

Hongos Micorrícicos

La raíz de una planta + el micelio de un hongo provocan una simbiosis en la propia raíz de la planta que se denomina "Micorriza". La planta proporciona al hongo azúcares y el hongo proporciona a la planta humedad, Fósforo y protección contra otros patógenos. En los sitios áridos y semi áridos, es muy importante que los árboles que deseamos que crezcan estén en contacto con las esporas de los hongos micorrícicos para que se desarrollen con más vigor. Esto se puede conseguir inoculando las esporas de los hongos micorrícicos en un vivero o en la propia semilla del árbol, arbusto o herbácea. Existen [empresas](#) especializadas que pueden proporcionarnos estos hongos micorrícicos.

1- Micorrización.

1.1 Ciclo biológico de los macromicetes (hongos superiores).

En todos los macromicetes distinguimos dos partes distintas: micelio y carpóforo:

a) El micelio, formado por una serie de filamentos o hifas, en general de color blanco, que vive bajo tierra entre el humus o rodeando raíces, sobre hojas o madera muerta o incluso otros hongos, plantas o animales. Constituye la parte vegetativa del hongo. Estos filamentos o hifas crecen radial e indefinidamente en todas las direcciones, formando en algunos casos círculos completos que fueron denominados "corros de brujas" debido a su fructificación espontánea y misteriosa.

b) El carpóforo o vulgarmente llamado seta. En el extremo de los micelios se desarrolla el cuerpo fructífero o carpóforo, formado en su mayoría por tejido estéril. Solo una pequeña parte del carpóforo es fértil, la zona conocida como "himenio", que corresponde con las láminas, los tubos, los aguijones, y, en ciertos casos, con una superficie lisa o ligeramente arrugada.

En el himenio se producen las esporas que permiten la difusión de la especie. Cuando las esporas maduran cae sobre el sustrato que puede ser el adecuado o no. En la mayoría de los casos las esporas se pierden por no encontrar unas condiciones adecuadas. Si todo le es favorable germina, produciendo un filamento finísimo (filamento primario) que al entrar en contacto con otro producido simultáneamente por otra espora con signo sexual contrario (en el mismo carpóforo se forman esporas de los distintos sexos que posea la especie) se fusionan y forman un nuevo filamento (filamento secundario) y el conjunto de filamentos o hifas recibe el nombre de micelio.

De este micelio o cuerpo vegetativo del hongo se desarrolla finalmente el cuerpo fructífero, el carpóforo, que vemos en el exterior y que recogemos. Un solo carpóforo produce decenas de millares de esporas que caen cuando están maduras y si concurren las condiciones necesarias comienza un nuevo ciclo.

1.2 Micorrización natural.

Los hongos al carecer de clorofila, no pueden formar sus elementos nutritivos utilizando la energía de la luz solar, como ocurre con las plantas verdes, por lo cual se ven obligados a vivir a expensas de otros organismos: si estos son vegetales y animales muertos se denominan "saprofitos"; si se nutren de vegetales y animales vivos, los llamamos "parásitos"; si el micelio está íntimamente unido a las raíces de ciertas plantas formando una verdadera simbiosis, que favorece tanto al hongo como a la planta, decimos que esta simbiosis constituyen las "**micorrizas**" (R. Mendaza Rincón de Acuña y G. Díaz Montoya, 1998).

En la simbiosis micorriza el hongo obtiene el exceso de azúcares de reserva, básicamente almidón, de las raíces de las plantas. Sin embargo a su vez permite a la planta, a través de la unión del micelio a las raíces aumentar enormemente la extensión del aparato radical (CD, Projects, 1995).

De acuerdo con las relaciones establecidas entre las hifas del hongo y las células de la planta y con su estructura, las micorrizas se dividen en:

Endomicorrizas: cuando las hifas penetran en las células de los pelos radicales, en las células de la cutícula y en las células del cortex, desenvolviéndose internamente en ellas. Forman endomicorrizas las

siguientes familias de plantas: Leguminosas (Apiaceas), Rosaceas, Oleaceas, Euforbiaceas, Escrofulariaceas, Rubiaceas, Ciperaceas, Gramineas (Poaceas) y Compuestas (Fabaceas). Entre ellas prácticamente todas las plantas utilizadas en agricultura.

Ectomicorrizas: las hifas penetran en el cortex radicular del huésped a varias profundidades, formándose entre los espacios de las células más externas una red de hifas muy compacta llamada "Red de Hartig" (Marks y Foster, cita de Martins de Azevedo, 1989), en esta red, rica en taninos, ocurren los cambios de los elementos entre los dos individuos asociados. Las ectomicorrizas (órdenes como *Agaricales*, *Boletales*, *Hymenogastrales*, *Russulales* y *Sclerodarmales*) se forman principalmente en las familias de la *Betulaceae* (abedul...) *Fagaceae*, (castaños, robles, encinas...) *Pinaceae* (pinos, abetos, alerces...) y *Salicaciae* (chopos, álamos...). Es decir, prácticamente todos los árboles (95%) y muchos arbustos de interés forestal en los bosques templados del Hemisferio Norte, incluidos los mediterráneos.

Ectendomicorrizas: se caracterizan por un manto miceliar más delgado y una red de Hartig más gruesa que las ectomicorrizas. Las presentan por ejemplo los madroños.

Existen otros dos tipos de micorrizas: pseudomicorrizas y asociaciones peritróficas. Las primeras se confunden muchas veces con las ectendomicorrizas, y las segundas son una fase de transición de las relaciones entre hongos y plantas de un estadio primitivo a un estadio actual (Martins de Azevedo, 1989).

1.3 Ventajas de las micorrización.

Hay que destacar la gran importancia de las micorrizas como auxiliares eficaces de las especies forestales. Por un lado una mejora en las condiciones nutricionales de las plantas con el correspondiente aumento de crecimiento; y por otro la planta adquiere defensas físicas y químicas que la protegen de la acción de los agentes patógenos (Martins de Azevedo, 1989).

En referencia a los aspectos nutricionales, los árboles micorrizados absorben mayor cantidad de N, P, K, Na, Zn y agua (Bowen, cita de Martins de Azevedo, 1989). Estos incrementos son consecuencia (Nazaré Pereira, cita de Martins de Azevedo, 1989) de:

- a) Aumento del área del suelo en contacto físico con la micorriza (raíz e hifas).
- b) Aumento de la movilidad, a través de las hifas del hongo, de los minerales del suelo en las regiones próximas a la raíz.
- c) Incremento de la actividad biológica de la rizosfera, acelerando los procesos de mineralización y reciclaje de nutrientes.

En cuanto a los agentes patógenos:

- a) Barrera física en las raíces del árbol: el manto de hifas cubre el meristemo radicular y cortex dificultando mucho la penetración de agentes patógenos.
- b) Producción de antibióticos por la micorriza.
- c) Producción de inhibidores por parte de la planta: se estimulan resistencias químicas impidiendo la germinación de zoosporos de *Phytophthora cinnamomi* (Marx, cita de Martins de Azevedo, 1989).
- d) Mayor resistencia a la acidez y a la sequía.
- e) Aminora la toxicidad de ciertos metales como Al, Cu o Zn (Ferro, Rodríguez y Fdez. de Ana Magán, 1993).



2- Información general sobre los hongos

Estructura de un hongo

Los hongos están constituidos por tubos filamentosos llamados hifas. En muchas especies las paredes perforadas, o septos, dividen las hifas en células que contienen uno o dos núcleos. Los flujos protoplasmáticos a través de las aberturas de los septos proporcionan nutrientes a las células, que se almacenan en las paredes de las hifas en forma de glucógeno. Las hifas crecen por alargamiento de las puntas. La masa completa de hifas se llama micelio, primero se desarrolla por debajo de la tierra y después por encima.

Los Hongos, son un grupo diverso de organismos unicelulares o pluricelulares que se alimentan mediante la absorción directa de nutrientes. Los alimentos se disuelven mediante enzimas que secretan los hongos; después se absorben a través de la fina pared de la célula y se distribuyen por difusión simple en el protoplasma. Junto con las bacterias, los hongos son los causantes de la putrefacción y descomposición de toda la materia orgánica. Hay hongos en cualquier parte que existan otras formas de vida. Algunos son parásitos de organismos vivos y producen graves enfermedades en plantas y animales. La disciplina científica que estudia los hongos se llama **micología**.

Los hongos figuraban en las antiguas clasificaciones como una división del reino Vegetal (Plantae). Se pensaba que eran plantas carentes de tallos y de hojas que, en el transcurso de su transformación en organismos capaces de absorber su alimento, habían perdido la clorofila, y con ello, su capacidad para realizar la fotosíntesis. Sin embargo, muchos científicos actuales los consideran un grupo completamente separado de otros, que evolucionó a partir de flagelados sin pigmentos. Ambos grupos se incluyen dentro del reino Protista, o bien se coloca a los hongos como un reino aparte, debido a la complejidad de su organización (ver clasificación más adelante). Hay unas cien mil especies de hongos conocidas. Se cree que los grupos más complejos derivan de los tipos más primitivos, los cuales tienen células flageladas en alguna etapa de su ciclo vital.



Estructura

La mayoría de los hongos están constituidos por finas fibras que contienen protoplasma, llamadas hifas. Éstas a menudo están divididas por tabiques llamados septos. En cada hifa hay uno o dos núcleos y el protoplasma se mueve a través de un diminuto poro que ostenta en el centro de cada septo. No obstante, hay un filo de hongos, que se asemejan a algas, cuyas hifas generalmente no tienen septos y los numerosos núcleos están esparcidos por todo el protoplasma. Las hifas crecen por alargamiento de las puntas y también por ramificación. La proliferación de hifas, resultante de este crecimiento, se llama micelio. Cuando el micelio se desarrolla puede llegar a formar grandes cuerpos fructíferos, tales como las setas y los pedos o cuescos de lobo. Otros tipos de enormes estructuras de hifas permiten a algunos hongos sobrevivir en condiciones difíciles o ampliar sus fuentes nutricionales. Las fibras, a modo de cuerdas, del micelio de la armillaria color de miel (*Armillariella mellea*), facilitan la propagación de esta especie de un árbol a otro. Ciertos hongos forman masas de micelio resistentes, con forma más o menos esférica, llamadas esclerocios. Éstos pueden ser pequeños como granos de arena, o grandes como melones.

Reproducción

La mayor parte de los hongos se reproducen por **esporas**, diminutas partículas de protoplasma rodeado de pared celular. El champiñón silvestre puede formar doce mil millones de esporas en su cuerpo fructífero; así mismo, el pedo o cuesco de lobo gigante puede producir varios billones.

Las esporas se forman de dos maneras: En el primer proceso, las esporas se originan después de la unión de dos o más núcleos, lo que ocurre dentro de una o de varias células especializadas. Estas esporas, que tienen características diferentes, heredadas de las distintas combinaciones de genes de sus progenitores, suelen germinar en el interior de las hifas. Los cuatro tipos de esporas que se producen de esta manera (oosporas, zigosporas, ascosporas y basidiosporas) definen los cuatro grupos principales de hongos. Las oosporas se forman por la unión de una célula macho y otra hembra; las zigosporas se forman al combinarse dos células sexuales similares entre sí. Las ascosporas, que suelen disponerse en grupos de ocho unidades, están contenidas en unas bolsas llamadas ascas. Las basidiosporas, por su parte, se reúnen en conjuntos de cuatro unidades, dentro de unas estructuras con forma de maza llamadas basidios.

El otro proceso más común de producción de esporas implica la transformación de las hifas en numerosos segmentos cortos o en estructuras más complicadas de varios tipos. Este proceso sucede sin la unión previa de dos núcleos. Los principales tipos de esporas reproductivas formadas así son: oídios, conidios y esporangiosporas. Estas últimas se originan en el interior de unos receptáculos, parecidos a vesículas, llamados esporangios. La mayoría de los hongos producen esporas sexuales y asexuales.

Fisiología de los hongos

En la mayor parte de los hongos las paredes de las hifas están compuestas principalmente por quitina y algunas hemicelulosas. La celulosa, que está presente sólo en unos pocos grupos de hongos, es característica de los oomicetes. La proporción de agua de los hongos mucilaginosos generalmente es de más del 90%. Las esporas pueden tener menos del 50% de agua; otras estructuras de resistencia, tales como los esclerocios, contienen aún menos. Los hongos requieren oxígeno disponible para su crecimiento, así como grandes cantidades de agua y de hidratos de carbono u otras fuentes de carbono. La mayoría de los hongos utilizan azúcares como la glucosa y la levulosa (D-fructosa), pero algunos usan otros compuestos orgánicos como alimento, según su capacidad para sintetizar las enzimas adecuadas. Ciertas micorrizas toman directamente el nitrógeno de la atmósfera; sin embargo, todos los demás hongos lo obtienen de nitratos, sales de amonio u otros compuestos orgánicos o inorgánicos de nitrógeno. Los hongos, además, precisan otros elementos como potasio, fósforo, magnesio y azufre. También son necesarios, aunque en muy pequeñas cantidades, hierro, manganeso, cobre, molibdeno, zinc y galio; así como factores de crecimiento. Determinados hongos son deficitarios, al menos en parte, de uno o más de estos factores de crecimiento.

Las enzimas de los hongos pueden actuar sobre una gran variedad de sustancias. Un grupo de enzimas, llamado el complejo zimasa, permite a las levaduras llevar a cabo la fermentación alcohólica. Otras enzimas como la protopectinasa, la pectasa y la pectinasa, hidrolizan los compuestos pectídicos que hay en las capas medias de las paredes celulares de las plantas. La amilasa, celobiasa, citasa, dextrinasa, invertasa, lactasa, maltasa, proteasa y la tanasa son también enzimas producidas por los hongos. El glucógeno, sustancia relacionada con el almidón y con la dextrina, es la reserva de hidratos de carbono más común en los hongos. Además, algunos hongos forman polisacáridos y alcoholes polihidroxílicos, como el manitol y la glicerina. Otros producen proteínas y grasas en abundancia. Muchos hongos sintetizan ácido oxálico y otros ácidos orgánicos, como el cítrico, fórmico, pirúvico, succínico, málico y acético; la producción de ácido láctico sólo la realiza una familia de hongos. Otros productos del metabolismo fúngico son compuestos de azufre, sustancias que contienen cloro y numerosos pigmentos. Unos cuantos hongos tienen la facultad de formar compuestos volátiles de arsénico cuando crecen sobre sustratos que lo contienen.

Ecología de los hongos

Las esporas y los fragmentos de hifas de los hongos pueden viajar por la atmósfera y recorrer grandes distancias. Tridomicetes y los mohos acuáticos abundan en los hábitats acuáticos. Ciertos ascomicetes y deuteromicetes son también frecuentes, tanto en agua dulce como salada. En los últimos años se han descubierto numerosos hongos en ríos y arroyos contaminados. Éstos participan en la purificación natural de las aguas residuales. Algunas de estas especies son de especial interés puesto que causan enfermedades en los seres humanos.

El suelo es el medio ambiente típico de los hongos saprofitos, los cuales viven sobre restos orgánicos. También contiene hongos parásitos que pueden infectar a plantas y animales. Los mohos acuáticos y los mildíus son habitantes comunes del suelo, como lo son algunos ascomicetes y muchos deuteromicetes. Numerosos hongos descomponen la celulosa y las proteínas; de esta manera, toman parte activa en la formación del humus.

Ciertos hongos viven en simbiosis con algas formando unas estructuras características llamadas líquenes. La mayoría de los hongos liquénicos son ascomicetes, pero unas pocas especies son basidiomicetes. Los hongos que se asocian de manera íntima con las raíces de las plantas superiores producen un tipo especial de crecimiento de las hifas, dando lugar a las micorrizas. En éstas, una porción del micelio envuelve a las raíces con una capa blanca aterciopelada, y otra penetra a través de la corteza de las mismas. Ciertas plantas dependen de esta relación para desarrollarse adecuadamente. Ciertas especies de champiñones son destacadas formadoras de micorrizas.

Algunos hongos, que normalmente crecen sobre materia orgánica muerta, son capaces de infectar plantas vivas cuando tienen la oportunidad de hacerlo. Otros no pueden sobrevivir sin parasitar plantas. Enfermedades causadas por quitridomicetes, oomicetes y otros hongos primitivos son, por ejemplo, la hernia de la col, la verruga de la patata, la roña pulverulenta de la patata, la roya blanca, el carboncillo

tardío de la patata y el mildíu veloso. El carbunco (o carbunclo), el carbón del castaño, la enfermedad holandesa del olmo o grafiosis, el mal del roble, el cornezuelo, la podredumbre oscura de los huesos de las frutas y muchas otras enfermedades están producidas por ascomicetes. Las royas y los tizones son basidiomicetes. Ver artículos referidos a cada enfermedad de las plantas.

Ciertos hongos que viven en el suelo atrapan organismos microscópicos como amebas (o amibas) y nematodos (por ejemplo, los gusanos filamentosos). La mayor parte de estos hongos predadores parecen ser deuteromicetes o estados conidiales de zigomicetes, pero algunos pueden ser conidios de basidiomicetes. Los nematodos se capturan, bien por medio de una malla de hifas, recubierta por una sustancia adhesiva, bien mediante una excrecencia o protuberancia que entra en contacto con la presa; o bien, con el empleo de una red de hifas que, después de entrar en ella el nematodo, se hincha y se cierra de manera brusca. Cuando estos hongos atrapan una ameba o un nematodo, crecen unas hifas especiales y penetran en los microorganismos para consumir su protoplasma.

Muchos animales pequeños, entre ellos insectos y milpiés (miriápodos), comen hongos y así contribuyen a la dispersión de sus esporas. Algunos grupos de insectos cultivan hongos para alimentarse con ellos. Entre estos insectos, destacan los escarabajos de las cortezas, las hormigas tropicales cortadoras de hojas y ciertos grupos de termitas. Numerosos hongos son parásitos de insectos.



Uso de los hongos

Las enzimas hidrolíticas de los hongos se utilizan en diversos procesos industriales. Cuando crecen sobre salvado caliente de trigo o de arroz, algunas especies fúngicas producen una amilasa que se usa en la fermentación alcohólica. Las proteasas que se obtienen de otros hongos se emplean en la fabricación de pegamento líquido. La producción industrial de alcohol etílico (etanol) se realiza por fermentación de melaza de caña de azúcar o de almidón hidrolizado mediante enzimas formadas por otros hongos. En el proceso de elaboración del pan se añade levadura a la masa para producir dióxido de carbono.

Los hongos se utilizan en la producción industrial de ácido cítrico, ácido glucónico y de ácido gálico, el cual todavía se emplea en la fabricación de tintas y colorantes. Las resinas se elaboran a partir de ácido fumárico formado por el moho negro del pan. El ácido giberélico, que provoca aumento del crecimiento de las células vegetales, lo produce un hongo que causa una enfermedad en las plantas de arroz. Grasas y aceites que se utilizan comercialmente se obtienen de especies de varios géneros y una especie es una fuente práctica de proteínas comestibles. La vitamina D se forma al irradiar el ergosterol, una sustancia obtenida a partir de los residuos de la levadura de cerveza. Cierta hongo, semejante a las levaduras, proporciona riboflavina; la biotina se acumula durante el proceso de producción de ácido fumárico por parte de otro hongo. También se utilizan organismos fúngicos en la elaboración del queso roquefort, así como en la maduración del queso camembert.

Los hongos se han utilizado en medicina desde tiempos remotos. El uso de hongos como purgantes ya no es tan común como el de un alcaloide presente en el esclerocio del cornezuelo que se emplea para conseguir contracciones uterinas durante el parto. De los alcaloides del cornezuelo se obtiene también la dietilamida del ácido lisérgico, más conocida como LSD, la cual provoca efectos alucinógenos. La utilización de los antibióticos en la práctica médica comenzó cuando se descubrieron las propiedades antibióticas de la penicilina. Hoy se producen muchos antibióticos a partir de microorganismos que no son hongos. La griseofulvina, sin embargo, es un antibiótico antifúngico que lo forman varias especies de un género de hongos.

Clasificación

A pesar de que en muchos textos se emplean sistemas de clasificación relativamente complicados, los micólogos utilizan por lo común un sistema sencillo, que tiene la ventaja de ser cómodo de usar. Según este sistema, los cuatro filos principales son:

Oomicetes (Oomycota)

Zigomicetes (Zygomycota)

Ascomicetes (Ascomycota) y
Basidiomicetes (Basidiomycota)

Sus respectivos individuos forman oosporas, zigosporas, ascosporas y basidiosporas.

Una gran variedad de especies se colocan, de forma arbitraria, en un quinto filo: Deuteromicetes (Deuteromycota), también llamados hongos imperfectos.

La razón para clasificar una especie dentro de este grupo es porque no se conoce la forma en que se producen las esporas por fusión de los núcleos. Sin embargo, la mayoría de esas especies están emparentadas con los ascomicetes.

Algunos otros filos se consideran hongos, o bien, grupos relacionados estrechamente con los hongos:

Actinomicetes (Actinomycota)
Mixomicetes (Myxomycota)
Plasmodioforomicetes (Plasmodiophoromycota)
Labirintulomicetes (Labyrinthulomycota) y
Acrasiomicetes (Acrasiomycota).

De entre las muchas maneras en que se clasifican los hongos micorrícicos, existe una muy práctica para los que trabajan en su cultivo y es la siguiente:

Hongos de primer estadio, viven asociados al árbol en el 1º y 2º año de vida y producen setas de pequeño tamaño, en general sin interés culinario aunque tienen grandes aplicaciones en restauración del paisaje. Estos viven asociados a un amplio abanico de especies vegetales y son los comúnmente utilizados en los proyectos de micorrización dirigida en viveros y reforestación.

Hongos de segundo estadio, asociados a árboles jóvenes, entre ellos se encuentran los níscalos (*Lactarius spp.*), los boletos viscosos (*Suillus spp.*), etc. Estas setas se podrán cultivar tanto a partir de plantones micorrizados como micorrizando directamente el árbol joven en campo.

Los **Hongos de tercer estadio**, asociados a árboles adultos. Cuanto más viejo es un árbol, mas cantidad y variedad de azúcares tiene en sus raíces, y, por tanto, podrá mantener más diversidad y cantidad de setas, que por norma general serán de mayor porte. Entre ellas los *Boletus spp.*, la trufa negra (*Tuber melanosporum*), el rebozuelo (*Cantharellus cibarius*) y un largo etc.

Esta clasificación nos da una visión dinámica, dónde los hongos de un mismo lugar se van sustituyendo unos por otros en una sucesión, en la que de forma adecuada y siguiendo sus reglas, podemos llegar a intervenir.

