

## ECTOMICORRIZAS: APLICACIONES EN RESTAURACIÓN DEL PAISAJE Y EN CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES

Morcillo M\*, Sánchez M\*.

\*Micología Forestal & Aplicada. Rbla Arnau 6 Vilanova i la Geltrú 08800 Barcelona. Spain

[micologiaforestal@micofora.com](mailto:micologiaforestal@micofora.com) [www.micofora.com](http://www.micofora.com)

La mayoría de las setas que recogemos en nuestros bosques viven asociadas a las raíces de las plantas que les rodean, manteniendo una relación mutualista que permite la estabilidad de todo el ecosistema. Este tipo de relación, llamada micorriza y entre estas, las ectomicorrizas, presentan grandes aplicaciones en silvicultura, tanto en el establecimiento de las plantaciones, como en la producción y aprovechamiento de hongos con alto valor comercial.

La biotecnología ha permitido reproducir muchas de las asociaciones naturales y ha conseguido favorecer que se produzcan de forma controlada, pero aún se está lejos de poder hacerlo absolutamente con todo tipo de plantas.

Con el estudio del papel de las micorrizas en el ecosistema forestal nos damos cuenta de la importancia del papel de los hongos en los bosques. La ausencia de las especies características de cada comunidad puede comportar riesgos en el buen funcionamiento de los bosques. Este punto es especialmente interesante en zonas donde se quiera recuperar cultivos abandonados en los que el tratamiento de la tierra o los monocultivos hayan desplazado irreversiblemente la flora edáfica primigenia. Sin entrar en la polémica de si es o no es necesario intervenir en la sucesión, indicamos simplemente que está al alcance de la técnica producir inóculos con las diferentes especies características de una zona, para potenciar su presencia y, de esta manera, facilitar la micorrización y por tanto la supervivencia de las especies forestales.

### ¿Qué hacen las ectomicorrizas?

Actualmente existen más de 10.000 publicaciones relacionadas con las micorrizas. La presencia constante de las micorrizas en la biosfera ha llevado a investigadores de todo el mundo a dilucidar cuáles son, cómo son y qué intercambios hay entre los dos componentes de las simbiosis. Es interesante remarcar este punto para darnos cuenta de que no estamos hablando de un hecho aislado, poco estudiado y de resultados imprevisibles o desconocidos. Simultáneamente, el hecho de que el estudio de las micorrizas tenga 100 años de vida sugiere que aún es una ciencia lo suficientemente joven como para que constantemente se puedan aportar nuevos datos y nuevas técnicas. Existe una base sólida y fehaciente de muchos de los procesos implicados y los efectos fisiológicos que provocan, y a la vez existe un campo amplio para desarrollar estudios y tecnología aplicada.



Como primera aproximación general se puede decir que en las raíces micorrizadas se

produce un intercambio de sustancias entre la planta y el hongo. Mientras la primera nutre al hongo con una parte de sus productos elaborados como son los azúcares (polisacáridos y disacáridos) o vitaminas, el hongo degrada, absorbe y traslada selectivamente a la planta ciertos nutrientes. Estos nutrientes pueden ser degradados por el metabolismo fúngico pero no pueden ser absorbidos por la raíz de las plantas. Se da la paradoja que muchas plantas sufren de falta de nutrientes que existen en el suelo circundante, pero que no pueden absorber por falta de hongos micorrícicos. El micelio del hongo actúa a su vez como reservorio de nutrientes y agua. Puede almacenar sustancias nocivas para las plantas y evitar su toxicidad (Wilkins, D.A. 1991). Este aspecto es interesante para vegetales que viven en suelos contaminados por metales pesados y en revegetación de minas abandonadas.

El segundo punto crucial es la posibilidad que tiene el hongo de prospectar el suelo mediante la minúscula red que forma el micelio, mucho más amplia y extensa que cualquier sistema de raíces, buscando nuevos nutrientes y mayormente agua.



El tercer gran bloque de efectos son los relacionados con la posición del hongo en las raíces. Esta posición privilegiada en la llamada rizosfera (zona de influencia de las raíces) implica todo un conjunto de efectos originados por sustancias relacionadas con el metabolismo fúngico, que protegen las raíces del resto de los habitantes del suelo, algunos potencialmente peligrosos para la planta y facilitan la supervivencia de aquellos que son beneficiosos (Duchesne, L.C. et al. 1989).

### Las micorrizas en los viveros de plantas autóctonas

Algunos viveros forestales emplean como substrato suelos de bosque o de áreas vecinas. Estos aportan esporas de hongos micorrícicos, fragmentos de raíces micorrizadas, etc., que



actúan como inóculos de las nuevas plantas. En estos casos, la aparición de micorrizas suele ser errática y sin ningún

control. Por otra parte, el empleo de suelos no esterilizados suele significar la aparición de enfermedades de cuello de raíz. Estas suelen convertirse en plagas difíciles de erradicar, menguando notablemente el número de plantas del vivero.

En el caso que se empleen substratos pasteurizados, con ausencia absoluta de micorrizas, deberá apoyarse a los árboles continuamente con fertilizantes. Este fenómeno se manifiesta en toda las coníferas estudiadas (Molina 1.984)

La mayoría de las plantas de vivero se micorrizan a través de esporas que provienen del aire o del agua de riego. Existen algunos hongos especializados en micorrizar plántulas, entre ellos el más frecuente es *Telephora terrestris*. Este hongo infecta los viveros produciendo reducidos efectos sobre el desarrollo del árbol, impidiendo por su eficiencia en la competencia por el espacio que se establezcan otros hongos más beneficiosos.

Las técnicas actuales permiten estudiar y seleccionar las especies fúngicas que proporcionen el máximo rendimiento a las plantas.

La selección de los hongos para su inoculación en plantas de vivero se orienta a obtener:

- ♦ **Aumento de la captación de nutrientes y agua.** La resistencia a las condiciones de sequía es uno de los aspectos más interesantes de las micorrizas, es su capacidad para favorecer la captación de agua en zonas secas (Duñabeitia, M.K et al. 1994). Estudios de Theodorou, Bowen, Hackskaylo y otros, confirman el aumento de la resistencia, supervivencia y productividad de las plantas micorrizadas en condiciones de sequía, especialmente en plantas jóvenes.

- ♦ **Mejor adaptación a las condiciones del medio,** especialmente en:

Suelos contaminados: la fisiología del hongo le permite soportar concentraciones elevadas de metales pesados (Pb, Zn, Hg,...) y de elementos tóxicos para las plantas, de manera que los capta y elimina de la zona de absorción de las raíces, permitiendo a los árboles vivir en zonas contaminadas. Este hecho es de gran importancia a la hora de plantearse repoblaciones en minas abandonadas, centrales nucleares.

Suelos pobres: en general, se puede indicar que la reforestación en suelos pobres y con coníferas es recomendable que se haga con árboles micorrizados (Alvarez, I.F. 1994). Los caducifolios orientados a terrenos fértiles es recomendable cultivarlos sobre substratos abonados o con fertilización. Las formas intermedias son variables, según los hongos micorrícicos y el tipo de abono.

Zonas áridas: amplias zonas peninsulares reciben pluviometrías inferiores a 600 mm. La mayoría de ellas son áreas térmicas y de naturaleza calcárea. Estos ambientes áridos, han seleccionado una flora fúngica peculiar. Su aislamiento e introducción en viveros forestales favorece notablemente la supervivencia del plantel.

Zonas quemadas: las micorrizas colaboran en la supervivencia de las especies forestales en zonas degradadas (A.E. Jansen, 1990) pero es necesario trabajar para evitar la degradación. Cuando esta se produce, las micorrizas ayudan hasta un cierto límite, pero a veces es irreversible.

Suelos roturados: Si existen deficiencias causadas por un abonado escaso, por tratarse de terrenos fuertemente lixiviados, etc., el crecimiento de las plantas se ralentizan y el de los hongos es deficiente. Por otro lado, las relaciones simbióticas se fomentan. En estas ocasiones se ha comprobado que la adición de micorrizas hace que compuestos inaccesibles para el metabolismo de la planta sean degradados y transportados a las raíces. El crecimiento de la planta se reanuda y los hongos pueden recibir glúcidos procedentes de la fotosíntesis. Este sistema puede convertirse en la única fuente de fósforo y nitrógeno para las plantas en suelos cuya deficiencia en estos elementos sea grave y por tanto, solo las plantas micorrizadas, podrán soportar con éxito y lograr un crecimiento normal en estas condiciones.

◆ **Protección frente a patógenos del suelo.**

Los hongos ectomicorrícicos compiten en el espacio y el tiempo con diversos hongos patógenos de la rizosfera. Múltiples experiencias en laboratorio y campo han mostrado que una micorrización temprana de las plántulas reduce notablemente la incidencia de enfermedades como *Pythium sp.* y *Fusarium sp.*, así como otros hongos causantes de "damping off".

**Síntesis de los efectos de la aplicación de micorrizas seleccionadas**



◆ **Aumento de la vigorosidad de la parte aérea.** Los resultados obtenidos por numerosos estudios demuestran que una micorriza bien seleccionada puede inducir un crecimiento hasta tres veces superior que un árbol sin micorriza preseleccionada.

◆ **Aumento de la vigorosidad y eficacia de la parte subterránea.** El número total de raíces, la cantidad de raíces secundarias y

la eficacia en la captación se ven claramente favorecidas.

- ◆ **Disminución de bajas por trasplante o los fallos de germinación en repoblaciones con semilla.** La mejor adaptabilidad y vigorosidad de los árboles les permite sobrevivir mejor y sufrir menos las consecuencias del paso de un ambiente extremadamente favorable a un medio hostil.
- ◆ **Disminución de la probabilidad de "Damping off" (necrosis de cuello de raíz) en los viveros o en el campo.** La protección adicional que proporcionan las micorrizas contra los patógenos por un lado, disminuye la probabilidad de que se llegue a producir la plaga y, por otro lado, no es tan necesario el tratamiento con pesticidas y otros productos químicos que siempre comportan algún efecto secundario negativo.

**Rentabilidad**



Referirse a las micorrizas como "abonos naturales" es una simplificación que, aunque muy didáctica, se acerca mucho a la realidad. Si además añadimos que las micorrizas quedan "adheridas" al árbol y por tanto continúan haciendo su efecto mientras el árbol se adapta a las condiciones de su hábitat definitivo, acabaremos de redondear lo que puede significar el uso de las micorrizas. Para los viveristas que producen árboles, el hecho de trabajar con micorrizas les puede suponer tener árboles bien desarrollados en menos tiempo y con menos bajas potenciales. Además ofrecerán a sus clientes un producto de alta calidad, con más posibilidades de supervivencia, en el caso de ser plantado en zonas áridas o ecológicamente difíciles.

**CULTIVO DE HONGOS MICORRÍCICOS COMESTIBLES**

Con el objetivo de conseguir un uso múltiple de nuestros bosques, a la vez que aportamos alternativas a los cultivos tradicionales en zonas

rurales, aparece el cultivo de setas micorrícicas comestibles.

La recolección comercial de setas silvestres comestibles se ha convertido en una industria multimillonaria, dónde los beneficios conseguidos por su venta pueden llegar a ser tan importantes como los obtenidos por la misma madera (Oria de Rueda, 1988).



La avances en biotecnología han permitido mejorar las técnicas de micorrización, ya sea

en vivero o en árbol silvestre. Aun así, cada vez toma más importancia la buena gestión agronómica y/o forestal para mantener e incentivar la producción de setas (Pilz, D y Molina, R, 1996).

En un mismo sistema radical, existe una sucesión fúngica donde diferentes especies de hongos conviven y se desplazan a lo largo del tiempo, dependiendo de la evolución del sistema radical, del ambiente o de las posibles intervenciones humanas (micorrización dirigida). Ciertos hongos viven mejor asociados a raíces de árboles jóvenes, como es el caso de los níscalos (*Lactarius spp.*) o los boletos viscosos (*Suillus spp.*). Dentro de estos, los *Suillus* están mejor adaptados a las raíces jóvenes periféricas, mientras que los *Lactarius* los encontramos preferentemente en las raíces jóvenes cerca del tronco (Olivier, J-M. 1998). Para el cultivo de este tipo de hongos, una buena micorrización inicial será muy ventajosa para completar el ciclo.

Por otro lado existen hongos mejor adaptados a vivir asociados a árboles adultos. Cuanto más viejo es un árbol, más 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 (Ana-Magan, 1998). Entre ellas están los hongos o boletos (*Boletus spp.*), la trufa negra (*Tuber melanosporum*) y un largo etc. Los plantones micorrizados con este tipo de setas tardan muchos años en producir (10-15 años) y no es posible asegurar el mantenimiento de la micorrización a lo largo de tantos años. La trufa es una excepción, por tratarse de un hongo competitivo frente a otros organismos del suelo y plantas que le rodean, debido a su capacidad

de generar sustancias alelopáticas y desarrollarse en un ecosistema particular.

## LA TRUFA NEGRA



Considerado el diamante negro de la cocina, aparece de forma natural principalmente en España, Francia e Italia. La producción

natural está disminuyendo drásticamente y el mercado peligra sin su cultivo.

La trufa negra requiere de unas condiciones de clima mediterráneo templado-húmedo o frío subhúmedo, con una pluviometría anual entre 600-900 mm. Crece en suelo calizo de estructura y composición particulares y bien conocidas, dónde la microfauna edáfica toma cada vez mas importancia (Callot, G. 1999).

En España existen 1.000.000 de hectáreas de superficie potencialmente trufera, donde se plantan unos 50.000 árboles micorrizados cada año (Reyna, S. 1999). Aunque la aplicación de técnicas agronómicas adecuadas, permite su cultivo mas allá de las zonas calizas naturales (Hall, I. 1994).

El cultivo tradicional de este hongo se realiza a partir de plantones micorrizados, típicamente de avellano (*Coryllus avellana*), encina (*Quercus ilex*) y roble (*Q.faginea* y *Q. pubescens*), que una vez plantados empezaran a producir pasados 6-8 años.



Este cultivo está subvencionado en algunas Comunidades Autónomas españolas, como Valencia y Aragón, donde las reforestaciones en zonas potencialmente truferas, deben realizarse con planta previamente micorrizada.

Las producciones dependen de muchos factores (densidad de plantación, tipo de árbol huésped, riego). Al cabo de 10 años, cuando un 50% de

los árboles están produciendo o han producido y con producciones de 15-20 Kg./Ha, podemos considerar un buen resultado. Existen resultados de 100Kg/Ha después de 11 años en avellano y de 150 Kg./Ha después de 13 años en cultivos no intensivos. Con cultivo intensivo sobre roble pubescente se han obtenido 110 Kg./Ha después de 14 años. Sin embargo plantaciones de 30 años de edad, con rendimientos de 50-60 Kg /Ha/año son la media. (Hall, I, 1994; Chevalier, G. 1998).

También se está trabajando en la creación y regeneración de truferas en bosque, basadas en la recuperación de las condiciones de bosque abierto (podas, aclareos, labores) y mediante inoculación de árboles adultos (Reyna, S.1999)

Se ha avanzado mucho en las técnicas de micorrización y poco en las agronómicas. Quedan todavía muchos factores por estudiar y controlar (riego, fertilización, poda, arado, relaciones genéticas...).

#### Los niscalos



Existen diferentes tipos de niscalos, que establecen micorrizas forzadas sobre coníferas (pinos, abetos) o plantas de su alrededor, ya sean jaras, enebros, brezos, madroños, boj, incluso encinas. Dos grandes grupos son interesantes para su cultivo: los de latex viscoso, y dentro de estos el *Lactarius sanguifluus*, de amplio espectro de árboles y ecología, aunque agradece las zonas calcáreas; y el *L. vinosus*, litoral de suelos ácidos. Entre los niscalos de latex anaranjado, utilizamos el *L.deliciosus*, de amplia ecología.

Para la producción de árboles micorrizados se aprovechan las diferencias ecológicas de cada especie, de tal forma que una vez plantado y según la zona, se seleccionará de forma natural la especie de niscalco mejor adaptada.

El proceso de obtención de **plantones micorrizados** sigue el proceso que se puede observar en el esquema. Un factor importante para conseguir la síntesis micorrícica es que las plantas en el momento de la inoculación deben

poseer o estar desarrollando raíces secundarias (Torres, Honrubia. 1993). La micorrización es patente en unas semanas y puede ser analizada mediante un test cualitativo CUG, basado en la actividad enzimática (Gracia, E. 1993).



Los pinos de una savia, están preparados para el trasplante. La micorrización con *Lactarius deliciosus* mejora el crecimiento y supervivencia de los pinos en el trasplante. Este efecto es más patente cuanto más duras son las condiciones ambientales (Rodríguez Barreal, J.A.1994).

De 3 a 4 años son necesarios para que el pino almacene suficientes reservas que permitan la fructificación de los niscalos, que se dará en otoño, cuando las condiciones ambientales sean las adecuadas.

#### EL BOLETO



Investigaciones recientes apuntan a una disminución en la cantidad de boletos recogidos. La razón es difícil de analizar; se manejan hipótesis como la edad de los bosques o la evolución hacia la elección de especies con gran interés como el abeto de Douglas (que parece no ser un buen huésped para nuestro bolete).

En micorrización dirigida se trabaja con las especies *B. edulis*, *B. aereus*, *B. pinophilus*, *B. reticulatus* (*B. aestivalis*) y *B.fragans*. Actualmente existen parcelas experimentales de castaños, abetos rojos, pino negro, pino insignis, etc. micorrizadas con bolete.

El porcentaje de raíces micorrizadas está entre el 80-22% (Zuccherelli, G. 1988) y es difícil asegurar el mantenimiento de la asociación, ya que habrá que ser pacientes, debido a que las fructificaciones se darán en 10-15 o más años, bien se apliquen choques térmicos, riego o cualquier otra técnica (Olivier, J-M. 1998).

El boleto fructifica en zonas de gran diversidad ecológica, asociado a bosques adultos. Principalmente en suelos ácidos ( $\text{pH} < 5.5$ ), pobres, no muy profundos, de textura variada, asociado a una flora caracterizada por especies como el brezo, la brecina y el arándano. Crece tanto bajo bosques abiertos de hoja caduca como coníferas. Las producciones llegan a perderse si el bosque se cierra en exceso.

Se conocen con bastante precisión la biología y los factores que incitan la producción de cada especie de boleto, así como algunas actuaciones agronómicas: *B. edulis* fructifica ante un choque de frío mientras que *B. aereus* responde a un choque de agua, donde se observa una relación lineal entre la

disponibilidad de agua y el peso de los boletos. También se ha comprobado cómo a diferencia de otras setas un arado hará que perdamos gran parte de la producción. (Olivier, J-M. 1998; Hall, I. 1998; Rodríguez Fernández, A. 1997)



Ya en 1975 se publicaron estudios sobre el cultivo de esta seta a partir de la micorrización directa en árbol adulto e incluso la inoculación de bosques que ya presentaban boletos, cuadruplicando las producciones (Veselkov, J-M. 1975). Hoy en día se sigue trabajando en esta línea (Rodríguez et al. 1993) que permite obtener producciones a corto plazo. El uso de las herramientas que proporcionan los estudios anteriores permite rendimientos por hectárea y año entre los 130-180 Kg de boletos (Fernández de Ana Magán, F. 1999).

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ Alvarez, I.F. et al. 1994. Field Performance of Containerized Douglas-fir Seedlings Inoculated with three Hypogeous Fungi. Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development. Proceedings of the fourth European Symposium on Mycorrhizas. Granada. Spain.
- ◆ Callot, G. 1999. La truffe, la terre, la vie. INRA Editions. France.
- ◆ Chevalier, G. 1998. The truffle cultivation in France: assessment of the situation after 25 years of intensive use of mycorrhizal seedlings. In Proceedings of the first International meeting on " Ecology, Physiology and Cultivation of edible mycorrhizal mushrooms". Upsala. Sweden.
- ◆ Duchesne. L.C. et al. 1989. Disease Suppressin by The Ectomycorrhizal Fungus *Paxillus involutus*: contribution of oxalic acid. *Can. J. Bot.* 67, 2.726-2.730.
- ◆ Duñabeitia, M.D. et al. 1994. Effect of Inoculation with *Laccaria bicolor* on Drought Tolerance and Field Outplanting of Douglas-Fir Seedlings. Mycorrhizas in Integrated Systems from Genes to Plant Developement. Proceedings of the fourth European Sympsium on Mycorrhizas. Granada. Spain.
- ◆ Fernández de Ana Magán, F.J. 1998. O Souto, un ecosistema en perigo.. Xunta de Galicia.
- ◆ Fernández de Ana Magán, F. 1999. Estado actual del cultivo de *Boletus edulis*. En "Cultivo de hongos comestibles micorrícicos. [CD-ROM]". Colinas, C. y Fischer, C. (Eds.). Publ. Univ. de Lleida
- ◆ Gracia, E, et al. 1993. Test de micorrización para pinos productores de niscalos. Análisis cualitativo. Actas Congreso Forestal Español. Lourizán. Tomo III
- ◆ Hall, I. et al. 1998. Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies 2. *Boletus edulis*. *Economic Botany* 52 (1) pp. 44.56.
- ◆ Hall, I. 1994. The black truffle. New Zealand Institute for Crop & Food Research. Christchurch, New Zealand.
- ◆ Marx, D.H. 1991. Production of Ectomycorrhizal Fungus Inoculum. Methods and Principles of Mycorrhizal Research. University of Florida. USA:
- ◆ Olivier, J-M. et al (1998). Mycorrhization et problèmes de compétitions. *Le trufficulteur français*, nº 22.
- ◆ Olivier, J-M. et al. (1998). Present research on edible *Boletus* in France. In Proceedings of the first International meeting on " Ecology, Physiology and Cultivation of edible mycorrhizal mushrooms". Upsala. Sweden.
- ◆ Oria de Rueda, J.A. (1988). Bases para la silvicultura y ordenación de montes productores de hongos micorrizógenos comestibles. Montes.
- ◆ Pilz, D. and molina, R. (1996). Managing forest ecosystems to conserve fungus diversity and sustainwild mushroom harvests.
- ◆ Reyna,s. 1999. Tesis doctoral. Aproximación a una selvicultura trufera. E.T.S.I. Montes. UPM. Madrid.
- ◆ Rodriguez Barreal, J.A. et al. 1994. Protective Reforestation with mycorrhizal *Pinus halepensis* Mill. in Almeria (Spain). In Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development. Proceedings of the fourth European Symposium on Mycorrhizas.
- ◆ Rodriguez Fernandez, A, et al. 1997. Influencias de factores climáticos en la productividad de tres especies del genero *Boletus* asociadas con híbridos de *Castanea*. *Invest. Agr.: Sist. recur. For.* Vol. 6 (1y2).
- ◆ Rodriguez Fernández, A, et al. 1993. Evolución de una colonia de un hongo ectomicorrícico *Boletus fragans* bajo castaños híbridos. Actas Congreso Forestal Español. Lourizan. Tomo III: 409-414.
- ◆ Torres, P. Honrubia, M. 1993. Ectomicorrizas de *Pinus halepensis* Miller. Actas Congreso Forestal Español. Lourizan. Tomo III. pp. 421-426.
- ◆ Veselkov, J-M. 1975. Multiplication artificielle e *Boletus edulis* en foret. *Rastitel'nye Resursy* 11:574-578.
- ◆ Wildins. D.A: 1991. The Influence of Sheating Ectomychorrizae of Trees on the Uptake and Toxicity of Metals. *Agric. Ecosystems. Environ.* 35, 245-260.
- ◆ Zuccherelli, G. 1988. First Experiences with Production of Forest Plants Inoculated with *Boletus edulis*.. *Monti e Boschi* nº 39 (3) 11-14. Italia.

