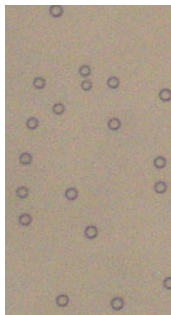


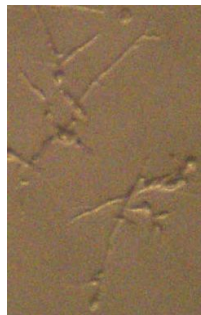
## Aspectos generales de las micorrizas

Extracto libro: Chung, P. 2005. Hongos micorrícicos comestibles. Opción productiva aplicada a las plantaciones forestales. Aspectos generales. INFOR. 55p.

Los hongos son organismos que, al contrario de las planta superiores, no poseen clorofila y son incapaces de absorber sustancias minerales simples y sintetizar a través de ellas sustancias más complejas, como aminoácidos, proteínas o hidratos de carbono que sirvan para su nutrición y crecimiento. Estas sustancias elaboradas pueden obtenerlas de distintos organismos, ya sea vivos o muertos, distinguiéndose por tanto, tres formas de obtenerla: saprófitos, a partir de organismos muertos; parásitos, que viven de organismos vivos causándoles algún grado de perjuicio; y simbióticos, que necesitan la compañía de otro ser vivo, con los que colaboran mutuamente para beneficio de ambas partes (Reyna, 2000).



(a)



(b)

Figura 1: Aspecto de esporas de *Morchella sp.*(a), y su germinación con la formación de las primeras hifas(b)

El hongo se origina a partir de una espora o “semilla” microscópica (figura 1a), la que al encontrar condiciones favorables germina, generando numerosas células alargadas que nacen una tras otra, convirtiéndose en un filamento llamado hifa (figura 3b). A su vez, cada célula creada, pasa a ser un nuevo punto de crecimiento de nuevas células, produciéndose un conjunto de hifas llamada micelio. Mediante este micelio, y a través de un proceso sexual, se formará a su vez la parte productiva (figura 2), la cual puede presentar diferentes formas, tamaños y posición en el suelo, lo cual lo puede hacer visible o no.

Esta parte recibe nombres como callampa, seta, hongo, carpóforo, fructificación, etc., la cual será la encargada de producir varios millones de esporas y liberarlas desde el himenio hacia el medioambiente.

Los procesos de reproducción sexual ocurren generalmente cuando se presentan condiciones ambientales críticas para el desarrollo del hongo. Mientras que, el micelio entra en proceso de latencia en el interior de la tierra, hasta que las condiciones ambientales vuelvan a ser las adecuadas para su desarrollo (Donoso, 1989).



Figura 2: Micelio en el sustrato, raíces y parte reproductiva

Las micorrizas (*mycos* = hongo, *rhiza* = raíz) constituyen entidades simbióticas entre un hongo y las raíces de una planta, cuya importancia, en la actualidad, está fuera de toda duda. El nombre fue dado por el botánico alemán Frank en 1885, aunque estas asociaciones fueron estudiadas a partir de 1910. Solo después de los trabajos de Mosse, en 1955, empiezan a tomar importancia entre los investigadores (Vasco, 2003).

Se estima que alrededor del 95% de las plantas vasculares participan en este tipo de asociaciones, y sólo algunas familias son las excepciones como las crucíferas, ciperáceas y quenopodiáceas, las cuales no llegan a formar simbiosis (Honrubia, citado por Reyna, 2000).

Aunque la simbiosis entre hongo y planta se encuentra muy extendida en los variados ecosistemas terrestres, los fenómenos de degradación, uso indiscriminado de sustancias químicas, etc., ha planteado la necesidad de actuar de manera sostenible, aplicando técnicas como la micorrización inducida, mediante el uso de inoculantes micorrícicos.

A este respecto, en los viveros de todo el mundo, la micorrización controlada es una operación que cada vez es más habitual, en la cual los viveristas deberán tener claro el destino final de las plantas producidas y poder tratarlas con los elementos fúngicos más adecuados, debido a que, en determinadas condiciones ambientales, algunas especies de hongos son más beneficiosas que otras, logrando que éstos sean más competitivos tanto en vivero como en la plantación (Sempere y Santamarina, 1991).

Las micorrizas funcionan como un sistema de absorción que se extiende por el suelo y es capaz de proporcionar a la planta agua y nutrientes como son el nitrógeno y fósforo, y proteger las raíces contra algunas enfermedades. El hongo por su parte recibe de la planta azúcares y carbohidratos provenientes de la fotosíntesis.

En la formación de las micorrizas se descubre una gran gama de rasgos de parasitismo tanto de la planta superior como del hongo asociado. Los hongos formadores de micorrizas penetran de manera variable por la corteza de la raíz afectada, hasta la endodermis como máximo. Pueden desarrollarse principalmente en los espacios intercelulares o penetrar también en el interior de las células corticales, existiendo entre ambas formas con características intermedias.

## **1 Clasificación de las Micorrizas**

Harley & Smith (citado por Martínez, 1999), proponen una clasificación de las micorrizas que se basa en las características morfológicas de la infección y en los taxones de los simbioses, distinguiendo siete tipos: ectomicorrizas, endomicorrizas o micorrizas vesículo-arbusculares (VA), ectendomicorrizas, arbutoides, monotropoides, ericoides y orquidioides (figura 5). Los grupos más importantes pertenecen a las ectotróficas y endotróficas y sobre las cuales se hará referencia en las siguientes páginas.

En la naturaleza existen plantas que pueden presentar una clase de micorriza como es el caso de *Nothofagus* que se asocia a ectomicorriza, mientras que otras se relacionan con más de una, como sucede en ciertos grupos de plantas que tienen micorrizas formadoras de manto o ectomicorrizas y micorrizas VA, como es el caso de Mimosaceae, Casuarinaceae, Myrtaceae, Caesalpinaceae, entre otras.

Denominación Clásica	Denominación Actual	Características
Ectotróficas	Formadoras de Manto(sheating)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forman "manto" que cubre la raíz.</li> <li>- Hifas sólo intercelulares que forman la red de Hartig.</li> <li>- Hongo de micelio septado</li> </ul>
	Vesículo-arbusculares (VA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo mayoritario del hongo dentro de la raíz</li> <li>- Hifas externas no formadoras de manto</li> <li>- Micelio no septado, salvo en hifas viejas</li> <li>- Hifas inter e intracelulares: las intercelulares no forman red de Hartig, las intracelulares forman arbusculos y vesículas.</li> </ul>
Endotróficas	Ericoides	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rudimento de manto.</li> <li>- Hifas inter e intracelulares forman masa compactas que pueden ser lisadas o digeridas</li> <li>- No se forman vesículas ni arbusculos</li> </ul>
	Ericáceas Arbutoides	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forman manto</li> <li>- Hifas intra e intercelulares: las intercelulares no forman red de Hartig</li> </ul>
( Ectendotróficas)	Monotropoides	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forman manto y red de Hartig</li> <li>- Haustorios intracelulares no ramificados</li> <li>- Los micelios de los hongos pueden formar ectomicorrizas con plantas cercanas</li> </ul>
	Orquidáceas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La planta huésped tiene un período de su ciclo de vida heterótrofo durante el cual, para sobrevivir, necesita ser infectada por un hongo micorrízico</li> <li>- La infección del huésped por el hongo puede evolucionar a micorriza o parasitismo</li> <li>- No forman manto ni red de Hartig</li> </ul>

Figura 3: Clasificación de las micorrizas (Azcón-Aguilar y Barea, 1980)

## 1.1 Endomicorrizas

A nivel mundial, las micorrizas más extendidas son las de tipo vesículo-arbuscular (VA) o endomicorrizas. Este tipo se encuentra en una amplia diversidad de plantas; en la mayoría de las plantas agrícolas y árboles forestales, existiendo en la mayoría de las Angiospermas y muchas Gimnospermas (Harley y Smith, 1983).

Las asociaciones VA pertenecen a la clase Zigomicetes y son el resultado de la colonización de raíces jóvenes por hongos de las familias: *Gigasporaceae*, con los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora*; *Glomaceae* con los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*; y *Acaulosporaceae* con los géneros *Acaulospora* y *Entrophospora* (Morton y Benny, citado por Brundret et al, 1996).

En las endotróficas, el hongo no forma manto sobre la raíz, y las hifas penetran en el interior de las células de la corteza (figura 4).

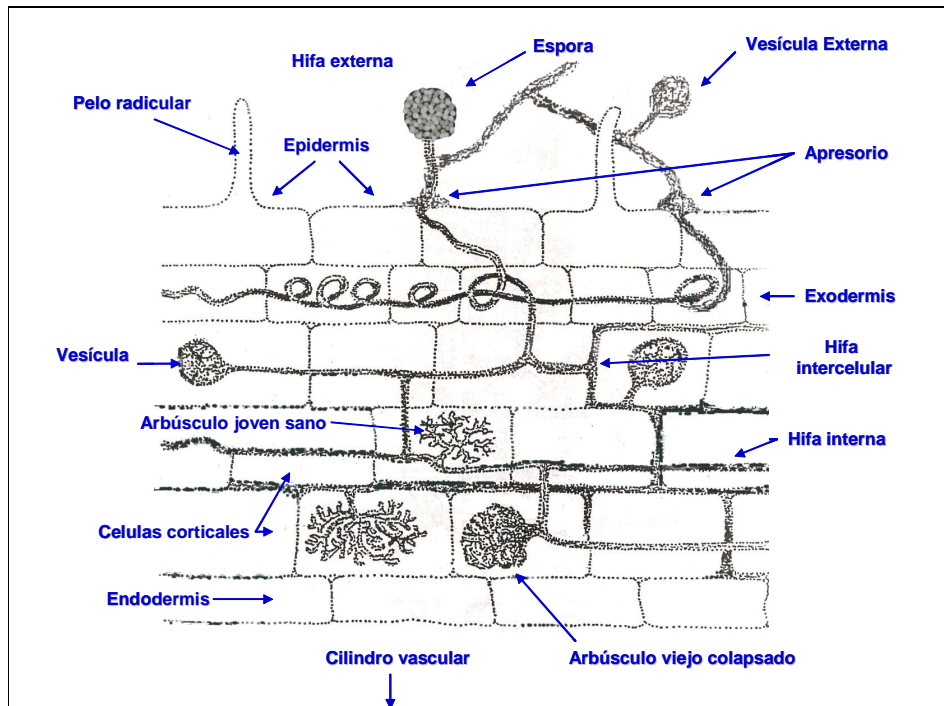


Figura 4: Anatomía de una micorriza Vesículo-arbuscular

Las endomicorrizas se caracterizan por la producción de estructuras llamadas arbúsculos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos) (figura 5). Estas últimas, son estructuras globosas inter o intracelulares irregulares cuya función es actuar como órganos de reserva de lípidos. En cambio, los arbúsculos son considerados los sitios de mayor intercambio simbiótico con la planta hospedante en la cual se realiza la transferencia de nutrientes (Brundett et al, 1996).

La infección se desarrolla a partir de las hifas de una espora (clamidiospora, esporocarpo) en germinación, formando un apresorio sobre la superficie de la raíz, hasta llegar a las células de la epidermis. Las hifas se dispersan inter e intracelularmente a través de la corteza externa, proliferando en las capas corticales más internas formando arbúsculos. Éstos se desarrollan dentro de la célula infectada ramificándose, repetidamente, en forma dicotómica. Posteriormente las estructuras vesiculares se desarrollan inter e intracelulares a lo largo, o en el extremo de las hifas, para posteriormente formar las esporas. Estas esporas resisten condiciones adversas en el suelo tales como el calor y sequía y germinan cuando las circunstancias son favorables (Colmenares, 2001).

La intensidad de la infección por VA puede estar regulada por varios factores, entre ellos: la nutrición de la planta y fertilización, pesticidas, intensidad luminosa, humedad del suelo, pH, y la susceptibilidad de la planta (Colmenares, 2001).



Figura 5: Raíz de *Castanea sativa* (castaño) con presencia de hifas y vesículas de *Glomus intraradices*

Los hongos VA son importantes en el establecimiento, sobrevivencia y crecimiento de las plantas colonizadoras. Indirectamente, los VA facilitan la estabilización de los ecosistemas dunarios mejorando la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes, especialmente fósforo. Además, contribuyen a la estabilización de estos ecosistemas por la formación de agregados de arena.

Algunos estudios sobre dinámica del fenómeno micorrízico en ecosistemas dunarios permiten indicar que existen cambios en la presencia y abundancia de los hongos simbiotes debido a las condiciones climáticas y estado fenológico de los hospedantes (Godoy y González, 1994).

## 1.2 Ectomicorrizas

Las asociaciones ectomicorrízicas (ECM) son mutualísticas entre un hongo superior y plantas Gimnospermas o Angiospermas pertenecientes a ciertas familias.

Dentro del total de plantas que presentan asociaciones micorrízicas, sólo el 3 al 5% de los vegetales de todo el mundo establecen este tipo de relaciones (Trappe, 1977). A pesar de ello, su importancia en el mundo forestal es enorme debido a que se trata de especies vegetales de gran interés económico y ecológico. Entre ellas se encuentran las *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*, etc. (Martínez, 1999), siendo algunos géneros como *Pinus*, *Fagus*, *Larix*, *Picea* (Álvarez, 1991) o *Nothofagus*, obligadamente micorrízicos. Por otro lado, algunas ectomicorrizas producen cuerpos frutales de alto valor comercial como son las trufas, boletos, lactarius, morchelas, entre otras. Debido a esta relación simbiótica, la estrategia para su utilización en plantación y reforestación puede ser orientada tanto hacia la producción de madera como hacia la producción de hongos (Becerril, 1996).

Las ectotróficas, principalmente, incluyen a los Basidiomycetes, Ascomycetes y algunos Zygomycetes, las cuales forman un verdadero manto de hifas que recubre las raíces. Este manto, al penetrar en los espacios entre las células corticales, desarrolla una gran red de hifas llamada red de Hartig (figura 6). Sin embargo, ambas estructuras pueden presentar diferentes grados de desarrollo.

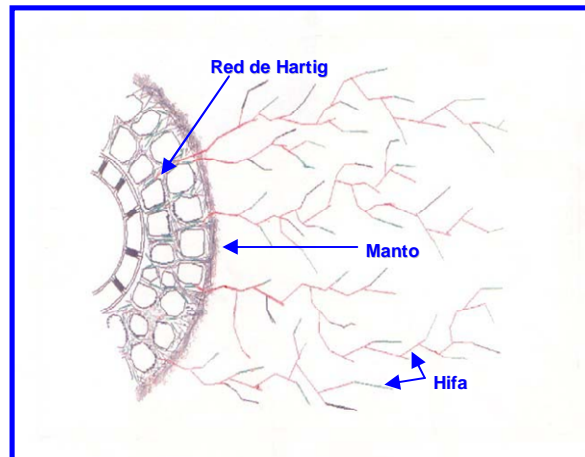


Figura 6: Esquemas de corte transversal de raíz con presencia de ectomicorriza

Las asociaciones ectomicorrícicas son formadas predominantemente sobre las puntas de las raíces finas del hospedante, distribuyéndose irregularmente a través del perfil del suelo, siendo más abundante en las capas superiores del suelo conteniendo humus que en capas bajo el suelo mineral (Brundrett et al, 1996). Las hifas de estos hongos se encuentran distribuidas ampliamente en el suelo, prestando una importante función en el ciclo de nutrientes de los ecosistemas forestales.



Figura 7: Raíces bifurcadas de *Pinus radiata*

Externamente, las ectomicorrizas generan un engrosamiento de las raíces terminales provocado por el manto fúngico, generando una división radicular intensa que da lugar a variadas formas ya sea de tipo dicotómica, pinnada, tuberosa, etc. (figura 7).

A través de su micelio, los hongos ectomicorrícicos pueden generar fructificaciones, ya sea sobre la superficie del suelo o en forma subterránea. Estas pueden ser utilizadas para fines de investigación en la identificación de las especies ectomicorrícicas, o para realizar trabajos de aislamiento de hongos a través de técnicas de cultivo de tejidos. En la figura 8 se muestra una callampa tradicional y las partes principales que la componen.

Algunos hongos son bastante específicos como *Boletus betulicola* sobre *Betula spp*, mientras que otros tienen un amplio rango de hospedantes como *Pisolithus tinctorius*, el cual forma ectomicorrizas con más de 46 especies de árboles pertenecientes como mínimo a ocho géneros (Sylvia, 2000).

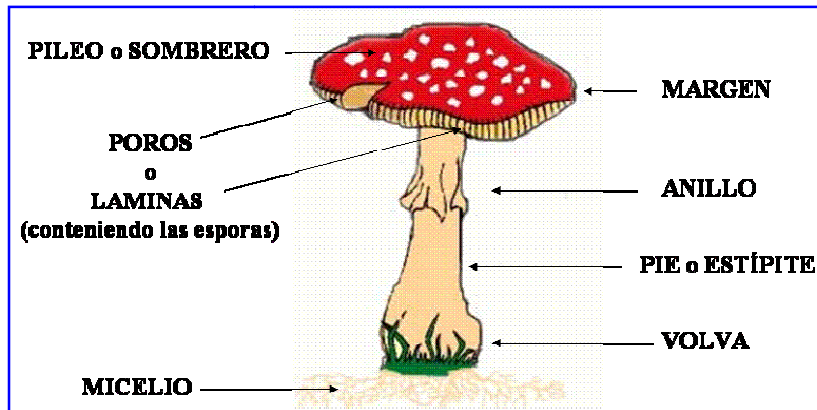


Figura 8: Partes principales de una callampa tradicional o cuerpo frutal