

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACION DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO GESTION FORESTAL Y SU MEDIO AMBIENTE

**INFLUENCIA DE LA INOCULACIÓN CON MORCHELA (*Morchella*
conica Pers. ex Fr.) EN LA SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO
INICIAL DE RAULÍ (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

PATRICIO CHUNG GUIN-PO

Profesor Guía: Ing. Forestal, Sr. Manuel Toral Ibáñez

SANTIAGO - CHILE
2010

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
DE LA CONSERVACION DE LA NATURALEZA
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO GESTION FORESTAL Y SU MEDIO AMBIENTE**

**INFLUENCIA DE LA INOCULACIÓN CON MORCHELA (*Morchella conica*
Pers. ex Fr.) EN LA SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO INICIAL DE RAULÍ
(*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

Patricio Chung Guin-po

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guia Sr. Manuel Toral I.	7,0
Prof. Consejero Sr. Javier González M.	6,5
Prof. Consejero Sr. Horacio Bown I.	6,7

SANTIAGO-CHILE
2010

A mi esposa Loreto

A mis hijos Patricio, Marcos y Gabriel

A mis padres Marce y Moisés

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo y cuyos aportes fueron fundamentales para finalizar esta memoria.

A mi familia, que me apoyó y me acompañó en este hermoso desafío.

A todos mis compañeros del Instituto Forestal, que participaron de una u otra forma en este estudio, y en especial a Braulio Gutiérrez por su valiosa ayuda y buena disposición.

A Don Manuel Toral, por su gran apoyo y orientación en los momentos de incertidumbre.

Al Instituto Forestal, por permitirme realizar esta memoria y apoyarme en su desarrollo.

A Don Horacio Bown y Don Javier González, por las valiosas contribuciones y revisión final de la memoria.

INDICE DE MATERIAS

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1.	Las micorrizas	4
2.2	Clasificación de las micorrizas	5
2.2.1	Endomicorrizas	5
2.2.2	Ectomicorrizas	6
2.3	Las micorrizas como herramienta silvicultural	7
2.4.	Morchela y los productos forestales no madereros	12
2.5.	Antecedentes generales de <i>Morchella sp</i>	13
2.5.1.	Antecedentes de <i>Morchella sp</i> como hongo simbiote	15
2.5.2.	Mercado de <i>Morchella sp</i>	19
3.	MATERIAL Y METODO	21
3.1.	Material	21
3.2.	Método	24
3.2.1.	Análisis individual por ensayo	24
3.2.2.	Análisis entre sitios	24
3.1.3.	Análisis estadístico	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.	Análisis individual por ensayo	26
4.1.1.	Análisis de ensayo El Pajal	26
4.1.2.	Análisis de ensayo El Carmen de Catripulli	31
4.1.3.	Análisis de ensayo Pilmaiquén	35
4.2.	Análisis entre sitios	38
5.	CONCLUSIONES	51
6.	CONSIDERACIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	52
7.	BIBLIOGRAFÍA	54
	ANEXO 1: Análisis estadístico por ensayo	68
	ANEXO 2: Análisis estadístico entre ensayos	75
	ANEXO 3: Pruebas estadísticas	81
	ANEXO 4: Distribución de Datos	86

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°

1	Monto exportado de hongos por especie US\$ FOB (INFOR-CONAF, 2008).	20
2	Ensayos a considerar en el análisis	21
3	Diseño utilizado en los ensayos.	23
4	Diseño utilizado para los análisis entre sitios.	24
5	Altura promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal	27
6	Dac promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal	28
7	Supervivencia promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal	29
8	Altura promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli	31
9	Dac promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli	33
10	Supervivencia promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli	34
11	Altura promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén	35
12	Dac promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén	36
13	Supervivencia promedio de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén	37
14	Alturas medias y análisis estadísticos para los tratamientos T1 y T2 entre los sitios El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén.	39
15	Dac medios y análisis estadísticos para los tratamientos T1 y T2 entre los sitios El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén.	41
16	Porcentaje de supervivencia por edad y sitio de ensayo	44
17	Tabla resumida de análisis de suelo	45

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		
1	Diferentes estados de crecimiento de <i>Morchella conica</i> .	14
2	<i>Morchella conica</i> en contacto con raíces de <i>Nothofagus alpina</i> , Sector de Collipulli.	14
3	Ciclo de vida de <i>Morchella</i> sp modificado (Volk y Leonard,1989).	17
4	Triángulo en términos micológicos (Morcillo y Sánchez, 2004).	18
5	Cuerpos fructíferos de <i>Morchella</i> sp para la venta a exportadores.	19
6	Raíces de <i>Nothofagus alpina</i> infectada con micelio de <i>Morchella conica</i> .	22
7	Micelio de <i>Morchella conica</i> rodeando raíces de <i>Nothofagus alpina</i> .	22
8	Confección de Casilla.	23
9	Postura de estacas.	23
10	Fijación de malla.	23
11	Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal. Valores expresados como media \pm error estándar.	27
12	Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal. Valores expresados como media \pm error estándar.	28
13	Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli. Valores expresados como media \pm error estándar.	32
14	Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli. Valores expresados como media \pm error estándar.	33
15	Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar.	35
16	Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén. Valores expresados como	37

media \pm error estándar.

- | | | |
|----|--|----|
| 17 | Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar. | 40 |
| 18 | Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar. | 43 |

RESUMEN

En Chile, muchos sitios donde se desarrollan especies forestales del bosque nativo han enfrentado intensos procesos de alteración que dificultan su re-establecimiento en las áreas en que tradicionalmente se distribuían. La razón de esto es la pérdida de fertilidad del suelo, la degradación ambiental y la alteración de las poblaciones de microorganismos que conviven en simbiosis con los árboles del bosque.

Para sobrellevar el problema de establecimiento de plantaciones con especies nativas, y a la vez obtener productos no madereros de alto valor comercial, se ha desarrollado la opción tecnológica de combinar la producción forestal con la de hongos micorrícicos comestibles. En efecto, existen técnicas de micorrización de plantas mediante la incorporación en vivero de estos hongos simbiotes. Sin embargo aún existen muchas incógnitas en torno al comportamiento del material micorrizado en terreno. Consecuentemente, el proyecto FONDEF D0111168 "Hongos Micorrícicos Comestibles: Una Alternativa para Mejorar la Rentabilidad de las Plantaciones Forestales", estableció un conjunto de ensayos con especies forestales en vivero, para investigar la influencia en el crecimiento y supervivencia de las plantas en terreno, constituyendo la información y resultados que se presentan y analizan en esta memoria.

Se realizaron plantaciones experimentales en tres sitios de las regiones del Bío Bío, la Araucanía y Los Lagos, con plantas de Raulí (*Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl.) Oerst), inoculadas en vivero con preparaciones miceliales micorrícicas de *Morchella conica*. Estas plantaciones fueron evaluadas a la edad de uno, doce y veinticuatro meses, registrando en cada ocasión la supervivencia, altura y diámetro de cuello de las plantas.

La información obtenida permitió concluir que a los dos años de establecidos los ensayos, existe una influencia estadísticamente significativa de *M. conica* sobre el crecimiento de *N. alpina* en relación al testigo sin inocular, pero no así en la supervivencia.

Las diferencias entre sitios fueron mayores que las que se registraron dentro de los mismos entre plantas micorrizadas y sin micorrizar. Aún así, el efecto de las micorrizas resultó significativo, proponiéndose el uso de *Morchella conica* como hongo simbionte para *Nothofagus alpina*, con el propósito de mejorar el crecimiento de las plantas.

Palabras clave: *Nothofagus alpina*, *Morchella conica*, micorrización.

SUMMARY

In Chile, many native forest sites have faced intense processes of alteration which are making difficult the reestablishment of the same tree species. The reason for this is the loss of soil fertility, environmental degradation and population changes of soil microorganisms that coexist in symbiosis with native trees.

To contribute to solve some of the native species establishment problems, and simultaneously to obtain non timber products of high commercial value, a technological option has been developed to combine timber production with edible mycorrhizal mushroom. Successful plant mycorrhization techniques to incorporate the fungi symbiont in nurseries are available. However, the behavior of mycorrhizal native plants in the field after planting is not well known. The FONDEF project D0111168 "Edible Mycorrhizal Mushroom: An Alternative to Improve Yield of Forest Plantations", laid down a set of field trials, to assess the influence of symbiotic fungi in growth and survival of the planted material.

Field trials were established with nursery inoculated *Nothofagus alpina* plants with mycelial preparations of *Morchella conica* on three sites of the Bío Bío, Araucanía and Los Lagos Regions. Survival, plant root collar diameter and height growth were assessed after one, twelve and twenty four months.

After two years we concluded that there is a effect of *M. conica* on the growth, but not survival of *N. alpina*.

Differences accross sites were larger, than the differences between mycorrhized and non mycorrhized material on the same site. Nevertheless, the effect of mycorrhizal was significant. We concluded that simbiotic use of *M. conica* for *N. alpina* , contributed to improve the growth of plants.

Key words: *Nothofagus alpina*, *Morchella conica*, mycorrhizal.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de hongos comestibles en bosques y matorrales constituye una de las principales riquezas forestales, aunque con frecuencia es ignorada o poco valorada. En general, al mencionar los productos forestales, se piensa exclusivamente en la madera, en circunstancias que los productos forestales no madereros, particularmente los hongos comestibles, ofrecen también una interesante alternativa productiva.

La producción de hongos puede generar una rentabilidad incluso superior a la de cualquier otro producto forestal, sea madera, corteza o frutos, 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.

Las rentas obtenidas por esta producción son logradas en lapsos de tiempo bastante largos, lo que genera 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 y el despoblamiento rural, entre otros; además, el involucrar a la comunidad en el manejo y cuidado del bosque permite que esta lo sienta como algo que es necesario conservar. Este objetivo sólo se puede lograr, si la comunidad rural ve en el bosque algo productivo y que le reporte beneficios periódicamente.

La incorporación de hongos micorrícicos comestibles de alto valor económico puede generar un flujo de ingresos adicional durante todo el período de rotación de un cultivo forestal, haciendo más atractiva la inversión en silvicultura.

Por su parte, los hongos por sí solos ya son importantes para la generación de ingresos estacionales y también como fuente de alimentos para los habitantes de zonas rurales, por cuanto constituyen un producto altamente proteico, con abundante fibra, vitaminas, minerales y escasa cantidad de grasas y colesterol.

Los hongos comestibles presentes en los bosques de Chile constituyen un recurso valioso, cuyo comercio adquiere cada día mayor importancia. No obstante, su producción natural en el bosque es variable, de modo que el interés por obtener una producción alta y estable, ha motivado iniciativas para cultivarlos mediante el establecimiento de plantas inoculadas con las especies fúngicas de mayor valor.

En general, la producción de hongos no suele ser considerada como un objetivo productivo al momento de establecer plantaciones forestales. Esto se debe a la dificultad que involucra cuantificar su producción y su efecto sobre la rentabilidad final para el propietario. Para superar estas dificultades se requieren estudios específicos, así como también crear pautas de gestión de los bosques que permitan compatibilizar el aprovechamiento de los hongos, con las restantes finalidades del bosque.

Uno de los factores que explica la relativamente baja producción de cuerpos frutales de hongos micorrícicos comestibles en las plantaciones forestales, es el empleo de técnicas de establecimiento y manejo inadecuadas, que afectan negativamente las condiciones del suelo, limitando la producción de hongos durante las fases inicial e intermedia de la plantación. De igual forma, la falta de información y conocimientos respecto de los hongos micorrícicos comestibles y sus asociaciones simbióticas con especies forestales, limita el aprovechamiento de estos organismos y también de las ventajas productivas que estos confieren a la plantas, en términos de crecimiento y supervivencia, derivadas de la mayor eficiencia radicular aportada por las micorrizas.

La simbiosis micorrícica en especies forestales constituye una ventajosa oportunidad para implementar líneas de investigación y desarrollo innovativo, que conjuguen la recuperación de suelos degradados, la restauración y enriquecimiento del bosque nativo y el mejor desempeño de las plantaciones, con la generación de productos intermedios de alto valor económico, ecológico y social, como son los hongos micorrícicos comestibles.

El proyecto FONDEF D0111168 “Hongos micorrícicos comestibles: Una alternativa para mejorar la rentabilidad de plantaciones forestales”, ejecutado en el Instituto

Forestal, bajo la dirección del autor de esta memoria, permitió realizar investigación en el ámbito de los hongos micorrícicos comestibles asociados a especies forestales de interés económico.

Parte de los antecedentes derivados de tal investigación dieron origen a la presente memoria de título, la cual tiene como objetivo general: Analizar la influencia de *Morchella conica* en la supervivencia y crecimiento inicial de plantas de Raulí (*Nothofagus alpina*).

Sus objetivos específicos son:

- Evaluar el desempeño inicial de plantas de Raulí con y sin micorrizar en tres ensayos instalados en predios forestales de las regiones del Bío Bío, La Araucanía y Los Ríos.
- Analizar el efecto de los sitios sobre la respuesta simbiótica, en términos de supervivencia y crecimiento de las plantas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Las micorrizas

Las micorrizas (*mykos* = hongo, *rhiza* = raíz) constituyen entidades simbióticas entre un hongo y las raíces de una planta. El nombre fue dado por el botánico alemán Frank en 1885, aunque el estudio de las mismas se inició recién a partir de 1910. Solo después de los trabajos de Mosse, en 1955, comienza a reconocerse su importancia, la cual en la actualidad está fuera de toda duda (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, *cit.* por Reyna, 2000).

La simbiosis micorrícica juega un papel crucial en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas naturales. Dentro de los componentes de mayor importancia de dicha simbiosis está el micelio externo, pues constituye, estructural y funcionalmente, una interface entre los componentes edáficos y vegetales de los ecosistemas. Mediante este micelio las plantas pueden acceder a nutrientes a partir de fuentes orgánicas, permitiendo además, que los árboles se conecten entre sí en la naturaleza (Pérez-Moreno y Read, 2004).

Aunque la simbiosis entre hongos y plantas se encuentra muy extendida en los variados ecosistemas terrestres, los fenómenos de degradación y el uso indiscriminado de sustancias químicas, entre otros, ha planteado la necesidad de actuar de manera sostenible, aplicando técnicas como la micorrización inducida, mediante el uso de inoculantes (Sempere y Santamarina, 2001).

A este respecto, la micorrización controlada es una operación cada vez más habitual en los viveros de todo el mundo. Esta requiere tener claro el destino final de las plantas producidas, para así tratarlas con los elementos fúngicos más adecuados y competentes para desempeñar su función tanto en vivero como en las

distintas condiciones ambientales en que se establecerá la plantación (Sempere y Santamarina, 2001).

2.2 Clasificación de las micorrizas

Harley y Smith (1983), proponen una clasificación de las micorrizas que se basa en las características morfológicas de la infección y en los taxones de los simbioses, distinguiendo siete tipos: ectomicorrizas, endomicorrizas o micorrizas vesículo-arbusculares (VA), ectendomicorrizas, arbutoides, monotropoides, ericoides y orquidioides. Los grupos más importantes, por su alta presencia e impacto en especies vegetales agrícolas y forestales, son las que pertenecen a las endomicorrizas y ectomicorrizas (Honrubia *et al.*, 1992).

2.2.1 Endomicorrizas

Las micorrizas más extendidas a nivel mundial son las de tipo vesículo-arbuscular (VA) o endomicorrizas. Estas se encuentran en una amplia diversidad de plantas, en la mayoría de las plantas agrícolas y forestales, en la mayoría de las Angiospermas y también en muchas Gimnospermas (Harley y Smith, 1983).

Las asociaciones VA pertenecen en su mayoría a la clase *Zigomicetes* y son el resultado de la colonización de raíces jóvenes por hongos de las familias: *Gigasporaceae*, con los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora*; *Glomaceae*, con los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*; y *Acaulosporaceae*, con los géneros *Acaulospora* y *Entrophospora* (Morton y Benny, 1990, *cit.* por Brundret *et al.*, 1996).

En las endomicorrizas, las hifas se desarrollan entre y dentro de las células corticales de la raíz, sin formar un manto miceliar, penetrando las paredes de las células epidérmicas de la raíz y formando estructuras características de esta asociación, como son los arbusculos y vesículas, dentro de la matriz citoplasmática, pero sin invadir la endodermis, el cilindro vascular y los meristemas (Gray, 1971, *cit.* por Pritchett, 1991). Las vesículas son estructuras globosas, inter o intracelulares, irregulares cuya función es la de actuar como órganos de reserva de lípidos. Los

arbúsculos son considerados los sitios de mayor intercambio simbiótico con el hospedante, donde se realiza la transferencia de nutrientes (Brundrett *et al.*, 1996).

2.2.2 Ectomicorrizas (ECM)

Son asociaciones mutualísticas entre un hongo superior y plantas pertenecientes a determinadas familias de Gimnospermas o Angiospermas (Brundrett *et al.*, 1996).

Sólo el 3 al 5% de los vegetales establecen estas asociaciones ectomicorrícicas (Trappe, 1977, *cit.* por Chung, 2005). A pesar de ello, su importancia en el mundo forestal es enorme, debido a que se trata de especies de gran interés económico y ecológico. Entre ellas se encuentran las *Betulaceae*, *Fagaceae*, *Pinaceae*, *Salicaceae*, *Myrtaceae* y *Mimosaceae* (Martinez, 1999), siendo algunos géneros como *Pinus*, *Fagus*, *Larix*, *Picea* (Álvarez, 1991) y *Nothofagus*, obligadamente micorrícicos.

Según Brundrett *et al.* (1996), las ectomicorrizas principalmente incluyen a los *Basidiomycetes*, *Ascomycetes* y algunos *Zygomycetes*, los 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.

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, que contienen humus, que en las capas bajas del suelo mineral (Brundrett *et al.*, 1996).

Externamente, las ectomicorrizas generan un engrosamiento de las raíces terminales provocado por el manto fúngico, generando una división radicular intensa que da lugar a variados modelos de bifurcaciones, formas, tamaños, texturas y colores, lo que estaría dado por la relación entre el hongo simbiote y las raíces del hospedante (Brundrett *et al.*, 1996).

Algunas ectomicorrizas producen cuerpos frutales de alto valor comercial, por lo que esta relación simbiótica en plantación y reforestación puede ser orientada tanto hacia la producción de madera como hacia la producción de hongos (Becerril, 1996).

A nivel mundial, se han registrado un total de 400 especies de hongos ectomicorrícicos que producen setas comestibles (Wang *et al.*, 2002). Por su parte, cada hongo ectomicorrícico puede estar asociado con más de un árbol, y cada especie arbórea puede formar micorrizas con más de un hongo (FAO, 2005).

2.3 Las micorrizas como herramienta silvícola

El uso de microorganismos para estimular el crecimiento vegetal ha concitado gran interés en los últimos años, debido a que además de ser una opción ambientalmente amigable, puede ser utilizada de forma integral para aumentar el crecimiento de las plantas y la productividad de los suelos.

Entre los microorganismos de mayor uso se destacan los hongos micorrícicos, los que pueden ser aislados, seleccionados, multiplicados e incorporados al suelo o a las plantas en forma de inóculo. El proceso de inoculación es complejo e implica diseñar métodos de aislamiento, selección, multiplicación e incorporación adecuados para cada especie. Por otra parte, requiere determinar las condiciones y técnicas culturales que permitan la manifestación óptima de sus efectos. Esta complejidad hace que su resultado no sea predecible bajo todas las condiciones, ni para todas las especies. Por lo tanto, es importante incentivar la investigación al respecto, así como profundizar en el conocimiento de sus principios de funcionamiento y de los efectos de su uso (Molina *et al.*, 2005).

Existen dos tipos de inóculos que se utilizan para micorrizar plantas con hongos ectomicorrícicos: esporal y miceliar. El primero es más barato y fácil de obtener, pero menos efectivo y de resultados más erráticos. El segundo, es de mayor efectividad y eficacia, pero más caro y de mayor complejidad en su producción a gran escala (Honrubia, 1995).

Se han desarrollado diversas técnicas de micorrización artificial, las que varían en su grado de elaboración y complejidad (Corma, 1986). Entre ellas: uso de suelo del bosque, uso de esporas y uso de cultivos puros de micelio. Las dos últimas pueden ser aplicadas usando esporas o micelios en forma pura, o utilizando diferentes sustratos que contengan el inóculo. Tales sustratos, pueden ser agua destilada, turba, vermiculita, carbón activado, arcillas, alginatos, etcétera, los que ofrecen la ventaja de una mejor distribución del inóculo en la superficie de aplicación.

El grado de efectividad de las técnicas de inoculación artificial variarán tanto por el hospedante involucrado como por el hongo micorrícico utilizado, teniendo en consideración que en un programa de inoculación en vivero, un hongo simbiote puede satisfacer uno o varios objetivos, para una o varias especies hospedantes. Sin embargo, ninguno será capaz de satisfacer los diferentes objetivos de todos los viveros (Castellano y Molina, 1989).

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. Las micorrizas permiten mejorar la nutrición de las plantas al incrementar la absorción del agua y los nutrientes minerales, especialmente el fósforo y nitrógeno (Castellano y Molina, 1989).

Las micorrizas pueden producir reguladores de crecimiento que estimulan la ramificación y elongación de las raíces alimenticias, incrementando el número total de raíces absorbentes de la planta hospedante (Castellano y Molina, 1989). De acuerdo a Slankis (1973), citado por Ipinza y Serrano (1982), estos hongos simbiotes proporcionan 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.

La ausencia de elementos nutritivos, especialmente nitrógeno y fósforo, es considerada como un factor decisivo para la formación de ectomicorrizas. Efectivamente, en suelos pobres las ectomicorrizas son más frecuentes; en

cambio, en suelos fértiles, la proporción detectada es menor (Azcon-Aguilar y Barea, 1980).

Algunas investigaciones sugieren que los hongos micorrícicos juegan un importante rol en el establecimiento, sobrevivencia, y crecimiento de plantas sobre terrenos erosionados y dunas de arenas. De acuerdo con Koske y Polson (1984), las plantas inoculadas con hongos micorrícicos están mejor adaptados para la estabilización de dunas; en arenas marinas las plantas con micorrizas pueden sobrevivir y establecerse mejor que las sin micorrizas sobre playas erosionadas (Sylvia, 1987). Las plantas micorrizadas prosperan mejor sobre tierras erosionadas porque los micelios se extienden más allá del alcance de las raíces y, similarmente a las raíces de plantas, agregan o juntan las partículas de suelo.

Moser (1958) desarrolló en Austria el concepto de introducción de hongos específicos, los cuales están adaptados ecológicamente al sitio de plantación, permitiendo mejorar el rendimiento de las plantaciones.

La dependencia absoluta de las micorrizas que exhiben muchos árboles forestales ha sido demostrada repetidamente, particularmente durante la introducción de pinos en el Hemisferio Sur. La introducción de hongos micorrícicos obtenidos desde bosques naturales de pino y su uso en la producción de plantas en vivero, permitió a las plantas sobrevivir y crecer vigorosamente hasta después de su trasplante (Mikola, 1970; 1973). Hoy en día, las plantaciones de pino de Australia y Nueva Zelandia son una de las 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 supervivencia, establecimiento y crecimiento de las plántulas de árboles forestales en plantaciones.

Las investigaciones han demostrado que el tipo y cantidad de beneficios entregados por las micorrizas a las plantas dependen de la especie y de la capacidad infectiva del hongo que se asocia con ella (Smith y Read, 1997).

En el caso de los bosques chilenos y 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 asociación micorrícica (Donoso, 1981).

Según Singer y Morello (1960, *cit. por* Donoso, 1981), la mayor plasticidad que le confiere la asociación micorrícica a las especies de *Nothofagus*, es una de las causas de que éstas se distribuyan tan homogéneamente en los bosques mixtos, permitiéndoles ser más agresivas y resistentes a condiciones adversas facultándolas para actuar como especies pioneras y para mantenerse en áreas deterioradas.

Los beneficios biológicos para las plantas por efecto de la inoculación con hongos micorrícicos son conocidos. Se reconoce que muchas plantas de vivero se micorrizarán naturalmente. Sin embargo, los hongos micorrícicos que se encuentran en el suelo de los viveros, no necesariamente serán los más benéficos y adecuados para tales plantas, ni para asegurar un efectivo desempeño de las mismas en los sitios de plantación (Chung, 2005).

La inoculación con especies micorrícicas selectas permite obtener plantas con mayor resistencia a infecciones radiculares, por cuanto la presencia de la red de Hartig, formada por el hongo micorrícico en la raíz de la planta, constituye una barrera que bloquea los puntos de entrada a los organismos patógenos. Las plantas inoculadas también son más resistentes a factores de estrés ambiental, tales como temperatura y humedad extremas, así como a aquellos derivados del manejo operacional, como el embalaje, transporte, manipulación y plantación (Chung, 2005).

Según estimaciones efectuadas por Mikro-Tek (1998), el costo de inoculación por planta alcanzaba a los 2 centavos de dólar, equivalentes a US\$ 30-40 por hectárea plantada, dependiendo de la densidad de plantación. Este costo se recuperaría sobradamente con el incremento en la supervivencia. Asumiendo costos de

establecimiento de 700 a 800 US\$/ha, un incremento de solamente un 10% de la supervivencia podría cubrir los costos de inoculación por 2 a 3 años.

A su vez, el incremento de la tasa de crecimiento después de la plantación, resultaría en una reducción de los costos de mantención, al evitar una aplicación de herbicida, a un costo de US\$ 150/ha, lo que podría cubrir los costos de la inoculación micorrízica por 4-5 años. Además, evitaría una operación de limpieza manual a un costo de US\$ 350/ha, lo que podría cubrir la inoculación por 10 años (Mikro-Tek, 1998).

La inoculación artificial permite optimizar el desarrollo de las plántulas, incorporar nuevos terrenos a la actividad forestal, reinstaurando la vegetación en lugares deforestados y disminuyendo la probabilidad de infección en viveros y plantaciones. Esta actividad requiere de algunas consideraciones para obtener el máximo de beneficios, entre las cuales Ipinza y Serrano (1982), destacan: la elección apropiada del hongo específico para un hospedante determinado; condiciones ambientales acordes con el período de mayor actividad del organismo; combinación de inoculación con fertilización, en condiciones de vivero y plantaciones; y por último, un tratamiento adecuado del suelo.

De acuerdo con Malajczuk (1995) las plantas inoculadas acelerarían las rotaciones y disminuirían la necesidad de suministrar fertilizantes después de cada ciclo de explotación. El valor de la micorriza podrá incrementarse a largo plazo, cuando escasee el suministro de nutrientes.

El uso de plantas con micorrizas disminuye el tiempo de producción en vivero, además de evitar que las plantas pierdan vigor una vez trasplantadas, lo cual implicaría una pérdida de crecimiento y una mayor predisposición al ataque de agentes patógenos (Ipinza y Serrano, 1982).

Ocasionalmente, las plantas inoculadas no experimentan mayor crecimiento que los testigos en etapa de vivero, pero si lo hacen al momento de establecerlas en las condiciones menos favorables existentes en terreno. (Stenström, 1990; *cit.* por Peredo *et al.*, 1992).

2.4 Morchela y los productos forestales no madereros

Es ampliamente reconocido que el bosque no sólo produce madera, sino que también numerosos otros productos forestales no madereros (PFNM), de sorprendentes e insospechado valor económico. Los PFNM son “todos aquellos productos biológicos, excluida la madera, leña y carbón, que son extraídos de los bosques naturales para el uso humano” (Peters, 1996).

Catalán (2006) estima que los PFNM pueden constituir hasta el 30 al 40% del uso comercial de un bosque. Su importancia radica en que constituyen una fuente de ingresos para sus recolectores y en que potencialmente pueden transformarse en la clave para el manejo sustentable de los bosques nativos.

La recolección periódica de productos del bosque representa un ingreso complementario en la economía de muchas familias rurales. La característica estacional de la producción permite mantener, en algunos hogares, una actividad casi continua que se reparte entre sucesivos productos (Tacón y Palma, 2005), constituyendo además una gran oportunidad para valorizar el bosque nativo a través de la generación de actividades económicas alternativas, que permitan a los pequeños propietarios ocupar su excedente de mano de obra, obtener ingresos estables y diversificar su base productiva.

Aunque no existen registros del mercado interno de estos productos, que permitan evaluar su importancia económica en el ámbito nacional, se dispone de estadísticas de comercialización para la mayor parte de los productos de exportación. La mayor demanda para estos productos se concentra en los países desarrollados del hemisferio norte, los cuales importan principalmente materias primas para la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. El mercado internacional de los PFNM es creciente y con amplias posibilidades para el futuro (INFOR, 2004; Tacón y Palma, 2005).

Entre los PFNM, morchela es uno de los principales generadores de ingresos por concepto de exportaciones. Se trata de un hongo silvestre relativamente escaso, muy demandado en los mercados internacionales por sus excelentes cualidades culinarias y por el cual se pagan altos precios a los recolectores. Esta situación ha

motivado que muchas familias se dediquen a su recolección, principalmente en las Regiones del Bío Bío y de la Araucanía (Taller de Acción Cultural, 2003).

A pesar del sorprendente y atractivo negocio que resulta ser la exportación de morchela, no se encuentra exento de problemas, los elevados precios de compra del producto han generado una enorme presión por su extracción, lo que ha significado la desaparición de muchas de sus poblaciones naturales, más grave aún son las quemadas intencionales que se realizan debido a que *Morchella sp* aumenta su fructificación después de un incendio (Tacón y Palma, 2005), efecto que sólo perdura un año, posteriormente el hongo no vuelve a fructificar.

En base a estos antecedentes, la implementación de acciones que aumenten la presencia de morchela en los bosques nativos, es necesaria para que el negocio no se transforme en un agente de degradación, sino que al contrario sea un “premio” que incentive el manejo forestal sustentable y la conservación de los recursos.

2.5 Antecedentes generales de *Morchella sp*

En Chile se le conoce como hongo “potito”, “pique”, “morilla”, “choclo”, “morchela” o “colmenilla”. Su distribución, aunque no existe un catastro de esta especie, se puede deducir de sus colectas, las que se ubican entre las regiones V a la XI, pudiéndose verificar una serie de formas, colores y tamaños (figura 1), lo que posiblemente demostraría la variabilidad de este género en Chile.

El nomenclador mundial INDEX FUNGORUM (Kirk *et al.*, 2003; *cit.* por Pilz *et al.*, 2004) posee un listado de más de 190 nombres para especies y subespecies dentro del género *Morchella*. Esta diversidad de especies se refleja en el complejo ciclo de vida, las variadas formas de nutrición y una variedad de interacciones ecológicas en hábitat boscosos (Weber *et al.*, 1996).

El género *Morchella* está ampliamente distribuido en el mundo y comprende especies comestibles y conocidas por su adaptabilidad a un gran número de

condiciones ecofisiológicas, ya sea en asociación con plantas hospedantes (figura 2) o como saprófito independiente (Barnes y Wilson, 1998).



FIGURA 1
Diferentes estados de crecimiento de *Morchella conica*.



FIGURA 2
Morchella conica en contacto con raíces de *Nothofagus alpina*, Sector de Collipulli.

En Chile se han identificado varias especies, entre las cuales se encuentra a *M. conica*, *M. esculenta* y otras (Valenzuela, 1995).

A nivel mundial, *Morchella conica* recibe diferentes nombres comunes: Burn Morel (Estados Unidos), Spitzmorchel, morchel (Alemania); Morille (Francia); Amigasa-take (Japón); Colmena, Colmenita, Elote, Elotito, Mazorca (México); Colmenilla, morilla (España); Ekte Morkel (Noruega); Jianyangdujun (China); Spugnola (Italia); Morkel (Dinamarca); Toppmurkla, Murkla (Suecia); Pumpalka (Bulgaria); Smardz (Polonia); Smorchok (Rusia); Zbírciog (Rumania) (Pilz *et al.*, 2007).

Según Courtecuisse y Duhem (1994) *Morchella conica* se clasifica taxonómicamente de la siguiente forma:

Reino	: <i>Fungi</i>	Orden	: <i>Pezizales</i>
División	: <i>Amastigomycota</i>	Familia	: <i>Morchellaceae</i>
Subdivisión	: <i>Ascomycotina</i>	Género	: <i>Morchella</i>
Clase	: <i>Ascomycetes</i>	Especie	: <i>Morchella conica</i> (Pers. Ex Fr.)
Subclase	: <i>Pezizomycetideae</i>		

2.5.1 Antecedentes del género *Morchella* como hongo simbiote

El incremento de la cosecha de morchela en la última década, para abastecer a mercados locales, nacionales e internacionales, ha reabierto la pregunta acerca del status trófico y de funciones de este hongo en los ecosistemas forestales (Smith *et al.*, 2007). De estas investigaciones ha surgido una teoría, que postula a este género como hongos de tipo saprófito, corroborado por la aparición de patentes que permitirían su producción artificial. Sin embargo, la metodología de producción contenida en dicha patente, aún no ha permitido obtener cuerpos frutales. Por el contrario, desde los años 80, se ha realizado una serie de investigaciones en laboratorio y terreno que demuestran el carácter simbiótico de este género (Buscot y Wipf, 1998).

Demostrado el carácter simbiótico de morchela, han surgido empresas como MOREL-FARMS en Estados Unidos, que ha patentando los procedimientos de inoculación para plantas de olmo, estableciendo un negocio rentable, donde cada planta inoculada alcanza valores superiores a los US\$ 23 (Miller, 2006).

En Chile el género *Morchella*, ha sido objeto de algunos intentos de producción artificial. Según Pincheira (1999), una nueva especie de mayor tamaño y de buenas perspectivas comerciales para el mercado, fue introducida en la Región de los Lagos. Otros trabajos de investigación han sido llevados a cabo en las Regiones del Maule, del Bío Bío y de la Araucanía, basándose en el comportamiento saprófito del género.

Según Buscot (1989), la ecología de la fructificación de *Morchella* no ha sido determinada, debido a que habrían muchas interrogantes sobre la descripción de las especies, variedades y ecotipos, las cuales requieren condiciones de desarrollo particulares.

De acuerdo a este autor (*op. cit.*), *Morchella sp.* puede ser saprófita y/o micorrícica dependiendo de si el ecosistema se presenta estable o con algún grado de perturbación, enfatizando sobre la posibilidad de que las morchelas sean bienales, fructificando en primavera a expensas de las reservas acumuladas el año anterior.

Para el caso de morchela sobre sitios con algún grado de modificaciones recientes, estas actuarían como pioneras generando una producción abundante de hongos que rápidamente declinan después de ocurrido estos disturbios, debido a los altos niveles de nutrientes y bajos niveles de competidores. Por el contrario, bajo suelos de bosques estables, con alta competencia por nutrientes, el micelio de morchela se involucra en complejas asociaciones (Pseudomicorrizas) con raíces de árboles, estableciendo una relación que permite que la fructificación se mantenga durante el tiempo (Buscot, 1992a).

Este género, como muchos hongos ectomicorrícicos comestibles, presenta un ciclo de vida complejo (figura 3). De igual forma, su clasificación y la determinación de sus requerimientos de sitio para fructificar, aún no han sido definidas cabalmente, existiendo informaciones muy diversas que dificultan la obtención de conclusiones definitivas (Volk y Leonard, 1989).

Morchela tiene un importante rasgo que lo distingue de otros hongos y que juega un rol importante en su reproducción, el esclerocio. Esta estructura es de tamaño apreciable, está compuesta por grandes células de paredes gruesas que le permiten sobrevivir bajo condiciones adversas. Al momento de germinar, el esclerocio enfrenta dos opciones: formar micelio o producir cuerpos fructíferos. Usualmente, el esclerocio genera micelio, pues los requerimientos ambientales para este proceso son menos específicos, mientras que para la producción de los cuerpos fructíferos demanda condiciones ambientales muy específicas (Volk, 1991).

En Chile, las distintas especies representantes del género *Morchella* se distribuyen desde la V a XI región. (Valenzuela, 1995; Pognat, 2001). Se le encuentra normalmente en zonas cordilleranas y precordilleranas, donde fructifica en grupos o en forma cespitosa, principalmente en asociación micorrícica con los bosques nativos del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa y Ciprés de la Cordillera (Pognat, 2001). También es posible encontrarlas en asociación con bosques introducidos, especialmente de coníferas (Valenzuela, 1995).

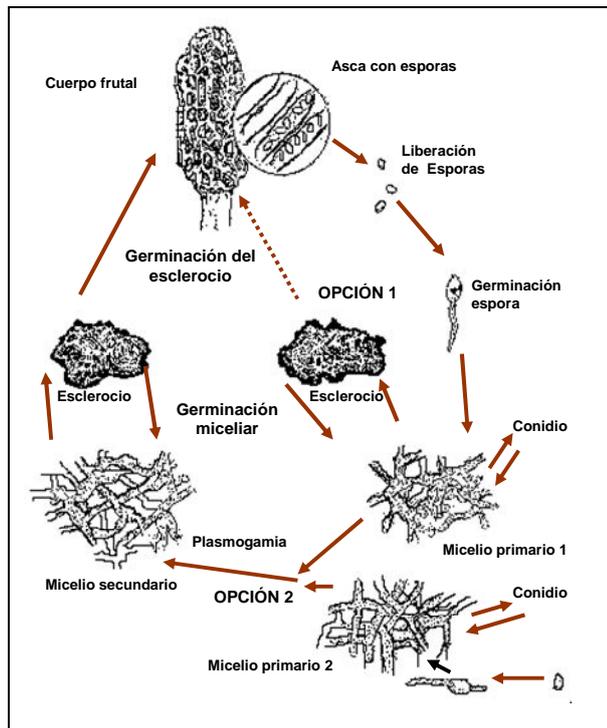


FIGURA 3
Ciclo de vida de *Morchella* sp. modificado (Volk y Leonard, 1989).

Los cuerpos fructíferos aparecen abundantemente después de incendios, tanto en bosque nativo como en plantaciones de eucaliptos y pino radiata. En estos casos se trata de fructificaciones fugaces, de corta duración y que originan setas de escaso calibre y calidad.

Se han realizado numerosos estudios tendientes a estudiar y/o demostrar que *Morchella* presenta funciones micorrícicas con varias especies forestales. Es así como Smith (1998), estudió la formación de micorrizas, tomando y aislando especies de zonas no perturbadas, comprobando que en condiciones de laboratorio se logra el establecimiento de relaciones miceliales con las raíces de algunas plantas. Estas pruebas realizadas en cultivos puros comprobaron esta asociación en pináceas, incluso con formación de numerosos primordios. Las especies de pináceas productoras de micorrizas, en un 79% de las plántulas, fueron *Larix occidentalis*, *Pinus contorta*, *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii*.

Por su parte, Wipf (1997) observó la penetración intracelular con *M. esculenta* en raíces de *Fraxinus excelsior*, sugiriendo una asociación ectendomicorrícica entre

ambos. A su vez, Mayr (1982) experimentando con cultivos de *M. conica* en *Pinus sylvestris*, sugiere que este hongo podría ser ectomicorrícico.

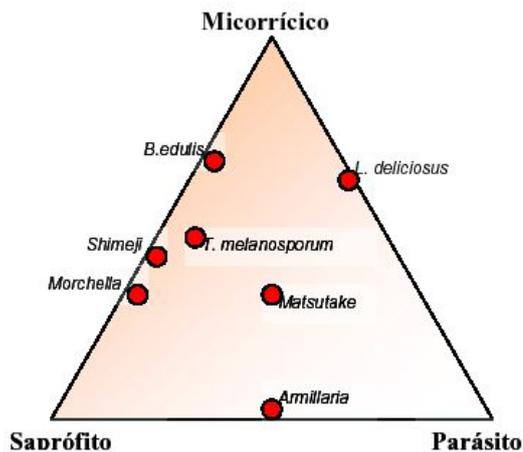


FIGURA 4
Triángulo en términos micológicos
(Morcillo y Sánchez, 2004).

Según Morcillo y Sánchez (2004), existen varias razones por las cuales la relación entre hongo simbionte y huésped se hace compleja, haciéndose casi imposible su relación en forma artificial.

Según estos autores, una de ellas es que los micólogos clasifican a los hongos en micorrícicos, saprófitos y parásitos. En estas tres categorías arbitrarias, creadas por el hombre, no encajan bien todos los hongos. Muchos se encuentran en puntos intermedios en un triángulo definido en términos de micorrícicos, saprófitos y parásitos (figura 4).

Otra posible razón por la cual no se ha conseguido cultivar algunos hongos es por presuponer que son micorrícicos, cuando su relación con la planta huésped es mucho más compleja (Morcillo y Sánchez, 2004).

Algunos parásitos, como *Armillaria mellea*, pueden vivir en los tejidos de los árboles mucho tiempo después de su muerte; otros en cambio, de características micorrícicas, presentan habilidades saprofíticas. Un ejemplo de ello, son las especies *Boletus edulis* (Granetti, 1992), *Hebeloma sp* (Ohta, 1998) y *Lyophillum shimeji* (Ohta, 1994; Hawai Masataka, 1997) que pueden fructificar en el laboratorio sobre medio nutritivo en ausencia de la planta hospedante. Por otro lado, *Tricholoma matsutake*, inicialmente micorrícico en pinos, pasa a ser parásito destruyendo completamente el córtex radical de su huésped e incluso viviendo como saprófito una vez que el árbol está muerto (Wang *et al.*, 1997).

Otro ejemplo lo constituye *Lactarius deliciosus*, típicamente micorrízico, el cual puede invadir las células del córtex de la raíz del pino que lo hospeda y de algunas hierbas a su alrededor, actuando más bien como un parásito (Wang *et al.*, 2003). Esta misma especie produce altos niveles de polifenol oxidasas, una enzima capaz de degradar la lignina y la celulosa, típico de hongos saprófitos (Giltrap, 1982).

2.5.2 Mercado de *Morchella spp.*

El hongo *Morchela* ha llegado a constituir un atractivo producto del bosque nativo chileno, dado el alto precio y la gran demanda que alcanza en los mercados internacionales (figura 5). Sin embargo, su aprovechamiento se ve limitado, por ser un producto silvestre escaso y de producción irregular.



FIGURA 5
Cuerpos fructíferos de *Morchella sp*
para la venta a exportadores

En Chile, la explotación de *Morchella spp.* ha sido creciente en estos últimos años, lo que a futuro podría repercutir en forma negativa en los montos de cosecha y en la presencia de este género en algunas zonas del país, situación que se intensificaría aún más por la explotación irracional del recurso y/o la eliminación de sus ambientes naturales, como el bosque nativo, en el cual se distribuye y vive. El aumento en la demanda por este hongo, a futuro podría ser negativo para su supervivencia, restringiéndose su distribución y aumentando los costos de cosecha.

En Chile, el mercado interno de la morchela es muy escaso, existiendo una demanda interna para el consumo que no ha podido ser cuantificada, pues se trata de un mercado informal, comercializándose preferentemente en restaurantes y hoteles de lujo. Sin embargo, existe una importante demanda en el mercado internacional, lo cual ha llevado al país a exportar casi el 100% de su producción durante varios años. El destino de estas ventas lo constituye principalmente, el

mercado europeo, preferentemente Alemania, Italia, España y Francia (Gysling *et al.*, 2005).

En el año 2007 las exportaciones llegaron casi a triplicarse con respecto al año 2006, sin embargo las fluctuaciones del mercado internacional en la demanda de este producto muestra muchos vaivenes desde el año 1998. A pesar de ello, en los últimos años la demanda se ha incrementado, no sólo por *Morchella sp.* sino que además en *Suillus sp.* y *Lactarius deliciosus* (cuadro 1).

CUADRO 1
MONTO EXPORTADO DE HONGOS POR ESPECIE
US\$ FOB (INFOR-CONAF, 2008).

ESPECIE	1998	1999	2000	2001	2002
<i>Suillus luteus</i>	391.129	2.289.591	3.162.422	4.312.457	3.806.853
<i>Lactarius deliciosus</i>	150.441	276.140	715.788	1.683.520	2.111.051
<i>Morchella conica</i>	100.904	1.775.826	1.072.701	488.240	1.093.469
S/I	9.032.659	1.622.154	886.780	581.480	233.906
Total	9.675.133	5.963.710	5.837.691	7.065.697	7.245.279
ESPECIE	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Suillus luteus</i>	4.850.328	3.543.836	3.591.464	7.290.774	9.015.221
<i>Lactarius deliciosus</i>	1.100.354	895.865	187.040	2.067.885	1.310.958
<i>Morchella conica</i>	971.915	1.199.001	1.659.3234	1.226.674	3.061.555
S/I	778.221	864.843	540.978	2.378.763	2.245.699
Total	7.700.818	6.503.544	5.978.806	12.964.096	15.633.434

En un estudio de mercado sobre los hongos silvestres realizado por INFOR el año 2005, se detectó que el precio del hongo fresco variaba entre 1.800 y 10.000 \$/Kg, mientras que el precio por el producto seco, vendido a granel en el mercado nacional, fluctuaba entre los 20.000 y 50.000 \$/Kg. Respecto al precio de exportación, este fluctuaba entre los 70.000 y los 140.000 \$/Kg seco (Gysling *et al.*, 2005). Estas variaciones de precios se deben principalmente a fluctuaciones ambientales y a la creciente tendencia mundial a consumir alimentos saludables y naturales, que inciden en la oferta y demanda de este producto.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Material

Se utilizó la información generada en tres ensayos instalados el año 2003, durante la ejecución del proyecto FONDEF “Hongos Micorrícicos Comestibles: Una Alternativa para Mejorar la Rentabilidad de Plantaciones Forestales”(Cuadro 2), en los cuales se contrasta el desempeño de plantas de Raulí inoculadas con morchela versus testigos sin inocular.

**CUADRO 2
ENSAYOS A CONSIDERAR EN EL ANÁLISIS**

Sitio	El Pajal	El Carmen de Catripulli	Pilmaiquén
Comuna	El Carmen	Curarrehue	Panguipulli
Región	Bío Bío	Araucanía	Los Ríos
Ubicación geográfica	37° 0' 13" S 71° 48' 40" O	39° 23' 6" S 71° 39' 33" O	39° 51' 24" S 71° 56' 39" O
Altitud	627 msnm	617 msnm	650 msnm
Topografía	Sector con lomaje suave con ondulaciones y pendientes que varían entre 1-4%.	Sector plano de media ladera con pendiente suave de 1-3%.	Sector plano de media ladera con pendiente suave de 1-2%.
Clasificación Climática	Clima Mediterráneo templado (Comuna El Carmen, 2006).	Clima Mediterráneo frío (Tosso, 1985; <i>cit. por Esse et al., 2007</i>).	Clima Templado lluvioso con influencia mediterránea (U. de Concepción, 2007).
Precipitación	Precipitación media anual mayor a 1.400 mm, con periodo seco de 3 a 4 meses (Comuna El Carmen, 2006) que comprenden un total de menos 40 mm (Dirección Meteorológica de Chile, 2008).	Pluviometría anual superior a 2.000 mm con 3 a 4 meses relativamente secos que suman un agua caída por sobre los 200 mm (Dirección Meteorológica de Chile, 2008).	Precipitación anual de 2.558 en Panguipulli (Vergara, 2004), por lo que para el sitio, los montos son superiores.
Temperatura	Temperatura media anual entre 12,5 y 13,9. La temperatura máxima en verano entre 27 y 29°C y la temperatura mínima en invierno, entre 2,9 y 4,8 °C (Comuna El Carmen, 2006).	Las temperaturas varían en promedio, entre una máxima de 21,4°C y una mínima de 2,1 °C (Santibáñez y Uribe, 1993) y promedios anuales se casi 12°C.	Temperatura media de 11,3 °C, en verano sube a 16°C con extremas sobre 30°C, temperaturas mínimas promedio en invierno de 6,5°C, con extremas de -10°C (Contreras <i>et al.</i> , 1996).
Suelo	Derivado de cenizas volcánicas. Franco limoso con buen drenaje con profundidad de 1 m. o más.	Profundos originados de cenizas volcánicas. Franco limoso con buen drenaje con profundidad de 1 m. o más.	Profundos, originados de cenizas volcánicas. Franco limoso con buen drenaje con profundidad de 1 m. o más.
Uso	Plantación de trigo.	Pradera para ganado bovino.	Bosque nativo degradado y Matorrales para extracción de leña.
Vegetación	Escasa. Algunos robles añosos, zarzamora y pastos anuales.	Escasa. Algunos robles añosos y regeneración Predominan pastos anuales, quila y zarzamora.	Abundante vegetación con presencia de algunos robles degradados, avellano, quila, entre otras especies menores y pastos anuales.

Las plantas utilizadas en los ensayos fueron producidas un año antes de la plantación, utilizando semillas del huerto semillero clonal de Raulí “Huillilemu” ubicado en la Región de los Ríos.

Las plantas fueron acondicionadas e inoculadas en vivero. El procedimiento de inoculación consistió en aplicar 10 cc de inóculo miceliar (2 cc de inóculo puro disuelto en 8 cc de agua destilada) directamente en las raíces de las plantas de Raulí, utilizando jeringas desechables. El micelio de *Morchella conica*, fue preparado en el Laboratorio de Micología del Instituto Forestal Sede Bio Bio, mediante suspensiones miceliarias en medio líquido. Trascorrido 8 meses desde la aplicación del inóculo, se realizó la medición del grado de infectividad del hongo. Los resultados corroborados por el Dr. Norberto Garrido y su grupo de Micología de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción, determinaron un porcentaje de micorrización de 28,3 +/- 14,1%. Una vez verificado el porcentaje de inoculación se procedió a llevar las plantas a los sitios de plantación respectivos (figura 6 y 7).



FIGURA 6
Raíces de *Nothofagus alpina* infectada
con micelio de *Morchella conica*

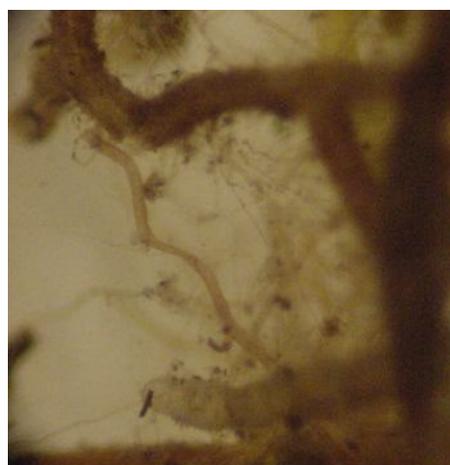


FIGURA 7
Micelio de *Morchella conica*
rodeando raíces de *Nothofagus alpina*

Los ensayos utilizados para los análisis fueron instalados en el mes de agosto de 2003, utilizando un Diseño en Bloques Completos al azar. En cada bloque de un total de tres, se dispuso en forma aleatoria los tratamientos: T1, plantas testigo sin micorrización y T2, plantas micorrizadas con morchela (cuadro 3).

**CUADRO 3
DISEÑO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS**

Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
Sin Micorriza (T1)	Sin Micorriza (T1)	Sin Micorriza (T1)
Con Micorriza (T2)	Con Micorriza (T2)	Con Micorriza (T2)

La plantación se hizo en casillas de 40 x 40 x 40 cm y con un espaciamiento de 4x2 metros. Las plantas se protegieron individualmente, rodeándolas con malla raschell (80% de sombra) fijada con tres estacas de coligüe, de una altura de 100 cm y enterradas a 10 cm de profundidad. La función de esta malla fue proteger a la planta de lagomorfos y de la radiación solar durante sus primeros años de crecimiento (figura 8, 9 y 10).

El número de plantas utilizadas para cada tratamiento fue de 176, tanto para las testigos como para las plantas inoculadas con morchela, totalizándose 352 plantas para cada uno de los bloques y 1.056 plantas por cada ensayo.



**FIGURA 8
Confección de Casilla**



**FIGURA 9
Postura de estacas**



**FIGURA 10
Fijación de malla**

Se realizó control manual de malezas en un radio aproximado de 80 centímetros alrededor de la planta. Este se efectuó a los 2 meses de la plantación y fue repetido 12 meses después. Junto con el primer control manual de malezas se aplicó herbicida (Glifosato, 5 L/ha) entre las hileras de plantación. Esta aplicación se realizó con bomba de espalda y boquilla tipo abanico. Para evitar el contacto del producto con las plantas, éstas se cubrieron con bolsas plásticas, las cuales se retiraron después de aplicar el producto.

3.2 Método

3.2.1 Análisis individual por ensayo

Para efectos del estudio, se realizó una evaluación del desempeño inicial de plantas de Raulí con y sin micorrizar en tres ensayos instalados en predios forestales de las regiones del Bío Bío, La Araucanía y Los Ríos, controlándose el crecimiento de las plantas, mediante la medición de la altura y diámetro a la altura del cuello (DAC). Además, para medir la influencia de los tratamientos sobre la supervivencia de las plantas, se contabilizó la mortalidad en cada uno de ellos. Los datos obtenidos se analizaron para cada ensayo individual, aplicando los correspondientes análisis de varianza. Para la realización de las pruebas estadísticas se utilizó el programa INFOSTAT® versión 2006 (Anexo 1).

Cada ensayo fue evaluado en tres ocasiones, en las que se registró la supervivencia, altura y diámetro de cuello (DAC) de cada planta. Las evaluaciones se efectuaron entre los meses de agosto y septiembre de los años 2003, 2004 y 2005, al mes de plantación, a los 12 meses y a los 24 meses, respectivamente.

3.2.2 Análisis entre sitios

Para analizar el efecto de los sitios sobre la respuesta simbiótica, en términos de supervivencia y crecimiento de las plantas, se realizó un análisis conjunto de los tres ensayos, separando como fuente de variación al sitio representado por cada uno de ellos (cuadro 4). También fueron evaluados en forma individual y los resultados comparados entre ensayos (sitios)

CUADRO 4
DISEÑO UTILIZADO PARA LOS ANÁLISIS ENTRE SITIOS

Sitio 1: El Pajal	Sitio 2: El Carmen de Catripulli	Sitio 3: Pilmaiquén
Sin Micorriza (T1)	Sin Micorriza (T1)	Sin Micorriza (T1)
Con Micorriza (T2)	Con Micorriza (T2)	Con Micorriza (T2)

Los datos se analizaron aplicando los correspondientes análisis de varianza y las pruebas de significancia de las medias de los tratamientos a través del Test de Tukey, utilizando el paquete estadísticos INFOSTAT® versión 2006 (Anexo 2).

3.2.3 Análisis estadístico

Previo al análisis de varianza se constató que se cumplieran los supuestos que este contempla. En el caso de la variable supervivencia, expresada en porcentaje, se transformó a Unidades de Bliss, las que definitivamente fueron utilizadas para los análisis estadísticos respectivos.

Para las variables altura y DAC, así como para los valores transformados de los porcentajes de supervivencia de cada ensayo y cada medición, se probaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con las pruebas de Shapiro-Wilks modificado y Levene, respectivamente (Anexo 3 y 4).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis individual por ensayo

4.1.1 Análisis de ensayo El Pajal

La diferencia de altura entre las plantas micorrizadas (T2) y el testigo sin micorrizar (T1), fue escasa al primer mes y aunque aumentó en las mediciones posteriores, no llegó a ser estadísticamente significativa (Cuadro 5, Figura 11).

A pesar que estadísticamente no hubo diferencias entre las medias de los tratamientos, en el cuadro 5 se aprecia un mayor crecimiento medio en esta variable para el T2 en las evaluaciones a los 12 y 24 meses de edad, cuyos valores fueron de $37,11 \pm 0,79$ cm y $64,24 \pm 2,06$ cm, en contraposición a T1 que promedió $36,01 \pm 0,67$ cm y $60,73 \pm 2,21$ cm, respectivamente.

La falta de diferenciación en altura entre los dos tratamientos, pudo deberse a los prolongados períodos de sequía que afectaron a las plantas, durante los dos años de crecimiento, provocando una reducción general del crecimiento en altura. Respecto a esto, Pera y Parladé (2005) señalan que las situaciones de sequía o estrés hídrico pueden influir claramente no sólo sobre la planta sino también sobre las micorrizas. Efectivamente, Morte *et al.* (2001) *cit.* por Pera y Parladé (2005), trabajando con plantas de *Pinus halepensis* inoculadas con *Suillus mediterraneensis* y someténdolas a períodos de estrés hídrico, encontraron que la sequía afectaba el crecimiento de las plantas a pesar de la presencia de la ectomicorriza. Sin embargo, una vez restablecido el riego, los incrementos en las variables como altura y biomasa total fueron mayores en las plantas micorrizadas.

Aseveraciones hechas por Domínguez (2002), indican que las plantas micorrizadas pueden usar más rápidamente los recursos hídricos disponibles, obteniendo mayores crecimientos que las no micorrizadas. Por otro lado, Peñuelas y Ocaña (2000), describen el efecto del estrés hídrico como una diferencia en sensibilidad entre el proceso de crecimiento y la fotosíntesis y, que a partir de unos niveles de

deficiencia hídrica, el proceso de crecimiento se interrumpe completamente, mientras que la fijación de CO₂ continúa a un ritmo relativamente alto. En tanto que, afirmaciones realizadas por Lillezkob *et al.* (2009), indican que los hongos micorrícicos tienen un importante rol en el suministro y almacenaje de agua para sus hospedantes en condiciones de sequía.

De acuerdo a lo mencionado por estos autores, el efecto en el crecimiento de la planta por problemas de sequía, debería ser menor cuando estas se encuentran asociadas a micorrizas, aún así, tal situación no se observó en el ensayo evaluado.

CUADRO 5

ALTURA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL PAJAL

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio ± E.E. (cm)	N	Incremento ± E.E. de T2 respecto a T1 (cm)
Altura 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	30,72 ± 0,46	528	-0,13 ± 0,88
	T2		30,59 ± 0,49	528	
Altura 2004 (12 meses)	T1	Sin diferencias	36,01 ± 0,67	497	1,10 ± 1,13
	T2		37,11 ± 0,79	494	
Altura 2005 (24 meses)	T1	Sin diferencias	60,73 ± 2,21	292	3,51 ± 4,27
	T2		64,24 ± 2,06	345	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

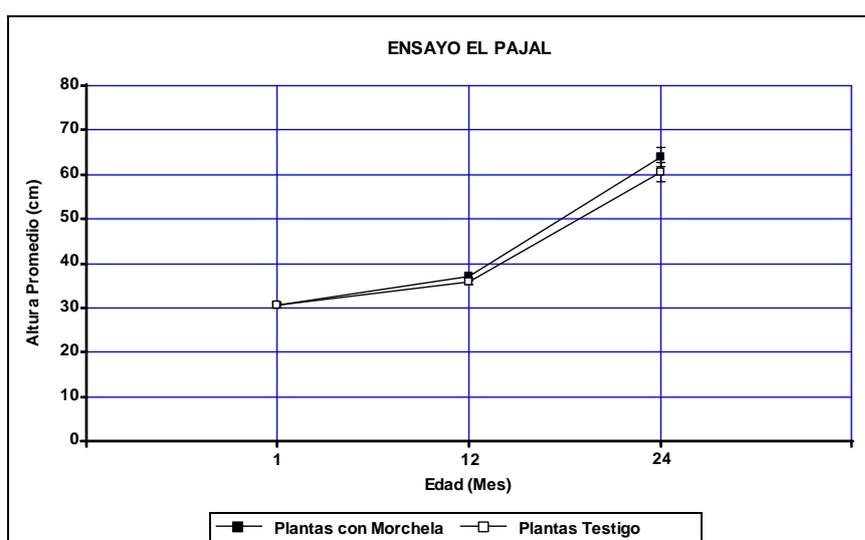


FIGURA 11

Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal. Valores expresados como media ± error estándar.

Con respecto a la variable DAC, esta exhibe una tendencia muy similar al de la altura, aunque en este caso sí se verifica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 12 y 24 meses de edad. El testigo registró valores de $4,38 \pm 0,07$ mm y $6,91 \pm 0,25$ mm para las mediciones realizadas a los 12 y 24 meses, respectivamente; mientras que las plantas asociadas a morchela alcanzaron valores de $4,69 \pm 0,08$ mm y $8,03 \pm 0,31$ m (cuadro 6).

CUADRO 6
DAC PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL PAJAL

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio \pm E.E. (mm)	N	Incremento \pm E.E. de T2 respecto a T1 ((mm)
Diámetro 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	$3,69 \pm 0,04$	528	$-0,04 \pm 0,16$
	T2		$3,65 \pm 0,05$	528	
Diámetro 2004 (12 meses)	T1	**	$4,38 \pm 0,07$	497	$0,31 \pm 0,21$
	T2		$4,69 \pm 0,08$	494	
Diámetro 2005 (24 meses)	T1	**	$6,91 \pm 0,25$	292	$1,12 \pm 0,98$
	T2		$8,03 \pm 0,31$	345	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

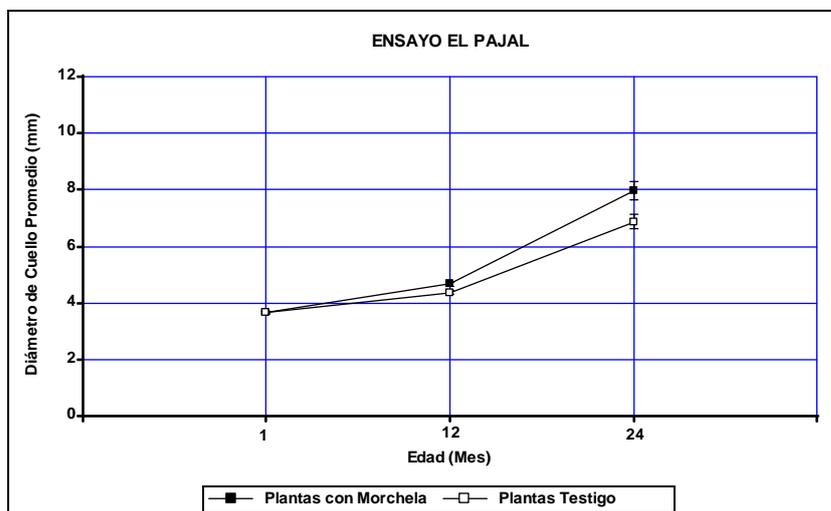


FIGURA 12
Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Pajal. Valores expresados como media \pm error estándar.

La diferencia inicial del DAC entre plantas micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) fue negativa, situación que se revierte en las mediciones posteriores, como se

aprecia en la figura 12. A los 12 meses el T2 alcanza valores mayores de DAC que el T1, diferencia que alcanza a $0,31 \pm 0,21$ mm y que se acrecienta hasta $1,12 \pm 0,98$ mm a los 24 meses.

En lo que respecta a la supervivencia (cuadro 7), en las plantas micorrizadas alcanzó el $65,3 \pm 5,28$ % a los 24 meses, mientras que en el testigo se obtuvo un $55,3 \pm 4,74$ %, estableciéndose diferencias no significativas.

CUADRO 7
SUPERVIVENCIA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL PAJAL

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio \pm E.E. (%)	N
Supervivencia 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	100 \pm 0,00	3
	T2		100 \pm 0,00	3
Supervivencia 2004 (12 meses)	T1	Sin diferencias	94,13 \pm 2,49	3
	T2		93,56 \pm 3,03	3
Supervivencia 2005 (24 meses)	T1	Sin diferencias	55,3 \pm 4,74	3
	T2		65,3 \pm 5,28	3

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

La alta mortalidad a los 24 meses de crecimiento, tanto para las plantas testigo como para las asociadas a morchela, se debió probablemente a las condiciones climáticas adversas en el período estival, dado principalmente por la escasez de precipitaciones y las altas temperaturas. Según Serra (2001), *cit. por* Gutiérrez, (2004), indica que Raulí prefiere temperaturas bajas o moderadas, con limitaciones frente a fuertes fluctuaciones térmicas y prolongados períodos de sequía Sin embargo, la presencia de morchela en las raíces de las plantas, parece influir en la mayor supervivencia de ellas.

La influencia micorrizógena en el aumento en la tolerancia a las temperaturas extremas (Herrera, 1999, *cit. por* Vejar, 2000) y un aumento en la tolerancia al estrés (Roldán *et al.*,1997), son efectos que entregaría morchela para el mejoramiento del desempeño de las plantas a campo abierto.

En condiciones de estrés hídrico los hongos micorrícicos modifican las relaciones hídricas de la planta huésped (Nelsen, 1987; *cit. por* Domínguez *et al.*, 2004). Según lo expresado por varios investigadores, la conductancia estomática, tasa de

transpiración y potencial hídrico en hojas, son frecuentemente más altos en plantas micorrizadas bajo condiciones de estrés hídrico, debido a una mayor captación hídrica, lo que induce en las plantas mayores tasas de fotosíntesis y contenidos hídricos más altos que las no micorrizadas (Domínguez *et al.*, 2004), lo que le permitiría a la planta micorrizada estar mejor preparada para enfrentar períodos de sequía y por consiguiente producirse un mayor crecimiento y supervivencia de las plantas. Sin embargo en el ensayo evaluado las plantas micorrizadas no exhibieron diferencias significativas en altura ni supervivencia respecto a las sin micorrizar, esta diferencia solo se observó para la variable DAC.

Por su parte, Pera *et al.* (1997) *cit.* por Pera y Parladé (2005) realizaron plantaciones experimentales en el norte de España, para determinar el efecto de diferentes hongos ectomicorrícicos sobre el crecimiento y la supervivencia de *Pseudotsuga menziessi*, demostrando que la inoculación ectomicorrícica tenía un efecto muy limitado sobre la supervivencia de estas plantas. Según Trappe (1977), es difícil generalizar el comportamiento de las plantas micorrizadas, pues cada combinación planta-hongo-suelo responde de forma diferente, por lo que surge la necesidad de seleccionar los hongos más adecuados.

Por otro lado, Goss (1960), *cit.* por Dominguez (2002), expresa que la colonización micorrícica mejora la supervivencia de las plantas durante períodos cortos de exposición a la sequía, pero tiene efectos pequeños para períodos más prolongados.

Otros aspectos a tener en cuenta en el análisis de los resultados es la procedencia de la semilla, la cual correspondió a sectores de la Región de los Ríos. Este factor pudiera estar afectando el crecimiento y la supervivencia en la zona de El Carmen, la que presenta ciertas diferencias climáticas, respecto al lugar de origen de la semilla. Al respecto, Lowe *et al.* (1998), recomiendan zonas de plantación con precipitaciones por sobre los 2.000 mm y un límite máximo de 3 meses secos, condición que no coincide con la registrada durante los períodos de crecimiento evaluados en el sitio del ensayo de El Pajal.

4.1.2 Análisis de ensayo El Carmen de Catripulli

Las condiciones de sitio del ensayo y la inclusión de morchela como hongo simbiote, incidirían favorablemente sobre el crecimiento en altura de las plantas, observándose una diferenciación estadísticamente significativa de los individuos micorrizados respecto a los testigos. Como lo muestra el cuadro 8, la variable altura para el T2, presentó valores promedios a los 12 meses de $47,66 \pm 0,93$ cm, comparado a los $41,01 \pm 0,74$ cm alcanzados por el T1. En tanto que a los 24 meses, los valores promedio ampliaron su diferencia, alcanzando los $117,63 \pm 1,45$ cm, para el T1 y $128,51 \pm 1,91$ cm, para el T2, con una diferencia a favor de este último, el que alcanzó a $10,88 \pm 2,42$ cm promedio (figura 13).

CUADRO 8
ALTURA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL CARMEN DE CATRIPULLI

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio \pm E.E. (cm)	N	Incremento \pm E.E. de T2 respecto a T1 (cm)
Altura 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	$39,40 \pm 0,65$	528	$1,22 \pm 1,75$
	T2		$40,62 \pm 0,75$	528	
Altura 2004 (12 meses)	T1	**	$41,01 \pm 0,74$	496	$6,65 \pm 1,87$
	T2		$47,66 \pm 0,93$	498	
Altura 2005 (24 meses)	T1	**	$117,63 \pm 1,45$	484	$10,88 \pm 2,42$
	T2		$128,51 \pm 1,91$	484	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

Los suelos de trumao presentes en este ensayo, así como en los restantes, se caracterizan por poseer contenidos apropiados de carbono y nitrógeno, siendo el fósforo el factor limitante para la nutrición de las plantas (Luzio, 1989 *cit. por* Carrillo *et al.*, 1992). En esta situación, la simbiosis desempeña un papel crucial en la recolonización del suelo, favoreciendo el transporte de fósforo (Borie *et al.*, 1997). Al respecto, como lo indican Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999), la actividad y beneficio de los hongos micorrícicos sobre las plantas son mayores en suelos con deficiencias en fósforo, debido a las mayores tasas de crecimiento que estas plantas presentan en virtud de la aportación de fósforo que realizan estos hongos simbióticos.

Además de las favorables condiciones de suelo, tanto para morchela, como para Raulí y su relación simbiótica, Nimno (*cit. por* Garrido *et al.*, 1979) expresa que

existe un clima óptimo para el desarrollo de Raulí, el que se sitúa al igual que este ensayo, en las provincias de Malleco y Cautín, en la Cordillera Andina, donde las temperaturas son moderadas y el período seco no supera a los 3 meses, con ausencia de heladas fuertes y fluctuaciones térmicas bruscas.

La disponibilidad de materia orgánica en el sitio, pudiera haber influido en el mayor aporte de nutrientes a la planta, gracias a la posible movilización de nutrientes por parte de *Morchella conica* desde estos sustratos orgánicos naturales. Esta acción desarrollada por los hongos micorrícicos, ha sido demostrada por diversos investigadores, los cuales establecieron que dichos organismos fúngicos producen una amplia variedad de enzimas desde su micelio externo, capaces de degradar sustratos que conforman la materia orgánica del suelo (Leake y Read, 1997), para posteriormente transferir los nutrientes en una proporción significativa hacia las plantas asociadas. Esto es reafirmado por Pérez-Moreno y Read, (2000), en diferentes experimentos llevados a cabo, encontrando que grandes proporciones de nutrientes contenidos en las plantas, se derivaron originalmente de la actuación de los sistemas micorrícicos sobre estos sustratos orgánicos naturales. Por otro lado, la distribución natural de morchela refleja probablemente su amplia asociación con árboles que habitan y toleran suelos fríos (Schmidt, 1983; cit. por Pilz *et al.*, 2007).

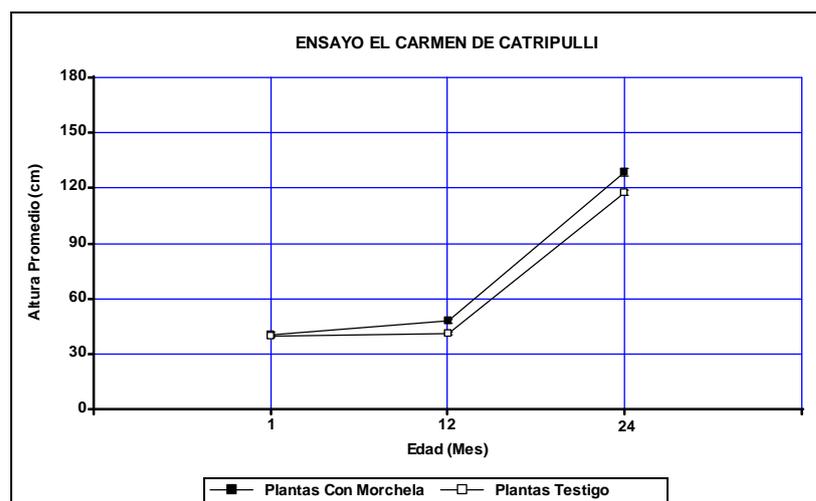


FIGURA 13
Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli. Valores expresados como media \pm error estándar.

Con respecto a los valores promedio del DAC por tratamiento, estos fueron mayores en las plantas micorrizadas (T2) que en los testigos sin micorrizar (T1). Esta diferencia no fue estadísticamente significativa al primer mes, pero sí lo fue a los 12 y 24 meses (cuadro 9).

CUADRO 9
DAC PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL CARMEN DE CATRIPULLI

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio ± E.E. (mm)	N	Incremento ± E.E. de T2 respecto a T1 (mm)
Diámetro 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	3,89 ± 0,05	528	0,10 ± 0,17
	T2		3,99 ± 0,05	528	
Diámetro 2004 (12 meses)	T1	**	4,29 ± 0,05	496	0,70 ± 0,27
	T2		4,99 ± 0,07	498	
Diámetro 2005 (24 meses)	T1	**	11,95 ± 0,16	484	2,06 ± 0,26
	T2		14,01 ± 0,24	484	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

En la figura 14 se presentan las curvas de crecimiento en DAC de los tratamientos considerados.

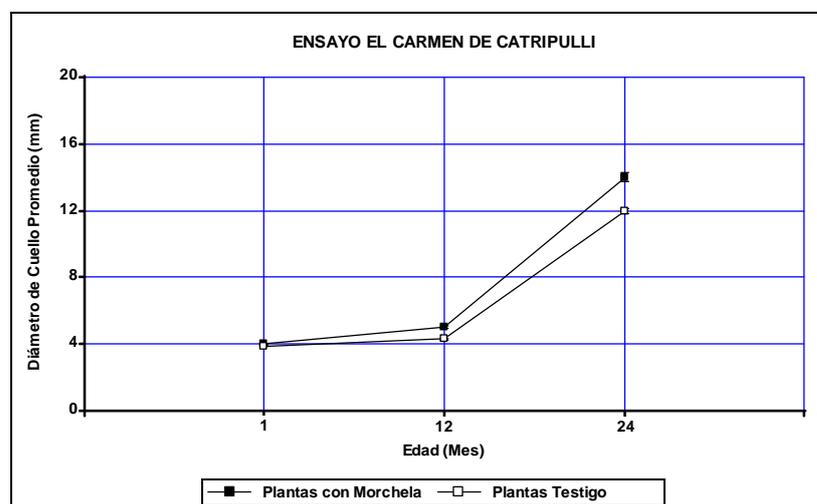


FIGURA 14
Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo El Carmen de Catripulli. Valores expresados como media ± error estándar.

A pesar de encontrarse en un sitio catalogado como de buena calidad, principalmente en relación al clima, el efecto de morchela sigue primando en el

desempeño de las plantas de Raulí. Trabajos realizados por diversos investigadores han tenido similares comportamiento con otras asociaciones, incluso en suelos fértiles y con elevada presencia de inóculo micorrícico natural adquirida en vivero, obteniendo como resultado que las micorrizas continuaban influyendo en el crecimiento de los árboles (Pera y Parladé, 2005). Culling *et al.* (2003) a su vez expresan que aunque el patrón de conducta de la infección micorrícica sea en general negativa frente a un incremento de nutrientes como el nitrógeno, existen algunas especies de hongos que reaccionan positivamente, sugiriendo que existen diferencias funcionales entre las especies fúngicas.

A pesar de ello, otros autores señalan que la colonización de plantas por hongos micorrícicos disminuye al incrementar la fertilidad del suelo (Brundrett *et al.*, 1996), especialmente cuando existen altos niveles de nitrógeno y fósforo, pudiendo llegar a reducir o inhibir el desarrollo de la asociación simbiótica (Honrubia *et al.*, 1992). Esto se debe a que la asimilación de nutrientes por parte de la planta, lleva a un consumo de energía y carbohidratos, lo cual puede reducir el carbono disponible en las raíces para el desarrollo del hongo micorrícico (Pritchett, 1991).

Para la variable supervivencia, los valores observados por tratamiento son altos tanto para T1 como para T2, alcanzando porcentajes por sobre el 90% y sin exhibir diferencias estadísticamente significativas entre ellos (cuadro 10).

CUADRO 10
SUPERVIVENCIA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO EL CARMEN DE CATRIPULLI

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio ± E.E. (%)	N
Supervivencia 2003 (un mes)	T1	Sin	100 ± 0,00	3
	T2	diferencias	100 ± 0,00	3
Supervivencia 2004 (12 meses)	T1	Sin	93,94 ± 1,00	3
	T2	diferencias	94,32 ± 1,64	3
Supervivencia 2005 (24 meses)	T1	Sin	91,67 ± 1,15	3
	T2	diferencias	91,67 ± 1,69	3

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

De acuerdo a los datos obtenidos, no se aprecia una influencia notoria de morchela sobre esta variable en las plantas, siendo posiblemente las condiciones

ambientales, edáficas y microbiológicas favorables al ensayo en su conjunto, las que finalmente influirían mayormente en la menor mortalidad tanto en las plantas micorrizadas con morchela como en las plantas testigo.

4.1.3 Análisis de ensayo Pilmaiquén

Para este ensayo, la aplicación del Análisis de Varianza arrojó diferencias significativas para las medias de la variable altura a los 12 y 24 meses. Los valores alcanzados por el T2 fueron superiores a los del T1 en las tres mediciones (cuadro 11).

CUADRO 11
ALTURA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO PILMAIQUÉN

Variable	Tratamientos	ANDEVA	Promedio ± E.E. (cm)	N	Incremento ± E.E. de T2 respecto a T1 (cm)
Altura 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	29,35 ± 0,35	528	0,93 ± 1,14
	T2		30,28 ± 0,55	528	
Altura 2004 (12 meses)	T1	**	31,21 ± 0,39	499	5,39 ± 2,60
	T2		36,60 ± 0,78	496	
Altura 2005 (24 meses)	T1	**	63,52 ± 1,06	487	4,00 ± 4,40
	T2		67,25 ± 1,41	483	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

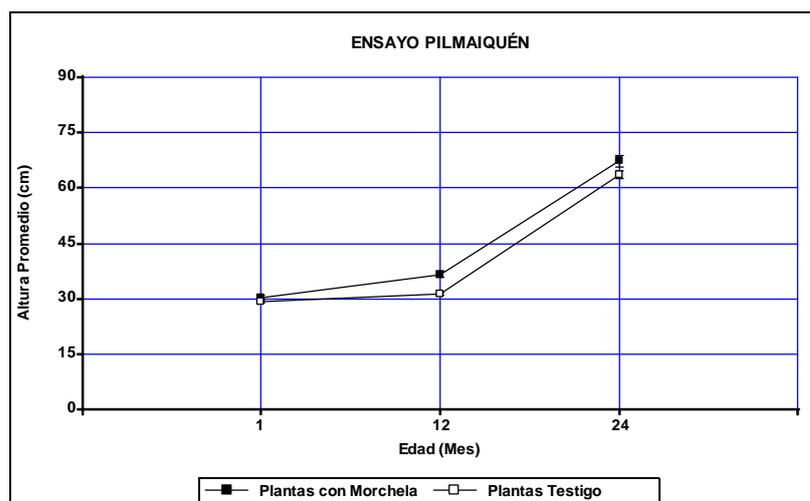


FIGURA 15
Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén. Valores expresados como media ± error estándar.

La altura promedio alcanzada por el T1 a los 24 meses, fue de $63,52 \pm 1,06$ cm, mientras que para el T2, la media fue $67,25 \pm 1,41$ cm. Por otro lado, los incrementos que presentó el T2 fueron acrecentándose hasta los 12 meses, sin embargo, esta comenzó a decrecer a los 24 meses llegando finalmente a $4 \pm 4,40$ cm con respecto al testigo (figura 15).

Esta merma en el incremento a los 24 meses, pudiera deberse a la cobertura existente en el ensayo entre y dentro de las fajas, la que fue en aumento en el transcurso de los meses. Luego de la plantación, la falta de mantención de las fajas habría limitado la entrada de luz hacia las plantas, perjudicando su crecimiento.

Para la variable DAC, los valores medios obtenidos por tratamiento en el ensayo Pilmaiquén, muestran claramente un mayor crecimiento para el T2, respecto al T1. El ANDEVA aplicado a esta variable, arrojó diferencias estadísticamente significativas de las medias entre el T2 y el T1 a los 12 y 24 meses de edad (cuadro 12).

CUADRO 12
DAC PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO PILMAIQUÉN

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio \pm E.E. (mm)	N	Incremento \pm E.E. de T2 respecto a T1 (mm)
Diámetro 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	$2,51 \pm 0,03$	528	$0,04 \pm 0,15$
	T2		$2,55 \pm 0,03$	528	
Diámetro 2003 (12 meses)	T1	**	$3,05 \pm 0,03$	499	$0,59 \pm 0,21$
	T2		$3,64 \pm 0,05$	496	
Diámetro 2005 (24 meses)	T1	**	$3,89 \pm 0,06$	487	$0,74 \pm 0,30$
	T2		$4,63 \pm 0,09$	483	

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

Las tendencias de los crecimientos para el T1 y T2 permiten visualizar a través de la figura 16, un crecimiento a los 12 meses mucho mayor del T2, el cual como se aprecia en el cuadro 12, llega a una diferencia de $0,59 \pm 0,21$ mm respecto al T1. Luego, esta diferencia se acrecentó a los 24 meses de edad, alcanzando un valor de $0,74 \pm 0,30$ mm.

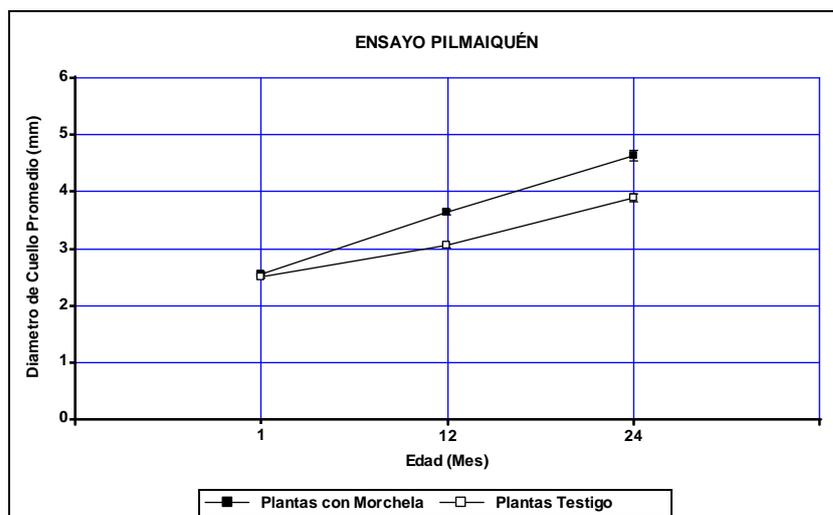


FIGURA 16
Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en el ensayo Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar.

Para la variable supervivencia, los valores porcentuales obtenidos en el ensayo Pilmaiquén, presentaron un leve descenso de la supervivencia de las plantas, tanto para T1 como para T2, respecto al número inicial de plantas. Del análisis estadístico efectuado, se desprende que no existieron diferencias significativas para las tres mediciones realizadas (gráfico 15), por lo que se concluye que morchela no parece tener influencia sobre esta variable, probablemente por las condiciones ambientales presentes.

CUADRO 13
SUPERVIVENCIA PROMEDIO DE PLANTAS DE RAULÍ MICORRIZADAS (T2) Y SIN MICORRIZAR (T1) EN EL ENSAYO PILMAIQUÉN

Variable (edad)	Tratamientos	ANDEVA	Promedio \pm E.E. (%)	N
Supervivencia 2003 (un mes)	T1	Sin diferencias	100 \pm 0,00	3
	T2		100 \pm 0,00	3
Supervivencia 2004 (12 meses)	T1	Sin diferencias	94,51 \pm 0,76	3
	T2		93,94 \pm 1,05	3
Supervivencia 2005 (24 meses)	T1	Sin diferencias	92,24 \pm 0,50	3
	T2		91,48 \pm 0,33	3

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones

En el ensayo Pilmaiquén, las diferencias entre plantas inoculadas y testigos, demostrarían al igual que en los otros ensayos analizados, los efectos positivos al

utilizar a *Morchella conica* como hongo simbiote de Raulí. Los crecimientos en altura se presentaron similares a las del ensayo El Pajal, sin embargo los diámetros promedios obtenidos fueron mucho menores. Este efecto pudiera deberse al dosel arbóreo y arbustivo presente entre y dentro de las fajas, cuya influencia sobre la cantidad de luz recibida por las plantas fue mencionada con anterioridad.

Trabajos realizados en Coigüe, Raulí y Avellano por Álvarez y Lara (2008), señalan que al existir altos niveles de cobertura interfaja y alto valor de área basal en árboles remanentes tanto en fajas como interfajas, el incremento medio anual en altura y DAC en plantas de Raulí decrece fuertemente, debido principalmente a la falta de luz. En este mismo estudio, la cobertura sobretodo influyó significativamente en el diámetro, obteniéndose mayores crecimientos para coberturas menores al 25%, infiriendo que para Raulí la variable DAC en una condición de mayor luminosidad permite obtener un crecimiento mayor.

También es importante considerar la heterogeneidad en la disposición y tipo de vegetación existente entre las fajas, puesto que genera una gran diversidad de condiciones locales de cobertura y estratificación vertical (Álvarez y Lara, 2008).

Por las características del área de plantación, la calidad de las plantas para estas condiciones pudo no haber sido la adecuada. Efectivamente, Peñuela y Ocaña (2000) afirman que la presencia de vegetación en competencia, define la calidad de la planta a utilizar, siendo la altura el factor más influyente sobre el crecimiento del árbol en los primeros años.

A pesar de la influencia por la cobertura de la vegetación entre y dentro de las fajas, el crecimiento del T2 fue mayor al del T1, repitiéndose las tendencias dadas en los demás ensayos tanto para la variable altura como para el DAC.

4.2 Análisis entre sitios

Respecto a la variable altura, se destaca el mejor desempeño obtenido por el ensayo El Carmen de Catripulli, tanto para el T1 y T2, en relación a los logrados

por los ensayos Pilmaiquén y El Pajal. Esta diferencia se vio acentuada a los 24 meses con valores para El Carmen de Catripulli que casi duplicaron a los otros dos ensayos. Los valores obtenidos por los ensayos Pilmaiquén y El Pajal, no manifestaron diferencias significativas entre y dentro de ellos, a excepción del T1 de este último a los 12 meses.

CUADRO 14
ALTURAS MEDIAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS PARA LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2
ENTRE LOS SITIOS EL PAJAL, EL CARMEN DE CATRIPULLI Y PILMAIQUÉN.

Edad	Ensayo	Tratamiento	ANDEVA	Altura Promedio ± E.E. (cm)	N	Test de Tukey ($\alpha=0,05$)
Un mes	Pilmaiquén	T1	**	29,35 ± 0,35	528	a
	Pilmaiquén	T2		30,28 ± 0,55	528	a
	El Pajal	T2		30,59 ± 0,49	528	a
	El Pajal	T1		30,72 ± 0,46	528	a
	El Carmen de Catripulli	T1		39,40 ± 0,65	528	b
	El Carmen de Catripulli	T2		40,62 ± 0,75	528	b
12 meses	Pilmaiquén	T1	**	31,21 ± 0,39	499	a
	El Pajal	T1		36,01 ± 0,67	497	b
	Pilmaiquén	T2		36,60 ± 0,78	496	b
	El Pajal	T2		37,11 ± 0,79	494	b
	El Carmen de Catripulli	T1		41,01 ± 0,74	496	c
	El Carmen de Catripulli	T2		47,66 ± 0,93	498	d
24 meses	El Pajal	T1	**	60,73 ± 2,21	292	a
	Pilmaiquén	T1		63,52 ± 1,06	487	a
	El Pajal	T2		64,24 ± 2,06	345	a
	Pilmaiquén	T2		67,25 ± 1,41	483	a
	El Carmen de Catripulli	T1		117,63 ± 1,45	484	b
	El Carmen de Catripulli	T2		128,51 ± 1,91	484	c

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones; Test de Tukey: Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Las diferencias en las medias de las alturas obtenidas en los ensayos, reflejarían la influencia del sitio sobre esta variable. Esta afirmación concuerda con Strauch (2001, *cit.* por Barra, 2004), el cual manifiesta que esta variable se encuentra asociada a la calidad del sitio, debido a la interacción genotipo-ambiente, generándose variaciones en el crecimiento y tamaño de las plantas.

Los crecimientos promedios en altura, ilustrados en la figura 17, evidencian que a partir de la segunda medición (12 meses), estos se hacen mayores, siendo más acentuado este efecto en el ensayo El Carmen de Catripulli, en comparación con los ensayos El Pajal y Pilmaiquén que presentan un crecimiento muy parecido pero de menor magnitud.

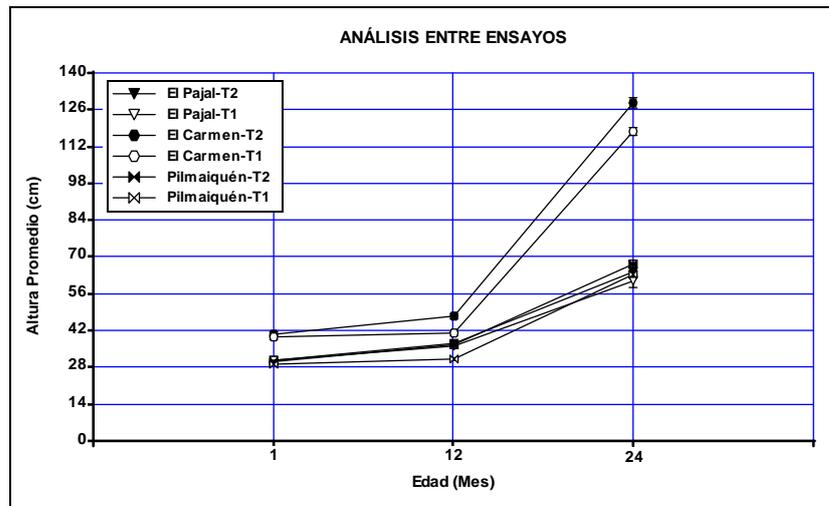


FIGURA 17
Crecimiento en altura de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar.

Con respecto a la altura, se constata para los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y posiblemente el ensayo Pilmaiquén, que el mayor incremento se produjo al comienzo del segundo año de crecimiento. Esto pudiera relacionarse con un ajuste de la planta y de morchela al sitio de plantación, junto con la necesidad inicial de mayores aportes de carbohidratos por parte del hongo. Estudios realizados por Barra (2004) con *Nothofagus obliqua* y *Descolea antarctica*, sugiere que el tiempo mínimo de espera es de 6 meses para observar un efecto del hongo sobre la planta, debido al cambio por trasplante desde el contenedor al lugar definitivo de crecimiento.

Se han descrito efectos negativos transitorios de las micorrizas sobre el crecimiento de las plantas, producido en los estados iniciales de la colonización, cuando el hongo consume carbohidratos sin aportar aún beneficios o cuando las condiciones de fotosíntesis no son óptimas en cuanto a intensidad lumínica y temperatura (Herrera, 1999). Esto se debería a que entre el 10 y 30% de los fotosintatos producidos por la planta, se requieren para la formación, mantenimiento y funcionalidad de las estructuras micorrícicas (Marschner y Dell, 1994). A pesar de este gran costo energético, en los bosques naturales la presencia de estos micosimbiontes es obligada, indicativo de la relevancia de dicha simbiosis para el

mantenimiento de los ecosistemas (Brundrett, 1991), como sucedería para el caso de *Morchella conica* sobre raíces de *Nothofagus alpina*.

Se considera que una de las principales razones de esta presencia obligada es que la ectomicorriza es responsable de gran parte de la absorción de nutrientes en los árboles en sitios donde predomina la simbiosis (Vogt *et al.*, 1982). Cabe notar que, todas las especies de *Nothofagus* presentes en Sudamérica poseen una relación ectomicorrícica obligada (Palfner, 2001).

Respecto al DAC, inicialmente se observó solo diferencias entre los sitios, pero después de transcurridos 12 meses desde la plantación, se produjo una diferenciación dentro de los ensayos entre los valores promedios del T1 y T2, con algunas diferencias entre los sitios. Finalmente, a los 24 meses estas diferencias entre y dentro de los sitios, se manifestaron tanto para el ensayo el Pajal como para el ensayo de El Carmen de Catripulli. Dentro de estos, destaca el predominio del ensayo El Carmen de Catripulli con altos valores, mostrando a los 24 meses de edad crecimientos de $11,95 \pm 0,16$ y $14,01 \pm 0,24$ mm, para los T1 y T2, respectivamente (cuadro 16).

CUADRO 15
DAC MEDIOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS PARA LOS TRATAMIENTOS T1 Y T2
ENTRE LOS SITIOS EL PAJAL, EL CARMEN DE CATRIPULLI Y PILMAIQUÉN.

Edad	Ensayo	Tratamiento	ANDEVA	DAC Promedio ± E.E. (mm)	N	Test de Tukey ($\alpha=0,05$)
Un mes	Pilmaiquén	T1	**	$2,51 \pm 0,03$	528	a
	Pilmaiquén	T2		$2,55 \pm 0,03$	528	a
	El Pajal	T2		$3,65 \pm 0,05$	528	b
	El Pajal	T1		$3,69 \pm 0,04$	528	b
	El Carmen de Catripulli	T1		$3,89 \pm 0,05$	528	c
	El Carmen de Catripulli	T2		$3,99 \pm 0,05$	528	c
12 meses	Pilmaiquén	T1	**	$3,05 \pm 0,03$	499	a
	Pilmaiquén	T2		$3,64 \pm 0,05$	496	b
	El Carmen de Catripulli	T1		$4,29 \pm 0,05$	496	c
	El Pajal	T1		$4,38 \pm 0,07$	497	c
	El Pajal	T2		$4,69 \pm 0,08$	494	d
	El Carmen de Catripulli	T2		$4,99 \pm 0,07$	498	e
24 meses	Pilmaiquén	T1	**	$3,89 \pm 0,06$	487	a
	Pilmaiquén	T2		$4,63 \pm 0,09$	483	a
	El Pajal	T1		$6,91 \pm 0,25$	292	b
	El Pajal	T2		$8,03 \pm 0,31$	345	c
	El Carmen de Catripulli	T1		$11,95 \pm 0,16$	484	d
	El Carmen de Catripulli	T2		$14,01 \pm 0,24$	484	e

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; ; N: Número de observaciones; Test de Tukey: Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Este análisis ratifica los resultados obtenidos en los ensayos individuales, indicando un mayor crecimiento de las plantas micorrizadas con morchela respecto a las no micorrizadas, a los 12 y 24 meses de edad. Sin embargo, la excepción fue Pilmaiquén cuyos promedios del T1 y T2 para la variable DAC no presentaron diferencias estadísticas significativas a los 24 meses de edad.

Las diferencias observadas dentro de cada ensayo en el crecimiento de las plantas inoculadas con morchela respecto a las testigos, evidencian la influencia positiva de morchela en el desempeño de las plantas de Raulí. Este beneficio involucra una mayor eficiencia en la captura de agua para el caso del ensayo El Pajal y de elementos minerales en los tres ensayos, como es el fósforo y nitrógeno por parte de las hifas de morchela sobre la rizósfera. De acuerdo a Domínguez *et al.* (2004), estos elementos en muchos casos están en forma no disponible para las raíces de la planta, y su absorción se realizaría ya sea desde fuentes orgánicas como inorgánicas.

Se afirma que las hifas permiten explorar grandes volúmenes de suelo, en comparación a las raíces de las plantas no infectadas (Dell, 2002), actuando como una extensión del sistema radicular, siendo un órgano fisiológicamente y geoméricamente más eficiente para la absorción de minerales que las propias raíces (Trappe, 1981; *cit. por* Silva et al., 2003). A esto se suma lo mencionado por otros autores, los cuales afirman que los hongos producen reguladores de crecimiento que alteran el sistema radicular de la planta, estimulando la ramificación y elongación de las raíces alimenticias, e incrementando el número de raíces absorbentes (Castellano y Molina, 1989).

Por su parte, Dell (2002) citando a varios investigadores, menciona que el cociente entre la longitud de la hifa y la longitud de la raíz ha sido medido dentro del rango de los 300 hasta valores por sobre los 8.000. Expresado en unidad de volumen de suelo, valores de 16 a 2.000 m hifa/cm³ han sido medidos en plantaciones y en bosques. Por otro lado, Molina *et al.* (2005) menciona que por cada centímetro de raíz micorrizada se le asocian unos 80 cm de hifas externas.

Se debe tener en cuenta que los hongos ectomicorrícicos difieren en muchos aspectos. Entre ellos se puede mencionar su habilidad para tomar varias formas y tipos de nutrientes, su tasa de absorción de nutrientes, su tolerancia al stress hídrico y temperaturas extremas, los tipos de sustratos que ellos habitan (Wiensczyk *et al.*, 2002) y la parte del sistema radicular (distancia desde el tronco) con la cual ellos forman las asociaciones (Smith y Read, 1997).

La figura 18 representa la situación de la variable DAC. En ella se observa una tendencia similar a la presentada por la altura y donde el ensayo El Carmen de Catripulli también evidencia los mayores valores.

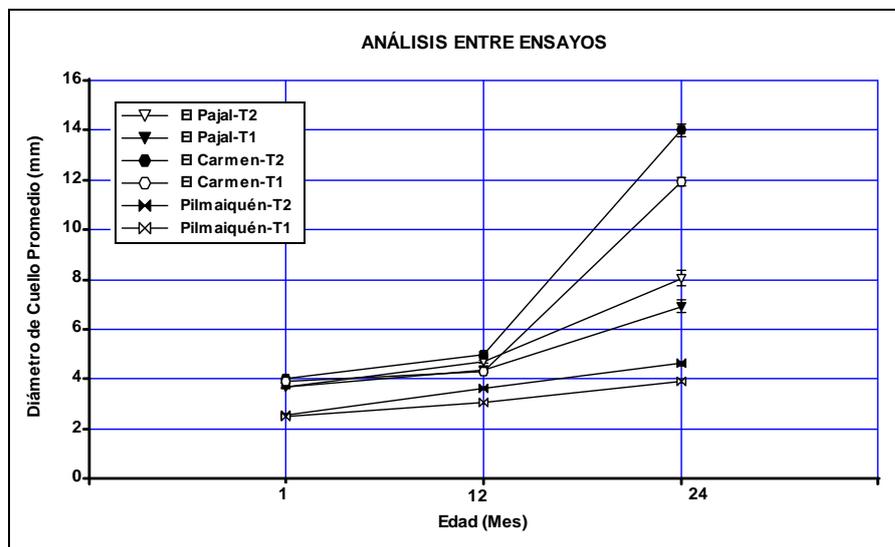


FIGURA 18
Crecimiento en DAC de plantas de Raulí micorrizadas (T2) y sin micorrizar (T1) en los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Valores expresados como media \pm error estándar.

La supervivencia media por tratamiento, ensayo y edad de la plantación se presenta, en el cuadro 17. Sólo se observan diferencias estadísticamente significativas en la tercera evaluación, a los 24 meses, donde el ensayo El Pajal, exhiben una supervivencia claramente inferior a la manifestada en los ensayos restantes, tanto de las plantas micorrizadas como de las sin micorrizar. Sin embargo, el análisis entre las medias del T1 y T2 dentro de cada ensayo, no muestra tales diferencias estadísticas.

Estos resultados sugieren que el sitio posee una influencia mucho mayor en la supervivencia de plantas de Raulí que el uso de morchela como hongo simbiote. La falta de diferenciación entre tratamientos, hace sospechar la infección de las raíces de las plantas con otros hongos micorrícicos locales, o en la incidencia del sitio, como factores mayores que anulan o enmascaran el efecto de morchela. Sin embargo, en sitios más restrictivos, como El Pajal, se insinúa un efecto positivo de morchella sobre la supervivencia, aun cuando los análisis estadísticos no hayan arrojado diferencias significativas.

**CUADRO 16
PORCENTAJE DE SUPERVIVENCIA POR EDAD Y SITIO DE ENSAYO**

Edad	Sitio	ANDEVA	Tratamiento	Promedio ± E.E. (%)	N	Test de Tukey (α=0,05)
Un mes	El Pajal	Sin diferencias	T1	100 ± 0,0	3	a
	El Pajal		T2	100 ± 0,0	3	a
	El Carmen de Catripulli		T1	100 ± 0,0	3	a
	El Carmen de Catripulli		T2	100 ± 0,0	3	a
	Pilmaiquén		T1	100 ± 0,0	3	a
	Pilmaiquén		T2	100 ± 0,0	3	a
12 meses	El Pajal	Sin diferencias	T1	94,13 ± 2,49	3	a
	El Pajal		T2	93,56 ± 3,03	3	a
	El Carmen de Catripulli		T1	93,94 ± 1,00	3	a
	El Carmen de Catripulli		T2	94,32 ± 1,64	3	a
	Pilmaiquén		T1	94,51 ± 0,76	3	a
	Pilmaiquén		T2	93,94 ± 1,05	3	a
24 meses	El Pajal	**	T1	55,3 ± 4,74	3	b
	El Pajal		T2	65,3 ± 5,28	3	b
	El Carmen de Catripulli		T1	91,67 ± 1,15	3	a
	El Carmen de Catripulli		T2	91,67 ± 1,69	3	a
	Pilmaiquén		T1	92,24 ± 0,50	3	a
	Pilmaiquén		T2	91,48 ± 0,33	3	a

** : Indica diferencias significativas entre los tratamientos; E.E.: Error estándar; N: Número de observaciones; Test de Tukey: Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)

La actuación de morchela se vería favorecida con los rangos de pH levemente ácidos observados para los tres ensayos (cuadro 18), puesto que de acuerdo a Palazón (1994), se ha demostrado que morchela alcanza el óptimo de su desarrollo en pH ligeramente ácido, entre 6 y 6,5 descendiendo su frecuencia en sitios por sobre o bajo este rango. Por su parte, las plantas de Raulí también serían favorecidas con estos niveles de pH, pues Peñuelas y Ocaña (2000), señalan que el máximo nivel de absorción de nutrientes por la planta en suelos minerales se obtiene a pH 6,5. Para el caso de las latifoliadas, estas presentan su óptimo funcionamiento entre valores que van desde los 6 hasta los 6,5. Dentro de un conjunto de efectos que promueve el pH, se cuentan sus efectos en la movilidad de

nutriente y su absorción, o la de influir en la actividad de las poblaciones microbianas del suelo (Sylvia, 1999).

De acuerdo a esto y a los resultados obtenidos en los desempeños de las plantas de Raulí en el T1 y T2, se puede inferir que existirían condiciones óptimas de pH para morchela como para las plantas de Raulí, pero que sin embargo no daría por sí sola, la respuesta al mayor desarrollo del T2 sobre T1 pues existen muchos elementos que estarían interactuando en esta relación.

CUADRO 18
TABLA RESUMIDA DE ANÁLISIS DE SUELO

Ensayo	Análisis	Unidad	Valor promedio	Nivel
El Pajal	pH en agua		6,19	Alto
	Materia orgánica	%	9,78	Medio
	Nitratos (N-NO ₃)	mg/Kg	5,86	Bajo
	Fósforo Olsen	mg/Kg	2,86	Bajo
	Potasio Disponible	mg/Kg	21,6	Bajo
El Carmen de Catripulli	pH en agua		6,42	Alto
	Materia orgánica	%	11,25	Medio
	Nitratos (N-NO ₃)	mg/Kg	11,93	Bajo
	Fósforo Olsen	mg/Kg	3,56	Bajo
	Potasio Disponible	mg/Kg	45,56	Bajo
Pilmaiquén	pH en agua		6,37	Alto
	Materia orgánica	%	5,11	Bajo
	Nitratos (N-NO ₃)	mg/Kg	11,33	Bajo
	Fósforo Olsen	mg/Kg	3,20	Bajo
	Potasio Disponible	mg/Kg	46,17	Bajo

Otra variable analizada fue el porcentaje de materia orgánica presente en los suelos de los ensayos, cuyos valores más altos fueron para El Carmen de Catripulli, seguido de El Pajal y Pilmaiquén. La presencia de este elemento, pudiera ser un factor que favorecería la actuación de morchela, ayudando a la descomposición de la materia orgánica y la absorción de nutrientes por parte de las plantas del T2, mejorando así su desempeño en campo a diferencia de las plantas del T1. A su vez pudiera ser un elemento que pudo influir en el mayor crecimiento de Raulí, ya sea para el T1 como para el T2 en el ensayo El Carmen de Catripulli, cuyos porcentajes de materia orgánica coinciden con el máximo valor de este elemento dentro de los tres ensayos. Esta última situación nos lleva a creer que las plantas de Raulí del T1,

presentan también organismos simbiotes que comienzan a colonizar sus raíces, lo que ha ayudado al crecimiento y a la supervivencia de las plantas, y posiblemente estas especies colonizadoras se encuentran interactuando con morchela en las plantas del T2.

Esta habilidad saprofítica de morchela, mencionada por Morcillo y Sánchez (2004), ha sido planteada para otras especies micorrícicas por Pérez-Moreno y Read (2004), mencionando que esta facultad la presentan algunos hongos que son capaces de movilizar ciertas cantidades de nutrientes a partir de sustratos orgánicos naturales. Esto le permitiría a morchela, traslocar los nutrientes directamente a las raíces micorrizadas, las que se conectan a través de la extensa red micelilar sostenida por el carbono proporcionado por las plantas. Por su parte, afirmaciones hechas por Palazón (1994), indica que *Morchella sp.* puede crecer en cualquier sitio que posea una riqueza orgánica, donde el carbono esté presente, característica que se verifica en los tres ensayos evaluados.

La baja presencia de potasio disponible, junto con la menor precipitación registrada en el ensayo El Pajal, pudo haber provocando una alta mortalidad, cercana al 35% para T2 y un 45% para T1. Esta aseveración se fundamenta en que el potasio, posee un papel muy importante en el ajuste osmótico y en la regulación de la apertura estomática, contribuyendo a la disminución de pérdidas por transpiración, permitiendo a la planta resistir mejor los períodos de sequía (Carrillo, 2000). Por lo expuesto, pareciera ser que morchela actuaría en forma importante en la captación de este elemento en el ensayo El Pajal, permitiendo obtener una mayor supervivencia para el T2 respecto a T1 y aumentando de esta forma la tolerancia del T2 al estrés hídrico.

Por su parte, el fósforo es un elemento crítico para todas las formas de vida, por su importante rol en las biomoléculas como el ADN, fosfolípidos y ATP (Sylvia *et al.*, 1999). De la cantidad total de fósforo en la mayoría de los suelos, sólo el 1 al 5% se encuentra como fósforo disponible (Cooper, 1984), sobre todo en suelos de trumao (Luzio, 1989 *cit.* por Carrillo *et al.*, 1992), los cuales se encuentran presente en los ensayos El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Por esta razón, la actuación de morchela para mejorar la captación de fósforo es un hecho importante para

mejorar el desempeño de las planta de Raulí en terreno. Los montos observados en los análisis de suelo de los tres ensayos advierten una fuerte carencia de este elemento, por lo que la actuación de morchela sería importante para captar el fósforo más allá de la rizósfera, trasladando hacia la planta este elemento que se encuentra en forma no disponible para la planta o que pudiera estar más allá del alcance de las raíces. Este elemento es uno de los posibles factores más incidente en la dependencia de la planta a las micorrizas, siendo el principal elemento implicado en la efectividad y desarrollo de las mismas (Pereira, 1999).

La baja disponibilidad de nitratos en los tres ensayos, podría acrecentar la necesidad por parte de las plantas de Raulí de potenciar la asociación micorrícica con morchela, permitiendo un mejor desempeño del T2 sobre T1 en los ensayos. Esto se reafirma por lo expresado por Brundett *et al.*(1996), los cuales mencionan que la colonización de las raíces de las plantas por los hongos micorrícicos disminuye o se inhibe al aumentar la fertilidad del suelo. Este efecto se observa especialmente con altos niveles de nitrógeno y fósforo disponible (Honrubia *et al.*, 1992). Su presencia sería esencial para la vida y por tanto primordial para mantener el crecimiento y la supervivencia de las plantas en terreno (Sylvia *et al.*, 1999). Este es un elemento esencial de las proteínas, los ácidos nucleicos y otros componentes celulares, sin embargo es uno de los nutrientes más escasos en cuanto a disponibilidad para la planta (Barra, 2004).

La baja presencia de nitrógeno disponible en los suelos de los tres ensayos, tendría en las plantas del T2 un efecto positivo no sólo en el fortalecimiento de la micorrización, sino que además afectaría positivamente en la disponibilidad de fósforo, gracias a la actuación de morchela en la absorción y translocación hacia las raíces de la planta del fósforo no disponible para la planta, efecto que ha sido mencionado por Loxton y Donald (1987).

La actuación de morchela sobre Raulí en suelos con déficit nutricional, característico de los sitios utilizados, se basaría en el control de la absorción a través de sus hifas, permitiendo una mayor nutrición de las plantas del T2 y se expresaría en un mejor desempeño de ellas en campo, a diferencia del T1. Al respecto, Sylvia *et al.*(1999) expresan que las hifas de los hongos micorrícicos

tienen el potencial para aumentar en gran medida el área de absorción superficial de la raíz, aseveración que explicaría los mejores resultados obtenidos por T2 en los tres ensayos. Estudios en este sentido hechos por Rousseau *et al.* (1994, *cit.* por Sylvia *et al.*, 1999), determinaron que en plantas de pino, el micelio presente en el suelo correspondía a menos del 20% de la masa superficial absorbente, sin embargo este contribuyó cerca del 80% del área superficial de absorción de nutrientes en plantas jóvenes.

Un factor importante que muchas veces no se considera en los análisis del desempeño de plantas micorrizadas y probablemente estaría afectando la relación simbiótica entre morchela y Raulí, son las interacciones con otros organismos del suelo. Morchela en su relación con el sitio y con la simbiosis con raulí, interactuarían con gran número de organismos del suelo que pudieran afectar positiva o negativamente las respuestas de la relación simbiótica con raulí y que ayudarían a explicar los diferentes comportamientos de las plantas en los tres ensayos, sin embargo, la mayoría de ellas no han sido investigadas o comprendidas en su totalidad. Una de ellas es la planteada por Miyasaka, *et al.*, (2003); *cit.* por Molina *et al.*, (2005), quienes explican que las micorrizas tienen un sinnúmero de relaciones con organismos del suelos que interactúan entre ellos, produciéndose interacciones que pueden inhibir el crecimiento de las micorrizas por competencia o predación, como también la de estimular su crecimiento a través de asociaciones mutualísticas con microorganismos tales como las bacterias, que a su vez incrementan la captación de nutrientes para las plantas.

En los ensayos puede inferirse la presencia de hongos acompañantes que estarían interactuando en las raíces de Raulí, debido al comportamiento de las plantas del T1. Las plantas de Raulí y de los *Nothofagus sp.* en general, son obligadamente ectotróficas, por lo que probablemente existan simbiontes en sus raíces que les habrían permitido obtener una alta supervivencia en los tres sitios utilizados.

Por otro lado, no se descarta la presencia de más organismos simbiontes u otros de diferente categoría que se encuentren interactuando en las raíces de las plantas del T2, como al igual que en el T1. Efectivamente, estudios citológicos y anatómicos hechos por Buscot (1994) en *Morchella elata* sobre *Picea abies* revelan

asociaciones entre el hospedero, morchela, y otros hongos micorrícicos no identificados, sumándose además, la participación de una endobacteria, formando una asociación compleja. Según Wipf *et al.* (1995), la asociación ectomicorrícica de morchela requiere de la presencia de esta bacteria perteneciente al género *Bacillus*. Por su parte, experimentos bajo condiciones controladas, sugieren que el micelio de morchela por sí sólo no puede formar micorrizas y debe ser ayudado por asociaciones específicas (Buscot, 1992b).

Cada vez más se incrementan los informes que mencionan la presencia de microorganismos adicionales, que interactúan sobre o dentro de las asociaciones micorrícica (Buscot, 1994).

Otros efectos importantes de considerar, respecto a la relación entre morchela y Raulí en los ensayos instalados, son que las relaciones simbióticas producirían un efecto de estimulación para que otros hongos micorrícicos pudieran colonizar y crecer en las raíces, permitiendo aumentar los efectos benéficos de las micorrizas, situación que se deduce de los resultados obtenidos por el T2 sobre T1. Este efecto ha sido reportado por Shaw *et al.* (1995 citado por Fransson, 2001) al estudiar otras especies micorrícicas, donde observó que *Lactarius rufus* estimuló la colonización de *Paxillus involutus* y *Suillus bovinus* en ápices radicales. También se ha sugerido que el micelio de morchela se establecería como socio micorrícico secundario junto a otros hongos micorrícicos sobre las raíces de los árboles (Huffman y Tiffany, 2001).

Es de amplio conocimiento que Raulí se encuentra asociada a un gran número de hongos relativamente diferentes, reportándose simbiontes ectomicorrícicos que se eleva a más de 20 especies (Garrido, 1986). El amplio rango geográfico de esta especie vegetal, supondría un gran número de hongos asociados, como lo comenta Trappe (1977) en sus estudios con varias especies arbóreas, las que según este autor, podrían alcanzar un número cercanas al millar. A escala local, decenas de hongos ectomicorrícicos se encuentran a menudo en un solo árbol o en pequeñas plantaciones de monocultivos forestales (Bruns, 1995).

Morchela, que se encuentra presente en asociación con Raulí en los T2 para los tres ensayos, pudiera estar inserto en ciertos patrones de asociaciones que

mejorarían el desempeño de las plantas, como se ha reflejado en los resultados obtenidos en El Pajal, El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén. Estos patrones presentes en las asociaciones micorrícicas han sido descritos por Bruns *et al.* (2002), sugiriendo que estos tendrían sentido por las siguientes razones: Incremento en oportunidad para dispersarse, no sólo donde ellos se encuentran normalmente, sino que también en la habilidad para colonizar otros hábitats, y por poder incrementar el acceso a nutrientes minerales, si las especies individuales de hongos están adaptados al hábitat, o si las especies ectomicorrícicas varían en su capacidad para incorporar diferentes nutrientes.

5. CONCLUSIONES

Los datos analizados, indican que la asociación con morchela muestra una influencia positiva sobre el crecimiento en altura y diámetro de cuello de las plantas de Raulí, durante los primeros dos años de crecimiento.

En el caso del ensayo El Pajal, el efecto de los períodos secos prolongados, puede haber influido en el menor crecimiento de las plantas y en la baja supervivencia de estas a los 24 meses de su establecimiento. De las variables estudiadas, la altura y la supervivencia, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el efecto de morchela como hongo simbiote resultó estadísticamente significativo para el DAC, con un mayor desarrollo en plantas de Raulí asociadas a morchela.

En el ensayo Pilmaiquén, la competencia y la vegetación adyacente pudo afectar el desempeño de las plantas. Aun así, el efecto de la asociación micorrícica logró mejorar el crecimiento tanto en altura como en DAC.

En el caso de la variable supervivencia, el uso de *Morchella conica* asociado a *Nothofagus alpina*, estadísticamente no mostró diferencias entre los tratamientos, pero sí mostró valores mayores en el ensayo de El Pajal para las plantas de Raulí inoculadas con morchela (T2). A nivel de sitios, este ensayo presentó diferencias significativas con respecto a los ensayos de El Carmen de Catripulli y Pilmaiquén.

Al comparar el crecimiento de cada sitio, el análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre el ensayo El Carmen de Catripulli con un desarrollo en altura y DAC mayor a los otros dos ensayos, en todas las edades.

Las variables ambientales y de suelo serían las causas principales de la diferencia entre los ensayos, mientras que la diferencia dentro de los ensayos estaría influenciada por la actuación de las asociaciones micorrícicas resultantes de la relación de *Morchella conica* con *Nothofagus alpina*.

6. CONSIDERACIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación aporta antecedentes del comportamiento de Raulí en asociación micorrícica con el hongo *Morchella conica*, los cuales en la actualidad son escasos. La investigación en relación a este hongo, en su calidad de organismo simbiote, se concentra en instituciones como la Universidad de Oregón de Estados Unidos, el INRA de Francia, el Centro Forestal CIEFAP de Argentina y el Instituto Forestal en Chile.

Como reflexión a los resultados obtenidos, existen muchos elementos que deberán ser estudiados para seguir conociendo la biología de *Morchella conica* asociado a *Nothofagus alpina*. Saber cómo se comporta esta asociación en el tiempo, cuales son las características de suelos y clima más propicios para esta relación simbiótica, que rol cumplen la diversidad biológica presente en el sitio de plantación sobre esta relación, cuales son los cambios que se suceden en el transcurso de los años para esta simbiosis, son algunas de las múltiples preguntas que se deberán responder a futuro para llegar a conocer mucho más esta verdadera encrucijada biológica.

El efecto beneficioso de *Morchella conica* como cualquier otro hongo simbiote de especies vegetales, no sólo debe ser evaluado en vivero en torno a mejorar la calidad de la planta, sino que la prioridad final es definir su comportamiento en el sitio donde se establezca la plantación.

En la actualidad uno de los temas relevantes a considerar en programas de restauración ecológica es el estudio de la rizósfera y la aplicación de hongos micorrícicos (Safir, 1987; *cit.* por Godoy y Mayr, 1989). Frente a la progresiva utilización del bosque nativo en Chile, se advierte la necesidad de realizar estudios que contribuyan a un conocimiento integral de la condición micotrófica de la flora nativa. Esto posibilitaría implementar técnicas silviculturales de inoculación micorrícica controlada, que lleven a una restauración y conservación de las especies nativas chilenas (Godoy y Mayr, 1989).

Los hongos ectomicorrícicos son potencialmente unos excelentes bioindicadores debido a su gran número de especies, su especialización y sus importantes funciones ecológicas (Amaranthus, 1998).

La inoculación de plantas de *Nothofagus alpina* con *Morchella conica*, permitiría potenciar su habilidad para crecer a una mayor tasa, en comparación a plantas sin esta asociación, logrando de esta forma romper las barreras que limitan el desarrollo de Raulí en etapas de reforestación. El uso de la asociación *Morchella conica* – *Nothofagus alpina* podría incorporar a la producción un importante recurso maderero, y a la vez, lograr la recuperación de un hongo que está sometido a una intensa presión y amenazas debido a su extracción indiscriminada.

Finalmente, el conocimiento acabado del rol de *Morchella conica* sobre *Nothofagus alpina* en los ecosistemas forestales, requerirá mayores estudios sobre la diversidad y autoecología de este hongo. Tales estudios deberán considerar ensayos de campo, prácticas de manejo silvícola e implementación de sistemas de registro que permitan determinar su efecto sobre el desempeño de Raulí, así como también generar información respecto a sus condiciones de fructificación.

7. BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, A. Y FERRERA-CERRATO, R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. Terra Vol. 3(17): 180-191.

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

ALVAREZ, C. Y LARA, A. 2008. Crecimiento de una plantación joven en fajas con especies nativas en la Cordillera de Los Andes de la provincia de Valdivia. Bosque, 29(3):181-191.

AMARANTHUS, M. 1998. The importance and conservation of ectomycorrhizal fungal diversity in forest ecosystems: Lessons from Europe and the Pacific Northwest. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-431. Portland, OR:US. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 15 p.

AZCÓN-AGUILAR, C. Y BAREA J. 1980. Micorrizas. Investigación y Ciencia. 47: 8-16

BARNES, S. Y WILSON, A. 1998. Cropping the french black morel. A preliminary investigation. Rural Industries Research & Development Corporation. 14 p.

BARRA, M. 2004. Ensayos de inoculación micorrízica en *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst., en condiciones de invernadero. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. Tesis Ing. Forestal. 36 p.

BECERRIL, 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 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida. España 65 p.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANETT, J. Y GARCÍA, J. 1997. Effect of soil management practices on arbuscular-mycorrhizal fungi and phosphatase activity in volcanic soils. *Ciencia e Investigación Agraria*. 24:25-34.

BRUNDRETT, M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. In: *Advances in Ecological Research*. Begon, M; Fitter, A. Y Mac Fadyen, A. (Eds.). ISBN 0-12-013921-9. Vol. 21, pp: 171-313

BRUNDRETT, M.; BOUGUER, N.; DELL, B.; GROVE, T. Y MALAJCZUK, N. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. 374 p.

BRUNS, T. 1995. Thoughts on the processes that maintain local species diversity of ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 170 (1): 63-73.

BRUNS, T.; BIDARTONDO, M. Y TAYLOR, L. 2002. Host specificity in ectomycorrhizal communities: What do the exceptions tell Us?. *Integ and Comp. Biol.*, 42:352-359.

BUSCOT, F. 1989. Field observations on growth and development of *Morchella rotunda* and *Mitrophora semilibera* in relation to forest soil temperature. *Can. J. Bot.* 67: 589-593.

BUSCOT, F. 1992a. Mycorrhizal succession and morel biology. In: Read, D.J., Lewis, D.H., Fitter, A.H., Alexander, I.J. (eds.). *Mycorrhizas in ecosystems*. CAB International, Wallingford, pp. 220-224.

BUSCOT, F. 1992b. Synthesis of two types of association between *Morchella esculenta* and *Picea abies* under controlled culture conditions. *Journal of Plant. Physiology*. 141:12-17.

BUSCOT, F. 1994. Ectomycorrhizal types and endobacteria associated with ectomycorrhizas of *Morchella elata* (Fr.) Boundier with *Picea abies* (L.) Karst. *Mycorrhiza*. 4: 223-232.

BUSCOT, F. Y WIPF, D. 1998. Are morels mycorrhizal fungi?. En ICOM II. Second International Conference on Mycorrhiza. Uppsala, SWEDEN, 5-10 July 1998. Abstract. 78. 1 p.

CARRILLO, C. 2000. Técnicas de micorrización en Vivero con hongos micorrícicos. Experiencias realizadas en el Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo". En: Tercer curso avanzado de viveros y producción de plantas forestales. Guadalajara, México. 19 p.

CARRILLO, R.; GODOY, R. Y PEREDO, H. 1992. Simbiosis micorrícica en comunidades boscosas del Valle Central en el sur de Chile. Bosque 13(2): 57-67.

CASTELLANO, M. Y MOLINA, R. 1989. Mycorrhizae. In: Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. The Container Tree Nursery Manual, Volume 5. Agric. Handbook. 674. Washington, DC:US. Department of Agriculture, Forest Service. Pp:101-167.

CATALÁN, R. 2006. La otra oferta de los árboles nativos: No sólo madera da el bosque. Coordinador del Programa de Conservación con Comunidades de la oficina en Chile del Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF). [en línea] <http://www.lignum.cl/noticias/imprimir_noticia.php?id=8046> [Consulta :13 de diciembre 2006].

CHUNG, P. 2005. Hongos Micorrícicos Comestibles. Opción Productiva Aplicada a las Plantaciones Forestales. Aspectos Generales. INFOR. 55 p.

COMUNA EL CARMEN. 2006. Plan de Desarrollo Comunal. PLADECO Comuna El Carmen, 2007-2011. 163 p.

CONTRERAS, A.; OTERO, L.; BARRALES, L. Y OJEDA, I. 1996. Estudio de crecimiento de una plantación de raulí ubicada en el sector de Panguipulli y expectativas de crecimiento. Bosque 17(1):3-7.

COOPER, K. 1984. Physiology of VA mycorrhizal associations. In: VA Mycorrhizal. Power, C. y Bagyaraj, D.(eds.) CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. Pp: 155-186.

CORPORACIÓN CHILENA DE LA MADERA. 1986. Micorrización: Simbiosis vegetal que favorece la producción. Boletín Informativo de la Corporación Chilena de la Madera. Nº194. pp: 21-23.

COURTECUISSÉ, R. Y DUHEM, B. 1994. Champignons de France et d'Europe. Delachaux et Niestlé Éditeurs. Lausanne-Paris. 476 pp.

CULLINGS, K.; NEW, M.; MAKHIJA, S. Y PARKER, T. 2003. Effects of litter addition on ectomycorrhizal associates of a lodgepole pine (*Pinus contorta*) stand in Yellowstone National Park. Applied and Environmental Microbiology. 29(7): 3772-3776.

DELL, B. 2002. Role of Mycorrhizal Fungi in Ecosystems. Chiang Mai University Journal. 1(1): 47-60.

DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 2008. Climas de Chile. [en línea] <<http://www.meteochile.cl/climas/climas.html>> [Consulta :20 de diciembre 2008].

DOMINGUEZ, J. 2002. Aportaciones de la micorrización artificial con trufa negra en planta forestal. Madrid, España. Tesis Doctoral Ing. De Montes. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Depto. de Silvopascicultura. 401 p.

DOMINGUEZ, J.; PLANELLES, R.; RODRÍGUEZ, J. Y SAIZ, J. 2004. Influencia de la micorrización con trufa negra (*Tuber melanosporum*) en el crecimiento, intercambio gaseoso y nutrición mineral de plántulas de *Pinus halepensis*. Invest. Agrar: Sist. Recur. For. 13(2): 317-327

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

ESSE, C.; NAVARRO, C. Y PINARES, J. 2007. Curvas de índice de sitio para *Nothofagus dombeyi* en la zona preandina, provincia de Cautín, IX Región, Chile. *Bosque* 28(2):142-151.

FAO, 2005. Los hongos silvestres comestibles: perspectiva global de su uso e importancia para la población. *Productos Forestales no madereros* N° 17. 161 p.

FRANSSON, P. 2001. Responses of Ectomycorrhizal fungi to changes in carbon and nutrient availability. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Mycology and Pathology, Uppsala, Sweden. 41 p.

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

GARRIDO, F.; IBARRA, M.; STEINMETZ, J. Y SERÓN, J. 1979. Variación de poblaciones naturales de raulí. *Revisión Bibliográfica*. FO: DP/CHI/76/003. Documento de trabajo N°28. Santiago. Chile. 40.p.

GILTRAP N. 1982. Production of polyphenol oxydases by ectomycorrhizal fungi with special referente to *Lactarius* species. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 78: 75-81.

GODOY, R. Y MAYR, R. 1989. Caracterización morfológica de micorrizas vesículo-arbuscular en coníferas endémicas del sur de Chile. *Bosque*. 10(2):89-98.

GRANETTI, B. 1992. Alcuni aspetti della fruttificazione in vitro di *Boletus aereus*, *B. edulis* e *B. reticulatus*. *Annali Facolta di Agraria*, vol. 44: 1001-1011.

GROSSE, H. 1988. Crecimiento de plantaciones con Raulí y Roble bajo dosel en dependencia del grado de luminosidad y fertilización. *Ciencia e Investigación Forestal*. 5(2): 13-29.

GUTIÉRREZ, N. 2004 Evaluación del crecimiento y rendimiento volumétrico en ensayos de plantación de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus alpina* al aplicar intervenciones silvícolas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales,

Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura, Tesis Ing. Forestal. 46 p.

GYSLING, J.; AGUIRRE, J.; CASANOVA, K. Y CHUNG, P. 2005. Estudio de mercado. Hongos silvestres comestibles. INFOR. 74 p.

HARLEY, J. Y SMITH, S. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. Londres. 483 p.

HAWAI MASATAKA. 1997. Artificial ectomyorrhiza formation on roots of air-layered *Pinus densiflora* saplings by inoculation with *Lyophillum shimeji*. Mycologia. 89(2), 228-232.

HERRERA, M. 1999. Primer Curso Internacional sobre simbiosis radiculares: micorrizas-. Escuela de Graduados. Universidad de Concepción. Chile.

HONRUBIA, M.; TORRES, P.; DÍAZ, G. Y 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.

HUFFMAN, D. Y TIFFANY, L. 2001. Spring morels and false morels of midcontinental U.S. Bioscene, 27(4): 3-11.

INFOR 2004. Innovación Tecnológica y Comercial de Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. [en línea] < <http://www.gestionforestal.cl/pfnm/index.htm>>. [Consulta :13 de abril 2008].

INFOR-CONAF. 2008. Información interna en base a información proporcionada por el Servicio Nacional de Aduanas.

IPINZA, R. Y 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.

KOSKE, R. Y POLSON, W. 1984. Are VA mycorrhizae required for sand dune stabilization?. *Bioscience* 34: 420-424.

LEAKE, J. Y READ, D. 1997. Mycorrhizal fungi in terrestrial habitats. In: Wicklow DT, Söderström B. (Eds.) *The Mycota IV. Environmental and microbial relationships*. Springer. Berlin, Alemania. Pp 281-301.

LILLESKOV, E.; BRUNS, T.; DAWSON, T. Y CAMACHO F. 2009. Water sources and controls on water-loss rates of epigeous ectomycorrhizal fungal sporocarps during summer drought. *New Phytologist* 182: 483–494.

LOWE, V.; TORAL, M.; FREITTE, G.; CAMELIO, M.; MERY, C.; LÓPEZ, C. Y URQUIETA, E. 1998. Potencialidades de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional; monografía de Raulí, *Nothofagus alpina*. Chile. INFOR-CONAF. 90 p.

LOXTON, F. Y DONALD, D. 1987. The effect of Nitroacta (Urea Formaldehyde) on the growth and development of *Eucalyptus grandis* and *Pinus elliottii*. *South African Forestry Journal*. 142: 68-70.

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

MARSCHNER, H. Y DELL, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159: 89-102.

MARTÍNEZ, F. (1999). Importancia de los aprovechamientos micológicos: El ejemplo del monte Pinar Grande (Soria). [en línea] <http://www.casadelatierra.com/aprov_micologicos.pdf> [Consulta :20 de marzo 2008].

MAYR, R. 1982. Untersuchungen zum Wachstum und zur Entwicklung einiger Arten der Mykorrhiza bildenden Gattung "Morchella". Universität Gießen, Germany.

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, Ontario, Canada. 10 p.

MILLER, S.C. 2006. A Patented Morel Cultivation Discovery. [en línea] <<http://www.morel-farms.com/default.html>> [Consulta :15 de enero 2007].

MOLINA, M.; MAHECHA, L. Y MEDINA, M. 2005. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol. 18:2: 162-175.

MORCILLO, M. Y SÁNCHEZ, M. 2004. ¿Por qué es tan difícil cultivar hongos micorrícicos comestibles?. Ediciones Agrotécnicas. Madrid. España. Terralia 45: 80-85.

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

OHTA, A. 1994. Production of fruit bodies of a mycorrhizal fungus, *Lyophyllum shimeji*, in pure culture. *Mycoscience* 35, 147-151.

OHTA, A. 1998. Fruit body production of two ectomycorrhizal fungi in the genus *Hebeloma* in pure culture. *Mycoscience*, 39: 15-19.

PALAZÓN, F. 1994. El género *Morchella* en bosques de coníferas del Altoaragón. Sociedad Micológica del Alto Aragón. Huesca. España. *Lucas Mallada*, 6:207:225.

PALFNER, G. 2001. Taxonomische studien an ektomykorrhizen aus den Nothofagus-Wäldern Mittelsüdchiles. *Bibliotheca Mycological*. Band 190. J. Cramer. Berlin, Alemania. 243 pp.

PEÑUELAS, J. Y OCAÑA, L. 2000. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Principios y fundamentos. Madrid, España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.). Ediciones Mundi—Prensa. 190 p.

PERA, J. Y PARLADÉ, J. 2005. Inoculación controlada con hongos micorrícicos en la producción de plantas destinadas a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Invest. Agrar.:Sist. Recur. For.* 14(3): 419-433.

PEREDO, H.; ALONSO, O. Y 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.

PEREIRA, G. 1999. Importancia de las micorrizas en la restauración de ambientes degradados. Concepción, Chile. En: Pereira, G. (Ed.). Primer curso internacional sobre simbiosis radicular: Micorrizas. Pp: 97-106.

PEREIRA, G. 2002. Micorrizas, suelos degradados y silvicultura de precisión. *Chile Forestal* 276. Pp: 27-29.

PEREZ-MORENO, J. Y READ, D. 2000. Mobilization and transfer of nutrients from litter to tree seedlings via the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. *New Phytol.* 145: 301-309.

PEREZ-MORENO, J. Y READ, D. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia.* 29(5): 239-247.

PETERS, C. 1996. The ecology and management of non timber forest resources. *World Bank Technical Paper 322.* Washington, D.C., USA. 157 p.

PILZ, D. ;WEBER, N.; CARTER, M.; PARKS, C. Y MOLINA, R. 2004. Productivity and diversity of morel mushroom in healthy, burned and insect damaged forest of northeastern Oregon. *Forest Ecology and Management.* 198: 367-386.

PILZ, D.; McLAIN, R.; SUSAN, A.; VILLARREAL-RUIZ, L.; BERCH, S.; WURTZ, T.; PARKS, C.; McFARLANE, E.; BAKER, B.; MOLINA, R. Y SMITH, J. 2007. Ecology and management of morels harvested from the forests of western North America. *Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-710.* Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 161 p.

PINCHEIRA, C. 1999. Análisis prospectivo de mercado externo del hongo *Morchella spp.* Santiago, Chile. Universidad de Chile, Fac. de Cs. Forestales, Escuela de Cs. Forestales, Depto. De Manejo de Recursos Forestales. Tesis Ing. Forestal. 56 p.

POGNAT, C. 2001. Productos Forestales No Madereros. Producción Sustentable. En: Estudio de la comercialización de los productos forestales no madereros en la zona de amortiguación de la Reserva Nacional Malleco y propuestas de alternativas por su manejo. Memoria para optar al Título Profesional de Master en Agro-Silvo-Pecuario. Universidad de París XII - Val de Marne. Proyecto CONAF IX Región - FFEM - Office National des Forêt.

PRITCHETT, W. 1991. Suelos forestales, propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa, México. 634 p.

REYNA, S. 2000. La trufa, truficultura y selvicultura trufera Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 229 pp. ISBN 84-7114-891-9.

ROLDÁN, A.; QUEREJETA, J.; ALBADALEJO, J. Y CASTILLO, V. 1997. Efecto combinado de la preparación del suelo y la micorrización en el desarrollo de una repoblación con *Pinus halepensis* Mill. En condiciones semiáridas. En: Actas I Congreso Forestal Hispano Luso. Mesa 3. Pamplona, España. Pp: 567-572

SCHMIDT, E. 1983. Spore germination of and carbohydrate colonization by *Morcella esculenta* at different soil temperatures. *Mycología*, 75(5): 870-875.

SEMPERE, F. Y SANTAMARINA, P. 2001. La aplicación de las micorrizas. *Revista 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.

SILVA, R.; ANTONIOLLI, Z.; ANDREAZZA, R. Y LONGHI, S. 2003. Ectomycorrhizal fungi in eucalyptus grandis Hill ex Maiden seedling development. *Bioscience Journal* 19(3): 9-17.

SMITH, S. Y READ, D. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Acad. Press, London. 605 pp.

SMITH, J. 1998. *Morchella*: challenges to understanding its ecosystem function. Proceedings of the first international meeting on Ecology, Physiology and Cultivation of Edible Mycorrhizal Mushrooms. Uppsala, Sweden.

SMITH, J.; DAHLSTROM, J.; VALACHOVIC, Y. ; WEBER, N.; BARRO, C.; MCKAY, D. Y FUJIMURA, K. 2007. *Morchella*: More challenges to understanding its ecosystem function. In: ICOM II Abstract. 1p.

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.; FUHRMANN, J.; HARTEL, P. Y ZUBERER, D. 1999. Principles and applications of soil microbiology. Prentice Hall, Inc. 550 p.

TACÓN, A. Y PALMA, J. 2005. Productos Forestales no Madereros. En: Bosques y comunidades del sur de Chile. Editado por Catalán, R; Wilken, P; Kandzior, A.; Tecklin, A. y H. Burschel. Editorial Universitaria, Chile. Pp: 253-266.

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

TALLER DE ACCIÓN CULTURAL. 2003. Recolectoras de frutos silvestres. Oficio de mujeres en la Región del Biobío. Santiago de Chile. Serie de Derechos Laborales. 135 p.

THEODOROU, C. Y BOWEN, G. 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.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. 2007. Estudio de Impacto Ambiental. En: Estudio de Impacto Ambiental Central Hidroeléctrica San Pedro – Colbún S.A. 201 p.

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

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. Concepción, Chile. Universidad de Concepción, Fac. de Cs. Forestales, Depto. de Silvicultura. Memoria Ing. Forestal. 47 p.

VOLK, T. Y LEONARD, T. 1989. Experimental studies on the morel. I. Heterokaryon formation between monoascosporous isolates of *Morchella*. *Mycologia* 81: 523-531.

VOLK, T. 1991. Understanding the Morel Life Cycle: Key to Cultivation. *Mcllvainea*. 10 (1): 76-81.

VOGT, K.; GRIER, C.; MEIER, C. Y EDMONS, R. 1982. Mycorrhizal role in net primary production and nutrient cycling in *Abies amabilis* ecosystems in Western Washington. *Ecology*. 63:370-380.

VOZZO, J. Y HACSKAYLO, E. 1971. Inoculation of *Pinus caribaea* with ectomycorrhizal fungi in Puerto Rico. *Forest Sci.* 17: 239-245.

WANG, Y.; HALL, I. Y EVANS, L. (1997) Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies 1. *Tricholoma matsutake* and allied fungi. *Econ. Bot.* 51, 311–327

WANG, Y.; BUCHANAN, P. Y HALL, I. 2002. A list of edible ectomycorrhizal mushrooms. En: Hall, I.; Wang, Y.; Zambonelli, A. y Daniell, E. (Eds.). *Edible ectomycorrhizal mushroom and their cultivation*. Julio 2001. CD- ROM. Christchurch, New Zealand, Institute for Crop and Food Research Limited.

WANG, Y.; HALL, I.R.; DIXON, C.; HANCE-HALLOY, M., STRONG, G. Y BARCLAY, C. 2003. Potential of cultivation of *Lactarius deliciosus* (saffron milk cap) in New Zealand. 3rd International Workshop on Edible Micorrhizal Mushrooms. 17-19 de Agosto de 2003. Victoria. Canadá. Abstract. 1 p.

WEBER, N.; PILZ, D. Y CARTER, C. 1996. Morel life histories: beginning to address the unknowns with a case study in the Freemont National Forest near Lakeview, Oregon. In: Pilz, D., Molina, R (eds), Managing Forest Ecosystems to Conserve Fungus Diversity and Sustain Wild Mushroom Harvests USDA Forest Service. General Technical Report. PNW-371. Pp:62-68.

WIENSCZYK, A.; GAMIET, S.; DURALL, D.; JONES, M. Y SIMARD, S. 2002. Ectomycorrhizae and forestry in British Columbia: A summary of current research and conservation strategies. B.C. Journal of Ecosystems and Management. Extension Note. 1(2): 1-20.

WIPF D. 1997. Polymorphismes proteique et génomique au sein des Morchellaceae- Mise au point d'un outil moleculaire adapté à l'étude de l'écologie du genre *Morchella* en milieu forestier. PhD Thesis, Laboratoire de Biologie Forestiere, Nancy, France.

WIPF, D.; BUSCOT, F. Y BOTTOM, B. 1995. La morille dans l'écosysteme forestier. Bulletin de la Société Francaise d'Ecophysiology. 19:55-60.

ANEXO N°1
ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR ENSAYO

A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO EL PAJAL

A.1. Medición al mes

Variable Altura al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5826,54	3	1942,18	16,99	<0,0001
Bloque	5821,85	2	2910,93	25,47	<0,0001
Tratamiento	4,69	1	4,69	0,04	0,8395
Error	120252,98	1052	114,31		
Total	126079,53	1055			

Variable Diámetro al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	55,16	3	18,39	16,65	<0,0001
Bloque	54,83	2	27,42	24,83	<0,0001
Tratamiento	0,32	1	0,32	0,29	0,5901
Error	1161,48	1052	1,10		
Total	1216,63	1055			

Variable Supervivencia al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	3	0,00	sd	sd
Bloque	0,00	2	0,00	sd	sd
Tratamiento	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	2	0,00		
Total	0,00	5			

A.2. Medición a los 12 meses

Variable Altura a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11951,68	3	3983,89	15,56	<0,0001
Bloque	11651,78	2	5825,89	22,75	<0,0001
Tratamiento	316,51	1	316,51	1,24	0,2665
Error	252774,26	987	256,10		
Total	264725,95	990			

Variable Diámetro a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	66,38	3	22,13	8,45	<0,0001
Bloque	41,94	2	20,97	8,01	0,0004
Tratamiento	24,75	1	24,75	9,45	0,0022
Error	2585,03	987	2,62		
Total	2651,41	990			

Variable Supervivencia a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	117,11	3	39,04	50,45	0,0195
Bloque	116,69	2	58,34	75,40	0,0131
Tratamiento	0,42	1	0,42	0,55	0,5369
Error	1,55	2	0,77		
Total	118,66	5			

A.2. Medición a los 24 meses

Variable Altura a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31144,49	3	10381,50	7,37	0,0001
Bloque	29202,15	2	14601,07	10,36	<0,0001
Tratamiento	1724,98	1	1724,98	1,22	0,2690
Error	892150,06	633	1409,40		
Total	923294,54	636			

Variable Diámetro a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	837,24	3	279,08	10,98	<0,0001
Bloque	639,75	2	319,87	12,58	<0,0001
Tratamiento	177,30	1	177,30	6,98	0,0085
Error	16089,76	633	25,42		
Total	16927,00	636			

Variable Supervivencia a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	140,60	3	46,87	5,11	0,1681
Bloque	87,38	2	43,69	4,76	0,1736
Tratamiento	53,22	1	53,22	5,80	0,1377
Error	18,35	2	9,18		
Total	158,95	5			

B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO EL CARMEN DE CATRIPULLI

B.1. Medición al mes

Variable Altura al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2362,20	3	787,40	3,05	0,0277
Bloque	1974,33	2	987,16	3,83	0,0221
Tratamiento	387,88	1	387,88	1,50	0,2204
Error	271385,70	1052	257,97		
Total	273747,91	1055			

Variable Diámetro al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,85	3	4,62	3,91	0,0086
Bloque	11,14	2	5,57	4,72	0,0091
Tratamiento	2,71	1	2,71	2,30	0,1301
Error	1242,21	1052	1,18		
Total	1256,06	1055			

Variable Supervivencia al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	3	0,00	sd	sd
Bloque	0,00	2	0,00	sd	sd
Tratamiento	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	2	0,00		
Total	0,00	5			

B.2. Medición a los 12 meses

Variable Altura a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12818,08	3	4272,69	12,19	<0,0001
Bloque	1820,36	2	910,18	2,60	0,0750
Tratamiento	10958,21	1	10958,21	31,27	<0,0001
Error	346928,56	990	350,43		
Total	359746,64	993			

Variable Diámetro a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	138,21	3	46,07	25,98	<0,0001
Bloque	13,76	2	6,88	3,88	0,0210
Tratamiento	124,60	1	124,60	70,26	<0,0001
Error	1755,57	990	1,77		
Total	1893,78	993			

Variable Supervivencia a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	32,78	3	10,93	7,50	0,1199
Bloque	32,10	2	16,05	11,02	0,0832
Tratamiento	0,68	1	0,68	0,47	0,5649
Error	2,91	2	1,46		
Total	35,69	5			

B.3. Medición a los 24 meses

Variable Altura a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	74054,75	3	24684,92	18,36	<0,0001
Bloque	45407,28	2	22703,64	16,88	<0,0001
Tratamiento	28375,84	1	28375,84	21,10	<0,0001
Error	1296423,01	964	1344,84		
Total	1370477,77	967			

Variable Diámetro a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1479,96	3	493,32	24,18	<0,0001
Bloque	453,09	2	226,54	11,10	<0,0001
Tratamiento	1021,17	1	1021,17	50,05	<0,0001
Error	19668,67	964	20,40		
Total	21148,63	967			

Variable Supervivencia a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,64	3	9,21	14,28	0,0662
Bloque	27,62	2	13,81	21,41	0,0446
Tratamiento	0,02	1	0,02	0,02	0,8914
Error	1,29	2	0,65		
Total	28,93	5			

C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENSAYO PILMAIQUÉN

C.1. Medición al mes

Variable Altura al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5273,49	3	1757,83	16,19	<0,0001
Bloque	5040,52	2	2520,26	23,21	<0,0001
Tratamiento	232,97	1	232,97	2,15	0,1433
Error	114255,75	1052	108,61		
Total	119529,24	1055			

Variable Diámetro al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25,46	3	8,49	17,07	<0,0001
Bloque	24,98	2	12,49	25,12	<0,0001
Tratamiento	0,48	1	0,48	0,96	0,3264
Error	523,10	1052	0,50		
Total	548,56	1055			

Variable Supervivencia al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	3	0,00	sd	sd
Bloque	0,00	2	0,00	sd	sd
Tratamiento	0,00	1	0,00	sd	sd
Error	0,00	2	0,00		
Total	0,00	5			

C.2. Medición a los 12 meses

Variable Altura a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18062,42	3	6020,81	34,08	<0,0001
Bloque	10840,12	2	5420,06	30,68	<0,0001
Tratamiento	7180,86	1	7180,86	40,65	<0,0001
Error	175078,33	991	176,67		
Total	193140,75	994			

Variable Diámetro a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	169,97	3	56,66	74,74	<0,0001
Bloque	84,56	2	42,28	55,77	<0,0001
Tratamiento	85,00	1	85,00	112,13	<0,0001
Error	751,26	991	0,76		
Total	921,23	994			

Variable Supervivencia a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,69	3	5,56	26,48	0,0366
Bloque	16,06	2	8,03	38,20	0,0255
Tratamiento	0,64	1	0,64	3,04	0,2234
Error	0,42	2	0,21		
Total	17,11	5			

C.3. Medición a los 24 meses

Variable Altura a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12410,81	3	4136,94	5,53	0,0009
Bloque	9035,22	2	4517,61	6,04	0,0025
Tratamiento	3391,04	1	3391,04	4,53	0,0335
Error	722772,09	966	748,21		
Total	735182,90	969			

Variable Diámetro a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	133,13	3	44,38	15,61	<0,0001
Bloque	1,34	2	0,67	0,24	0,7901
Tratamiento	131,82	1	131,82	46,37	<0,0001
Error	2745,91	966	2,84		
Total	2879,04	969			

Variable Supervivencia a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,26	3	1,09	15,25	0,0621
Bloque	2,29	2	1,15	16,09	0,0585
Tratamiento	0,97	1	0,97	13,58	0,0664
Error	0,14	2	0,07		
Total	3,40	5			

ANEXO N°2
ANÁLISIS ESTADÍSTICO ENTRE ENSAYO

A. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SITIO Y DE LOS TRATAMIENTOS

A.1. Medición al mes

Variable Altura al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	71382,07	5	14276,41	87,56	<0,0001
Sitio	67560,01	2	33780,00	207,19	<0,0001
Bloque	3463,64	2	1731,82	10,62	<0,0001
Tratamiento	358,43	1	358,43	2,20	0,1383
Error	515534,61	3162	163,04		
Total	586916,68	3167			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,32418

Error: 163,0407 gl: 3162

Sitio	Medias	n	
Pilmaiquén	29,82	1056	A
El Pajal	30,66	1056	A
C. de Catripulli	40,01	1056	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=2,29541

Error: 164,0516 gl: 3162

Tratamiento	Medias	n	
Pilmaiquén-T1	29,35	528	A
Pilmaiquén-T2	30,29	528	A
El Pajal- T2	30,59	528	A
El Pajal T1	30,72	528	A
C. de Catripulli-T1	39,40	528	B
C. de Catripulli-T2	40,62	528	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Variable Diámetro al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1225,81	5	245,16	261,10	<0,0001
Sitio	1173,57	2	586,79	624,93	<0,0001
Bloque	51,19	2	25,60	27,26	<0,0001
Tratamiento	1,05	1	1,05	1,12	0,2910
Error	2969,01	3162	0,94		
Total	4194,82	3167			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10049

Error: 0,9390 gl: 3162

Sitio	Medias	n	
Pilmaiquén	2,53	1056	A
El Pajal	3,67	1056	B
C. de Catripulli	3,94	1056	C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=0,17508

Error: 0,9544 gl: 3162

Tratamiento	Medias	n		
Pilmaiquén-T1	2,51	528	A	
Pilmaiquén-T2	2,55	528	A	
El Pajal-T2	3,65	528		B
El Pajal-T1	3,69	528		B
C. de Catripulli-T1	3,89	528		C
C. de Catripulli-T2	3,99	528		C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Variable Supervivencia al mes

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	5	0,00	sd	sd
Ensayo	0,00	2	0,00	sd	sd
Tratamiento	0,00	3	0,00	sd	sd
Error	0,00	12	0,00		
Total	0,00	17			

A.2. Medición a los 12 meses

Variable Altura a los 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	79014,73	5	15802,95	58,95	<0,0001
Sitio	58536,66	2	29268,33	109,19	<0,0001
Bloque	6083,49	2	3041,74	11,35	<0,0001
Tratamiento	14357,96	1	14357,96	53,56	<0,0001
Error	797211,20	2974	268,06		
Total	876225,93	2979			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,75065

Error: 268,0603 gl: 2974

Sitio	Medias	n		
Pilmaiquén	33,89	995	A	
El Pajal	36,62	991		B
C. de Catripulli	44,35	994		C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=3,02889

Error: 268,6931 gl: 2974

Tratamiento	Medias	n		
Pilmaiquén-T1	31,21	499	A	
El Pajal T1	36,01	497		B
Pilmaiquén-T2	36,60	496		B
El Pajal- T2	37,11	494		B
C. de Catripulli-T1	41,01	496		C
C. de Catripulli-T2	47,66	498		D

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Variable Diámetro 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1348,38	5	269,68	155,62	<0,0001
Sitio	1043,64	2	521,82	301,13	<0,0001
Bloque	98,72	2	49,36	28,49	<0,0001
Tratamiento	214,62	1	214,62	123,85	<0,0001
Error	5153,54	2974	1,73		
Total	6501,92	2979			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14076

Error: 1,7329 gl: 2974

Sitio	Medias	n	
Pilmaiquén	3,34	995	A
El Pajal	4,55	991	B
C. de Catripulli	4,64	994	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,24509

Error: 1,7593 gl: 2974

Tratamiento	Medias	n			
Pilmaiquén-T1	3,05	499	A		
Pilmaiquén-T2	3,64	496		B	
C. de Catripulli-T1	4,29	496			C
El Pajal T1	4,38	497			C
El Pajal-T2	4,69	494			D
C. de Catripulli-T2	4,99	498			E

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Variable Supervivencia 12 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,77	5	0,35	0,03	0,9996
Ensayo	0,03	2	0,02	1,1E-03	0,9989
Tratamiento	1,74	3	0,58	0,04	0,9884
Error	169,72	12	14,14		
Total	171,49	17			

A.3. Medición a los 24 meses

Variable Altura a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2133050,97	5	426610,19	367,04	<0,0001
Sitio	2092758,10	2	1046379,05	900,26	<0,0001
Bloque	16917,64	2	8458,82	7,28	0,0007
Tratamiento	26551,51	1	26551,51	22,84	<0,0001
Error	2985982,21	2569	1162,31		
Total	5119033,18	2574			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,95816

Error: 1162,3130 gl: 2569

Sitio	Medias	n	
El Pajal	62,45	637	A
Pilmaiquén	65,38	970	A
C. de Catripulli	123,04	968	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=6,85443

Error: 1165,8193 gl: 2569

Tratamiento	Medias	n		
El Pajal T1	60,73	292	A	
Pilmaiquén-T1	63,52	487	A	
El Pajal- T2	64,24	345	A	
Pilmaiquén-T2	67,25	483	A	
C. de Catripulli-T1	117,63	484		B
C. de Catripulli-T2	128,51	484		C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Variable Diámetro a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38562,60	5	7712,52	497,61	<0,0001
Sitio	37460,50	2	18730,25	1208,47	<0,0001
Bloque	2,35	2	1,18	0,08	0,9269
Tratamiento	1135,60	1	1135,60	73,27	<0,0001
Error	39817,45	2569	15,50		
Total	78380,05	2574			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,45707

Error: 15,4992 gl: 2569

Sitio	Medias	n	
Pilmaiquén	4,26	970	A
El Pajal	7,47	637	B
C. de Catripulli	12,98	968	C

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa:=0,05 DMS:=0,78816

Error: 15,4140 gl: 2569

Tratamiento	Medias	n			
Pilmaiquén-T1	3,89	487	A		
Pilmaiquén-T2	4,63	483	A		
El Pajal T1	6,91	292		B	
El Pajal- T2	8,03	345			C
C. de Catripulli-T1	11,95	484			D
C. de Catripulli-T2	14,01	484			E

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Variable Supervivencia a los 24 meses

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2049,38	5	409,88	35,88	<0,0001
Ensayo	1995,18	2	997,59	87,33	<0,0001
Tratamiento	54,20	3	18,07	1,58	0,2452
Error	137,08	12	11,42		
Total	2186,46	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,20602

Error: 11,4232 gl: 12

Ensayo	Medias	n	
El Pajal	51,06	6	A
C. de Catripulli	73,35	6	B
Pilmaiquén	73,44	6	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,27083

Error: 11,4232 gl: 12

Tratamiento	Medias	n	
El Pajal- T1	48,08	3	A
El Pajal- T2	54,04	3	A
Pilmaiquén-T2	73,03	3	B
C. de Catripulli-T1	73,30	3	B
C. de Catripulli-T2	73,40	3	B
Pilmaiquén-T1	73,84	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

APÉNDICE 3

PRUEBAS ESTADÍSTICAS

PRUEBA DE NORMALIDAD: Prueba de Shapiro-Wilks (modificado)

El Pajal

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Altura al mes	528	30,72	10,66	0,98	0,0003
Altura a los 12 meses	497	36,01	14,99	0,96	<0,0001
Altura a los 24 meses	292	60,73	37,79	0,89	<0,0001
Tratamiento T2					
Altura al mes	528	30,59	11,21	0,96	<0,0001
Altura a los 12 meses	494	37,11	17,62	0,91	<0,0001
Altura a los 24 meses	345	64,24	38,35	0,92	<0,0001

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Diámetro al mes	528	3,69	1,02	0,97	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	497	4,38	1,59	0,89	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	292	6,91	4,20	0,87	<0,0001
Tratamiento T2					
Diámetro al mes	528	3,65	1,12	0,97	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	494	4,69	1,67	0,93	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	345	8,03	5,81	0,80	<0,0001

Neltume

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Altura al mes	528	29,35	8,02	0,98	<0,0001
Altura a los 12 meses	499	31,21	8,74	0,95	<0,0001
Altura a los 24 meses	487	63,52	23,44	0,98	<0,0001
Tratamiento T2					
Altura al mes	528	30,28	12,73	0,97	<0,0001
Altura a los 12 meses	496	36,60	17,28	0,92	<0,0001
Altura a los 24 meses	483	67,25	31,06	0,96	<0,0001

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Diámetro al mes	528	2,51	0,66	0,73	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	499	3,05	0,61	0,89	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	487	3,89	1,35	0,84	<0,0001
Tratamiento T2					
Diámetro al mes	528	2,55	0,78	0,83	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	496	3,64	1,15	0,93	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	483	4,63	1,97	0,91	<0,0001

El Carmen de Catripulli

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Altura al mes	528	39,40	14,87	0,96	<0,0001
Altura a los 12 meses	496	41,01	16,46	0,98	<0,0001
Altura a los 24 meses	484	117,63	31,90	0,98	<0,0001
Tratamiento T2					
Altura al mes	528	40,62	17,25	0,97	<0,0001
Altura a los 12 meses	498	47,66	20,78	0,97	<0,0001
Altura a los 24 meses	484	128,51	41,96	0,97	<0,0001

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Tratamiento T1					
Diámetro al mes	528	3,89	1,04	0,96	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	496	4,29	1,11	0,94	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	484	11,95	3,60	0,98	<0,0001
Tratamiento T2					
Diámetro al mes	528	3,99	1,14	0,95	<0,0001
Diámetro a los 12 meses	498	4,99	1,53	0,96	<0,0001
Diámetro a los 24 meses	484	14,01	5,36	0,98	<0,0001

PRUEBA DE LEVENE DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Procedimiento para determinar si las varianzas son iguales:

1.- Se calcula la diferencia (en valor absoluto) entre cada valor y la media de su grupo:

$$D_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_j|$$

donde...

X_{ij} : es la puntuación del sujeto i perteneciente al grupo j .

\bar{X}_j : es la media del grupo j .

2.- Se calcular la media de las diferencias de cada grupo:

$$\bar{D}_j = \frac{\sum D_{ij}}{n_j}$$

donde...

$\sum D_{ij}$: es la suma de las puntuaciones D en el grupo j .
 n_j : es el tamaño del grupo j .

3.- Calcular la media total de las diferencias:

$$\bar{D}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij}}{N}$$

donde...

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k$$

D_{ij} : es la suma de las puntuaciones D de todos los sujetos.

N: es la suma de todos los sujetos.

4.- Calcular la suma de cuadrados intragrupo

$$SC_{intra} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (D_{ij} - \bar{D}_j)^2$$

(SC_{intra}):

5.- Calcular la suma de cuadrados intergrupo

$$SC_{inter} = \sum_{j=1}^k n_j (\bar{D}_j - \bar{D})^2$$

(SC_{inter}):

6.- Calcular los grados de libertad:

$G.L._{(inter)} = k - 1$; siendo k el número de grupos.

$$G.L._{(intra)} = \sum_{j=1}^k (n_j - 1)$$

; siendo n_j el tamaño muestral del grupo j.

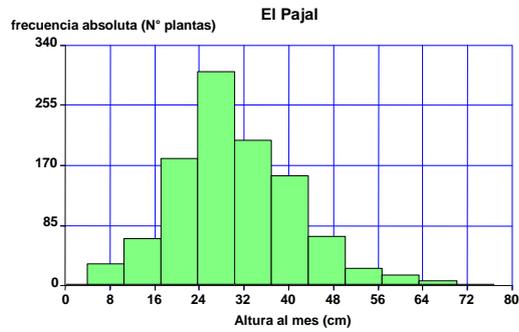
7.- Calcular la media cuadrática intergrupos (MC_{inter})= $SC_{inter} / G.L._{inter}$

8.- Calcular la media cuadrática intragrupos (MC_{intra})= $SC_{intra} / G.L._{intra}$

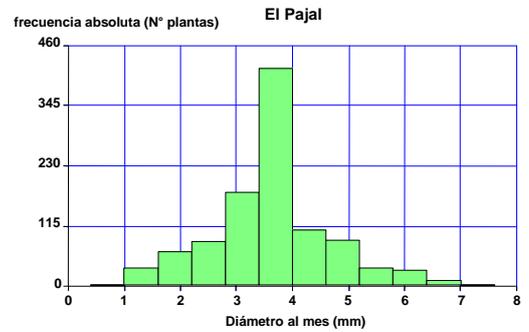
9.- Calcular la F = MC_{inter} / MC_{intra}

APÉNDICE 4
DISTRIBUCIÓN DE DATOS

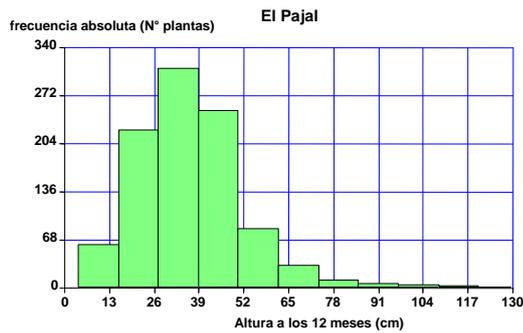
A. Ensayo El Pajal



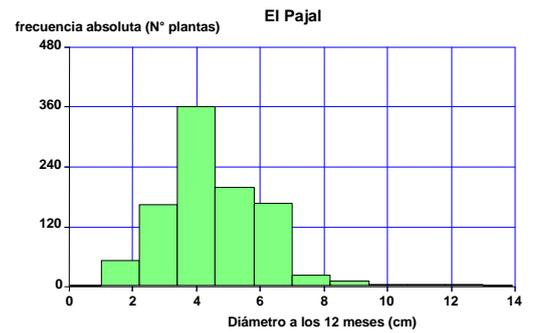
Distribución Altura al mes



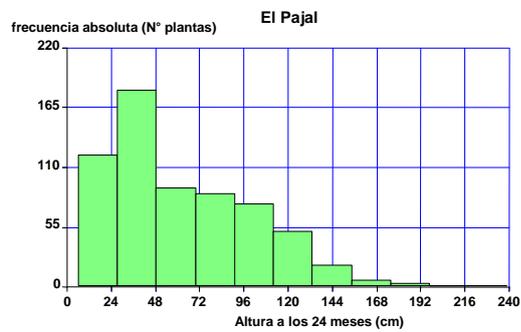
Distribución Diámetro al mes



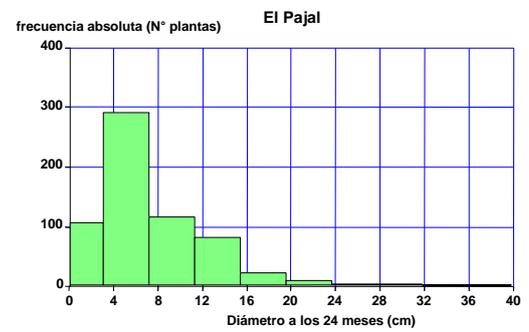
Distribución Altura a los 12 meses



Distribución Diámetro a los 12 meses

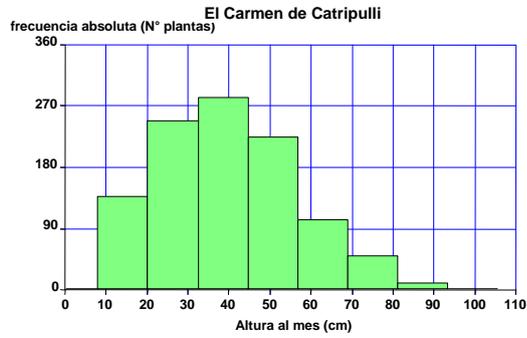


Distribución Altura 24 meses

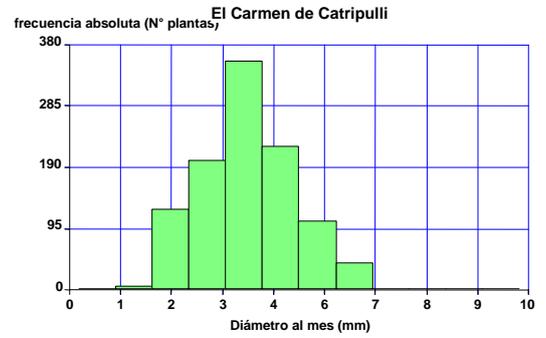


Distribución Diámetro a los 24 meses

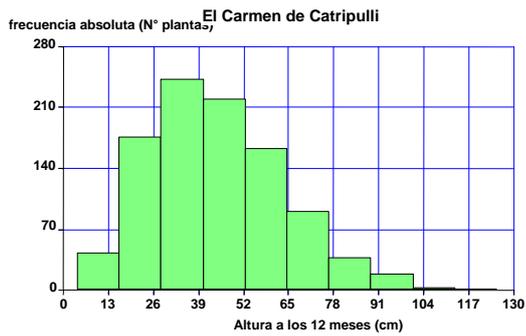
B. Ensayo El Carmen de Catripulli



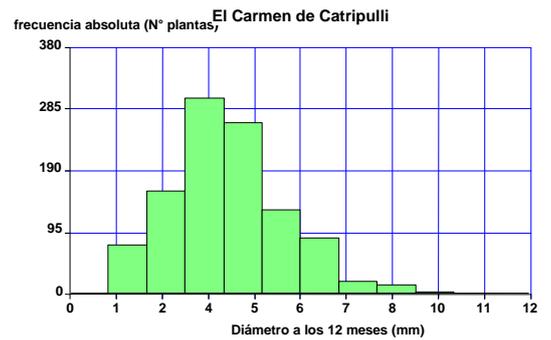
Distribución Altura al mes



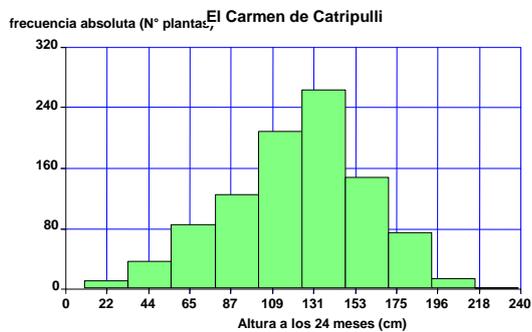
Distribución Diámetro al mes



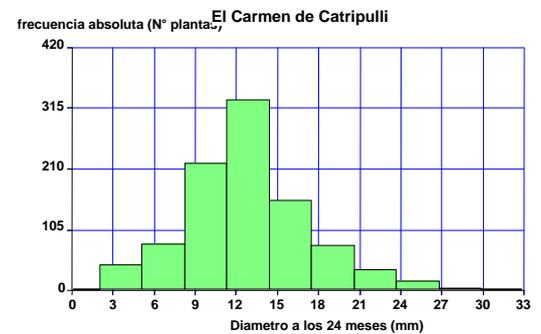
Distribución Altura a los 12 meses



Distribución Diámetro a los 12 meses

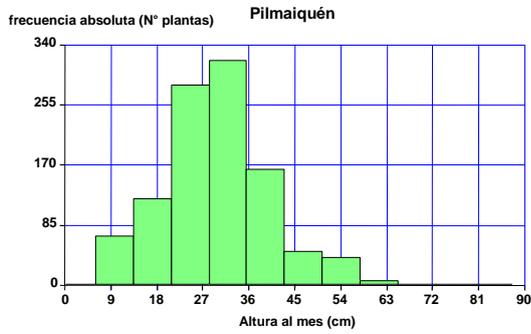


Distribución Altura a los 24 meses

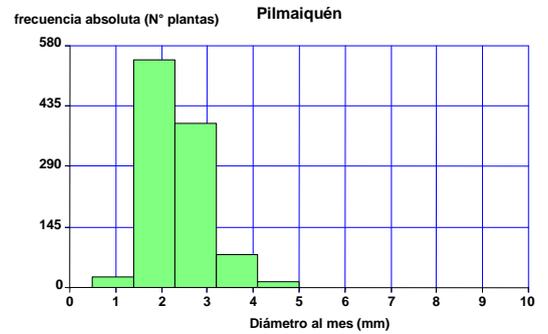


Distribución Diámetro a los 24 meses

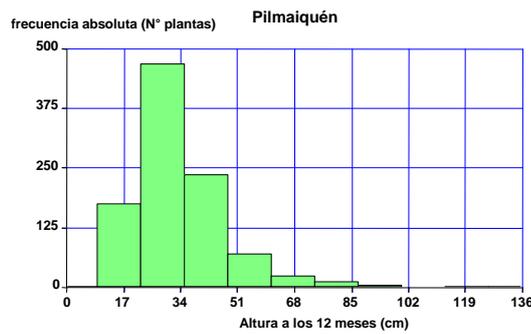
C. Ensayo Pilmaiquén



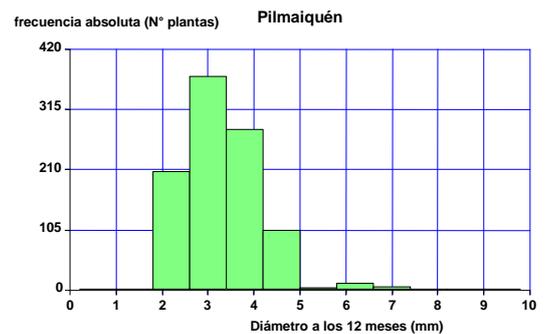
Distribución Altura al mes



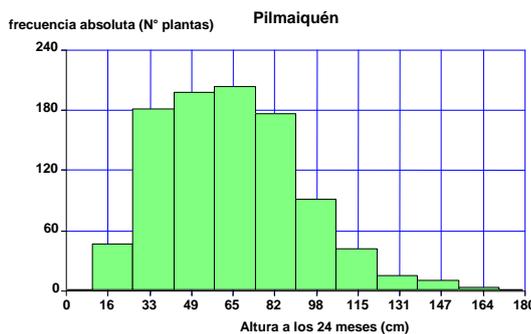
Distribución Diámetro al mes



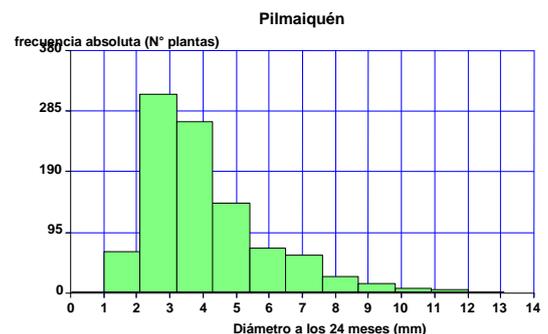
Distribución Altura a los 12 meses



Distribución Diámetro a los 12 meses



Distribución Altura a los 24 meses



Distribución Diámetro a los 24 meses