donde resguardarse. Todo esto se refleja a nivel del ecosistema, de tal forma que se incrementa la productividad vegetal, se aminora la competencia entre individuos aumentando la diversidad, se modifica la velocidad y dirección de la sucesión, y en el suelo se reduce la compactación,

se mantiene la diversidad de microorganismos y se evita la pérdida del mismo.

Pero aun con todo esto, los hongos micorrizógenos arbusculares no pueden ser considerados un biofertilizante, como mucha gente ha intentado comercializarlos, ya que simplemente aumentan la superficie de absorción de nutrimentos. Es decir, que las micorrizas no adicionan nutrimentos al sistema, sino que participan en su captura y su ciclo. Sin embargo, sabiendo de antemano que muchas especies vegetales dependen de los hongos micorrizógenos para completar su ciclo de vida, es imprescindible tomar en cuenta la importancia de esta asociación en los programas de manejo de ecosistemas naturales, como son la reforestación y la restauración de ambientes deteriorados.



Patricia Guadarrama Chávez

Irene Sánchez-Gallén

Javier Álvarez-Sánchez

Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

José Ramos Zapata

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,
Universidad Autónoma de Yucatán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augé, R. M. 2001. "Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis", en *Mycorrhiza*, núm. 11, pp. 3-42.

Bago B., C. Azcón-Aguilar, A. Goulet e Y. Piché. 1998. "Branched absorbing structures (BAS): a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi", en *New Phytologist*, núm. 139, pp. 375-388.

Harley, J. L. y S. E. Smith. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, Londres.

Heijden van der, M. G., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken

e I. R. Sanders. 1998. "Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity", en *Nature*, núm. 396, pp. 69-72.

len, M. F. 1991. *The Ecology of mycorrhizae*. Cambridge University Press, Nueva York.

Smith, S. E. y D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego.

IMÁGENES

Jan Hendrix, *Bitácora*, catálogo de la exposición, Centro de la Imagen, enero-marzo 2002.