0004361

INFOR
378
C.2

INFOR
Instituto Forestal

HONGOS MICORRICICOS COMESTIBLES

OPCIÓN PRODUCTIVA APLICADA A LAS PLANTACIONES FORESTALES

ASPECTOS GENERALES

PATRICIO CHUNG GUIN-PO

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA

GOBIERNO DE CHILE
CONICYT
FONDEF

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL 06 ABR 2006

Proyecto FONDEF D01 I 1168

Hongos Micorrícicos Comestibles:
Una Alternativa para Mejorar la Rentabilidad
de Plantaciones Forestales

HONGOS MICORRICOS COMESTIBLES

OPCIÓN PRODUCTIVA APLICADA A LAS PLANTACIONES FORESTALES

ASPECTOS GENERALES

Patricio Chung Guin-po

Instituto Forestal
Sede Bío Bío
Concepción
2005

INFOR

Hongos Micorricicos Comestibles: Opción Productiva Aplicada a las Plantaciones Forestales. Aspectos Generales

Registro de Propiedad Intelectual N° 152931
ISBN: 956-8274-72-3

La información contenida en este documento es resultado del proyecto Fondef D01I1168 "Hongos Micorrícicos Comestibles: Una Alternativa para Mejorar la Rentabilidad de Plantaciones Forestales". Este documento fue financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico FONDEF de CONICYT.

El Autor agradece en forma especial al Sr. Alvaro Sotomayor G. por sus valiosos comentarios en la revisión de este texto.

Copyright©Instituto Forestal
Primera Edición 2005
Tiraje 500 ejemplares
Impreso por Trama Impresores S.A.

BIBLIOTECA
INSTITUTO FORESTAL

Indice

1 INTRODUCCIÓN 1

2 ASPECTOS GENERALES DE LAS MICORRIZAS 5

2.1 Clasificación de las micorrizas 7
2.1.1 Endomicorrizas 8
2.1.2 Ectomicorrizas 10

2.2 Interacciones micorrizas - organismos del suelo 12

2.3 Hongos micorrícicos en plantaciones forestales 13
2.3.1 Ventajas Biológicas 15
2.3.2 Ventajas Económicas 16
2.3.3 Ventajas Sociales 18
2.3.4 Ventajas Ecológicas 19

3 CULTIVO DE LOS HONGOS ECTOMICORRÍCICOS 20

3.1 Inoculación 21

3.2. Tipos de inóculos de hongos ectomicorrícicos 22
3.2.1. Micorrización mediante suelo de bosque 23
3.2.2. Micorrización mediante esporas 24
3.2.3. Micorrización mediante micelio 25

4 PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA FRUCTIFICACIÓN EN PLANTACIONES 27

4.1 Factores climáticos 28

4.2 Especie arbórea 29

4.3 Características del suelo 30

4.4 Clareos 31

4.5 Edad de la plantación 32

4.6 Tratamientos culturales 33
4.6.1. Fertilización 33
4.6.2. Control fitosanitario y de malezas 34
4.6.3. Riegos 35

4.7 Subsolado 35

5 MICORRIZAS ECTOTRÓFICAS EN CHILE 37

6 EXPERIENCIAS NACIONALES 40

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46

8 BIBLIOGRAFÍA 48

INSTITUTO FORESTAL

1. Introducción

Dentro de las plantaciones forestales establecidas en nuestro país, un porcentaje de ellas presenta una rentabilidad económica baja, especialmente en sitios marginales, pudiendo ser incluso negativa o tan baja que no permite generar incentivos a los silvicultores para su establecimiento. Por otra parte, el largo período de rotación de las especies nativas influye negativamente sobre los propietarios que deben esperar hasta el final de ésta para obtener los ingresos asociados a la cosecha, sin que se produzcan flujos de ingreso intermedios y constantes que hagan más atractiva la inversión.

La actual situación del bosque nativo es un resultado de intensos procesos de alteración, como la habilitación de terrenos para la agricultura o la sustitución de especies, entre otros, lo que ha generado una disminución de las áreas de distribución de las especies endémicas con la consiguiente pérdida de los ecosistemas (figura 1). El restablecimiento de estos bosques naturales puede llevar a riesgos de sobrevivencia, debido a la ausencia de las especies características de cada comunidad a causa de los tratamientos de la tierra o los monocultivos que han desplazado irreversiblemente la flora edáfica nativa. Para solucionar estos problemas se debe adecuar medidas integrales que incluyan los componentes social, ecológica y productiva de los bosques.



Figura 1: Sector cordillerano de la IX Región con evidente proceso de alteración.

Existe un juicio generalizado de que el bosque tiene como única opción productiva la madera y los subproductos generados de ella. Las rentas obtenidas por esta producción son logradas en lapsos de tiempo bastante largo, consiguiendo con ello un desarraigo entre el bosque y la comunidad. Lograr que la población rural se identifique con el bosque puede contribuir a solucionar problemas como la ocurrencia de incendios, despoblamiento rural, entre otros; además de involucrar a la comunidad en su manejo y cuidado y haciendo que lo sientan como algo que es necesario conservar (Sierra y Martinez, citado por Bonet, 1996). Esta identidad sólo se puede lograr si la comunidad rural ve en el bosque algo productivo y que le reporte beneficios periódicamente, evitando que generaciones enteras ignoren su cuidado y mantención (Oria de Rueda, 1991).

En tales condiciones la incorporación de hongos micorrícicos comestibles puede contribuir de forma significativa a mejorar el desarrollo productivo, social y económico de los bosques. La producción de hongos comestibles en bosques y matorrales (figura 2), constituye una de las principales riquezas forestales aunque, con frecuencia es ignorada o poco valorada (FAO, 1992).

INFOR



Figura 2: Fructificación de *Boletus loyo* en bosque de Roble-Raulí.

En general, al mencionar los productos forestales, se piensa exclusivamente en la madera lo cual carece muchas veces de sentido al comparar las rentas que se pueden obtener con otras producciones como son los hongos comestibles (Oria de Rueda, 1989, 1991).

En muchos bosques la producción de hongos micorrícicos comestibles da lugar a una renta superior a la de cualquier otro producto forestal (Oria de Rueda, 1991) sea madera, corteza o fruto, sobre todo si existen sitios en que la irregularidad climática y la degradación de los suelos no permite un rendimiento maderero elevado, tal como ocurre en muchos bosques naturales en Chile.

Los hongos silvestres comestibles constituyen un recurso natural renovable que, últimamente, está adquiriendo importancia en varias regiones de Chile. Una buena parte de estos hongos presentan asociaciones micorrícicas, es decir, además de formar hongos que pueden servir para el consumo humano, mantienen una asociación simbiótica con las raíces de ciertas plantas, particularmente con árboles forestales.

En Chile, no hay estudios de evaluación de la producción integral que se pudiera obtener en un bosque y tampoco otras que comparen rendimientos madereros con los de hongos y con los de otro tipo de producciones. Por consiguiente, los propietarios de estos bosques al no percibir los posibles ingresos a obtener, no se preocupan de compatibilizar la producción de madera con la de los hongos ni la de otros productos.

La incorporación de hongos micorrícicos comestibles de alto valor económico, puede generar un flujo de ingresos adicional en gran parte del período de rotación de un cultivo forestal, haciendo más atractiva la inversión en silvicultura. Adicionalmente, la naturaleza micorrícica de estos agentes tiene una positiva repercusión en el desarrollo de las plantas y en la disminución de los costos de conducción, mantención y cuidado del recurso. Ambos efectos, al igual que el flujo de ingresos adicional, también contribuyen a mejorar la rentabilidad de las plantaciones y pueden aumentar el interés de propietarios por invertir en el establecimiento de nuevas plantaciones forestales.

Por su parte, los hongos por sí solos ya son importantes tanto para la generación de ingresos estacionales y como alimentos para los habitantes de zonas marginales. Estos son un producto natural y altamente proteico, y cuyo consumo

en el último tiempo se ha intensificado en respuesta al mayor interés de las personas por una dieta más sana.

La tendencia productiva mundial ha sumado un fuerte componente medioambiental, cuya problemática puede ser abordada utilizando especies nativas que, con técnicas de cultivo adecuadas, se puede lograr un establecimiento y crecimiento mucho más rápido, obteniéndose conjuntamente productos comercializables intermedios como son los hongos comestibles, entregándoles a los propietarios un producto alternativo que aminore la presión por estos bosques. A esto se debe agregar que, la formación de pequeñas áreas productoras de hongos comestibles, junto con crear nuevas fuentes de empleo, permite incorporar a personas inactivas, en razón de limitantes en su edad, sexo, capacidad técnica o económica.

Los hongos comestibles presentes en los bosques de Chile, en sí, constituyen una riqueza forestal y su comercio adquiere cada día mayor importancia. Su producción en el bosque es variable y la posibilidad de obtener una producción de forma controlada de alguno de éstos mediante plantaciones de árboles micorrizados, ha hecho que actualmente muchos se hayan planteado la posibilidad de su cultivo.

En general, la producción de hongos no se tiene en cuenta a la hora de establecer las plantaciones y no por carecer de importancia. Esto se debe a la dificultad de poder cuantificarla; y que, finalmente, pueda repercutir en las ganancias del propietario. Para solventar este problema, son necesarios los estudios encaminados en este sentido y a la vez tratar de crear pautas de gestión de los bosques en el caso de que pueda ser viable su aprovechamiento y compatible con los otros fines, ya sea de producción maderera, protección de los recursos y otros. Además puede ser interesante conocer cuáles son las especies de hongos ectomicorrícicos que juegan un papel importante en estos sistemas para su posible uso en reforestación (Becerril, 1996).

Uno de los problemas asociado a la baja producción de hongos se refiere al establecimiento y manejo deficiente que afecta negativamente la zona edáfica lo que repercute en las fases productivas intermedias de la plantación. A lo anterior se debe agregar la escasez de información y conocimiento en el tema de los hongos micorricicos comestibles y de las asociaciones de éstos con especies forestales, lo que repercute en aspectos como la eficiencia en el crecimiento y sobrevivencia de las plantas, dado por el grado de eficiencia radicular aportadas por las micorrizas.

Uno de los aspectos de gran relevancia enfatizados en la última década, es

considerar prácticas de manejo silvicultural y de restauración ecológica en áreas degradadas, incorporando la aplicación de hongos micorrícicos en especies forestales, puesto que las plantas micorrizadas logran un mejor desarrollo frente a diversos factores bióticos y abióticos negativos, lo que favorece la estructura y estabilidad del ecosistema.

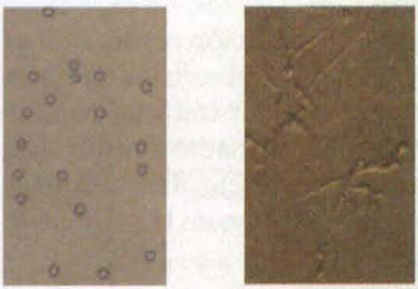
Para Chile es clara la oportunidad para iniciar líneas de investigación y de desarrollo innovativo que permitan conjugar aspectos como la recuperación de suelos degradados, la recuperación y enriquecimiento del bosque nativo, y el mejoramiento de las condiciones de establecimiento y sobrevivencia de las plantaciones, con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social como son los hongos micorricicos comestibles.

Finalmente, a través del proyecto FONDEF de CONICYT D01I1168 "Hongos micorrícicos comestibles: Una alternativa para mejorar la rentabilidad de plantaciones forestales", el Instituto Forestal, INFOR, aprovecha la oportunidad para presentar algunos antecedentes en el tema de los hongos micorrícicos comestibles que permitan dar una visión respecto a aspectos generales de las micorrizas, sus bondades, beneficios y ciertas consideraciones a tener en cuenta al momento de aplicar esta tecnología en las plantaciones forestales.

2. Aspectos generales de las micorrizas

Los hongos son organismos que, al contrario de las planta superiores, no poseen clorofila y son incapaces de absorber substancias 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).

El hongo se origina a partir de una espora o "semilla" microscópica (figura 3a), 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 reproductiva (figura 4), 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.



a b

Figura 3: Aspecto de esporas de *Morchella sp.*(a), y su germinación con la formación de las primeras hifas(b).

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 4: Micelio en el sustrato y 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 inóculantes 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 ambos, formas con características intermedias.

2.1 Clasificación de las Micorrizas

Harley & Smith (citado por Martinez, 1999), proponen una clasificación de las micorrizas que se basa en las características morfológicas de la infección y en los taxones de los simbiontes, 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, Casuarinacea, Myrtaceae, Caesalpinaceae*, entre otras.

Denominación Clásica	Denominación Actual		Características
Ectotróficas	Formadoras de Manto(sheating)		- Forman "manto" que cubre la raíz. - Hifas sólo intercelulares que forman la red de Hartig. - Hongo de micelio septado
	Vesículo-arbusculares (VA)		- Desarrollo mayoritario del hongo dentro de la raíz - Hifas externas no formadoras de manto - Micelio no septado, salvo en hifas viejas - Hifas inter e intracelulares: las intercelulares no forman red de Hartig, las intracelulares forman arbúsculos y vesículas.
Endotróficas		Ericoides	- Rudimento de manto. - Hifas inter e intracelulares forman masa compactas que pueden ser lisadas o digeridas - No se forman vesículas ni arbúsculos
(Ectendotróficas)	Ericáceas	Arbutoides	- Forman manto - Hifas intra e intercelulares: las intercelulares no forman red de Hartig
		Monotropoides	- Forman manto y red de Hartig - Haustorios intracelulares no ramificados - Los micelios de los hongos pueden formar ectomicorrizas con plantas cercanas
	Orquidáceas		- La planta huésped tiene un período de su ciclo de vida heterótrofo durante el cual, para sobrevivir, necesita ser infectada por un hongo micorrícico - La infección del huésped por el hongo puede evolucionar a micorriza o parasitismo - No forman manto ni red de Hartig

Figura 5: Clasificación de las micorrizas (Azcón-Aguilar y Barea, 1980).

2.1.1 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).

Los hongos que forman las asociaciones VA pertenecen a los Zygomycetes y son el resultado de la colonización de raíces jóvenes por hongos de las familias: *Gigasporacea*, 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 6).
Las endomicorrizas se caracterizan por la producción de estructuras llamadas

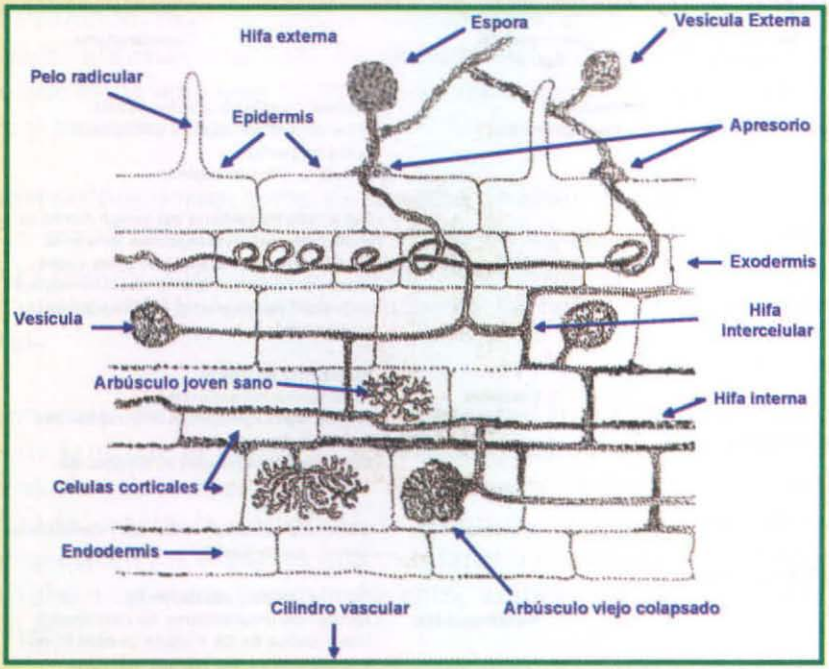


Figura 6: Anatomía de una micorriza Vesículo-arbuscular.

arbúsculos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos) (figura 7). 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 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, germinando 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).
Los hongos VA son importantes en el establecimiento,

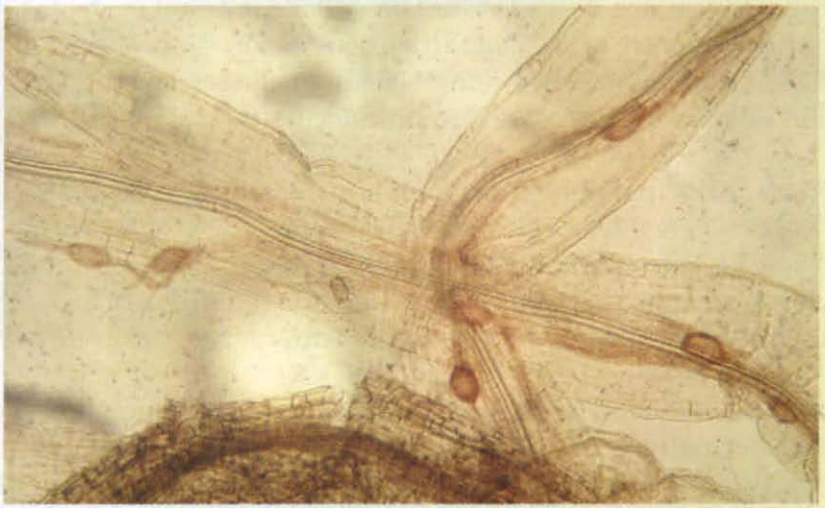


Figura 7: Raíz de *Castanea sativa* (castaño) con presencia de hifas y vesículas de *Glomus intraradices.*

sobrevivencia y crecimiento de las plantas colonizadoras. Indirectamente, los VA facilitan la estabilización de los ecosistemas dunarios mejorando la capacidad de la planta para absorver agua y nutrientes, especialmente fosfato. Además, contribuyen a la estabilización de estos ecosistemas por la formación de agregados de arena.

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

2.1.2 Ectomicorrizas

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

Dentro del total de plantas que presentan asociaciones micorrícicas, 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 micorrícicos. Por otro lado, algunas ectomicorrizas producen cuerpos frutales de alto valor comercial como son las trufas, boletos, lactarios, 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 8). Sin embargo, ambas estructuras pueden presentar diferentes grados de desarrollo.

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.

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 9).

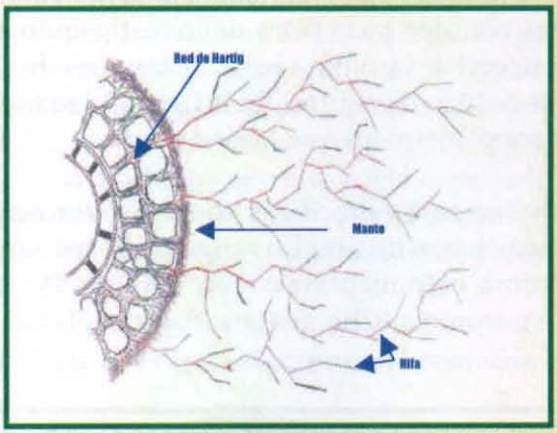


Figura 8: Esquemas de corte transversal de raíz con presencia de ectomicorriza

De acuerdo a Brundett et al (1996), las etapas características dentro de la formación típica de una ectomicorriza han sido descritas por varios autores, las cuales se puede resumir en la siguiente secuencia:



Figura 9: Raíces bifurcadas de *Pinus radiata*

1. La hifa hace contacto, reconoce y se adhiere a las células epidérmicas cercanas al ápice de una raíz joven con crecimiento activo.

2. El micelio prolifera sobre la superficie de la raíz y se diferencia para formar el manto.

3. La hifa penetra entre las células de la epidermis o dentro del cortex para formar la red de Hartig.

4. La zona micorrícica activa se produce varios milímetros más allá del extremo de la raíz; sin embargo, las hifas de la red de Hartig senecen en regiones más viejas, las cuales se encuentran más allá de la punta de la raíz. Según esto, la actividad de la red de Hartig depende de la edad y del crecimiento de la raíz.

5. Generalmente, el manto en las raíces más viejas persiste mucho después que se inactivan estas asociaciones.

A través de su micelio, los hongos ectomicorrícicos pueden generar fructificaciones, sobre la superficie del suelo o en forma subterránea. Estas pueden ser utilizadas también para fines de investigación en la identificación de las especies ectomicorrícicas, o para realizar trabajos de aislación de hongos a través de técnicas de cultivo de tejidos. En la figura 10 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).

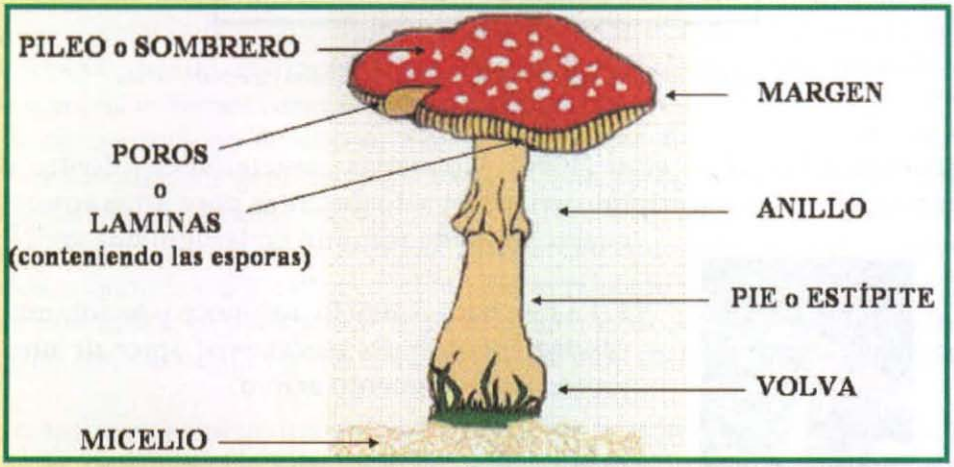


Figura 10: Partes principales de una callampa tradicional o cuerpo frutal

2.2 Interacciones micorrizas - organismos del suelo

En el suelo de una planta micorrizada, se producen ciertas interacciones que se pueden resumir como interacciones con microorganismos beneficos e interacciones con patógenos. Dentro de los microorganismos benéficos que pueden establecer interacciones positivas o un efecto de sinergismo, se pueden nombrar a las bacterias promotoras del crecimiento, a las bacterias fijadoras de nitrógeno, a los actinomicetos y a algunos hongos saprofitos, produciendo un incremento del crecimiento, vigor y protección de la planta (Hernández, 2004).

Existe una serie de mecanismos propuestos a través de los cuales ocurre la interacción micorrizas/patógenos, pues no se ha demostrado que las micorrizas actúen en forma directa sobre éstos, ya sea por antagonismo, antibiosis, o por

depredación, sino que su efecto es indirecto (Hernández, 2004). Los mecanismos según Azcón-Aguilar y Barea (1996) serían: cambios en la nutrición de la planta hospedera; alteraciones en la exudación radicular por influencia en las poblaciones de microorganismos; activación de los mecanismos de defensa de las plantas mediante la inducción de la producción de determinados metabolitos secundarios en las raíces; competencia por los sitios de infección en la raíz y, por último; competencia por los fotosintatos del hospedador. En relación a estos dos últimos mecanismos, se puede decir que la inoculación temprana de las plantas puede garantizar una menor penetración de patógenos radiculares.

2.3 Hongos micorrícicos en plantaciones forestales

La formación de una micorriza es considerada esencial para la sobrevivencia y crecimiento de la mayoría de las plantas en un ecosistema natural, y es especialmente importante en especies forestales. Su rol en el mejoramiento de la captación de agua y nutrientes, especialmente, fósforo, zinc y cobre, además de otros como el N, K, y Ca, son muy conocidos. El hongo micorrícico influye en el crecimiento de la planta mediante la producción de antibióticos y hormonas de crecimiento, y puede detener el ataque de patógenos en las raíces, además de permitir el crecimiento en condiciones de suelos adversos tales como acidez del suelo, altas temperaturas, estrés hídrico, baja fertilidad, entre otras.

Las investigaciones han demostrado que el tipo y cantidad de beneficios entregados a la planta dependen de la especie y la fuerza del hongo micorrícico que infecta a esta. Estos hongos pueden ser aislados, cultivados, y producidos en masa, y utilizados en la inoculación de plantas en el vivero antes de llevarlas a la plantación. Esto podría asegurar el establecimiento y el funcionamiento de las especies antes de exponerlas a patógenos, estrés, condiciones de suelos pobres, y a la competencia con hongos micorrícicos no benéficos. Se menciona que la sobrevivencia en el campo y el crecimiento de las plántulas de árboles con hongos micorrícicos superan el rendimiento de las plántulas que carecen de micorrizas o poseen muy pocas micorrizas nativas al momento de la plantación (Smith and Read, 1997).

De acuerdo a Slankis (citado por Ipinza y Serrano, 1982), estos hongos simbiontes proporcionan hormonas estimulantes del crecimiento, como auxinas, citoquininas, giberelinas y vitamina B, las cuales son producidas por la planta en forma simultánea a las producidas por el hongo, pasando a constituir estas últimas un aporte extra de tales hormonas. De esta manera, contribuye a aumentar considerablemente el crecimiento y permite una mayor longevidad de las raíces.

Algunas investigaciones recientes sugieren que los hongos micorrícicos juegan un importante rol en el establecimiento, sobrevivencia, y crecimiento de plantas sobre terrenos desgastados y dunas de arenas. De acuerdo a Koske y Polson (1984), las plantas inoculadas con hongos micorrícicos están mucho mejor adaptados para la estabilización de dunas de arena. Por otro lado, Sylvia (1987) menciona que, las plantas previamente micorrizadas y puestas en arenas marinas han podido sobrevivir y establecerse mejor que las sin micorrizas. Según este mismo autor, las plantas micorrizadas prosperan mejor sobre tierras erosionadas pues los micelios se extienden más allá del alcance de las raíces y, similarmente a las raíces de las plantas, agregan o juntan las partículas de suelo.

Dentro de sus trabajos, Moser (1958) desarrolló el concepto de introducción de hongos específicos, los cuales estarían mejor adaptados ecológicamente al sitio de plantación, mejorando el rendimiento de la plantación.

La dependencia absoluta de muchos árboles forestales sobre las micorrizas ha sido repetidamente demostrada cuando las micorrizas de pino fueron introducidas en el hemisferio sur. Es así como en Australia y Nueva Zelandia, la asociación entre el hongo micorrícico y el árbol permitió entregar una exitosa sobrevivencia y establecimiento, después de realizar varios intentos fallidos en establecer plántulas de pino radiata en los viveros. De acuerdo a Mikola (1970, 1973), la introducción de los hongos micorrícicos nativos para pino en las camas de las plantas, permitieron la sobrevivencia y crecimiento vigoroso después de su transplante. Como resultado de esto, las plantaciones de pino de Australia y Nueva Zelandia son una de las plantaciones forestales más productivas del mundo. Similarmente, Takacs (1967) en Argentina, Theodorou y Bowen (1970) en Australia, Shemakhanova (1962) en Rusia, y Vozzo y Hacskaylo (1971) en los Estados Unidos han demostrado que los hongos micorrícicos específicos son absolutamente necesarios para la sobrevivencia, establecimiento y crecimiento de las plántulas de árboles forestales en bosques creados por el hombre (Figura 11 y 12).

Por las razones expuestas con anterioridad, la introducción de hongos micorrícicos, y en especial la de los hongos productores de setas comestibles, mediante la utilización de técnicas de micorrización artificial, traerá un gran impacto económico y social.

Por lo tanto, el interés práctico de las ectomicorrizas está en la reforestación y/o en la producción de hongos comestibles. En este último punto es necesario además la mejora de las prácticas silvícolas fundamentada en el papel que juegan estas asociaciones en las masas forestales (Becerril, 1996).



Figura 11: Cuerpos frutales de *Hebeloma crustuliniformes* en plantas de *Castanea sativa.*



Figura 12: Cuerpos frutales de *Laccaria laccata* en plantas de *Acacia sp.*

En este sentido, la aplicación de hongos en áreas degradadas y en prácticas silviculturales a través de plantas micorrizadas permitirán obtener un mejor desarrollo frente a diversos factores bióticos y abióticos, lo que favorece la estructura y estabilidad del ecosistema. Esta opción es altamente favorable para su uso en áreas degradadas en varias regiones de nuestro país utilizando especies exóticas de probado interés comercial, tales como *Pinus radiata* y algunas nativas como las del género *Nothofagus*. Por otro lado, la incorporación de hongos micorrícicos generadores de setas comestibles permitirá entregar un mayor valor a la aplicación de estos simbiontes. Por lo tanto, la incorporación de esta tecnología puede contribuir de forma significativa a mejorar el desarrollo de las plantas, disminuir los costos de replante y generar un flujo de ingresos en gran parte del período de la rotación logrando hacer más atractiva la inversión en forestación.

Por último, los beneficios de la inoculación temprana con hongos formadores de micorriza repercuten en una reducción del aporte de fertilizantes y productos fitosanitarios, un ahorro del suministro del agua, un mayor crecimiento y productividad de las plantas, una mayor supervivencia a las condiciones de estrés y un mejor aprovechamiento de los suelos.

2.3.1 Ventajas Biológicas

Es sabido que muchas plantas producidas en vivero llegarán a micorrizarse en forma natural. Sin embargo, estos hongos micorrícicos que se encuentran en el suelo de los viveros por lo general, no son los más benéficos ni los más adecuados para la planta para su óptimo desempeño en el sitio de plantación.

La inoculación con especies micorrícicas seleccionadas, permitirá obtener

plantas con gran resistencia a daños en las raíces, puesto que existe en los puntos de entrada de los organismos patógenos un bloqueo del hongo micorrícico debido a la presencia de la red de Hartig o manto. Además, las plantas serán más resistentes al estrés ambiental, tales como temperaturas y humedad extrema, como también al estrés en los manejos operacionales de embalaje, transporte, manipulación y plantación.

A su vez, la micorrización artificial permitirá una mayor recuperación de plántulas sometidas a estrés nutricional, aumentando la calidad de las plántulas. Además, el uso de plantas con micorrizas disminuye el tiempo de espera evitando que las plantas pierdan vigor una vez transplantadas, lo cual implicaría una pérdida de crecimiento y una mayor predisposición al ataque de agentes patógenos (Ipinza y Serrano, 1982).

En trabajos en vivero, se debe seleccionar los hongos para su aplicación en los procesos de inoculación en plantas de vivero. Este procedimiento se debe orientar a obtener aumento de la captación de nutrientes y agua, mejorar la adaptación a condiciones del medio y una mayor protección frente a patógenos del suelo. Esto permitirá aumentar la vigorosidad de la parte aérea y subterránea, disminución de la mortalidad y una mayor protección contra agentes de daño radicular en la etapa de pre y post plantación. Todo esto se resume en un aumento en el crecimiento y sobrevivencia de la planta tanto en vivero como en plantación y un uso menor de productos químicos. Los resultados obtenidos por numerosos estudios demuestran que una micorriza bien seleccionada puede inducir un crecimiento hasta tres veces superior al de un árbol sin micorriza preseleccionada (Morcillo, 2000).

2.3.2 Ventajas Económicas

De acuerdo a Malajczuk (1995), en general, las plantas inoculadas tendrán un importante papel en reducir las rotaciones de las plantaciones en el futuro. El período de rotación podría ser acortado a solo 5 o 10 años, disminuyendo el suministro de nutrientes en los sucesivos ciclos de explotación. El valor de la micorriza podrá incrementarse a largo plazo cuando escasee el suministro de nutrientes.

Las micorrizas pueden ofrecer un beneficio económico substancial a los propietarios de estas plantaciones, por cuanto la tasa de crecimiento, de acuerdo a estudios encontrados, se podrían incrementar hasta en un 30 % e incluso hasta en un 80%, de acuerdo a estudios utilizando la relación *Eucalyptus - Amanita* en Australia (Robson et al, 1994).

De acuerdo a la empresa micológica Mikro-Tek de Canadá (1998), el costo de inoculación llegaría a los 2 centavos de dólar por contenedor, que representan US$ 30-40 por hectárea plantada, dependiendo de la densidad de plantación. Estos costos de inoculación podrían pagarse por sí misma a través de un incremento en la sobrevivencia. Con costos de establecimiento de US$ 700 - 800 por hectárea, un incremento de solamente un 10 % podría cubrir los costos de inoculación por 2 a 3 años.

A su vez, incrementos de la tasa de crecimiento después de la plantación, puede resultar en una reducción de los costos de mantensión, al evitar el uso de herbicidas, a un costo de US$ 150/ha, lo que podría cubrir los costos de la inoculación micorrícica por 4-5 años. Además, evitaría una operación por el cuidado manual, a un costo de US$ 350/ha, lo que podría cubrir la inoculación por 10 años (Mikro-Tek, 1998).

El aumento en la tasa de crecimiento, permitirá a las compañías forestales adquirir plantas más pequeñas y de menor costo para alcanzar la misma (o mejor) tasa de crecimiento que con plantas de mayor tamaño en contenedores de mayores dimensiones.

Por otro lado, se señala y cataloga a las micorrizas como abonos naturales o biofertilizantes pues estas entregan nutrientes y agua a la planta durante su vida, adhiriéndose a la raíz y ayudando a que el árbol se pueda adaptar a las condiciones de sitio definitivo.

Para los viveristas, el hecho de trabajar con micorrizas les puede permitir conseguir plantas bien desarrolladas en menos tiempo y con menos pérdidas potenciales. Además, les permitirán ofrecer un producto de alta calidad, con más posibilidades de supervivencia, en el caso de ser plantado en zonas áridas o ecológicamente difíciles (Morcillo, 2000).



Figura 13: Sector de acopio de hongos de *Morchella*.

Por otro lado, las plantas inoculadas con hongos micorrícicos comestibles una vez establecidas en terreno podrían entregar un producto rentable como son los hogos silvestres comestibles de alto valor (Figura 13).

En países industrializados, los hongos silvestres adquieren mayor valor, ya que su industria presenta una incapacidad para producirlos en forma rentable debido al alto costo de la mano de obra. Incluso algunas especies son

consideradas un producto de lujo y su consumo está directamente relacionado con el aumento del nivel de ingresos de los consumidores.

2.3.3 Ventajas Sociales

En la actualidad, la cosecha e industrialización de las especies de hongos silvestres requiere gran cantidad de mano de obra, presentándose como una oportunidad para crear nuevas fuentes de ingresos adicionales en comunidades rurales, lo que permite un aporte en el ámbito social para personas de baja calificación. En la actualidad, la recolección en Chile se realiza fundamentalmente por grupos familiares, por lo que esta actividad puede constituirse en una buena fuente de trabajo, sobre todo para personas o familias de más bajos recursos.

El desempleo existente en varias zonas del país, obliga a generar mayores fuentes de trabajo para una gran masa de personas principalmente de zonas rurales. En muchas áreas de nuestro país, su población vive de la colecta de hongos silvestres, para obtener una fuente adicional de ingreso, sin embargo en el medio ambiente, tanto en su entorno como en sus características climáticas ha empezado a modificar el medio donde crece el hongo, provocando un cambio en la ciclicidad de su aparición.

Otro aspecto importante es la generación de alimentos para los habitantes de zonas marginales (Figura 14), puesto que los hongos son un alimento altamente proteico, además de ser un alimento natural con bastante fibra, vitaminas, minerales y escasa cantidad de grasas y colesterol.

Por otro lado, la temporalidad de los trabajos en las zonas agrícolas y forestales determina una discontinuidad de los ingresos durante el año, mermando las condiciones de vida de la población. La instalación de pequeñas plantas productoras de hongos comestibles, junto con crear nuevas fuentes de empleo temporal, permite incorporar a personas permanentemente inactivas. Con esto se busca, además, el desarrollo rural, elevando el nivel y calidad de vida.



Figura 14: Colecta de hongos silvestres en bosques de pino.

Usualmente los productos forestales no leñosos tienen una baja incidencia en el presupuesto y montos de exportación de países con vocación forestal, sin embargo, su impacto en la actividad económica interna de los sectores rurales es muy significativa (FAO, 1993).

2.3.4 Ventajas Ecológicas

El estudio del rol de las micorrizas en un ecosistema forestal permite reconocer la importancia del papel de los hongos en los bosques. La ausencia de las especies características de cada comunidad puede comprometer el buen funcionamiento de los bosques naturales y significar grandes riesgos en la permanencia del recurso.

El conocimiento de estas relaciones es especialmente interesante en zonas donde se quiera recuperar suelos abandonados en los que el tratamiento de la tierra o los monocultivos hayan desplazado irreversiblemente la flora edáfica nativa. Por lo que, la utilización de tecnologías como la introducción artificial de diferentes especies fúngicas características de una zona, permitirá potenciar su presencia y, de esta manera, facilitará la micorrización y, por lo tanto la supervivencia de las especies forestales autóctonas.

En el caso de los bosques chilenos y chileno - argentinos, la existencia de micorrizas ectotróficas ha sido demostrada para los bosques de *Nothofagus* de la zona húmeda y de la zona patagónica. Muchos bosques dominados por especies del género *Nothofagus*, son comunidades cuya existencia depende de la formación de la micorriza (Donoso, 1981).

Según Singer y Morello (citado por Donoso, 1981), debido a la mayor plasticidad que le entrega la asociación micorrícica a las especies de *Nothofagus* éstas les permitiría ser más agresivas y resistentes a condiciones adversas, con facultades para actuar como especies pioneras y poder mantenerse en áreas deterioradas.

3. Cultivo de los hongos ectomicorrícicos

El cultivo de hongos micorrícicos posee mucho más complicaciones que el cultivo de hongos saprófitos (champiñones, hongos ostra, Shiitake, entre otras), debido a que es preciso cultivar el árbol conjuntamente con el hongo simbiótico, siendo estas técnicas poco conocidas y con escasa información disponible acerca de su cultivo.

Mediante el desarrollo de técnicas que favorezcan el establecimiento de determinadas especies micorrícicas de interés comercial en plantas en vivero, podríamos repoblar zonas agrícolas abandonadas y, de esta forma, revalorizar estos terrenos. Por otro lado, se podría emplear estas plantas como vector en zonas de regeneración de masas naturales, para incrementar la producción de una especie en particular (Martinez, 1999).

El cultivo de este tipo de hongos contempla varios puntos que se deben tomar en consideración los cuales tienen relación con la obtención de un inóculo viable y estable (figura 15), la formación de la micorriza en condiciones controladas (figuras 16 y 17) y de campo y, por último, la fructificación del hongo.



Figura 15: Producción de micelio en medio líquido.



Figura 16: Presencia micelar de plantas inoculadas.



Figura 17: Presencia de micorriza en raíces.

En la micorrización controlada, para producir plantas con valor comercial y micorrizadas con hongos comestibles y de alto valor económico como trufas, lactarios, boletos, matsutake, etc., es necesario utilizar suelos y sustratos estériles, invernaderos con filtros de agua y aire, semillas germinadas en condiciones asépticas y cultivo de micelio de hongos en condiciones igualmente asépticas (Vasco, 2003).

Los mayores esfuerzos se han centrado en las trufas debido a su alto valor económico, existiendo actualmente mucha información disponible sobre procesos de inoculación y de producción de estos hongos.

Para el caso del cultivo de otras especies, como *Lactarius deliciosus* (Callampa rosada), *Boletus edulis* (boleto), *Amanita caesarea* (oronja), *Morchella conica* (Morchela), *Suillus luteus* (callampa del pino), *Cantharellus cibarius* (rebozuelo), entre otras, la información es escasa.

Entre los hongos micorrícicos económicamente más valorados en el mercado mundial están especies del género *Tuber* (trufas), junto con *Tricholoma magnivelare* (matsutake americano) *T. matsutake* (matsutake), *Boletus edulis* (boleto), *Cantharellus cibarius* (rebozuelo), *Morchella sp* (Morchela), y *Amanita caesarea* (oronja). De éstas sólo algunas especies de *Tuber* son producidas comercialmente en plantaciones.

En España se han establecido plantaciones con *Tuber melanosporum* (trufa negra), *Lactarius sanguiflus* (nízcalo), *Boletus edulis* (boleto) y *Amanita caesarea* (oronja). Otros países como Nueva Zelandia han hecho algunas plantaciones con *Tricholoma matsutake, Boletus edulis* y *Tuber melanosporum.* En el caso de Chile, recientemente, se han establecido algunos ensayos con *Tuber melanosporum, Tuber aestivum, Boletus edulis, Boletus pinicola, Boletus aereus, Morchella cónica* y *Cortinarius lebre.*

3.1 Inoculación

La introducción de hongos micorrícicos comestibles en los suelos mediante la incorporación de plantas inoculadas, tiene sentido si en el lugar de plantación no existen en forma natural o, aún cuando los haya, estas se presentan en cantidades mínimas.

La inoculación artificial permite optimizar el desarrollo de las plántulas, incorporando nuevos terrenos a la actividad forestal, reinstaurando la vegetación en lugares deforestados y disminuyendo la probabilidad de infección en viveros y plantaciones.



Figura 18: Inoculación micelar mediante uso de jeringa

La formación de la micorriza consiste en el contacto de una raíz de crecimiento activo con algún tipo de inóculo micorrícico (figura 18). En él se pueden determinar varios factores que afectarán este proceso, dentro de las cuales se encuentra (Associació Life de Productors De Bolets I Tòfones, 2002):

- El estatus fisiológico de la planta, su edad y posiblemente la presencia de otros hongos que formen micorrizas.
- Las condiciones fisiológicas del hongo y la disponibilidad de carbono con que cuente.
- No todos los hongos pueden formar micorrizas con todos los árboles (especificidad). Para ello se debe cumplir las siguientes reglas (Fernández de Ana Magán y Rodríguez, citado por Roca, 1999):
  - Su aptitud para formar micorrizas.
  - Su capacidad para favorecer el crecimiento de la planta.
  - Su resistencia a otras micorrizas, evitando ser desplazado.
  - Su aptitud a formar nuevas micorrizas en las raíces recién formadas.
- La influencia del contenido de nutrientes y agua en el suelo, el pH del suelo, su estructura y aireación, y la fauna microbiana del suelo en la formación micorrícica.

Tomando en consideración estos factores en el proceso de inoculación, es posible aumentar la probabilidad de éxito en la inducción o síntesis micorrícica. A pesar de ello, si tales condiciones o el medio cambian, la micorriza formada puede morir y ser reemplazada por otras especies más competitivas bajo las nuevas condiciones del medio.

En la actualidad se reconoce la importancia de medir la calidad de las plantas inoculadas no sólo en el vivero, sino que, además, es necesario hacerlo en el terreno definitivo de plantación, pues hay evidencias de plantas que aún micorrizadas en vivero, crecen menos que los testigos, sin embargo en terreno son capaces de recuperarse hasta superar a las que fueron más altas en el vivero (Stenstrm, citado por Peredo et al, 1992).

Existen varias formas forzadas de poner en contacto la planta huésped con el hongo micorrícico para que este se pueda desarrollar luego de aplicar la micorrización artificial, siendo el ingrediente básico el micelio o la espora.

3.2 Tipos de inóculos de hongos ectomicorrícicos

Como inoculante se debe entender a aquel producto biológico que facilita la introducción de microorganismos con diversa actividad fisiológica que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Para la obtención del inóculo, se ocupa parte del hongo, el cual será capaz de crecer y formar una relación simbiótica con las raíces de los árboles. Se pueden producir diferentes tipos de inoculantes micorrícicos (esporas, micelio, raíces

colonizadas, otros) cuyos resultados estarán en función del tipo de hongo a utilizar, y las formas de aplicación.

Este inoculante puede presentar diferentes aspectos físicos, ya sea líquidos o sólidos en los que se utilizan acarreadores como la turba, el carbón activado, alginatos y otros soportes orgánicos o inorgánicos.

3.2.1 Micorrización mediante suelo de bosque

Este método de bajo costo, en muchas ocasiones, ha entregado buenos resultados de inoculación con los hongos micorrícicos presentes en el suelo, permitiendo incrementos en el crecimiento de las plantas junto con una mayor protección a patógenos del suelo. Los hongos introducidos de esta forma, podrían ser fácilmente adaptables a las condiciones locales. Por lo general, los viveros forestales que emplean esta metodología de inoculación ocupan gran cantidad de suelo de bosque o de áreas cercanas al vivero (figura 19). Éstos aportan esporas de hongos micorrícicos, fragmentos de raíces micorrizadas, etc., que actúan como inóculos para las nuevas plantas a producir; sin embargo, la formación de micorrizas suele ser errática y sin ningún control en la selección específica de los hongos. Por otro lado, el uso de suelos sin esterilizar aumenta el riesgo de aparición de malezas y enfermedades radiculares y de cuello de raíz. Éstas suelen ser difíciles de erradicar, disminuyendo notablemente la producción de plantas en el vivero.



Figura 19: Suelo utilizado como inoculante micorrícico natural.



Figura 20: Cuerpo frutal de *Telephora terrestris*.

La mayoría de las plantas de vivero se micorrizan a través de esporas que transporta el suelo, aire o agua de riego. Existen algunos hongos especializados en micorrizar planteles, entre ellos el más frecuente es *Telephora terrestris* (figura 20). Este hongo infecta los viveros produciendo reducidos efectos sobre el desarrollo de la planta, impidiendo por su eficiencia en la competencia por el espacio, que se puedan establecer otros hongos más beneficiosos.

Las técnicas actuales permiten estudiar y seleccionar las especies fúngicas que proporcionan el máximo rendimiento a las plantas(Morcillo, 2000).

Este método no es recomendable para la micorrización de plantas a no ser que no existan otras formas de inoculación.

3.2.2 Micorrización mediante esporas

El uso de este tipo de inoculantes es muy utilizado en los viveros forestales sobre todo con especies que producen gran cantidad de esporas o cuerpos frutales, pues permite inocular un gran número de plantas. Es el caso de las trufas que presentan cuerpos frutales que pueden ser bastante grandes, y que están compuestos principalmente de tejidos que sostienen gran cantidad de esporas. Estos esporocarpos pueden ser usados para proveer inóculos esporales frescos o secos, sin necesidad de requerimientos especiales en cuanto a procedimientos y equipamiento, pudiendo ser usados para la inoculación a gran escala en viveros.

Para conseguir inóculos, una vez colectados los cuerpos frutales, se deben limpiar extrayendo toda adherencia, cortándolos en trozos pequeños y eliminando los estípites. Éstos trozos pueden ser procesados mediante un secado y macerado del tejido, o por homogeneización de los cuerpos frutales en agua, dejándolos en un tamaño de partículas estándar para facilitar su utilización en sistemas de riego o para facilitar la encapsulación en cápsulas de alginato (figura 21).



Figura 21: Esporas en capsuladas de alginato de calcio

Estas esporas secas o húmedas pueden ser guardadas bajo refrigeración a 4°C. Sin embargo, las esporas de los hongos cosechados pueden ser poco efectivas debido a su baja germinación o baja viabilidad, por lo que se recomienda utilizar esporas frescas y en dosis con alta concentración, siempre que esto sea posible. Aunque se ha almacenado suspensión de esporas, de diferentes especies del género *Rhizopogon* hasta por tres años, sin una reducción significativa en la efectividad de la inoculación (Castellano y Molina, 1989).



Figura 22: Aplicación de inóculo esporal en mezcla con vermiculita.

Para todos los métodos de inoculación con esporas, las concentraciones de esporas pueden ser determinadas por un conteo de éstas, mediante un submuestreo del inóculo con un hemocitómetro (contador de células). Generalmente, una media de 106-108 esporas viables por plántula puede resultar suficiente para obtener elevados porcentajes de micorrización (Honrubia, 1995).

La aplicación de esporas en un sistema de riego (Figura 22) se inicia con un prehumedecimiento del sustrato durante un minuto, la aplicación de esporas durante dos minutos y, finalmente, un humedecimiento adicional durante dos minutos para que las esporas puedan descender dentro de cada cavidad.

Al igual que en la inoculación vegetativa, no todos los hongos pueden ser utilizados de manera efectiva con este método. El inóculo no está libre de otros organismos y pudiera producirse contaminación, pero de acuerdo a Castellano y Molina (1989), en 7 años de control, no se encontró ningún efecto dañino en plantas que han sido inoculadas en forma esporal. Sin embargo, y de acuerdo a estos autores, los cuerpos reproductores a utilizar en la elaboración de la suspensión sólo pueden encontrarse en ciertas épocas del año, siendo la constitución genética de las esporas variable año a año y de lugar a lugar, a diferencia de la inoculación vegetativa. Por otro lado, la micorrización de las plantas no se consigue en forma rápida como se logra trabajando con inóculo micelar.

3.2.3 Micorrización mediante micelios

El inóculo micelar para su confección requiere cierto conocimiento respecto a los aspectos propios de crecimiento y desarrollo de los hongos utilizados, siendo además costoso y de manejo más sofisticado. Sin embargo, es el método más seguro, carente de riesgos de introducción de otros organismos no deseados. Además es el más efectivo y con el que se alcanza mayores porcentajes de micorrización controlada en un tiempo menor (figura 23 y 24).

Este inóculo puede ser producido en medio líquido (figura 25) o sólido, y la forma de elaborarlo dependerá de las exigencias eco-fisiológicas de cada especie, respecto a: la posible acumulación en el medio de pigmentos polifenólicos, rangos de pH, nutrición nitrogenada y disponibilidad de azúcares, entre otros. La agresividad de cada cepa dependerá de la rapidez de crecimiento en el medio de cultivo, y a otros factores como son las condiciones de cultivo en lo que se refiere a pH, temperatura, agitación, oxigenación, oscuridad, etc., los cuales son determinantes para la optimización de los procesos de producción de inóculos (Honrubia, 1995).



Figura 23: Aplicación inóculo micelar.



Figura 24: Micelio de *Amanita caesarea* y formación de raíces bifurcadas.



Figura 25: Micelio puro concentrado.

Algunos inóculos pueden ser producidos por la incubación de grandes contenedores con sustrato sólido previamente inoculados, como es el caso de la turba con vermiculita saturado con medio nutritivo. Una vez que el micelio ha invadido el sustrato, éste es lavado con agua destilada estéril para eliminar el exceso de nutrientes que pudieran facilitar una futura contaminación microbiana. El sustrato obtenido podría ser usado inmediatamente, minimizando el riesgo por pérdida de viabilidad micelar.

Otras formas de inoculantes son, utilizando segmentos de agar con micelio en plantas bajo cultivo aséptico o la producción micelar en recipientes con solución nutritiva líquida o parcialmente solidificada bajo constante agitación. Su aplicación es directamente a la planta como pasta disuelta en la solución de riego, previa fragmentación o envueltas en alginato, como una forma de protección contra la deshidratación del micelio.

Existen ciertas consideraciones que se debe tomar en cuenta en la elaboración de inóculos del tipo micelar ya sea como micelio puro, micelio encapsulado o micelio en turba con vermiculita. Estos requerimientos se resumen en una alta especialización del personal, mayor inversión en infraestructura, equipos y suministros y un mayor grado de conocimiento de los hongos (rapidez de crecimiento en cultivo y sobrevivencia en la fragmentación).

4. Principales factores que afectan la fructificación en plantaciones

De acuerdo a Bonet (2002), el cultivo de setas comestibles a través de la inoculación de plantas es una solución que puede permitir obtener producciones controladas de hongos silvestres comestibles. Sin embargo, un buen nivel de micorrización inicial logrado en vivero no garantiza su permanencia en condiciones de terreno.

A nivel internacional, los trabajos para la obtención de cuerpos frutales mediante cultivos micorricicos se han centrado en algunas especies que son muy importante en el mercado mundial de los hongos comestibles como son *Boletus edulis, Morchella esculenta, Morchella conica, Tuber melanosporum, Tricholoma, matsutake, Tricholoma magnivelare* y otros, tanto en países de Asia, Europa , América Central y América del Norte.

Una vez establecida las asociaciones hongo micorrícico-hospedante, existen muchos factores como la densidad de las plantaciones y de bosques naturales, la edad del bosque, la presencia de nutrientes en el suelo, la especie vegetal, el clima, la cobertura arbustiva, la presencia y porcentaje de hojarasca o mantillo, profundidad de la capa de materia orgánica, el tipo de suelo, el grado de alteración, presencia de elementos tóxicos, entre otros, que pueden afectar la presencia de las diversas especies de hongos y a la producción de los cuerpos fructíferos; sin embargo, algunos de ellos pueden ser manejados como se hace con la densidad de plantación (Becerril, 1996). Por otro lado, esta gran cantidad de factores que intervienen en la aparición de carpóforos ectomicorrícicos, a su vez están interrelacionados entre ellos (Rodríguez y Fernández, citado por Bonet, 1996)

De acuerdo a Pritchett (citado por Chávez, 2000), el hecho que los hongos micorrícicos difieran en sus requerimientos ambientales, plantea la posibilidad de realizar la inoculación en los viveros por medio de especies seleccionadas o variedades que tienen un desempeño excepcionalmente bueno en ciertas condiciones difíciles del terreno. La probabilidad de obtener una respuesta en el crecimiento de plántulas a una inoculación adicional con esporas de hongos seleccionados, se determina en gran parte por el predominio y el vigor de las variedades criollas y de la persistencia y eficiencia relativa de los hongos introducidos para estimular el crecimiento.

Por otro lado, Ohenoja (citado por Becerril, 1996) comenta que los cambios en la producción de hongos, directamente, no son indicadores de ningún factor,

pues ella está compuesta por muchos géneros y especies que difieren nutricional, ecológica y fenológicamente. Además, aparte de la interacción planta - hongo son importantes las existentes entre los hongos y otros microorganismos asociados (bacterias); su disminución o aumento afectará directamente a la producción de hongos y a la estimulación del crecimiento (Dahm et al., citado por Becerril, 1996).

4.1 Factores climáticos

Ohenoja y Rodríguez Fernández (citado por Bonet, 1996), comentan que la influencia climática es fácil de relacionar con la aparición de carpóforos pero su análisis es difícil por lo arduo que resulta separar influencias ocasionadas por factores como la humedad, temperatura, precipitaciones, etc.

De acuerdo a Gómez y Gómez (2004), la temperatura y la precipitación son los principales factores que alteran la productividad de una estación micológica. Fernández de Ana Magán *et al.*(1989), estudiando la producción de hongos en bosques de *Pinus pinaster* en Galicia, determinó que la producción de carpóforos está relacionada con las precipitaciones de invierno. En cambio Galán (citado por Roca, 1999), determina que la fructificación de los hongos depende fundamentalmente del clima anual del sitio, de modo que la temperatura es el parámetro que permite o no la fructificación, mientras que la humedad, a su vez, distribuye las especies en el tiempo. Por otro lado, Martins de Azevedo (citado por Roca, 1999), estudiando la productividad de los renuevos de castaños, encuentra que entre los factores que afectan a la producción de setas se hallan principalmente la temperatura media del aire y la precipitación acumulada. Este proceso tiene un fuerte vínculo con la dinámica fisiológica de la planta que produce en sus hojas hidratos de carbono que manda a sus raíces y que sirven de alimento al hongo micorrícico que surge en ellas (Fernandez de Ana Magán, 1998).

Por otro lado, Pritchett (1991), señala que para la mayoría de las especies, las temperaturas óptimas para el desarrollo micelar se encuentran entre los 18 y los 27 °C. Por otro lado, Harley y Smith (1983) mencionan una inhibición completa a temperaturas sobre los 40°C.

Según FAO (1993), la fructificación se inicia por lo general a los 7 a 10 días después de las primeras lluvias de fin de verano o inicio de otoño, pero siempre y cuando estas sean abundantes de manera que logren infiltrar convenientemente la capa vegetal y el horizonte inmediato.

Para algunos hongos, la aparición de cuerpos frutales comienza a los 4 años de

establecida la plantación. Este es el caso de *Suillus luteus* y *Suillus granulatus*, prefiriendo mayor asoleamiento y menor cobertura del dosel arbóreo, no así con *Lactarius deliciosus* el cual prefiere bosques más adultos, con mayor cobertura y menor luminosidad en el suelo, presentándose inclusive bajo residuos de poda (FAO, 1993).

4.2 Especie arbórea

La especie arbórea es uno de los principales factores que define la productividad y diversidad micológica de un sitio. (Martínez, 1999). Cada especie en particular produce compuestos orgánicos que inhiben o estimulan el desarrollo de algunos hongos micorrícicos (Trappe, 1977), determinándose patrones de especificidad entre hospedero y hongo simbionte.

El grado de dependencia que puedan presentar estas especies permitirá desarrollar una mayor o menor asociación micorrícica, dependiendo del nivel de beneficios que obtenga de esta simbiosis, siendo el factor más importante, la capacidad de captar fósforo del suelo, elemento esencial en la efectividad y desarrollo de las micorrizas.

Es así como en bosques de pino (*Pinus pinaster y P. radiata*) en España, proliferan algunas especies micorrícicas tales como: *Boletus edulis, B. erythropus, B. pinicola, B. badius, Suillus luteus, S. bovinus, Lactarius deliciosus, L. sanguifluus, Laccaria laccata, Pisolithus tintorius,* etc., muchas de ellas productoras de hongos comestibles de alto valor.

En Chile, *Pinus radiata* favorece la presencia de *Suillus luteus, Suillus granulatus* y *Lactarius deliciosus*, cuya composición micorrícica estará condicionada a su vez por las características del sitio y de la edad de la plantación.

Por otro lado, los bosques de *Nothofagus* se asocian a una serie de hongos micorrícicos comestibles, siendo los más importantes los géneros *Ramaria, Boletus, Morchella,* y *Cortinarius.*

En algunas especies forestales, se pueden formar micorrizas de varios tipos y con diferentes hongos a la vez, siendo habituales la formación con un sólo tipo de micorriza. Por otro lado, el rango de micorrización y tipo de asociación va a depender de factores tales como el grado de dependencia que exista entre el hongo y el hospedero.

4.3 Características del suelo

En general, el grado de micorrización de las plantas o nivel de colonización de éstas disminuye o aumenta dependiendo de la fertilidad del suelo. Los altos niveles de nutrientes, especialmente, de nitrógeno y fósforo pueden llegar a reducir la micorrización e incluso inhibir la colonización de las raíces por parte de estos hongos (Honrubia et al. 1992).

En investigaciones hechas por Iturra (1998), se señala que los porcentajes de micorrización y número de micorrizas aumenta cuando disminuye la materia orgánica. Por otro lado , Harvey et al.(citado por Bonet, 1996), sugiere que la mayor cantidad de ectomicorrizas parece concentrarse en las fracciones orgánicas del suelo. Es así como,Véjar (2000), determinaron que los porcentajes de micorrización en *Nothofagus oblicua* (roble) son mayores en los primeros 15 cm del suelo.

De acuerdo a diversos investigadores, en sitios de mediana calidad la fructificación de los hongos es mayor, respecto de aquellos de mejores índices. Esto unido a variaciones de clima, genera una dispersión en la producción de hongos, lo que implica una variación año a año en la recolección de hongos silvestres en una misma área.

Por otro lado, Montoya y Camara (1996) afirman que las micorrizas se desarrollan mejor en suelos porosos y de texturas arenosas, por lo que se debería asegurar un buen drenaje del suelo pues las micorrizas son hongos aerobios.

Respecto de la acidez de los suelos, Oria de Rueda (1991) explica que, por lo general, los suelos ácidos son los que producen mayores cantidades de hongos comestibles, siendo los más productivos los que se presentan permeables y sueltos. Es así como Prittchett (1991) afirma que la formación de ectomicorrizas en las raíces de los árboles es máxima en condiciones de acidez.

La acidez es un factor que puede incidir en la distribución y tolerancia de las micorrizas, pudiendo afectar el desarrollo y función de muchos taxas, además de tener un efecto directo o indirecto en la germinación de las esporas (Véjar, 2000).

La mayoría de los hongos micorrícicos en especies arbóreas son considerados acidófilos, estimándose que crecen mejor en suelos con pH 4 a 5 (Hacskaylo, 1957; Marx y Talk, 1965). Según Hacskaylo (citado por Vejar, 2000), en algunos casos las fructificaciones sólo se formarán en suelos ácidos. Sin embargo, las trufas son un claro ejemplo de que existe micorrizas en un amplio abanico de pH, pues éstas viven mayoritariamente en suelos básicos.

Por otro lado, la concentración de microorganismos antagónicos o competidores en el suelo, es un factor que puede afectar negativamente la sobrevivencia de las micorrizas previamente instaladas en las raíces.

4.4 Clareos

La influencia que ejerce la densidad de las plantaciones ha sido un tratamiento relativamente poco estudiado. Los clareos son cortas realizadas en masas inmaduras con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan, pudiendo aumentar la producción de material utilizable de la plantación (Hawley y Smith, 1972). Su efecto de concentrar la producción maderera en la masa residual y mejorar la calidad de ésta en una determinada especie, en general, está bien estudiado. Se conoce que el área basal crítica se sitúa según las especies entre el 85% y el 60 % de las áreas basales máximas (Madrigal et al, 1985). Sin embargo, su incidencia en la producción de hongos es desconocida. (Becerril, 1996).

Los clareos son cortas de mejora que buscan incrementar el valor maderero del bosque que queda en pie, obteniendo con ello ciertos ingresos intermedios. Después de estas intervenciones, los árboles en pie incrementan su actividad fotosintética lo que llevaría a un aumento en las reservas de azúcares disponibles para las micorrizas. Además, este tipo de intervenciones silvícolas pueden ocasionar cambios microclimáticos al disminuir la densidad de la plantación. Todos estos efectos pueden influir sobre la producción y composición de especies fúngicas, en especial sobre los hongos micorrícicos (Martínez, 1999).

Muchos autores han obtenido producciones más altas en parcelas en las que se ha aplicado clareos (Egli et al, 1990; Ohenoja, 1988); sin embargo, otro autor como Becerril (1996) no encuentra estas diferencias. Es evidente que este tratamiento afecta de forma distinta a las diferentes especies (Martínez, 1999).

De acuerdo a lo establecido por varios autores que compararon parcelas con y sin clareos (Fernández et al, 1993; Ohenoja, 1988), este tipo de tratamientos no parece tener correlación con la producción de cuerpos fructíferos; aunque para otros autores parecen determinar lo contrario (Shubin, 1988; Gochenaur, 1981; citado por Bonet, 1996). Harbey et al(1980a) encuentran un menor número de micorrizas en parcelas cortadas, las que disminuyen más significativamente si se queman los restos de la corta (Harbey et al, 1980b).

Sin embargo, el pisoteo, los arrastres y la introducción de maquinaria que se produce en las sucesivas cortas hasta llegar a la corta final, tendrían efectos negativos en el desarrollo de las micorrizas y por consiguiente en la aparición de los hongos (Egli y Ayer, citado por Martínez, 1999).

4.5 Edad de la plantación

En la actualidad, este factor es considerado de gran importancia en el cambio temporal de la composición de las especies micorrícicas a distintas edades con árboles monoespecíficos, siendo uno de los factores que controlan esta sucesión la capacidad fotosintética de los árboles a distintas edades para satisfacer la demanda de carbón de los hongos (Dighton y Mason, citado por Bonet, 1996).

De acuerdo a Shaw y Lankey (citado por Bonet, 1996), la composición de las comunidades fúngicas depende de la edad del árbol. A su vez, Vogt et al (1983), afirman que la biomasa de raíces tróficas de coníferas y micorrizas y su variación en el horizonte orgánico es función de la edad y la productividad del suelo del lugar.

Por otro lado, Vasco (2003) señala que existe un proceso de sucesión fúngica que se produce en la naturaleza, que depende de la edad y la etapa de desarrollo de los ecosistemas en que habita la planta. A medida que la planta va acercándose a su pleno desarrollo, la diversidad micorrícica va en aumento agregándose inicialmente pocos hongos pero en gran número, hasta llegar a hongos de lento desarrollo y aparición más tardía. Dentro de los primeros géneros que se establecen están *Hebeloma, Inocybe, Thelephora, Paxillus, Laccaria, Suillus, Scleroderma, Pisolithus*, entre otros, mientras que en las etapas tardías aparecen algunos como *Lactarius, Tuber, Boletus, Russula, Cortinarius, Cantharellus* y *Tricholoma.*

En cultivos experimentales en medios sólidos, se comprobó que los hongos micorrícicos de las primeras etapas de la sucesión, tienen un reducido acceso a los carbohidratos derivados del huésped, por lo cual son especies menos demandantes en glucosa que los hongos de las últimas etapas de la sucesión (Dighton y Mason, 1985). Por otro lado, Bonet (1996) citando a Termoshuizen y Schaffers, comenta que las condiciones de los hongos micorrícicos para fructificar son más favorables en masas arbóreas más jóvenes que en otras más viejas.

Según los estudio realizados por Fernández et al en 1993, muestran para *Pinus sylvestris* una producción mayor de hongos micorrícicos comestibles entre los 20 y 50 años y un descenso brusco de la producción a los 90 años. Entre tanto en Finlandia, Kalamees y Silver (citado por Bonet, 1996), al estudiar tres parcelas con esta especie de 25, 80 y 100 años concluyen que al aumentar la edad aumenta la diversidad de hongos comestibles; pero la máxima producción es a los 25 años. Mientras que Hari et al y Hintikka (citado por Bonet, 1996), sugiere que la mayor producción a estas edades, parece corresponderse con tasas de

crecimiento de los árboles más altas y a una fotosíntesis neta mayor. Por otro lado, Bonet et al(2004), desde el punto de vista del grado de cobertura de dosel, el cual algunos lo asocian a la edad de la masa forestal, se podría observar los efectos de una combinación de factores ambientales tales como penetración de la luz y del viento, temperatura y humedad ambiental y del suelo, las que son alteradas por esta característica arquitectónica, influyendo así en las tasas de descomposición, calidad de los nutrientes y grado de humedad, que alternadamente influencian las condiciones favorables para el crecimiento de las ectomicorrizas específicas y de los hongos del bosque en general.

4.6 Tratamientos culturales

Los trabajos culturales en los rodales se orientan a obtener un buen crecimiento y desarrollo del árbol, con un potente sistema radicular que favorezca la micorrización y la futura fructificación, evitando labores mecánicas en el suelo, que debido al peso de la máquinas lo rompen y producen la destrucción del sistema radicular de la planta. La producción de heridas por el tránsito de estas maquinas predispone el ingreso de agentes patógenos e influyen negativamente en la fructificación de los hongos debido a la destrucción de las micorrizas existentes en las raíces.

4.6.1 Fertilización

A pesar que diversos autores indican haber obtenido incrementos en la producción de carpóforos utilizando fertilizantes minerales en masas adultas (Hora, 1959; Kutafyeva 1975), otros como Termoshuizen (1993) y Ohenoja (1989), indican que una fertilización continuada provocaría un descenso de la producción micorrícica a partir del tercer o cuarto año de aplicación, siempre que no exista otro factor con mayor influencia (Martinez, 1999).

Según Fernandez de Ana Magán (citado por Roca, 1999), la producción de carpóforos aumenta cuando se emplea abonos complejos ternarios como NPK. En ensayos efectuados en el Centro de Investigacións Forestais de Lourizán en España, con *Pinus pinaster*, se empleó el compuesto mineral NPK (15-15-15), dando como resultado el mejoramiento del enraizamiento, actuando positivamente en el establecimiento de la plantación, particularmente en los primeros años de su vida y, por otro lado, mejorando la producción de hidratos de carbono que elabora la planta, facilitando el asentamiento de los hongos micorrícicos.

De acuerdo a Azcón - Aguilar y Barea (citado por Chávez, 2000), generalmente,

el porcentaje de infección y número de esporas se reducen cuando se aplican fertilizantes fosforados y nitrogenados.

Por otro lado, Menge y Grand (citado por Bonet, 1996), mencionan que el número de micorrizas en parcelas fertilizadas con nitrógeno está correlacionado inversamente con la altura y crecimiento en diámetro de los árboles.

Para conocer el comportamiento de las especies fúngicas frente a distintos tratamientos culturales, Fernández Toirán et al., 1996, en Soria establecieron ensayos de fertilización, rastraje superficial, riego, quemas, riego combinado con fertilización. Los resultados obtenidos, para un período de tres años, muestran producciones muy superiores en las parcelas de riego y riego más fertilización que en las parcelas control (Martínez, 1999).

Debido a las diferentes respuestas a los fertilizantes por los diferentes hongos micorrícicos, no es posible recomendar niveles específicos o tipos de fertilización.

4.6.2 Control fitosanitario y de malezas

Los controles fitosanitarios no son necesarios salvo ataques ocasionales de plagas y enfermedades.

Respecto al uso de herbicidas, por lo común éstos afectan significativamente a los hongos micorrícicos cuando las concentraciones utilizadas son considerablemente superiores a las tasas de aplicación recomendadas (Castellano y Molina, 1989).

El control de la vegetación mediante el uso de algunos herbicidas se ha mostrado como una variable que influye positivamente en el aumento de la supervivencia de las plantas micorrizadas el primer año de plantación. Sin embargo, Morcillo (2004), recomienda no utilizar herbicidas que contengan en su formulación 2,4D, Atrazina o Trifluralina.

De acuerdo a Castellano y Molina (1989), ciertos herbicidas, tales como la simazina, de hecho estimulan el crecimiento de hongos micorrícicos, tanto en cultivo, como en condiciones de campo. Por otro lado, Morcillo (2004), recomienda no utilizarlo en plantas menores a tres años.

En general, la información existente sobre la interacción de los plaguicidas con los hongos micorrícicos, es confusa. Pues no se sabe cual es la causa de que

determinadas combinaciones de hospedante - hongo, en ciertas condiciones son afectadas por estos productos y en otras no.

4.6.3 Riegos

El riego es el tratamiento cultural que podría influir más directamente en la fructificación de los hongos, sobre todo en áreas con precipitaciones escasas o mal distribuidas en el tiempo.

Después de la plantación, la práctica de cultivo más importante, es el riego de las plantas, actividad absolutamente fundamental para asegurar el establecimiento de la planta, y debe darse lo antes posible después de plantar, empleando suficiente volumen de agua.

Le Tacon (1997) recomienda que, a pesar de la existencia de hongos micorrícicos adaptados a la sequía, las técnicas silvícolas deben ir encaminadas a optimizar el régimen hídrico, particularmente en la estación estival.

Sin embargo Bonet (2002), determina que la aplicación de dosis altas de riego ($110\ L/m^2$), ha ocasionado un descenso del número total de micorrizas de trufa negra y del número de ápices por metro de raíz.

Este tipo de tratamiento es difícil de aplicar a gran escala en una masa forestal, la cual tendría que limitarse a pequeñas superficies con una producción muy rentable. No obstante, el estudio de la influencia podría dar una información de gran valor sobre el comportamiento de las especies y sus posibles sustituciones al cambiar las condiciones del medio (Martinez, 1999).

4.7 Subsolado

Esta labor es recomendable pues permite mover y mullir el suelo, permitiendo eliminar raíces y obstáculos antes de plantar. Este trabajo facilita el desarrollo radicular inicial de los árboles, eliminando la compactación natural de la tierra y favoreciendo el desarrollo de las micorrizas.



Figura 26: Trabajos de Subsolado

Una de las técnicas utilizadas es efectuar la labor con dos pases en la línea del subsolador (figura 26). El primero pasa a una profundidad de 0,40 m y el segundo lo más profundo posible,

siendo la época más apropiada al final del verano, antes de las primeras lluvias. Sin embargo, esto dependerá del tipo de suelo que se trabaje.

La preparación del terreno para la plantación se justifica por la necesidad de alojar la planta y facilitar su supervivencia y arraigo en el suelo. En suelos utilizados y abandonados, habitualmente, existen los llamados "pie de arado", siendo el mejor método de control, el subsolado. Este es uno de los que más se han utilizado en plantaciones, mejorando la profundidad de exploración de las raíces, la capacidad de retención de agua y la velocidad de infiltración en los surcos, demostrando ser eficaz en la supervivencia y crecimiento de las plantaciones. Además, permite la incorporación en profundidad de enmiendas y abonos.

La profundidad del subsolado dependerá de las condiciones del terreno, lo cual estará dado por la profundidad del suelo, su pedregocidad y pendiente, entre las característsticas más importantes. En tanto que los posibles riesgos de erosión, también deben considerarse (Reyna, 2000).

5. Micorrizas ectotróficas en Chile

Las micorrizas del tipo ectomicorrícicas son las más importantes dentro de las coníferas y fagáceas. Una gran parte de los hongos ectomicorrícicos de las principales especies de interés forestal, pino y eucalipto entre las plantadas y del género *Nothofagus* entre las nativas, pertenecen al grupo de los Basidiomycetes y algunos al de los Ascomycetes. La mayoría de los Basidiomycetes ectomicorrícicos son miembros del orden *Agaricales*, dentro del cual se encuentran algunos géneros como *Suillus, Boletus, Lactarius, Amanita* y *Russula.* En una proporción menor se encuentran los hongos de la clase *Gasteromycetes* de los géneros *Pisolithus, Rhizopogon y Scleroderma* (Montecinos, 2000). En los Ascomycetes se encuentran los géneros *Morchella* y *Tuber.*

En nuestro país existe gran variedad de hongos y en especial del tipo micorrícico, los cuales interactúan entre sí, presentándose algunas especies introducidas como es *Suillus luteus* que se asocia a *Pinus radiata.*

En Chile, alrededor de 30 especies de hongos pueden interactuar con pino radiata e incrementar su crecimiento de manera significativa (Corma, 1987). Dentro de las especies micorrícicas de importancia económica en el rubro de los hongos comestibles de exportación y que se asocian a pino, se encuentran las especies *Suillus luteus, Suillus granulatus* y *Lactarius deliciosus.*

En el caso de los árboles pertenecientes a los géneros *Eucalyptus* como *Pinus*, que sólo son capaces de crecer sin micorrizas en suelos de alta fertilidad y con un cuidadoso control fitopatológico. Aún así, las plantas no micorrizadas suelen morir al cabo de dos o tres años (Montecinos, 2000).

Por otro lado, el hongo micorrícico más conocido y de amplia distribución en plantaciones de *Pinus radiata* es *Suillus luteus*, que en sitios áridos y calurosos del centro norte del país es reemplazado progresivamente por *Suillus granulatus.* Estas dos especies de hongos prefieren plantaciones en áreas con bajo nivel de perturbación (Garrido, 1986). Por otro lado, Valenzuela et al(1996), comenta que en suelos arenosos *Lactarius deliciosus* sucede a *Suillus luteus* en plantaciones de pino y a *Russula sardonia* en suelos rojos.

Recientemente en Chile se han llevado a cabo trabajos con producciones de plantas inoculadas utilizando las especies: *Quercus ilex* y *Coryllus avellano* en asociación con *Tuber melanosporum; Pinus radiata* en asociación con *Boletus edulis* y *B. pinophilus;* y *Castañea sativa* con *Boletus edulis, B. pinophilus, B. aereus,* B. *loyo, Morchella conica* y *Tuber aestivum.* Actualmente estas plantas se encuentran

establecidas en terreno y, para el mediano plazo, se espera que ocurran las primeras fructificaciones.

Según Pincheira (1999), en la X Región de Chile se introdujo una nueva especie de *Morchella*, más grande y cotizada en el mercado, incorporando esta micorriza a un medio donde existe bosque; sin embargo no existen más antecedentes sobre este trabajo.

Las especies Raulí, Roble y Coigüe, igual que el resto de los *Nothofagus*, se asocian en forma natural con ectomicorrizas. En su trabajo doctoral, Garrido (1988), realizó una identificación de más de 140 micorrizas asociadas a estos bosques entre la VII y la IX Regiones. Entre las principales se cuentan las pertenecientes al género *Cortinarius*.

Existen muy pocos estudios aplicados a la micorrización en especies nativas. Su importancia en el desarrollo posterior del recurso forestal que se establece como plantación, hace recomendable su introducción en programas de producción masiva de plantas.



Figura 27: Fructificación de *Morchella conica*

Dentro de los hongos micorrícicos importantes para el bosque nativo que producen cuerpos frutales comestibles, se encuentra *Morchella cónica Pers* (figura 27) perteneciente a los hongos ascomicetes, vulgarmente llamado pique. Muy apreciado en Chile y el extranjero por su sabor, además por sus eventuales propiedades farmacológicas. Además existen otros hongos comestibles como *Cortinarius lebre* (figura 29), el cual poseen capacidades micorrícicas en especies del bosque nativo como son los *Nothofagus*. Estas especies poseen cualidades para ser cultivadas, particularmente esta última, que es muy apetecida y tradicionalmente consumida por la población aborigen y campesina en el centro de Chile, especialmente en la ciudad de Concepción y alrededores (Garrido, 1988).

De acuerdo a Garrido (1986), citando a Cardemil, *Boletus edulis* se ha encontrado en Valdivia y ha sido introducido en los viveros de *Pinus sp.*, sin embargo, hasta ahora no existen más antecedentes de la presencia de tal especie en el país. De acuerdo a Luengo (1989), en los sitios de Chile existen condiciones muy similares a las de aquellos que habita naturalmente esta especie micorrícica en el hemisferio norte, por lo que no sería difícil introducirla en las plantaciones de *Pinus radiata*.



Figura 28: *Boletus loyo*



Figura 29: *Cortinarius lebre*



Figura 30: *Ramaria botrytis*



Figura 31: *Ramaria flava*

Un hongo nativo muy apetecido y de sabor parecido al de *Boletus edulis*, es la especie endémica *Boletus loyo* (figura 28), que crece principalmente en bosques de *Nothofagus* (INFOR-CORFO, 1989). Además existen especies micorrícicas del género *Ramaria.* (figura 30 y 31), que producen hongos comestibles de uso local, y se conoce con el nombre vulgar de *"changle"* (Donoso, 1989; FAO, 1993; Chung, 2005).

Otro género muy poco conocido es el género *Macrolepiota*, con las especies *M. procera, M. rachodes* (figura 32) y *M. bonaerensis*, de escaso consumo a nivel local. La primera especie se presenta en praderas asociado a *Nothofagus dombeyi* y *Nothofagus oblicua* en tanto que para *M. bonaerensis* se asocia a plantas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*; y por último, *M. rachodes* se encuentra en suelos con humus (Zenón, 1995).



Figura 32: *Macrolepiota rachodes*

Por último, la especie endémica *Boletus loyita*, que se vende y consume en forma local. Se confunde con *B. loyo* en estadíos juveniles. Es una especie micorrícica de *Nothofagus dombeyi* y *Nothofagus obliqua.*

6. Experiencias nacionales

En Chile, existe aún un desconocimiento del real aporte y beneficio de la inoculación con este tipo de simbiontes en base a productos específicos y puntualmente con especies específicas. Las pocas empresas e instituciones que elaboran productos comerciales sólo han utilizado especies micorrícicas que, ciertamente, mejoran el crecimiento y sobrevivencia de las plantas que han sido inoculadas, pero no aportan con el mayor valor que significa la producción de hongos silvestes comestibles.

Es necesario remarcar en los forestadores, ya sea empresas o pymes, las bondades de las micorrizas y la necesidad de llevar a cabo estudios tendientes a cuantificar sus beneficios, ya sea en productividad, sobrevivencia o de aporte social

En los últimos años el auge de los hongos silvestres ha sido consecuencia del alto interés internacional por los hongos comestibles. Esto ha permitido elevar el nivel de ingresos de muchas personas, familias y/o empresas (figura 33), al obtener ganancias por la venta de este recurso.

Para Chile, el marcado interés que ha experimentado el mercado de los hongos silvestres a nivel mundial, ha llevado a que, actualmente, exista gran interés por conocer el tema de la inoculación de plantas con hongos micorrícicos de gran importancia económica por sus fructificaciones. Los atrayentes precios alcanzados por estos productos en las transacciones internacionales han comenzado a entusiasmar a muchas empresas exportadoras nacionales, las cuales buscan indagar zonas de colecta, personas o asociaciones que trabajan en la recolección y procesamiento de los hongos, con el fin de obtener la materia prima de exportación.



Figura 33: Microempresarias y recolectoras de hongos silvestres.

Como una forma de generar mayor información en el tema de los hongos micorrícicos comestibles y con ello poder demostrar algunas ventajas de la aplicación de esta tecnología, el Instituto Forestal, mediante la ejecución de un proyecto con financiamiento FONDEF, estableció ensayos con las especies *Pinus radiata y Nothofagus alpina* asociados a especies micorrícicas.

En esta investigación se aplicaron, en una primera etapa, algunas técnicas de inoculación con el propósito de producir plantas de *Pinus radiata* inoculadas con *B. edulis y B. pinophilus;* y plantas de *Nothofagus alpina* (raulí) inoculadas

con *Morchella conica* y *Cortinarius lebre.*



Figura 34: *Micelio* de *Morchella* rodeando la raíz de una planta de raulí

Los resultados obtenidos de las inoculaciones en plantas de pino fueron, en promedio, de 30,5 y 33,2% de raíces micorrizadas con *B. edulis* y *B. pinophilus.* Para el caso de las plantas de raulí, se obtuvo promedios de 26,3% para *Morchella conica* (figura 34) y 13,0% para la asociacion con *Cortinarius lebre.*

Posteriormente, estas plantas inoculadas en vivero, fueron llevadas a terreno para realizar los ensayos respectivos en sitios previamente seleccionados y preparados para la plantación.

Las investigaciones realizadas por INFOR han permitido destacar, a los 20 meses de edad, los mayores crecimientos en biomasa obtenidos al utilizar plantas de pino inoculadas con las especies micorrícicas *Boletus edulis y B. pinophilus* , y plantas de raulí con la especie *Morchella conica.* Sin embargo, para el caso de plantas de raulí inoculadas con *Cortinarius lebre,* la asociación en estos 20 meses no ha podido lograr los resultados de *M. conica* y su crecimiento respecto al testigo ha resultado hasta el momento menor.

Ensayos instalados con *Pinus radiata* inoculados con *B. edulis* y *B.pinophilus* en las zonas de Pelarco (VII Región), Yumbel (VIII Región) y Cañete (VIII Región), a los 20 meses, según los gráficos de las figuras 35 y 36 muestran diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento en altura y en diámetro de las plantas inoculadas respecto de las testigo.

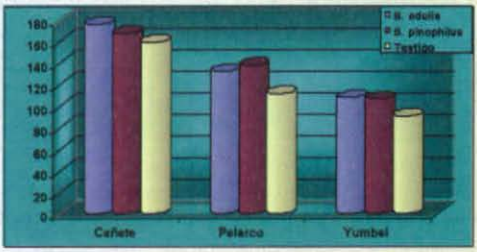


Figura 35: Altura promedio (cm). Resultados de ensayos en las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región).

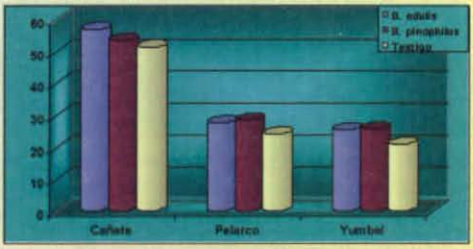


Figura 36: Diámetro promedio (mm). Resultados de ensayos en las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región).

En relación a los incrementos de altura y diámetros obtenidos en las plantas micorrizadas, éstos fueron superiores a los logrados por las plantas testigo

para los tres ensayos de *Pinus radiata* (figuras 37, 38). Para el ensayo de Cañete, los incrementos en altura logrados por las plantas inoculadas, fueron de 8% y 4%, en *B. edulis* y *B. pinophilus*, respectivamente, en relación al testigo. En cambio en Pelarco esta diferencia fue de un 10% y 21%; y para Yumbel fue de un 4% y 5%. Para el caso de los incremento en diámetro, se obtuvo valores superiores a las plantas testigo, lográndose para el ensayo de Cañete cifras cercanas al 11% y 3%, para las plantas micorrizadas con los hongos *B. edulis* y *B. pinophilus*, respectivamente, y en relación a las plantas no inoculadas; mientras que en el ensayo Pelarco esta diferencia alcanzó un 10% y un 15%; y por último, para el ensayo en Yumbel , este fue de un 15% y 19%.

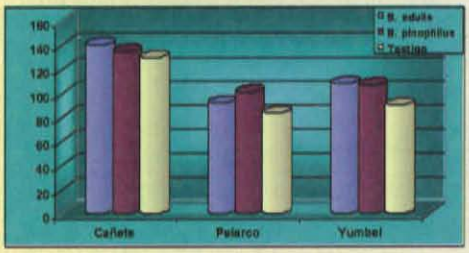


Figura 37: Incremento en altura promedio (cm). Resultados de ensayos en las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región).

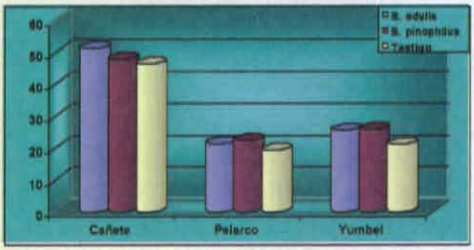


Figura 38: Incremento en diámetro promedio (mm). Resultados de ensayos en las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región) .

Con respecto a los índices de biomasa, en los tres ensayos, se presentan valores mayores y significativamente diferentes en las plantas inoculadas respecto de las testigo (figura 39).

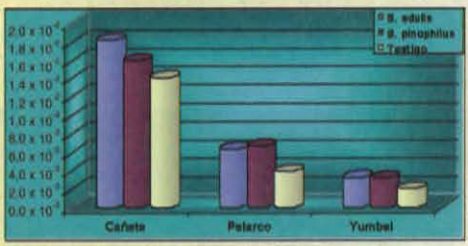


Figura 39: Índice de biomasa promedio (D2H, m3) para ensayos de las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región).

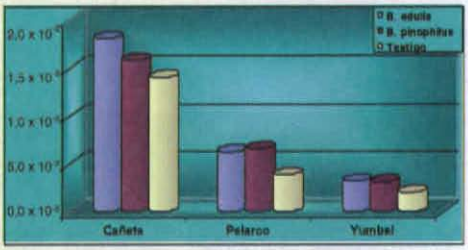


Figura 40: Incrementos respecto al índice de biomasa promedio (D2H, m3) para ensayos de las localidades de Cañete (VIII Región), Yumbel (VIII Región) y Pelarco (VII Región).

Por otro lado, los incrementos por índice de biomasa (figura 40) obtenidos, en plantas micorrizadas con *B. edulis* y *B. pinophilus* muestran un mayor incremento que el obtenido por los testigos en los tres ensayos. Si bien es cierto que los mayores valores de incremento en biomasa se presentan en Cañete, seguidos del ensayo Pelarco (figura 41) y del ensayo Yumbel;



Figura 41: Ensayo en Pelarco con *Pinus radiata* asociado a hongos micorrícicos a los 20 meses de edad.

las mayores diferencia respecto al testigo se presentan en los ensayos de Pelarco y Yumbel con 62% y 70% de diferencia para el primero; y de un 58% y 56% para el segundo, tanto para las asociaciones con *B. edulis* como para *B. pinophilus*, respectivamente. En el caso de Cañete se obtuvo incrementos pero menores, con valores de 29% y 13%, para las asociaciones con *B. edulis* y *B. pinophilus*, respectivamente.

Para los ensayos de *Nothofagus alpina* inoculadas con *Morchella conica* y *Cortinarius lebre* en las zonas de El Carmen (VIII Región)(figura 43), Pucón (IX Región) (figura 42) y Neltume (X Región), a los 20 meses se observó una tendencia similar con las variables altura y diámetro. Para el caso de *M. conica*, éstos presentaron un mayor valor en plantas inoculadas (figura 44 y 45), en comparación con el testigo.



Figura 42: Ensayo de rauli asociado a hongos micorrícicos comestibles en Pucón (IX Región).



Figura 43: Ensayo El Carmen (VIII Región) con rauli asociado a hongos micorrícicos.

Siguiendo con plantas inoculadas con *Morchella conica*, y observando los incrementos obtenidos por plantas inoculadas con este hongo, se observó que en el ensayo ubicado en la localidad de Pucón se obtuvo un mayor incremento de aproximadamente 20% en altura y 10% en diámetro, en comparación con el testigo.

En el caso del ensayo ubicado en El Carmen se obtuvo valores cercanos al 5% y 23% sobre el testigo, mientras que en la localidad de Neltume se logró mejores resultados con valores de 8% y 13%, respectivamente (figura 46 y 47).

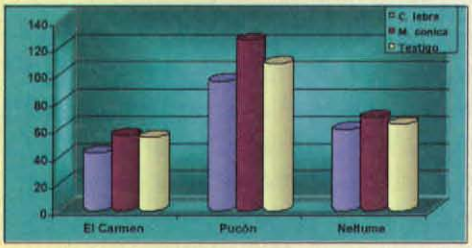


Figura 44: Altura promedio (cm). Resultados de ensayos en las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

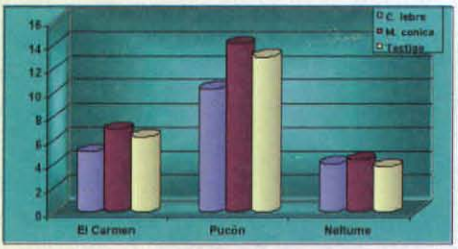


Figura 45: Diámetro promedio (mm). Resultados de ensayos en las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

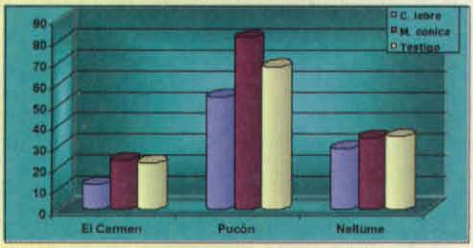


Figura 46: Incremento en altura promedio (cm). Resultados de ensayos en las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

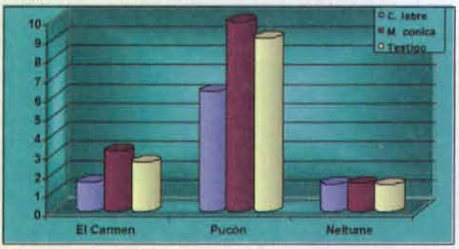


Figura 47: Incremento en diámetro promedio (mm). Resultados de ensayos en las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

Para Pucón, El Carmen y Neltume los índices de biomasa fueron superiores solamente en los dos primeros (figura 48). No así en el ensayo de Neltume que presentó los niveles volumétricos casi similares entre los con y sin micorrizas de *M. conica*. Esto pudiera deberse a la mayor carga de simbiontes nativos cercanos al sitio del ensayo, produciendose contaminación en toda la plantación.

Respecto a los incrementos en volumen de las plantas micorrizadas, estas fueron superiores a los testigos en 67%, 47% y 13% para los ensayos de El Carmen, Pucón y Neltume, respectivamente (figura 49).

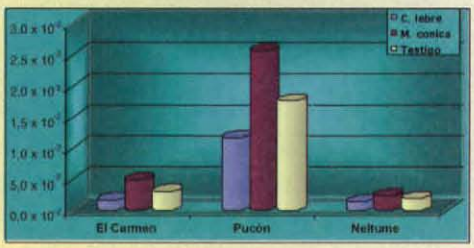


Figura 48: Índice de biomasa promedio (D2H, m3) para ensayos de las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

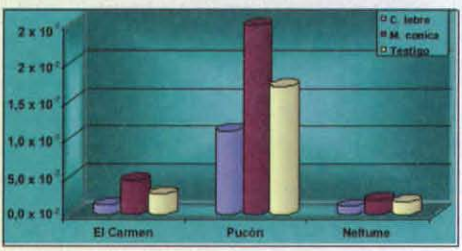


Figura 49: Incrementos respecto al Índice de biomasa promedio (D2H, m3) para ensayos de las localidades de El Carmen (VIII Región), Pucón (IX Región) y Neltume (X Región).

La sobrevivencia en las plantaciones de *Pinus radiata* fue cercana al 100% en todos los ensayos por lo que no hubo diferencias entre los tratamientos y tampoco respecto de los testigos.

Para el caso de *Nothofagus alpina* no hubo diferencias entre el testigo y plantas micorrizadas con *M. conica*, pero si hubo diferencias entre éstos y las plantas inoculadas con *C. lebre* en los ensayos de Pucón y Neltume, las cuales éstas últimas presentaron una menor sobrevivencia.

En resumen, los ensayos permitieron mostrar la influencia de los hongos *B. edulis*, *B. pinophilus* y *Morchella* conica, en el crecimiento tanto en altura y diámetro, como también en el volumen, obteniéndose incrementos mayores en plantas con asociaciones micorrícicas instaladas previamente en vivero.

Para el caso de *Cortinarius lebre*, su introducción no ha permitido un crecimiento óptimo en raulí, su actuación pareciera ser nula a negativa, ya que parece restringir el crecimiento de las plantas inoculadas. Este género se presenta en abundancia en fases adultas de los bosques, por lo cual pudiera esperarse una posible recuperación en el mediano plazo del crecimiento de estos árboles, al actuar con más fuerza en fases más avanzadas con respecto a la edad de los árboles.

En estos análisis se deja ver la influencia de los hongos micorrícicos en relación a los diferentes tipos de sitio. Respecto a los mayores incrementos en volumen, se visualiza un efecto mayor en sitios con mayor restricción de precipitaciones y fertilidad de sitio, actuando con mayor fuerza en sitios con restricciones como se demuestra en los ensayos con pino y rauli.

Si se observa las diferencias entre el testigo y las plantas micorrizadas, en el caso de los ensayos de pino radiata en las zonas de Pelarco y Yumbel, cuyos sitios presentan mucho más restricciones de precipitaciones y de fertilidad de sus suelos, se puede observar que los incrementos respecto al testigo son mucho mayores en comparación al ensayo ubicado en Cañete, sitio con más precipitaciones, suelo más fértil y con un crecimiento mayor que los otros dos ensayos pero con incrementos respecto al testigo mucho menores.

Actualmente, INFOR está trabajando en otro proyecto relacionado a la especie *Castanea sativa*, la cual se ha asociado a hongos micorrícicos como *Boletus edulis*, *Boletus aereus*, *Boletus pinophilus*, *Morchella conica*, *Boletus loyo* y *Tuber aestivum*.

7. Conclusiones y Recomendaciones

En el ámbito mundial, numerosos autores han demostrado la importancia de la simbiosis ectomicorrícica para el crecimiento, desarrollo y supervivencia de muchas familias de especies forestales, como son las pinaceas y fagaceas, las cuales no crecen ni se desarrollan normalmente, si su masa radicular no se encuentra infestado por hongos ectomicorrícicos.

La presencia de plantaciones forestales en un sitio determinado, unido a la deficiencia nutricional que afecta a muchos suelos de Chile y el alto costo al utilizar fertilizantes químicos, hacen necesario el estudio y el desarrollo de fertilizantes no contaminantes y de alta duración como son los de origen biológico, que en este caso, corresponde a los hongos ectomicorrícicos que pueden garantizar un aumento en la disponibilidad de nutrientes a un bajo costo para la forestación y reforestación con especies maderables.

La introducción de estos fertilizantes biológicos, llamados también, "biofertilizantes" y de métodos de inoculación más efectivos, aportaría grandes beneficios en el establecimiento de plantaciones en sitios degradados, permitendo que las plantaciones forestales sean sostenible, además de la producción de hongos comestibles de alto valor.

Por otro lado, el asegurar un producto silvestre que sea comestible, de alta demanda y de comprobada calidad nutritiva, podría ejercer un fuerte impacto en la rentabilidad de las plantaciones forestales, además de generar un impacto social por la generación de empleos.

Por otro lado, los medianos y pequeños propietarios forestales serían beneficiados directamente con el uso de plantas inoculadas con hongos comestibles en áreas erosionadas o sitios sin uso que pueden ser recuperados, generando, conjuntamente con la madera, otro recurso forestal de interés económico que les permita incrementar sus ingresos con un producto intermedio cosechable a mediano plazo.

Las exportaciones de hongos presentan atractivas posibilidades en los mercados internacionales europeos, norteamericano y asiáticos, para lo cual se hace necesario elevar los rendimientos en la producción de hongos silvestres comestibles, a través de la utilización de plantas micorrizadas con especies de importancia económica permitiendo entregar mayores áreas para la producción de los hongos deseados.

Todos estos resultados son difíciles de generalizar debido a que los efectos de los distintos tratamientos sobre ciertas especies micorrícicas y su posterior fructificación sólo pueden apreciarse a largo plazo. En el país falta investigación en esta área, lo que para aprovechar la oportunidad que significa el constante crecimiento de la demanda mundial por estos alimentos, debe ser abodado con urgencia.

Por otro lado, las restricciones en el uso de productos químicos, cuyo objetivo es la mantención de la calidad ambiental (producción limpia) y la gran cantidad de superficie que posee el país de áreas de secano o con algún grado de degradación, llevará finalmente al camino en el uso de tecnologías alternativas, como es el uso de las micorrizas.

El comportamiento en terreno y la mejor asociación hongo comestible - especie forestal se presenta como una de las principales dificultades tecnológicas en términos de plazos para obtener el producto comestible; adicional a lo que significan los cuidados que se debe tener en cuenta para mantener la calidad de la micorrización y poder obtener el producto final y, también, acrecentar la magnitud de la respuesta en crecimiento de la planta, asociados a la futura cosecha de madera.

Es de esperar que los viveros usuarios de esta tecnología sean capaces de proporcionar un eficiente servicio de producción de plantas, junto con la micorrización de éstas en el ámbito de los hongos micorrícicos comestibles.

Finalmente, se espera que con esta línea de trabajo llevada a cabo por el Instituto Forestal (INFOR), sea una puerta que permita el surgimiento de nuevas iniciativas de investigación en esta área para colaborar con la innovación y desarrollo del sector forestal chileno.

8. Bibliografía

Alvarez, I. 1991. Ecología, fisiología e implicaciones prácticas de las ectomicorrizas. En: Olivares, J. y Barea, J.M.: Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol. II. C.S.I.C., Madrid, pp: 247-259.

Associació Life de Productors De Bolets I Tòfones. 2002. Cultivo de hongos micorrícicos comestibles. Recuperado el 14 de septiembre de 2005 de World Wide Web: http://es.geocities.com/cultivosetasytrufas/

Azcon-Aguilar, C. y Barea, J.M. 1980. Micorrizas. Investigación y Ciencia. 47 : 8-16. Prensa Científica editores, España.

Becerril, J.J. (1996). Influencia de las claras selvícolas en la producción micológica de masas de *Pinus sylvestris* L. de la provincia de Lleida. Proyecto fin de carrera. E.T.S. d'Enginyeria Agrària. Unniversitat de Lleida. 65 p.

Bonet, J.A. 1996. Efecto de la edad de la estación en la producción de hongos micorrícicos y comestibles en masas de *Pinus sylvestris*. Proyecto Final de Carrera, Escola Tecnica Superior D'Enginyeria Agraria. Universitat de Lleida. España. 73 p.

Bonet, J.A. 2002. Gestión de recursos micológicos: aprovechamientos silvestres y plantaciones. http://labpatfor.udl.es/tptpfc/Bonetes.html

Bonet, J.; Fischer, C.; Colinas, C.L. 2004. The relationship between forest age and aspect on the production of sporocarps of ectomycorrhizal fungi in *Pinus sylvestris* forests of the central Pyrenees. Forest Ecology and Management 203:157-175.

Brundrett, M.; N. Bouguer; B. Dell; T. Grove and N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. 374 p.

Castellano, M. A.; Molina, R. 1989. Mycorrhizae. In: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. The Container Tree Nursey Manual, Volume 5. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 101-167.

Cervera, M. 1997. Análisis Comercial del Sector de la Seta Silvestre en Cataluña. Distribución Detallista en la Ciudad de Lleida. Escola Tècnica Superior D'enginyeria Agrària, Universitat de Lleida. Proyecto Final de Carrera. 120 p.

Chávez, O. 2000. Grado de especificidad e incidencia de hongos ectomicorrícicos sobre plántulas de *Pinus radiata* cultivadas a raíz cubierta. Seminario de Título para optar al grado de Técnico Forestal. Los Ángeles, Chile. Departamento Forestal, Unidad Académica Los Ángeles, Universidad de Concepción. 43 p.

Chung, P. 2005. Guía de Campo: Principales Hongos Micorrícicos Comestibles y No Comestibles Presentes en Chile. Concepción, Chile, INFOR.. 26 p.

Colmenares, G. 2001. Micorrizas. Aspectos fisiológicos de la simbiosis. Recuperado el 25 de agosto de 2005 de World Wide Web http://apuntes.rincondelvago.com/micorrizas.html

Corporación Chilena de la Madera. 1986/1987. Micorrización: Simbiosis vegetal que favorece la producción. Boletín Informativo de la Corporación Chilena de la Madera. N°194. pp: 21-23.

Dighton, J. Y Mason, P.A. 1985. Mycorrhizal dynamics during forest tree development. In: Moore, D. Casselton, L.A., Wood, D.A. and Frankland, J.C., eds. Developmental Biology of Higher Fungi. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 117-139.

Donoso, C. 1981. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. Valdivia. Editorial Universitaria. Tercera edición. Universidad Austral de Chile. 369 p.

Donoso, J. 1989. Hongos: Clasificación, identificación, relación hongo/árbol, introducción de especies comestibles exóticas.p: 6-30. . En: Antecedentes sobre hongos comestibles en Chile. Ackerknecht, C.(ed.). Temuco, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Regional Temuco, Carrera de Técnico Universitario Forestal. 82 p.

Egli, S., Ayer, F. y Chatelain, F. (1990). Der einfluss des pilzsammelns auf die pilzflora. Mycologia Helvetica, 3 (4): 417-428.

FAO. 1992. Productos forestales no madereros: posibilidades futuras. Estudio FAO Montes, n° 97. 36 pp.

FAO. 1993. Cosecha de hongos en la VII región de Chile. Estudio monográfico de Explotación Forestal 2. 35 p.

Fernández De Ana Magán, F.J. (1998). Millora dos sistemas forestais para a producción de cogumelos. Conferencia en el "I Congreso Internacional de

Micoloxía", Monforte de Lemos, Lugo.

Fernandez Toiran, M. ; Atienza Martinez, A. ; Rigueiro Rodriguez, A. ; Castro Cerceda, M. 1993. Producción de hongos comestibles en masas de *Pinus sylvestris* de Soria. Efectos de los tratamientos selvícolas. Documentación del I Congreso Forestal Español. Lourizán 1993. T. III: 363-368.

Fernandez Toiran, M.; Rigueiro Rodriguez, A.; Castro Cerceda, M. 1996. Effects of forest treatment on mycorrhizal fruit body production in *Pinus sylvestris* stands in Soria (Spain). Proceedings of the fourth European Symposium on Mycorrhizas. 531-534 pp.

Garrido, N. 1986. Survey of ectomycorrhizal fungi associated with exotic forest trees in Chile. Berlin - Stuttgart. Nova Hedwigia 43. 3-4. 423-442.

Garrido, N. 1988. Agaricales s.l. und ihre Mykorrhizen in den *Nothofagus* - Wäldern Mittelchiles. Berlin - Stuttgart. Bibliotheca Mycologica. Band 120.

Godoy, R.; González, B. 1994. Simbiosis micorricica en la flora de ecosistemas dunarios del centro-sur de Chile. Revista Guyana Botánica. 51(2): 69-80.

Gómez, V.; Gómez, . 2004. Producción natural de hongos comestibles silvestres del ejido La Ampliación, Comunidad de Atécuaro, Michoacán. Biológicas 6: 48-56.

Hacskaylo, e. 1957. Pure culture synthesis of pine mycorrhizae in Terra-lite. Mycología. 45: 971-975.

Harley, J.L. ; Smith, S.E. 1983. Mycorrhizal Simbiosis. Academia Press. London. 483 p.

Harvey, A. E.; Jurgensen, M. F. ; Larsen, M. J. (1980a). Clearcut harvesting and ectomycorrhizae: survival of activity of residual roots and influence on a bordering forest stand in western Montana. Can J. For. Res., 10: 300-303.

Harvey, A. E.; Larsen, M. J. ; Jurgensen, M. F. (1980b). Partial cut harvesting and ectomycorrhizae: early effects in Douglas-fir-larch forests of western Montana. Can. J. For. Res., 10: 436-440.

Hawley, R. C. ; Smith, D. M. 1972. Silvicultura práctica. (Ed. en castellano). Omega (Eds.). Barcelona. 544 p.

Hernández, A. 2004. Las micorrizas. Recuperado el 19 de octubre de 2005 de World Wide Web : http://www.cdeea.com/micorrizas5.htm.

Herrera, J. 2004. Incidencia del medio de cultivo y pH sobre el crecimiento de especies de hongos ectomicorrícicos asociados a plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Forestal. Concepción, Chile. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. 63 p.

Honrubia, M.; Torres; Díaz, G.; Cano A. 1992. Manual para micorrizar plantas en viveros forestales. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA, Madrid. España. 47 p.

Honrubia, M. 1995. Micorrización. Pp: 167-183. En: Producción de plantas forestales. José Fco. Ballester - Olmos y Anguis (ed.) Documento de Trabajo. U. Politécnica de Valencia. Depto de Producción Vegetal. Escuela Universitaria de Ingeniería. Técnica Agrícola de Valencia. 218 p.

Hora, F.B. (1959). Quantitative experiments on toadstool production in woods. Trans. Brit. Mycol. Soc. 42: 1-14.

INFOR-CORFO. 1989. Exportaciones de Hongos Silvestres. Boletín de Mercado Forestal. 08(104): 02-04.

Ipinza, R.; Serrano, M. 1982. Micorrización artificial sobre pino insigne en la Estación Experimental Pantanillo - Las Brisas (VII Región). Universidad de Chile, Escuela de Cs. Forestales, Cs. Forestales v. 2. n. 2 pp: 77-93.

Iturra, A. 1998. Efecto de Plantaciones de *Pinus radiata* D. Don con diferentes edades en la reacción del suelo y su impacto sobre las poblaciones de micorrizas. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Forestal. Concepción, Chile. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. 67 p.

Koske, R.E.; Polson, W.R. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization?. Bioscience 34: 420-424.

Kutafyeva, N.P. 1975. Vlijanie udobrenii na urozai gribov v sosnjakah srednego Priangarja. (Summary: Effects of fertilizers on mushroom yield inpine forest along the middle Angara). Mikol. Fitopatol. 9: 288-293.

Le Tacon, F. 1997. Vers une meilleure prise en compte des champignons mycorhiziens dans la gestion forestière. Rev. For. Fr. XLIX, nº sp: 245-255.

Luengo, M. 1989. Detección, colección y recolección de hongos silvestres comestibles. p:41-44. Ackerknecht, C.(ed.). Temuco, Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Regional Temuco, Carrera de Técnico Universitario Forestal. 82 p.

Madrigal, A.; Gomez, J. A. Y Montero, G. (1985) Estado actual de las investigaciones sobre claras. Primeros resultados obtenidos en una experiencia en masa artificial de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Comunicaciones INIA, Serie Recursos Naturales, 42. 49 p.

Malajczuk, N. 1995. Packaged fungi for faster plantation growth. Research updates from the CSIRO.Divisions of Forestry and Forest Products. CSIRO, Australia. 1p.

Martínez, F. 1999. Importancia de los aprovechamientos micológicos: El ejemplo del monte Pinar Grande (Soria). Recuperado el 20 de septiembre de 2005 de World Wide Web: http://www.casadelatierra.com/aprov_micologicos.pdf

Max, D. y Tak, B. 1965. Effect of pH on mycorrhizal formation of Slash pine in aseptic culture. Forest Science. 11(1): 65-74.

Mikola, P. 1970. Mycorrhizal inoculation in afforestation. International Review Forestry Research 3: 123-196.

Mikola, P. 1973. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practices. In: Ectomycorrhizae- their ecology and physiology. Edited by G.C. Marks and T.T. Kozlowski. Acad. Press, New York, pp. 383-411.

MIKRO-TEK. 1998. Mycorrhizal Inoculation for reforestation seedlings. Paper presented at the Annual Workshop of the LUSTR CO-OP. February 9-12, 1999, North Bay, ON. 10 p.

Montecinos, M. 2000. Cepas fisiológicamente más adaptadas. Santiago, Chile. Bioplanet, biotecnología para sus negocios. Año 1, n. 5. pp.22.

Montoya, J. ; Camara, M. 1996 La planta y vivero forestal. Mundi-Prensa, Madrid - Barcelona - México. 127 p.

Morcillo, M. 2000. Ectomicorrizas. Revista Terralia. Vol.4 N° 16 Pp: 22-25.

Morcillo, M. 2004. Comunicación personal

Moser, M. 1958. Die kunstliche mykorrhizaimpfung an Forestpflanzen. I. Erfahrungen bei der Reinkulture von mykorrhizapilzen. Forstw Cbl. 77: 32-40.

Ohenoja, E. (1988). Effect of forest management procedures on fungal fruit body production in Finland. Acta Bot. Fennica 136: 81-84 pp.

Ohenoja, E. 1989. Forest fertilization and fruiting body production in fungi. Atti del Centro Studi per la Flora Mediterranea. 7: 233-253 pp.

Oria de Rueda, J.A. 1989. Silvicultura y ordenación de montes productores de hongos micorrizógenos comestibles. Bol. Soc. micol. Madrid, 13: 175-188.

Oria de Rueda, J.A. 1991. Bases para la selvicultura y ordenación de montes productores de hongos micorrizógenos comestibles. Montes, 26: 48-55.

Peredo, H.; Alonso, O.; Valenzuela, E. 1992. Inoculaciones micorrízicas de *Pinus ponderosa* en el vivero forestal de Junin de Los Andes, Argentina. Ciencia e Investigación Forestal. v. 6. n. 2. P: 157-167.

Pincheira, C. 1999. Análisis prospectivo de mercado externo del hongo *Morchella spp.* Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ciencias. Forestales, Departamento. de Manejo de Recursos Forestales. Tesis Ingeniería. Forestal. 56 p.

Pritchett, W. 1991. Suelos Forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Limusa Ed., México. 634 p.

Reyna, S. 2000. La trufa, truficultura y selvicultura trufera. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 229 pp.

Robson, A.D.; Abbott, L.K.; Malajczuk, N. 1994. Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Proceedings of an international symposium on management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. 28 September - 2 October 1992, Perth, WA, Australia. 238p.

Roca, J.C. 1999. Parque Micológico del Valle Belellé. Escuela Politécnica Superior, Campus de Lugo. Universidad de Santiago. Recuperado el 25 de agosto de 2005 de World Wide Web: http://www.geocities.com/Yosemite/8300/PARQUE_MICOLOG.htm

Rodríguez, A. y Fernández De Ana, F. J. (1993) Evolución de una colonia de un hongo ectomicorrícico *Boletus fragans* bajo castaños híbridos. Actas Congreso Forestal Español. Lourizan. Tomo III: 409-414.

Sempere, F. y Santamarina, P. 2001. La aplicación de las micorrizas. Revisat Agrícola Vergel. N°2. Pp: 198-201.

Shemakhanova, N.M. 1962. Mycotrophy in woody plants. US Dept. of Commerce. English translation TT66-51073 (1967), Washington, DC, U.S.A.

Smith, S.E.; Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Acad. Press, London. 605 pp.

Sylvia, D.M. 1987. Management of vesicular-arbuscular mycorrhizae following beach nourishment. In: Proc. 7th North American Conference on Mycorrhizae. Gainesville, Florida, U.S.A. Pp. 66-67.

Sylvia, D.M. 2000. Overview of Mycorrhizal symbiosis. Recuperado el 29 de octubre de 2000 de World Wide Web:
http:// dmsylvia.ifas.ufl.edu/mycorrhiza.htm.

Takacs, E.A. 1967. Producción de cultivos puros de hongos micorrizogenos en el Centrol Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Castelar. India Supplemento Forestal 4: 83-87.

Termorshuizen, A.J. 1993. The influence of nitrogen fertilisers on ectomycorrhizas and their fungal carpophores in young stands of *Pinus sylvestris*. Forest Ecology and Management 57: 179-189.

Theodorou, C.; Bowen, G.D. 1970. Mycorrhizal responses of radiata pine in experiments with different fungi. Aust. For. 34: 183-191.

Trappe, J. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. Ann. Rev. Phytopathol., 15: 203-222.

Valenzuela, E.; Ramirez, C.; Moreno, G.; Polette, M.; Garnica, S.; Peredo, H.; Grinbergs, J. 1996. Agaricales más comunes recolectados en el Campus Isla Teja de la Universidad Austral de Chile. Revista Bosque 17(1): 51-63.

Vasco, F. 2003. Aspectos Biológicos de la Unión Hongo-Planta (Micorrizas). Boletín de ARBA. N°12. Pp: 27-30.

Véjar, L. 2000. Cuantificación del grado de colonización micorrízica en bosque nativo y *Eucalyptus globulus* Labill y su relación con la profundidad y el pH del suelo. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Forestal. Concepción, Chile. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. 47 p.

Vogt, K.A. ; Moore, E.E. ; Vogt, D.J. ; Redlin, M.J.; Edmonds, R.L. 1983. Conifer fine roots and mycorrhizal root biomass within the forest floors of Douglas-fir stands of different ages and site productivities. Can. J. of For. Res., 13(3): 429-437.

Vozzo, J.A.; Hacskaylo, E. 1971. Inoculation of *Pinus caribaea* with ectomycorrhizal fungi in Puerto Rico. Forest Sci. 17: 239-245.

Zenón, E. 1995. Hongos Superiores Silvestres Comestibles Autóctonos y Alóctonos Recolectados en la X Región de Chile. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad. de Ciencias, Instituto de Microbiología. Informe de Convenio JICA- UACH. 82 p.



INFOR
Instituto Forestal

Visite nuestra página Web
http:/www.infor.cl

Instituto Forestal
Camino a Coronel Km. 7,5
Casilla 109-C
Concepción, Chile
Fono/Fax: (56-41) 74 90 90