

5. EL FRUTO. LA CASTAÑA

S. Benedetti, V. Loewe.

Hasta el descubrimiento de América y la introducción de la papa y el maíz en el continente europeo, la dieta de la población se basaba en el trigo, el centeno y las castañas. De hecho, cuando escaseaba el pan en épocas de hambre o guerra, las poblaciones europeas sobrevivían a base a castañas, con cuya harina elaboraban una especie de pan.

5.1 Características Generales

La castaña es clasificada botánicamente como un aquenio (Paglietta y Bounous, 1979; Hoffmann, 1983; Grau, 1997 todos citados por Veloso, 2003). También es clasificada como nuez (Sudzuki, 1983; Loewe *et al.*, 1994).

Se ubica de a una o en grupos de a tres (raramente de cinco a siete) dentro de un involucro o cúpula espinosa denominada comúnmente erizo (Paglietta y Bounous, 1979; CORFO, 1990; Grau, 1997 citados por Veloso, 2003). Están coronadas por el periantio y sus estilos, en la base poseen una cicatriz placentaria, Figura N° 39.

Las castañas pueden ser de caras planas, ovaladas, redondas o globulosas y angulosas. Generalmente las de superficies horizontales planas, corresponden a las castañas centrales del erizo; las plano ovaladas a las castañas laterales y las redondas o globulosas a las centrales de los erizos con una sola castaña (Vieitez *et al.*, 1996).

El tegumento externo o pericarpio es coráceo, el tegumento interno o epispermo en cambio, corresponde a una película delgada, la que a veces penetra en las fisuras de los cotiledones, los que pueden presentarse de a 1 ó 2, cuando son dos generalmente son desiguales.



Figura N° 39. Erizos y castañas

5.2 Características Nutricionales

A diferencia de la mayoría de los frutos secos, la castaña es especialmente rica en hidratos de carbono (36,6 g/100 g), fundamentalmente en forma de almidón, y fibra (5,5 g/100 g), contiene pocas proteínas (2 g/100 g) y grasas (2,2 g/100 g) siendo la mayor parte de estas mono o polinsaturadas.

Contiene además una alta cantidad de agua, la que representa alrededor del 50% de su peso cuando está fresca. Posee un bajo contenido de sodio y cantidades considerables de potasio, magnesio, hierro y fósforo, finalmente es una de las nueces más rica en vitaminas E y C, sin embargo muchas de estas características se pierden en parte procesarlas (Benedetti *et al.*, 2005) a excepción del contenido de vitamina C que permanece igual independiente del tipo de procesamiento, asada o cocción.

Su contenido vitamínico y mineral es similar al de la papa y mayor al de los cereales, destaca el contenido de vitamina C su contenido de ácido ascórbico es igual a su mismo peso en limón.

Vieitez *et al.*, 1996, destaca el descubrimiento de Tixier Desmaison respecto de la presencia en la castaña de ácido gamma aminobutírico (GABA) (50 - 236 mg/100 g). La elevada concentración de este compuesto puede convertirla en beneficiosa para el funcionamiento cerebral, debido a que es un compuesto neuromediador.

Un análisis de la composición química de castañas realizado por Goldsbrough (1990), indica los contenidos presentados en el Cuadro N° 19.

**Cuadro N° 19. Composición química de las castañas
(mg/g de materia seca)**

Ca	K	P	Mg	Mn	Zn	Vitamina C
65	1000	90	65	3,5	2,5	48
Vitamina B1	Vitamina B2	Vitamina B6	Acido Nicotico	Acido Pantoténico	Vitamina E	Caroteno S. Fe.Cu
0,26	0,22	0,29	0,6	0,6	0,5	Muy poco

Fuente: Goldsbrough, 1990.

En general, las nueces son una fuente de grasas insaturadas, proteínas, fibras y vitaminas antioxidantes como la vitamina E. Sin embargo, la castaña no es reconocida como una nuez dado que nutricionalmente, en comparación a otras nueces tales como el pecano o la nuez propiamente tal, presenta un bajo contenido de grasas.

En el Cuadro N° 20, se muestra la comparación en contenido de grasas y calorías de distintos tipos de nuez, incluida la castaña.

Cuadro N° 20. Comparación nutricional de distintas nueces (100 g)

Nueces	Calorías	Grasas
Macadamia	719	77
Avellana	645	63
Almendra	596	53
Maní	585	49
Castaña de cajú	575	46
Castaña	243	2,1

Fuente: Center for Agroforestry, University of Missouri, 2004.

Esta composición, baja en aceites en comparación con otros frutales tipo nuez, hace de la castaña un producto fácilmente digerible asado o cocido, porque se expanden los granos de almidón, haciéndose menos resistentes a los jugos gástricos; además contiene pocas sustancias astringentes. De aquí que su valor como alimento sea mayor que el de otras frutas secas (Saavedra, 1981).

Adicionalmente, tiene importantes propiedades antioxidantes (reacción básica que combate la tendencia de la alimentación moderna de causar un exceso de acidificación) y no posee gluten, por lo que es un alimento tolerado por los celíacos (Conedera *et al.*, 2005). Por ello, la castaña es apreciada en el mundo entero. Su composición es altamente valorada en repostería y confitería fina, industria que la ha empleado desde hace mucho tiempo (Crawford, 2003).

Nutricionalmente es similar al arroz y ha sido descrita como el grano que crece en el árbol, es así como en Estados Unidos el Castaño fue conocido como el "árbol que produce cereales".

En el Cuadro N° 21 se observan las cualidades nutricionales de la castaña en comparación a la manzana, considerada esta última una de las frutas más sanas.

Cuadro N° 21. Composición nutricional de la castaña y la manzana (100g)

Elementos	Castaña	Manzana
Agua %	52,5	84,8
Proteínas g	2,9	0,2
Grasas g	1,5	0,6
Carbohidratos g	42,1	14,1
Calcio	27	7
Potasio	454	110
Fósforo	88	10
Fierro	1,7	0,3
Niacina	0,6	0,1
Sodio	6	1
Tiamina	0,22	0,03
Riboflavina	0,22	0,02

Fuente: USDA, 1975 cit. por Girolami Farms Chestnut, 2004.

5.3 Clasificación y Usos de la Castaña

En Chile, se denomina castaña a todo fruto del árbol del mismo nombre, lo que se debe a la escasa costumbre de consumo y a la ausencia de cultivares mejorados que permitan una diferenciación comercial. En países con gran tradición productora y consumidora, como los del Mediterráneo europeo, el fruto se clasifica como marrón o castaña, los que a su vez dependiendo del tipo, tienen destinos diferentes, ya sea para el consumo fresco o agroindustria (Grau, 1997).

En general los marrones se caracterizan por ser frutos grandes, con un solo cotiledón y sin tabiques internos formados por el episperma o una pequeña penetración, la castaña en cambio presenta un menor tamaño, posee tabicaciones y varios cotiledones.

En Castaños rústicos o plantaciones forestales, donde no se utilizan plantas de variedades frutales, las castañas son pequeñas y se presentan generalmente agrupadas en el erizo y rara vez de a una. En huertos frutales en cambio, donde se utilizan cultivares y variedades de selección frutal donde en especial se busca una fruta de mayor tamaño, se obtienen marrones.

El tamaño de la castaña, se aprecia por su calibre, el que corresponde al número de frutos contenidos en un kilogramo, sin embargo, la escala de calibre no es fija para los distintos países productores. A modo de ejemplo en el Cuadro N° 22, se muestra la escala de calibre de Francia, país productor y principal importador, e Italia principal país exportador.

Cuadro N° 22. Clasificación por calibres en Francia e Italia

Pais	Categoría	Nº de frutos por kilo
Francia	A	< a 60
	B	de 61 a 80
	C	de 81 a 100
	D	> a 100
Italia	AAA	< a 48
	AA	entre 48 y 65
	A	entre 65 y 85
	B	> a 85

Fuente: Vieitez *et al.*, 1996.

Según el calibre las castañas tienen distintas utilidades, lo que da lugar a una clasificación de acuerdo a su destino (Cuadro N° 23).

Cuadro N° 23. Clasificación de castañas y destino

Categoría	N° de frutos (/kg.)	Calibre	Destino
A	>60	Grande	Marrón glacé
B	61-100	Mediano-Grande	Consumo directo
C	81-100	Pequeño-Grande	Enlatado
D	>100	Pequeño	Puré y crema azuc.

Fuente: Saavedra, 1981.

Tradicionalmente el mercado chileno ha presentado pocas exigencias con respecto a las normas de calidad, porque la castaña se envasa en sacos de diferentes capacidades, sin exigencias de calibre, o clasificadas en amplias categorías (Loewe *et al.*, 1994). Sin embargo, con la introducción de nuevas variedades frutales y las interesantes perspectivas de exportación de Chile, se visualiza que esta situación cambiará rápidamente en la próxima década, debido a la diferenciación de precios según calidades.

En general las características deseables de un fruto son (Grau, 1997):

- Ausencia de tabicación interna.
- Mínima presencia de frutos dobles o poliembrionía (inferior al 12%).
- Facilidad de descascarado.
- Calibre entre 50 y 70 (cantidad de frutos por Kg).
- Sabor dulce.
- Mínima presencia de daño interno y externo.

Dada la riqueza en nutrientes de la castaña es un alimento muy recomendable para niños, estudiantes, deportistas, para periodos de convalecencia, astenia o desnutrición. Los diabéticos deben moderar su consumo por su riqueza en hidratos de carbono.

Pueden consumirse en fresco, procesadas como harina, puré y confites, sirve también para alimentar ganado, especialmente cerdos. En general los frutos grandes y de mayor calidad son empleados en confitería para elaborar marrón glacé y castañas en almíbar. Sin embargo, en Chile existe poca divulgación sobre su potencial agroindustrial, del cual no sólo es aprovechable su parte comestible, sino también su cáscara, con la que se obtienen taninos y colorantes usados en la curtiembre (Kiger, 1985).

En el sur de Chile el fruto del Castaño, forma parte de la alimentación de comunidades rurales, donde es apetecida por su agradable sabor y contenido energético (Salvatierra, 1990), es también muy utilizada para alimentación de ganada a través de pastoreo directo.

5.4 Oportunidades de la Castaña Forestal en Chile

De acuerdo a la clasificación de castaña y marrón, la fruta obtenida en plantaciones forestales para producción de madera de alto valor, corresponde a castaña dado su calibre.

En base a las excelentes características nutricionales de esta fruta y a la necesidad de generar ingresos intermedios en espera de la cosecha de la madera (25 a 40 años), especialmente en el caso de pequeños y medianos productores, el Instituto Forestal comenzó a investigar las posibilidades de uso y agregación de valor de la castaña producida en plantaciones forestales.

Con este objetivo realizó un estudio para analizar la producción de harinilla de castaña (Figura N° 40) como alimento animal, la cual fue evaluada a través de un ensayo con un plantel de cerdos en el periodo de encebado, donde se reemplazó en la composición de la dieta, la harinilla de trigo por la harinilla de castaña.

De acuerdo a la bibliografía, en países europeos la castaña es un componente tradicional en la alimentación de cerdos para la obtención de jamones de calidad. En Estados Unidos, cuando contaba con grandes extensiones de su Castaño (*Castanea dentata*), fueron famosos los jamones del estado de Virginia, obtenidos de cerdos alimentados en base a castañas. Cabe destacar que en el sur de Chile, la castaña de plantaciones forestales es conocida como "castaña chanchera" por su uso como alimento mediante pastoreo directo.

El estudio concluyó que la alimentación de cerdos con raciones en la cual se reemplaza el contenido de harinilla de trigo por harinilla de castañas es óptima; no se obtuvo ningún impacto negativo en cuanto a aceptación de la ración por parte de los animales. Complementariamente la evolución en la engorda no presentó diferencias significativas con respecto a la dieta basada en trigo, obteniéndose una ganancia diaria por animal idéntica al grupo testigos.

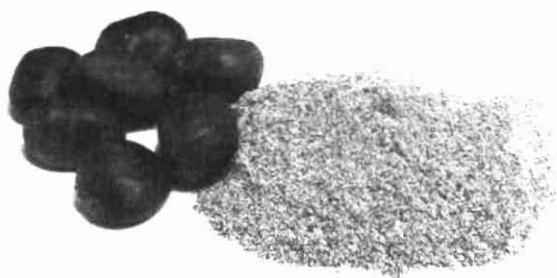


Figura N° 40. Harina de castaña

También se analizó la posibilidad de producir harina para consumo humano, con excelentes resultados, pudiendo obtenerse una harina de gran calidad.

La harina de castaña es un producto tradicional de carácter local en Italia, Francia, España y otros países. En relación a su perfil nutricional, el procesamiento para su obtención afecta en cierta medida la cantidad o participación de los componentes nutricionales de la fruta fresca, este cambio se puede observar en el Cuadro N° 24.

Cuadro N° 24. Composición nutricional de la harina de castaña

Análisis	Resultado por 100 g
Calorías	371
Grasas totales	3,67 g
Grasas saturadas	0,7 g (17.9%)
Grasas Polinsaturadas	1,6 g (44.0%)
Grasas Monoinsaturadas	1,4 g (38.1%)
Colesterol	< 1 mg
Sodio	25 mg
Total Carbohidratos	78,0 gm
Fibras	9,2 gm
Azúcares	20,8 gm
Proteínas	6,55 gm
Vitamina A	57 IU (unidades internacionales)
Vitamina A	6 RE (retinol equivalentes)
Vitamina C	36,8 mg
Calcio	35 mg
Hierro	2,97 mg

Fuente: Chestnutsonline.com

6. LAS MICORRIZAS Y EL CASTAÑO

M. González, P. Chung, K. Casanova.

En la actualidad se estudian ampliamente los hongos comestibles como una forma de producto natural, altamente alimenticio y de gran aceptación en los mercados de Europa, Asia y Norteamérica. Entre ellos, destacan los hongos micorrícicos comestibles, los cuales son utilizados como un elemento de fomento al rendimiento en silvicultura, fruticultura y horticultura. Castaño es una especie que se asocia a ciertas micorrizas comestibles de alto valor nutricional.

La asociación entre la raíz de plantas vasculares y un hongo, constituye una entidad simbiótica denominada micorriza (mico= hongo, rhiza = raíz). Se estima que alrededor del 95% de las especies vasculares pertenecen a la familia micorrícica (Ipinza y Serrano, 1982).

La simbiosis creada produce una relación beneficiosa para los dos organismos implicados. El hongo coloniza la raíz de la planta y le proporciona nutrientes minerales y agua, que extrae del suelo por medio de su red externa de hifas, mientras que la planta suministra al hongo sustratos energéticos y carbohidratos que elabora a través de la fotosíntesis. La inoculación de hongos micorrícicos, entendida como la actividad de incorporar tales hongos al suelo donde se desarrollan o van a desarrollar plantas, tiene sentido en dos casos: primero, cuando en el lugar de plantación no existe en forma natural y segundo, aún cuando estén presentes en el sitio de plantación, se presentan en cantidades mínimas.

Muchos de los árboles forestales poseen micorrizas. Parece seguro que los árboles son abastecidos por el hongo de agua y sales, especialmente compuestos de N, P, K, Ca, y quizás también de ciertos aminoácidos, sustancias de crecimiento, etc., mientras, a su vez, el hongo recibe especialmente hidratos de carbono procedentes del árbol. El caso es que muchos de los hongos más conocidos de los géneros *Boletus*, *Amanita*, *Lactarius*, etc., sólo producen esporocarpos cuando están en relación con la raíz de un árbol.

De acuerdo a Slankis (1973), citado por Ipinza y Serrano (1982), estos hongos simbioses proporcionan hormonas estimulantes del crecimiento, como auxinas, citoquininas, giberelinas y vitamina B, las cuales son producidas por la planta en forma simultánea a las producidas por el hongo, pasando a constituir estas últimas un aporte extra de tales hormonas. De esta manera, contribuye a aumentar considerablemente el crecimiento y permite una mayor longevidad de las raíces.

La presencia de las micorrizas aumenta la resistencia de las plántulas a la sequía, altas temperaturas del suelo y valores extremos de pH, además a ataques de hongos patógenos, áfidos y nemátodos.

6.1 Entendiendo las Micorrizas

El nombre griego mykés, como recuerdo a la ciudad de Miceba en honor a un hongo salvador del héroe griego Perseo, y el latino fungus que significa portador de la muerte, sirven actualmente para indicar a los hongos o micetes y a la micología como la ciencia que estudia a estos organismos. La callampa o cuerpo frutal (carpóforo), corresponde a la zona aérea y es solo una pequeña parte de una masa total de células de este organismo. Los hongos son en realidad microorganismos en la cual la biomasa total esta hecha de muchos y largos filamentos llamados hifas o colectivamente, como micelio.

El hongo se genera a partir de una "semilla" microscópica llamada espora. Ésta, al encontrar condiciones favorables germina y emite un pequeño tubo que crece a nivel del ápice, desde donde se forman numerosas células. Por medio de este proceso se constituye un filamento que se ramifica varias veces y cada nuevo ápice de las ramificaciones se convierte a su vez en un nuevo centro de crecimiento. El filamento formado por células dispuestas una tras otra se denomina hifa, constituyendo a través del conjunto de estas estructuras, el micelio. A través de este micelio, y mediante un proceso sexual, se formará a su vez el carpóforo. Dos hifas pertenecientes al mismo micelio o, más frecuentemente pertenecientes a micelios distintos se unen para formar un nuevo micelio, caracterizado por la presencia simultánea de dos núcleos, perteneciente a diferentes hifas. Cuando las condiciones ambientales y nutricionales son favorables, a partir de este micelio se transformará en cuerpo fructífero, la callampa, en el que se producirán las esporas (Donoso, 1989).

Las micorrizas se clasifican, según su estructura y morfología, en dos grandes grupos: ectotróficas y endotróficas. Las ectotróficas o ectomicorrizas (ECM), normalmente incluyen a las micorrizas de micelio tabicado, las cuales forman un verdadero manto de hifas que rodea la raíz. En ellas, el desarrollo del hongo en el interior de la corteza es intercelular, dando aspecto de red (red de Hartig). En las endotróficas o endomicorrizas, el hongo no forma manto sobre la raíz, y las hifas penetran en el interior de las células de la corteza.

Las micorrizas más extendidas son las de tipo endomicorrizas vesículo-arbuscular (VAM). Las familias de plantas en las que no se han encontrado micorrizas VAM son las siguientes:

- Pinaceae*, *Betulaceae* y *Fagaceae* que forman ectomicorrizas
- Orchidaceae* y *Ericaceae* los cuales forman tipos específicos de micorrizas
- Ciertas familias que han sido descritas como no micorrizables, como son las *Chenopodiaceae*, *Urticaceae*, *Cruciferae*, *Fumariaceae*, *Cyperaceae*, *Commelinaceae* y *Poligonaceae*.

Existen también ciertos grupos de plantas que tienen tanto micorrizas formadoras de manto como micorrizas VA, como es el caso de *Salicaceae*, *Juglandaceae*, *Tiliaceae*, *Mirtaceae*, *Caesalpinaceae*, *Juniperus*, *Chamaecyparis* y *Quercus*.

En Castaño, por ser una especie del género *Fagaceae*, solo se han observado ectomicorrizas y no se han observado endomicorrizas.

Hongos como fuente alimenticia

En los hongos se distinguen tres etapas de desarrollo. Primordio, adulto y senescente. El primordio corresponde a la etapa juvenil, que es la preferida para comercializarlo como callampa entera. Al abrirse el primordio, se pasa a la etapa adulta, donde dependiendo del estado de madurez, los hongos pueden procesarse para venderse como producto fresco o alternativamente en otra variedad de formas (deshidratado, salados, congelado, extractos, polvos, fermentados, entre otras). En el estado senescente, la callampa está en etapa de degradación y con numerosos parásitos por lo que generalmente no es colectada en este estado.

En los Cuadros N° 25 y N° 26, se puede apreciar las características de los hongos como fuente de alimentación de excelente calidad nutricional.

Cuadro N° 25. Comparación nutricional entre hongos comestibles

Tipo de hongos	Proteína total en % de peso seco	Grasas en % de peso en seco	Carbohidratos en % de peso en seco	Cenizas en % de peso seco
<i>Boletus edulis</i>	32-35,24	5,15	58,59	6,25-7,47
<i>Suillus grevillei</i>	21,21	1,60	64,45	6
<i>Suillus luteus</i>	20,32	3,66	53,58	6,10
<i>Suillus granulatus</i> <i>Spp. granulatus</i>	14,02	2,04	70,39	6,42
<i>Lactarius deliciosus</i>	27,42	6,72	27,60	5,92
<i>Morchella esculenta</i>	34-35	2,37-2,39	46-47	9,42-10,79

Fuente: Modificado de Donoso, 1989 y FAO, 1993.

Cuadro N° 26. Comparación nutricional entre hongos comestibles y otros alimentos

Tipo de hongo o alimento	Proteínas %	Grasas %	% de hidratos de carbono	% de sales	% de agua
<i>Boletus edulis</i>	5,4	0,4	5,2	1,0	87,0
<i>Lactarius deliciosus</i>	3,0	0,8	3,0	0,7	88,8
Espinacas	2,2	0,3	1,7	1,9	93,4
Papas	2,0	0,1	20,9	1,1	74,9
Carne vacuno	21,0	5,5	0,5	1,0	72,0

Fuente: Modificado de Donoso, 1989 y FAO, 1993.

6.2 Hongos Asociados a Castaño

Es notable la importancia de las micorrizas ectotróficas en las especies arbóreas de los bosques montanos, boreales y templados: *Quercus*, *Fagus*, *Castanea*, *Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Pseudotsuga*, *Betula*, *Populus*, *Tilia*, *Juglans*, *Carya*, *Prunus*, etc., son ejemplos de árboles cuyo crecimiento y desarrollo es mejorado por la presencia de ectomicorrizas. Entre los hongos ectomicorrícicos más cotizados en el mercado destacan: *Amanita caesarea*, *Boletus edulis*, *Cantharellus cibarius*, *Tuber aestivum* y *Tuber melanosporum*.

La inoculación de Castaños con estos hongos podría incrementar la rentabilidad de los castañares, que añadirían la producción de setas, a la producción de madera y castañas. Por ello existe un creciente interés en los trabajos sobre micorrización controlada del Castaño, orientada hacia la producción inducida de hongos comestibles, mediante el control de la formación de las micorrizas, inoculando las raíces con aquellas especies de mayor interés económico. Otro interés de la micorrización artificial del Castaño, es como medio de aumentar la supervivencia de las plantas utilizadas en nuevas plantaciones (Vieitez *et al.*, 1996).

Los bosques son los lugares preferidos para la mayoría de los hongos superiores (Rigueiro, 1998), estando cada una de estas especies asociado a los distintos tipos de árboles que forman el bosque. Así se puede decir que en los rodales de Castaños proliferan las siguientes especies de hongos: *Amanita phalloides*, *A. citrina*, *Boletus aestivalis*, *B. badius*, *B. chrysenteron*, *B. edulis*, *B. erythropus*, *B. fragans*, *Cantharellus cibarius*, *Cortinarius trivialis*, *Otidea onotia*, *Russula virescens*, *Tricholoma columbetta*, etc. (Roca, 1999).

En el Cuadro N° 27 se citan los principales hongos ectomicorrícicos asociados a Castaño de acuerdo a diversos autores y clasificados de acuerdo a si son o no comestibles.

Cuadro N° 27. Hongos micorrícicos asociados a Castaño citados en diversa literatura

Especie ectomicorrícica	Comestibles	No comestibles	Cita
<i>Amanita caesarea</i>	•		2, 4, Vieitez <i>et al.</i> (1999), 5
<i>Amanita pantherina</i>		•	3, Vieitez <i>et al.</i> (1999), 5
<i>Amanita phalloides</i>		•	1, Vieitez <i>et al.</i> (1999)
<i>Amanita rubescens</i> (*)	•		3, Vieitez <i>et al.</i> (1999), 5
<i>Amanita vaginata</i> (*)	•		Vieitez <i>et al.</i> (1999)
<i>Amanita virosa</i>		•	Howell (2004)
<i>Boletus aereus</i>	•		Vieitez <i>et al.</i> (1999), 5
<i>Boletus aestivalis</i>	•		1, Vieitez <i>et al.</i> (1999), 5
<i>Boletus chrysenteron</i>	•		1

Continuación Cuadro N° 27

Especie ectomicorrícica	Comestibles	No comestibles	Cita
<i>Boletus edulis</i>	•		1, 2, 3, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Boletus fragans</i>	•		1
<i>Boletus impolitus</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Boletus luridus</i>	•		3, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Boletus pinicola</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Boletus regius</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Boletus rhodoxanthus</i>		•	2, Vieitez et al. (1999)
<i>Cantharellus cibarius</i>	•		1, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	•		Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Cenococcum geophilum</i>		•	3
<i>Cortinarius albobolaceus</i>	•		Howell (2004)
<i>Cortinarius caerulescens</i> (*)	•		3
<i>Gyroporus castaneus</i> (*)	•		3, Vieitez et al. (1999)
<i>Hebeloma crustuliniforme</i>		•	Howell (2004)
<i>Hydnum repandum</i> (*)	•		Howell (2004)
<i>Laccaria laccata</i> (*)	•		Howell (2004)
<i>Lactarius piperatus</i> (*)	•		Howell (2004), 5
<i>Lactarius volemus</i> (*)	•		3, Vieitez et al. (1999)
<i>Leccinum aurantiacum</i>	•		3, Vieitez et al. (1999)
<i>Leccinum nigrescens</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Leccinum scabrum</i>	•		3, Vieitez et al. (1999)
<i>Leccinum versipelle</i>	•		Howell (2004)
<i>Lyophyllum aggregatum</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Lyophyllum connatum</i> (*)	•		Howell (2004)
<i>Lyophyllum decastes</i> (*)	•		Howell (2004)
<i>Paxillus involutus</i>		•	5
<i>Phylloporus rhodoxanthus</i>	•		Howell (2004)
<i>Ramaria botrytis</i>	•		5
<i>Russula cyanoxantha</i>	•		Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Russula foetens</i>		•	3, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Russula lepida</i> (*)	•		3, Vieitez et al. (1999), 5
<i>Russula rubra</i>		•	Vieitez et al. (1999)
<i>Russula sanguinea</i>		•	Vieitez et al. (1999)
<i>Russula sardonia</i>		•	Howell (2004)

Continuación Cuadro N° 27

Especie ectomicorrícica	Comestibles	No comestibles	Cita
<i>Russula vesca</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Russula virescens</i>	•		1, Vieitez et al. (1999)
<i>Scleroderma aurantium</i>		•	3, Vieitez et al. (1999)
<i>Scleroderma citrinum</i>		•	Howell (2004)
<i>Tuber aestivum</i>	•		Vieitez et al. (1999)
<i>Tuber melanosporum</i>	•		3, Vieitez et al. (1999)
<i>Tylopilus felleus</i>		•	3, Howell (2004)
<i>Xerocomus badius</i>	•		1, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Xerocomus chrysenteron</i> (*)	•		3, Howell (2004), Vieitez et al. (1999)
<i>Xerocomus rubellus</i>	•		2, 5
<i>Xerocomus subtomentosus</i>	•		Howell (2004), Vieitez et al. (1999), 5

Fuente:

1. <http://www.geocities.com/Yosemite/8300/ANEJOS4.html>
2. <http://www.micologia.net/articulos/habitat.htm#subir>
3. http://www.horticulturalalliance.com/DIEHARD_Ecto_Root_Dip.asp
4. <http://www.espacionatural.com/4images/img1279.htm?sessionid=e224d8839e2b533ef73d08cac073e472>
5. http://www.provincia.lucca.it/funghi/macromiceti_lucca.doc

En la investigación llevada a cabo por el Instituto Forestal "Uso de herramientas biotecnológicas para aumentar la rentabilidad de plantaciones de Castaño en la VIII Región" se describen y analizan desde el punto de vista de la factibilidad de la inoculación en plantas de Castaño en Chile y las perspectivas de mercado, algunos hongos micorrícicos comestibles que se asocian en forma natural a Castaño, y otros hongos, nativos y exóticos, con los que se están realizando algunas pruebas para validar su asociación (Gysling et al., 2005).

Hongos micorrícicos asociados a Castaño

Boletus edulis: Los boletos, están entre los hongos más conocidos por la población mundial, siendo además, el prototipo de los hongos comestibles, fácilmente reconocibles por su carpóforo, por la corteza del himenio y por su carne casi siempre blanca. Cuanto más se alejan los hongos de esta descripción, más aumenta la sospecha de que se está ante un hongo venenoso. No se encuentra en Chile, pero es una de las especies seleccionadas por el interesante potencial que tiene.

- **Descripción:** el sombrero es esférico y cóncavo, en el hongo joven es blanco, pero luego se va oscureciendo y arrugando. Los tubos son blancos en los hongos jóvenes y se tornan amarillentos con el envejecimiento, para terminar

en un tono aceitunado. El pie es vigoroso, de color gris-cafesoso, su carne es siempre blanca y firme.

- **Hábitat:** crecen tanto en los bosques de latifoliadas como en los de coníferas, de preferencia en los bordes de los bosques. En Europa, se le encuentra desde fines de julio a fines de diciembre. Estos hongos han desaparecido de las ciudades, y se les encuentra esporádicamente. En Chile, esta especie no está presente en los bosques de Pino u otras especies introducidas, sin embargo, ésta es una de las especies más interesantes desde el punto de vista del proyecto, por el potencial comercial que puede alcanzar.
- **Utilización:** son altamente estimadas en la buena cocina, pero también por los animales.

Boletus pinophilus o *Boletus pinicola* Vitt.: Esta es una especie muy apetecida en Europa. Crece bajo bosques de Pinos. Es una especie más bien escasa y se le encuentra en pequeños grupos en los meses de julio a noviembre en el hemisferio norte. No se encuentra en Chile, pero también es una especie seleccionada por el proyecto por su potencial.

- **Descripción:** Pileo 60-180 mm de diámetro hemisférico o convexo, irregular o algo deformado, superficie seca, color moreno con tonalidades roja oscura a granate tubos adnatos, algo deprimidos en el centro, blancos, amarillos o verdosos. Estípite 40-80 x 80-160 mm, ensanchado en la base, sólido moreno amarillento o rosado, con retículo blanco desde la base hasta el ápice. Carne blanca, aunque rojiza por debajo de la cutícula.
- **Hábitat:** Bosques de Pino, Pino-Encino y Abeto. Se le encuentra en asociación micorrízica alrededor de los 2.900 msnm. No está descrita en Chile.
- **Utilización:** Muy comestible sobretodo la carne del carpóforo. Algunos gourmet lo consideran una variedad de *Boletus edulis*.

Otros hongos en estudio para micorrización en Castaño:

Morchella esculenta: Las morchelas no se encuentran en los bosques de coníferas y latifoliadas donde están habitualmente los champiñones. Hay que ubicarlas en los taludes floridos que bordean los cursos de agua, en tierras de limo-arenosos, a la sombra de Fresnos, Olmos y Álamos si el suelo es suficientemente calcáreo.

- **Descripción:** El sombrero o carpóforo es de forma y tamaño muy variables, 7 cm de alto en promedio y hasta 5 cm de ancho. Toda la superficie del sombrero está surcada por un reticulado tipo panal de abejas, de color amarillo. El pie es de 6 cm de alto, rugoso en su parte exterior y hueco al interior. La carne es blanca, serosa y quebradiza.

- **Hábitat:** Se le encuentra a comienzos de la primavera, después de las lluvias.
- **Utilización:** Es comestible. Es un hongo succulento de primavera, muy apreciado. Su consumo requiere de una limpieza muy rigurosa en los numerosos intersticios que tiene, incluidos parásitos.

Morchella conica/elata: Esta morchella tiene una forma muy particular, tipo gótica. En Chile, recibe el nombre de pique, hongo potito, choclo o bien morchela (Pincheira, 1999) y se recolecta con fines comerciales desde hace unas dos décadas. Se le conoce en el mundo anglosajón como Morel. En España, se le denomina pantorra larga o crispa de pie largo. Es una de las especies con las que se ha inoculado Castaño.

- **Descripción:** el sombrero es muy largo y puntudo. Con hendiduras longitudinales que lo recorren de manera más o menos paralela y que se ennegrecen muy rápido. El pie es de superficie rugosa y blanca y hueco en el interior. La carne es idéntica a la de *Morchella esculenta* (morchella rubia).
- **Hábitat:** el mismo de la morchella rubia, pero es mucho más escasa que ésta. Se le encuentra normalmente en bosques abiertos y aparece con frecuencia después de incendios. En Chile, se le encuentra en bosques de *Nothofagus* de zonas de Precordillera de los Andes y en plantaciones que han sufrido daños de incendios (Pincheira, 1999). Se recolecta para la exportación, pero los volúmenes son inferiores respecto a las especies de *Suillus*.
- **Utilización:** es comestible, pero menos sabrosa que morchella rubia.

6.3 Procesos de Masificación de Hongos para Inoculación

La inoculación artificial permite optimizar el desarrollo de plántulas, incorporando nuevos terrenos a la actividad forestal, reinstaurando la vegetación en lugares deforestados y disminuyendo la probabilidad de infección en viveros y plantaciones (Chung, 2005).

Existen varias maneras de elaborar productos inoculantes, siendo estas de tipo esporal o micelar (*Op. cit.*).

Inóculos esporales

Para la producción de este tipo de inóculos, muy utilizado en viveros forestales, es necesario contar con una gran cantidad de cuerpos fructíferos o esporocarpos, debido a que se requiere una gran cantidad de esporas dada su baja viabilidad. Para realizar este tipo de inoculantes se deben seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar los sitios donde exista abundancia de esporocarpos durante el otoño, los cuales deberán ser colectados, identificados y transportados en bolsas de papel.
- Los esporocarpos deben ser limpiados, eliminándose las adherencias. Los de gran tamaño son cortados en pequeños trozos, y partes como el estípite o tallo son eliminados.
- Estos esporocarpos pueden proveer de inóculos esporales húmedos o secos.

Inóculos esporales secos

- Se colocan los esporocarpos en un sistema de aire seco forzado a temperaturas por debajo de los 35 °C, para no generar pérdidas de viabilidad de las esporas.
- Los esporocarpos secos son molidos manualmente en bolsas plásticas para asegurar una mínima pérdida de esporas y la contaminación con otros hongos.
- Este preparado es colado suavemente con cedazos entre 200 - 500 μm para la estandarización del tamaño de las partículas.
- Las esporas secas se guardan en refrigeración a 4 °C.

Inóculos con esporas en forma húmeda

- Los esporocarpos se homogenizan en agua mediante una licuadora.
- Posteriormente, se realiza la filtración a través de una fina tela o una rejilla fina de aproximadamente 200 μm .
- Estas deben ser guardadas a 4 °C por sobre un año.
- Estas suspensiones guardadas pueden ser re-filtradas para remover los hongos saprófitos, los cuales a menudo se desarrollan en la superficie.

Inóculos micelares

El micelio producido por estos hongos simbiotes en cultivos estériles puede ser usado directamente como inóculo, o puede ser asociado a materiales que sirven de transporte, como hidrogeles, turba-vermiculita o granos de cereal. Los procedimientos habituales que pueden aplicarse para la masificación de inóculos micelares son:

- a. Segmentos de agar conteniendo micelio puede ser usados para la inoculación de plantas creciendo bajo cultivo de tejidos aséptico o en un medio de iniciación de raíces. Esta forma de masificación se utiliza solo a nivel de ensayos de laboratorio, se realiza mediante medios nutritivos con agar en discos petri.
- b. Cultivos micelares pueden ser producidos en laboratorio mediante frascos u otro recipiente con un medio de una solución nutricional estándar o parcialmente solidificado con 0,3% de agar. Los frascos pueden ser agitados periódicamente para la fragmentación del micelio o pueden incubarse en un agitador orbital o, a una escala mayor a través de un bioreactor. Luego de su masificación en los frascos, se concentran en recipientes estériles para ser aplicados a plantas como inóculo puro de micelio, en forma de pasta similar a la de esporas. El micelio es usualmente fragmentado con una picadora eléctrica antes de ser aplicada a las plantas.
- c. Además de la masificación micelar pura, el micelio puede ser acompañado por algún acarreador que permita mayor protección al micelio principalmente contra pérdidas de humedad, por lo que se pueden envolver en cápsulas de alginato de calcio. Estos una vez elaborados, deben ser utilizados dentro de los dos a tres meses siguientes a la elaboración, pues estas píldoras van perdiendo humedad, lo que disminuye las condiciones favorables a la viabilidad del micelio.
- d. Utilización de sustrato de turba-vermiculita, este es inoculado con algún hongo ectomicorrízicos y cultivos en grandes contenedores tales como bolsas plásticas. Para el crecimiento del micelio y nutrición de este, la mezcla de turba - vermiculita se satura con algún medio nutritivo estándar. Estos inóculos pueden ser usados posteriormente o pueden ser envueltos con un paño fino y lavado con agua destilada estéril para remover el exceso de nutrientes limitando el crecimiento microbiano no deseado. A gran escala, se puede utilizar tambores rotatorios para la propagación del hongo en un cultivo de sustrato sólido.

6.3.1 Procedimientos de inoculación de hongos micorrízicos

Los procesos de inoculación se realizan tomando en cuenta el tipo de inóculo que se quiere aplicar y las condiciones de asepsia en la aplicación (Chung, 2005).

Para la inoculación, se requiere la producción de plantas bajo condiciones controladas de asepsia que permita asegurar que la micorriza aplicada es realmente la que se encuentra presente en las raíces de las plantas infectadas y no otra.

La producción de plantas se debe realizar tomando en cuenta los siguientes puntos:

1. Esterilización del sustrato donde se hará la siembra de semillas.

2. Desinfección de los contenedores o bolsas que se utilizarán, colocándolos en baños con soluciones de Hipoclorito de sodio al 10% por 10 minutos.
3. Esterilización de las semillas de las especies a utilizar aplicando Hipoclorito de sodio al 10% con Tween 20 por 5 minutos y tres lavados con agua destilada estéril.
4. Recinto previamente esterilizado en lo posible hermético que impida la entrada de organismos que dificulten la asociación.
5. Sistema de riego con agua previamente filtrada, cuidando la entrada de otros organismos por esta vía.
6. Todos los utensilios usados dentro del recinto de inoculación deben estar desinfectados.

Inoculación bajo sistema de riego

Este tipo de inoculación se realiza cuando existe una buena disponibilidad de hongos y posibilidad de acuerdo al costo de adquisición de estos. En general los costos en hongos micorrícicos llamados de primer estadio son bajos. Por la forma de aplicación estos inóculos deben ser resistentes a las condiciones ambientales imperantes, tomándose en cuenta además el grado de agresividad del hongo que se aplica.

Inoculación en sustrato de plantación

Este tipo de inoculación se realiza al igual que el anterior, con especies agresivas y presentes en los primeros años de crecimiento de la planta. Este consiste en introducir esporas o micelio en mezcla con el sustrato, para luego ser puestos en contenedores para finalmente realizar la siembra.

Inoculación bajo condiciones controladas

En este caso la inoculación se realiza bajo condiciones asépticas, y se aplica a la mayoría de los hongos micorrícicos comestibles debido a su lento crecimiento antes de infectar las raíces. Esta modalidad se puede realizar bajo cuatro formas (Figuras N° 41 y N° 42):

1. Aplicación de micelio puro: Una vez sembrada la semilla, se espera su crecimiento hasta la emergencia de las raíces secundarias. En esta etapa se realiza la inoculación con micelio puro aplicando una pasta con un sistema de jeringa.

2. Aplicación de espora en alginato de calcio: Se realiza mezclando las pildoras de alginato de calcio que contiene las esporas, con el sustrato previo a la plantación.
3. Aplicación de micelio en alginato de calcio: Se realiza mezclando sustrato y las pildoras, logrando un sustrato compuesto utilizado de relleno en el traspaso de plantas de contenedor a contenedores de mayor volumen.
4. Aplicación de micelio en sustrato de vermiculita turba: Este tipo de inóculo desarrollado en un acarreador vermiculita - turba, se mezcla con sustrato el cual se usará de relleno de la misma forma que en el punto anterior.



Figura N° 41.
a) Micelio puro b) Espora en alginato de calcio c) Micelio en vermiculita-turba.



Figura N° 42. Inoculación de hongos micorrícicos en plantas de vivero

6.4 Precios y Mercado de los Hongos

Con el objetivo de conocer el potencial de mercado de hongos asociados o posibles de asociar a Castaño en Chile se realizó un estudio orientado a analizar el mercado nacional e internacional de hongos comestibles silvestres en general, y de los hongos *Boletus edulis*, *Boletus pinophilus*, *Morchella conica* y *Cortinarius lebre*, en particular. Cabe señalar, que actualmente en Chile sólo se recolecta y comercializa *Morchella conica*, en tanto que las otras especies no existen y su desarrollo dependerá de las experiencias y resultados que se generen a nivel experimental y de la propia iniciativa de productores innovadores (Gysling *et al.*, 2005).

En Chile, la comercialización de las especies de hongos silvestres comestibles representa una actividad de larga trayectoria de recolección y venta de los

productos a exportadores. El consumo interno es un porcentaje muy bajo y se realiza de forma semi-artesanal e informal, con todas las limitaciones que ello conlleva. Varios autores reconocen que el impacto del consumo nacional es más bien bajo y la mayor parte de los hongos silvestres que se comercializan se exportan a mercados conocidos y establecidos desde hace muchos años.

China es el líder indiscutido en todos los segmentos del mercado internacional de hongos, y si bien la participación de las exportaciones chilenas tiene una cierta relevancia en hongos secos y salados, los volúmenes son muy inferiores a los de este país. El principal destino de las exportaciones chinas es el mercado japonés, principal importador del mundo.

Como región importadora se destaca la Unión Europea, particularmente por las compras que realizan el Reino Unido, Alemania, Francia, Italia y España. No obstante, la mayor parte de este comercio se efectúa en forma intraregional, donde Holanda, Polonia y otros países del Este son los proveedores más destacados.

De las especies de interés, *Boletus edulis* es la de mayor comercialización a nivel mundial y es altamente apreciado como comestible; el mayor proveedor es China, pero también se recolecta en Europa, Norteamérica y otros países asiáticos. Las especies del género *Morchella* también disfrutan de un amplio reconocimiento en el mercado mundial y su precio suele ser varias veces superior a otros hongos; se recolecta en muchos países del mundo entre los que se destacan Pakistán, India y China. Por el contrario, las especies del género *Cortinarius* no tienen un gran reconocimiento en el mercado, la información sobre ellos es extremadamente limitada y muchas veces se le asocia a un género que tiene especies venenosas o no comestibles debido a que su sabor no las hace apetecibles.

6.4.1 Mercado nacional

Los precios que operan en el mercado interno han sido muy variables y dependen principalmente de las condiciones climáticas, principalmente lluvias y de las demandas del mercado externo.

En el estudio de Pognat (2001), los precios de la *Morchella* varían desde 2.500 a 4.000 \$/kilo en estado fresco y entre 20.000 a 30.000 \$/kilo en estado seco, si se comercializan directamente en los predios. El precio varía sustantivamente si se comercializa en centros urbanos importantes y su rango puede variar entre 20.000 a 60.000 \$/kilo. Por otra parte, el valor de exportación como producto deshidratado oscila entre 120 a 240 US\$/kg.

De acuerdo a lo recopilado por el estudio de Gysling *et al.* (2005), los precios de algunos hongos comestibles como *Suillus* y *Lactarius* en el año 2005 fueron de: 80 a 150 \$/kg a granel fresco, 800 a 3.400 \$/kg a granel seco en zona rural, y de 500 a 1.000 \$/100 g envasado seco; para *Morchella* los precios oscilaron entre 1.800 a 10.000 \$/kg a granel fresco, 20.000 a 50.000 \$/kg a granel seco en zona

rural, 20.000 a 65.000 a granel seco en zona urbana, 9.000 \$/100 g envasado seco, y de 70.000 a 140.000 \$/kg seco para exportación.

6.4.2. Exportaciones

Durante el año 2004, las exportaciones chilenas de hongos llegaron a US\$ 6,5 millones, con una participación de 0,2% del valor total exportado por el sector forestal. Respecto del 2003, la cifra registrada el último año representa una baja de 15,6% y se sitúa en un nivel que ya se había alcanzado en la década de los noventa, evidenciándose la evolución errática de las exportaciones (Gysling *et al.*, 2005).

En la Gráfico N° 5 se observa la evolución de las exportaciones de hongos durante el período 1981-2004 y se distinguen tres periodos; en los '80 se aprecia un estancamiento en torno a los US\$ 1,5-1,9 millones, en los '90 hubo un período de auge, con algunos altos y bajos, pero con un claro avance que significó pasar de exportaciones en torno a los US\$ 2 millones a US\$ 8 millones, y en los últimos años se han retomado los altos niveles registrados en los '90, pero manteniendo una cierta estabilidad en torno a los US\$ 7 millones.

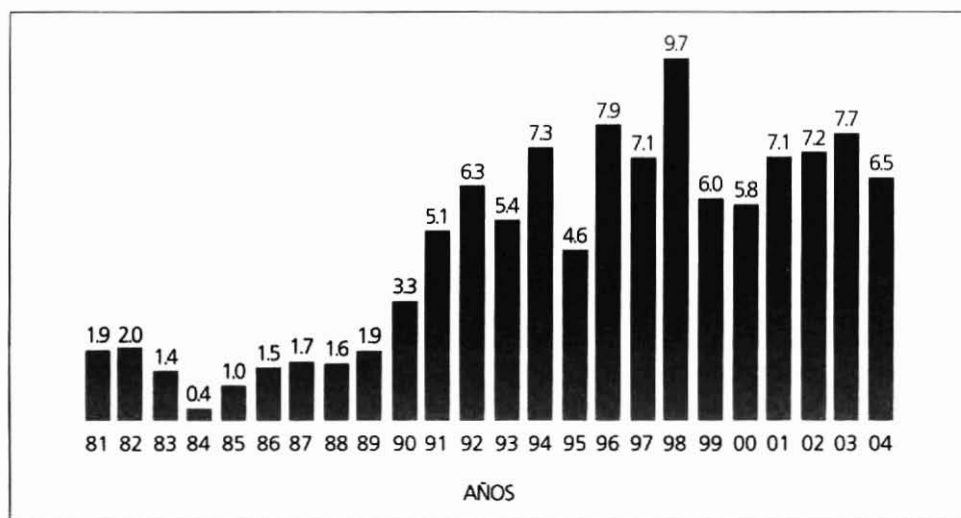


Gráfico N° 5 . Evolución anual de exportaciones de hongos comestibles de Chile (Millones de US\$ FOB)

Fuente: Gysling *et al.*, 2005.

Considerando el total de las exportaciones de hongos, los 4 principales mercados para los productos chilenos pertenecen a la Unión Europea. En cifras de 2004, éstos son: Francia, con una participación de 29,8% en el valor exportado, Alemania con el 19,2%, España con el 15,6% e Italia con el 14,2% (Gráfico N° 6). En volumen también lideran estos cuatro países, aunque hay variaciones en las

posiciones, lo que revela que por ejemplo en Francia los precios pagados por los productos son superiores a los que paga España o Italia. Le siguen en importancia Brasil (7,2% del valor exportado), Argentina (4%), EE.UU. (3%) y Suiza (2,7%).

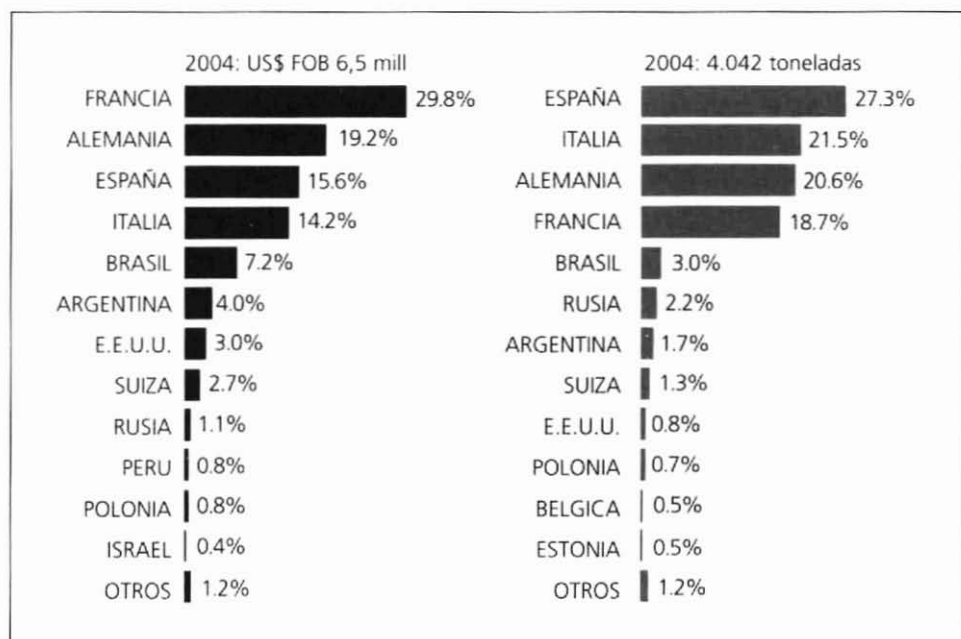


Gráfico N° 6. Principales destinos de exportación de hongos comestibles en Chile

Fuente: Gysling et al., 2005.

6.5 Experiencias de Investigación en Chile

En el marco del proyecto anteriormente mencionado "Uso de herramientas biotecnológicas para aumentar la rentabilidad de plantaciones de Castaño en la VIII Región", ejecutado entre los años 2004 y 2007, se realizaron experiencias de inoculación de hongos nativos y exóticos en Castaño, las actividades realizadas y los resultados obtenidos a la fecha se describen a continuación.

Colecta de material nacional de hongos micorrícicos

Dentro del bosque nativo chileno existen algunas especies de hongos micorrícicos comestibles asociados especialmente al género *Fagaceae*. Entre ellos se cuentan las especies *Boletus loyo*, *Boletus loyita*, *Cortinarius lebre*, *Morchella* sp., *Ramaria flava*, *Ramaria* sp (Changle), *Clavaria* sp y *Gyromytra* sp. Con el objetivo de realizar algunas pruebas de inoculación en Castaño se colectaron *Morchella* y *Boletus loyo*.

Estos fueron extraídos y trasladados en bolsas de papel con su debida identificación y dentro de un recipiente hermético a una temperatura semicontrolada baja, hasta el laboratorio de INFOR para realizar los trabajos de aislamiento de micelio y/o cepas a través de la germinación de esporas o la obtención directa de inóculos micelares.

La colecta comenzó en el período otoño - invierno, para el caso de *Boletus loyo* y primavera para el caso de *Morchella*.

Con el material colectado se realizaron las aislaciones y multiplicación de las cepas. Se experimentaron una serie de medios para el aislamiento y multiplicación al igual que de inóculos para las especies colectadas.

Adquisición de material extranjero (hongos micorrícicos extranjeros)

Con el objeto de evaluar el comportamiento de hongos micorrícicos extranjeros en Castaño, se introdujeron cepas de hongos con los que naturalmente se asocia Castaño en Europa, principalmente. Se importaron desde España cepas de las especies de *Boletus* sp. y *Tuber* sp. Por sugerencia de los importadores, se decidió importar *Tuber aestivum* (Trufa blanca), que siendo de un valor comercial un poco menor que la trufa negra, los requerimientos para establecerla son menores y fructifica en una mayor diversidad de ambientes.

Resultados de inoculación de hongos micorrícicos en Castaño

Una vez recepcionado el material se procedió a producir la masificación de los micelios con los que se inocularían las plantas de Castaño, tanto en forma micelar y esporal. Las plantas fueron producidas bajo estrictas condiciones de asepsia, es decir, se esterilizó el sustrato, la semilla, los contenedores y el invernadero. La semilla se sembró en Junio 2004 y a mediados de primavera se inocularon las plantas (Figuras N° 43, N° 44 y N° 45).



Figura N° 43. Inoculación de hongos micorrícicos en plantas de Castaño en invernadero

Análisis en vivero

En marzo de la temporada siguiente (2005) se realizó la evaluación del proceso de micorrización de Castaño con las especies micorrizantes *Boletus edulis*, *Boletus aereus*, *Boletus pinophilus* (Boletales) *Morchella conica* y *Tuber aestivum* (Ascomycete) producidas en la temporada 2004-2005.



Figura N°44. Plantas de Castaño inoculadas bajo invernadero en condiciones semi-controladas (marzo 2005)



Figura N° 45. Plantas de Castaño inoculadas en el exterior (junio 2005)

Los resultados indican que las especies micorrizantes de *Boletus* no presentaron un buen porcentaje de infección (*B. edulis* $3,3 \pm 0,2$; *B. pinophilus* $13,9 \pm 6,5$; *B. aereus* $2,1 \pm 1,0$), sin embargo, se observó una alta presencia de especies contaminantes.

En lo que respecta a las especies micorrizadas con *Morchella conica* se repite la tendencia de encontrar un buen porcentaje de micorrización, pero de *Basidiomycetes* (Reinoso et al., 2006).

Para las plantas inoculadas con la especie *Tuber aestivum* o trufa blanca, se obtuvieron buenos resultados (% micorrización promedio $49,4 \pm 14,5$), en comparación con las anteriores (Figura N° 46). Este resultado es susceptible de mejorar ya que existen algunos estudios relacionados en los cuales se han encontrado porcentajes de micorrización superiores al 50% de infección. Las especies contaminantes son en su mayoría *Basidiomycetes* (*Op. cit.*).



Figura N° 46. Raíces modificadas por la presencia de *Tuber aestivum* (16X) y *Tuber aestivum* (40X)

Análisis en terreno

Las plantas producidas e inoculadas durante la temporada 2004-2005, fueron establecidas en agosto de 2005 en tres unidades demostrativas en las localidades de Cañete, Quinchamalí y El Carmen ubicadas en la región del Bío Bío. Durante el primer semestre del 2006, se repitió el análisis de micorrización pero de las unidades establecidas ese año, con el objeto de evaluar el comportamiento e infección de los hongos en terreno.

Se analizaron 57 muestras provenientes de las tres unidades. Las plantas fueron micorrizadas previamente en vivero con inóculos de *Boletus loyo*, *Boletus aereus*, *Boletus edulis*, *Boletus pinophilus*, *Morchella conica* (inoculo esporal y micelar) y *Tuber aestivum*.

La toma de muestras se realizó en forma aleatoria para evitar cualquier tipo de desviación. Las plantas se transportaron al laboratorio donde fueron refrigeradas a 4 °C, preferiblemente dentro de un plazo de 2 semanas desde la toma de muestras en vivero, para su posterior análisis.

Los resultados obtenidos de estos análisis, indican que las especies Boletales micorrizantes siguen manteniendo un porcentaje de infección considerable de

5% - 45% (*B. luyo*, *B. edulis*; *B. pinophilus*; *B. aereus*). Los datos sugieren que la temporada de muestreo es importante en la determinación de los porcentajes de micorrizas efectivas para las especies de Boletales. Aunque hay variaciones significativas entre los porcentajes de las especies estudiadas, se constata un aumento de la micorrización efectiva en la localidad de Cañete y de Quinchamalí, no así para la localidad del Carmen. En ambas localidades, también se verifica un porcentaje de micorrización menor para la especie *Tuber aestivum* (5%-10%). La presencia de especies contaminantes sigue marcando la tendencia en todos los ensayos, aunque en algunas de las localidades muestreadas las especies contaminantes típicas desaparecen para dar pie a otras morfotipos micorrícicos.

En lo que respecta a las especies micorrizadas con *Morchella conica* se vuelve a repetir la tendencia de encontrar un buen porcentaje de micorrizas de *Basidiomycetes* (Reinoso *et al.*, 2006).

Para las plantas inoculadas con la especie *Tuber aestivum* o trufa blanca, en las localidades de Cañete y Quinchamalí, se obtuvieron buenos porcentajes de micorrización, considerando lo difícil de la efectividad micorrícica de esta especie en estas latitudes y en estos suelos. Se obtuvo alrededor de un 5,0% a un 10,5% de micorrización efectiva (*Op. cit.*).

En el siguiente gráfico es posible apreciar el comportamiento de los Castaños, respecto a la variable altura de acuerdo a los distintos tratamientos aplicados (diversas inoculaciones).

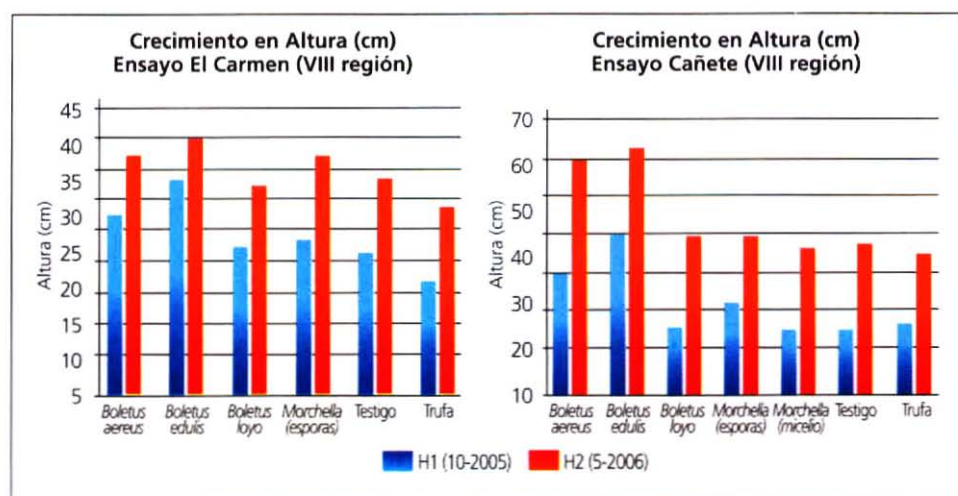


Gráfico N° 7. Crecimiento en altura de Castaños inoculados con diversos hongos micorrícicos comestibles

En el Gráfico N° 7, se aprecia que en general las plantas inoculadas con *Boletus* presentan las mayores alturas, siendo en el caso de El Carmen, más significativo. Cabe señalar que a pesar de ser datos iniciales, éstos son interesantes para seguir con la investigación.

7. LAS PLANTACIONES FORESTALES

S. Benedetti, J. Saavedra, A. Páez, M. Martín.

La principal área de distribución de Castaño en Chile se sitúa entre las regiones VII del Maule y X de Los Lagos. En general, estas regiones presentan las condiciones de suelo y clima aptos para la especie. Sin embargo, se debe tener presente que la región del Maule posee ciertas limitaciones debidas principalmente a la prolongación de la estación seca y a la mayor cantidad de heladas tardías.

En las regiones del Maule y Bío Bío se concentran los huertos frutales de Castaño, generalmente asociados a sectores de precordillera. Las plantaciones forestales en cambio, se ubican en las regiones X de Los Lagos y IX de La Araucanía, las que presentan mejores condiciones ambientales para el desarrollo forestal de la especie.

De acuerdo al censo agropecuario realizado por el Instituto Nacional de Estadística en el año 1997, que identifica huertos frutales de Castaño, la superficie cultivada de la especie era de 417,7 ha (INE, 1997), cifra que ha aumentado significativamente dado los desarrollos de la investigación agrícola los últimos 7 años, orientada principalmente a la introducción de variedades frutícolas de alta calidad.

Si bien no existen estadísticas oficiales respecto a plantaciones forestales de Castaño en Chile, las investigaciones del Instituto Forestal han detectado 106 ha de plantaciones con edades que fluctúan entre 3 a 48 años. La X región de Los Lagos es la que concentra la mayor cantidad de plantaciones de Castaño y además las de mayores edades, entre 15 a 48 años. A esta cifra se deben sumar todas las forestaciones realizadas desde el año 2002, fecha en que la plantaciones forestales de Castaño fueron impulsadas por INFOR a través de un intensa campaña de transferencia tecnológica, lo que coincidió además con un subsidio especial diferenciado orientado a la especie, a través de la Ley 19.561 de Fomento Forestal, que operó hasta el año 2006. Se estima que la tasa de forestación en ese periodo fluctuó entre 50 a 100 ha/año.

7.1 Características Ambientales de Plantaciones Forestales de Castaño en Chile

Con el propósito de conocer y precisar las condiciones ambientales en que se localizan las plantaciones forestales de Castaño en el país, se realizó un estudio el año 2006 en el marco del proyecto "Hacia el desarrollo del Castaño forestal en Chile", en el que se analizaron las condiciones ecológicas de estas plantaciones a lo largo de su área de distribución, esto es entre la VII región del Maule a la X región de Los Lagos. El estudio consideró 8 rodales de entre 26 y 9 años de edad, los cuales en su mayoría no han sido objeto de manejo alguno.

Cada rodal se caracterizó en base a ubicación, clima, suelo y vegetación principal acompañante.

En cuanto a ubicación las variables consideradas fueron: altitud, exposición y pendiente. Para clima se consideró el distrito agroclimático y las variables temperatura media anual, temperatura media máxima, temperatura media mínima, precipitación media anual, heladas, meses no húmedos y/o secos. Respecto a suelo, con la realización de calicatas se analizaron en terreno las variables edáfica; profundidad, pedregosidad, altura de litera y profundidad del horizonte orgánico. A través de tomas de muestras se realizaron además, análisis físico, de estructura del suelo, densidad aparente y análisis químico.

La identificación de cada rodal considerado en el estudio se presenta en el Cuadro N° 28.

Cuadro N° 28. Identificación de rodales de Castaño analizados

Rodal	Región	Provincia	Zona	Año plantación
Alupenhue	VII	Curicó	Precordillera	1998
Lanahue	VIII	Arauco	Costa	1979
Santa Luisa	IX	Malleco	Precordillera	1980
Las Minas	X	Valdivia	Costa	1978
Pillo Pillo	X	Valdivia	Costa	1981
Pumillahue	X	Valdivia	Valle Central	1982
San Pedro	X	Valdivia	Valle Central	1980

En relación a las características de sitio, los resultados del estudio mostraron que las plantaciones de Castaño en Chile se localizan en altitudes entre los 44 y 721 m.s.n.m y en pendientes entre 0 y 18 %. En cuanto a exposición se presentan en distintas situaciones, no siendo esta variable una limitante para su establecimiento y desarrollo (Cuadro N° 29).

Cuadro N° 29. Variables de ubicación de los rodales de Castaño analizados

Rodal	Región	Altitud (msnm)	Exposición	Pendiente (%)
Alupenhue	VII	554	Extendida, Sur	0 - 5
Lanahue	VIII	260	Sur	18
Santa Luisa	IX	721	Extendida, Sur	4
Las Minas	X	58	Noreste	14
Pillo Pillo	X	44	Sur	18
Pumillahue	X	155	Norte	4-10
San Pedro	X	45	Extendida, Norte	0-2

En cuanto a clima, las temperaturas medias anuales, medias mínimas y medias máximas, corresponden a los parámetros citados en la literatura para la especie en sus áreas de origen (Cuadro N° 30). Respecto a la precipitación media anual, también se presentan dentro de los requerimientos de Castaño, con una gradiente de norte a sur de alrededor de 1.000 mm. Esta gradiente de precipitación junto a los periodos secos, podría marcar una diferencia de crecimiento de las plantaciones dado que Castaño tiene altas exigencias hídricas en los meses de verano.

Cuadro N° 30. Variables climáticas de los rodales de Castaño analizados

Rodal	Tipo de Clima	T media anual (°C)	T máx. media (°C)	T mín. media (°C)	Meses secos y/o no húmedos	Pp media anual (mm)	Periodo libre de heladas ó N° heladas año
Alupenhue	Templado mesotermal inferior estenotérmico mediterráneo subhúmedo	12,3	26,8	4,2	Periodo seco de 5 meses	1.315	11 heladas por año
Lanalhue	Templado mesotermal inferior estenotérmico mediterráneo subhúmedo	12,3	22,8	5,3	Periodo seco de 5 meses	1.300	4 heladas por año
Santa Luisa	Templado infratermal estenotérmico, Mediterráneo subhúmedo	10,9	22,7	4,9	Periodo seco de 3 meses	2.058	8 heladas por año
Las Minas	Marino Fresco; Tipo Agroclima Castro	10,49	19,4	3,2	Sin estación seca	1.942	5 meses
Pillo Pillo Pumillahue San Pedro	Marino Fresco; Tipo Agroclima Loncoche	12,5	27,1	3,3	Enero y febrero no húmedos	2.139	3 meses

Fuente: Novoa et al., 1989; Santibáñez y Uribe, 1993.

En relación a las características de suelo, las condiciones edáficas de las distintas situaciones en general son similares, aptas para Castaño y dentro de los parámetros que señala la literatura para la especie; suelos profundos, livianos y bien drenados; profundidad entre 0,5 m a más de 1 m, densidad aparente entre 0,42-0,8 g/cm³, de texturas francas, con presencia de horizonte orgánico y litera. Algunos rodales se escapan de estos parámetros localizándose en condiciones edáficas menos favorables; suelos poco profundo, textura pesada, densos y con poca capacidad de drenaje (Cuadro N° 31).

Cuadro N° 31. Variables edáficas físicas de los rodales de Castaño analizados

Rodal	Profundidad del suelo (m)	Textura	Estructura	Densidad aparente (g/cm ³)	Pedregosidad	Horizonte orgánico (mm)	Litera (cm)
Alupenhue	> 1	Franco-limosa	Grumosa-subpoliédrica	0,8	0-25	20	6
Lanahue	0,8	Franco-arcillosa	subpoliédrica	0,74	0-25	40	8
Santa Luisa	> 1	Franco-limosa	Grumosa-subpoliédrica	0,54	0-25	20	6
Las Minas	0,8	Franco-limosa	Grumosa-subpoliédrica	0,69	0-25	20	5
Pillo Pillo	> 1	Franco-limosa	Grumosa-subpoliédrica	0,59	0-25	15	5
Pumillahue	> 1	Franco-limosa	Grumosa-subpoliédrica	0,42	0-25	30	5
San Pedro	< 0,5	Limo-arcillosa	Masiva subpoliédrica	1,16	50-75	10	5

La Figura N° 47, muestra la extracción de la muestra de suelo del rodal de Alupenhue, para la determinación de la estructura del suelo, la Figura N° 48, muestra el grado de pedregosidad del suelo del rodal San Pedro.



Figura N° 47. Muestra para determinación de estructura del suelo. Rodal Alupenhue



Figura N° 48. Grado de pedregosidad del suelo. Rodal San Pedro

Respecto a las características químicas, presentan pH moderado, buena presencia de materia orgánica, y no deficitarios en macroelementos a excepción de Fósforo (Cuadro N° 32). En algunos rodales no se observó déficit de este elemento, lo que se debería a que corresponden suelos de origen volcánico, conocidos como

“suelos trumao” los que se caracterizan por fijar Fósforo, sin embargo esto no significa necesariamente que este elemento esté disponible para las plantas, por otra parte, en general los suelos presentan déficit principalmente de Boro.

Cuadro N° 32. Análisis químico de suelos de los rodales de Castaño analizados

Rodal	pH agua	B	P Olsen	S	Ca	Mg	Na	K	Al	Suma Bases	Ct	M. Org.	Nt	C/N
		mg/kg									%			
Alupenhue	6,21	0,14	16,7	5	1.832	168	12	545	3	12,01	8,62	14,9	0,30	28,7
Lanalhue	5,33	0,47	3,9	12	1.011	303	24	268	38	8,37	6,99	12,1	0,32	21,8
Santa Luisa	5,83	0,04	2,8	10	266	34	9	109	6	1,93	7,65	13,2	0,33	23,2
Las Minas	5,04	0,41	4,9	22	21	18	13	67	84	0,48	8,38	14,4	0,40	21,0
Pillo Pillo	5,01	0,23	4,8	17	94	31	10	81	45	0,98	8,65	14,9	0,46	18,8
Pumillahue	5,65	0,08	3,1	13	359	71	17	52	7	2,59	8,39	14,5	0,49	17,1
San Pedro	5,90	0,28	4,5	2	1.060	222	17	133	9	7,56	3,90	6,7	0,16	24,4

En cuanto a la vegetación acompañante, se observa una diversidad interesante y una composición similar en casi todas las situaciones; Radal, Avellano, Maqui, Lingue en las situaciones más australes, regeneración natural de Castaño, Rosa mosqueta y Zarzamora. Esta diversidad da una idea de la importante adaptación de Castaño a las distintas condiciones en la zona centro sur de Chile. En cuanto a la presencia de Rosa mosqueta y Zarzamora, son especies exóticas invasoras presentes en una amplia superficie en Chile.

La Figura N° 49, muestra la regeneración de Castaño en el rodal Pumillahue.



Figura N° 49. Regeneración y rebrotes de Castaño en rodal Pumillahue

Aún cuando es necesario hacer un estudio más acabado sobre la interrelación específica y la dinámica vegetacional, la presencia de estas especies en plantaciones de Castaño podría indicar que éstas se asocian bien a la especie, pudiendo convivir en un mismo espacio y probablemente con beneficios mutuos. Lo anterior junto a la presencia de regeneración de Castaño, representan elementos de análisis interesantes en la definición de propuestas de manejo silvicultural, para tipos de plantaciones de Monte Alto, Monte Bajo, esquemas mixtos y otros que puedan dar mayor sostenibilidad económica y ambiental.

De este estudio se desprende que las variables ambientales en que se localizan los rodales estudiados, y que representan toda el área de distribución de las plantaciones forestales de Castaño que existen en Chile, están dentro de los rangos de los requerimientos ecológicos que cita la literatura internacional sobre Castaño y lo que da cuenta además de la plasticidad de la especie, toda vez que es capaz de crecer en una amplia variedad de sitios.

7.2 Crecimiento de Castaño en Plantaciones Forestales

Tradicionalmente en Europa, se consideró que el Castaño era un árbol de crecimiento lento, que plantarlo era hacerlo para los nietos. Estas creencias tuvieron su origen, más bien, en la extraordinaria longevidad de la especie. El impacto internacional producido por la enorme pérdida del Castaño americano y la gravedad de la regresión del Castaño europeo, dio origen a que se realizaran importantes investigaciones al final de la década de los cuarenta. Entre aquellas, no faltaron experiencias que demostraron que el Castaño no es un árbol de crecimiento lento, si no que se podría considerar como una especie de crecimiento rápido en que su producción de madera sobrepasa los $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, cifra que se supera fácilmente, alcanzando los $18 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ (Vieitez *et al.*, 1996).

Coincidentemente, un estudio hecho en Italia por Tani *et al.* (2003) indica que el incremento en volumen es tal como para hacer entrar al Castaño en el grupo de especies de rápido crecimiento. Al respecto, indican que los ritmos de crecimiento se mantienen elevados por un largo periodo de tiempo, proporcionando una gran flexibilidad a la determinación de la duración de la rotación,

En Europa la mayoría de los bosques de monte alto han sido convertidos a monte bajo, con los que se obtienen crecimientos de $4\text{-}20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, en rotaciones de 12-18 años (Bagnaresi, 1986).

En Italia la productividad de formaciones de monte bajo varía entre 8 a $14 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ entre los 18 y 20 años, pudiendo llegar en sitios de muy buena calidad a $14\text{-}20 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ a la misma edad (Bourgeois *et al.*, 2004).

En Francia se han observado en bosques de 12 años de edad, incrementos en diámetro de entre $0,8$ a $1,1 \text{ cm}/\text{año}$. En cuanto a productividad, en sitios de buena calidad se alcanzan productividades de $8 - 13 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$ a los 35 años de

edad. Trozas con corteza de 38-40 cm, de diámetro se logran entre los 40 a 50 años (Bourgeois *et al.*, 2004).

En la zona sur de Inglaterra se han obtenido crecimientos de 12,6 m³/ha/año en bosques de 28 años de edad (Rollinson y Evans, 1987). Otros autores mencionan crecimientos a los 20 años de 150-220 m³/ha. Según Locke (1978), citado por Savill (1991) Castaño es una de las especies latifoliadas más productivas, con crecimientos medios sobre los 8 m³/ha/año en algunas partes de Inglaterra.

En España se han observados rangos muy amplios de crecimientos que varían de 3 a 5 m³/ha/año, hasta crecimientos medio anuales muy altos como el de 15 m³/ha/año que se encontró en un taller de San Martín de Trebejo en Alta Extremadura (Berrocal *et al.*, 1998). En Galicia, en sitios buenos, alcanza crecimientos anuales de 1 a 2 cm de diámetro, y excepcionalmente de 3 a 4 cm en los primeros años en el caso del híbrido de Castaño europeo y asiático (Vieitez *et al.*, 1996), registrándose individuos de 45 años con 0,84 m de diámetro.

Las características dendrométricas de la especie en función de la clase de edad en Francia, se detallan en el Cuadro N° 33.

Cuadro N° 33. Características dendrométricas en función de la edad en Francia

Clase de edad (años)	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34
Diámetro (cm)	17	23	30	32	39	46
Área basal (m ² /ha)	22	26	31	30	31	35
Altura dominante (m)	8	9	12	12	13	14
Volumen (m ³ /ha)	38	90	161	157	183	229

Fuente: Bourgeois, 1992.

Respecto a la productividad de la madera, Bourgeois (1992) menciona los volúmenes presentados en el Cuadro N° 34 para plantaciones de Castaño en Francia.

Cuadro N° 34. Relación edad/volumen

Edad (años)	12	15	20	25	30	35
Volumen (m ³ /ha)	100	118	148	177	207	236

Fuente: Bourgeois, 1992.

En Chile, en 1993, se identificaron algunas plantaciones de Castaño de tipo forestal de 5 a 35 años, entre las regiones VIII de Bío Bío y X de Los Lagos, que a pesar de ser escasas y de carácter experimental, permitieron realizar un estudio que constató que el crecimiento en volumen del fuste resulta interesante para efectos forestales. Las variables incluidas en el análisis son diámetro a la altura del pecho (DAP) y del tocón, espesor de corteza en el DAP; altura total, fuste comercial (diámetro límite 20 cm), primera rama, bifurcación, dominancia apical, forma y estado sanitario. En el Cuadro N° 35 se muestran los parámetros dasométricos de mayor interés de dichas plantaciones (Loewe *et al.*, 1994).

Cuadro N° 35. Parámetros dasométricos promedio de plantaciones de Castaño en Chile

Años	N	Dap (cm)	Diam. Tocón (cm)	Espesor Corteza (cm)	Alt. Total (m)	Alt. Com. (m)	Alt. Rama (m)	Diam. Copa (m)
5	20	2,8	5,0	0,39	3,0		0,56	1,36
10	20	6,1	8,9	0,69	5,2		1,15	2,17
15	20	10,3	13,1	0,75	7,3		1,61	3,02
22	20	28,6	36,2	1,55	18,5	5,6	5,57	4,72
25	20	27,1	34,0	1,44	23,9	5,0	9,88	3,79
30	20	29,5	36,6	1,58	17,1	6,5	5,43	4,37
35	20	32,3	40,6	1,67	23,7	7,7	9,30	4,74

Fuente: Loewe *et al.*, 1994.

Es interesante notar que desde los 25 años se alcanzan alturas totales superiores a los 20 m, no encontrados en las plantaciones con fines frutales; además, el fuste representa una proporción importante de la altura total del árbol (*Op. cit.*).

Con respecto a las alturas comerciales, aún con un manejo muy precario, las plantaciones muestreadas con diámetros comerciales presentan valores superiores a los 5 m, lo que evidencia que con un manejo intensivo estas magnitudes podrían incrementarse considerablemente.

Por otra parte, los diámetros presentan un incremento anual sostenido de poco más de 1 cm y un espesor de corteza de características moderadas.

Se observa que después de los 22 años se produce un salto de consideración, que se debería a los raleos practicados. La plantación de 30 años presenta una menor altura total comparada con otras edades cercanas, lo que podría deberse a un sitio de menor calidad o al manejo realizado (*Op. cit.*).

Loewe *et al.* (1994) determinaron para Castaño alturas comerciales después de los 20 años, considerando un diámetro mínimo de 20 cm. Este diámetro comercial de 20 cm. podría reducirse considerando los avances tecnológicos y eventuales estudios sobre la aptitud debobinable y foliable de la madera juvenil.

En cuanto al crecimiento en volumen, los mismos autores emplearon funciones de volumen de Bouchon (1982) para Haya (*Fagus sylvatica*) en Francia, debido a que ambas especies presentan características de forma y crecimiento similares. El volumen del árbol y del fuste se calculó hasta un diámetro límite de 7 cm con corteza.

El crecimiento del fuste en volumen observado es interesante para efectos forestales, pues siendo una madera de buena calidad se obtendría un volumen de fuste cercano al metro cúbico alrededor de los 35 años. Este valor es bastante superior a los observados en Europa (*Op. cit.*).

En el estudio realizado el 2006 sobre características ambientales de las plantaciones forestales de Castaño en Chile, se consideró además el análisis del desarrollo arbóreo. Se evaluaron variables dasométricas y de forma, los valores observados se presentan en los Cuadros N° 36 y N° 37 respectivamente.

Cuadro N° 36. Variables dasométricas de los rodales de Castaño analizados, año 2006

Rodal	Año Plantación	Dap (cm)	IMA DAP (cm)	Altura total (m)	IMA Altura (m)	Cobertura Copas %
Alupenhue	1998	8,7	1,24	10,0	1,42	75-100
Lanahue	1979	25,9	1,0	22,3	0,86	75-100
Santa Luisa	1980	16,1	0,65	15,9	0,64	75-100
Las Minas	1978	23,4	0,86	21,4	0,79	75-100
Pillo-Pillo	1981	21,5	0,89	25,7	1,07	75-100
Pumillahue	1983	24,2	1,1	20,2	0,92	75-100
San Pedro	1980	25,8	1,03	21,0	0,84	50-75

De acuerdo a estos resultados el incremento medio anual en diámetro a la altura del pecho (DAP) en estos rodales, es entre 0,65 a 1,24 cm, en tanto el incremento medio anual en altura se mueve en un rango de 0,64 a 1,42 m, cifras que coinciden con la información anterior sobre crecimiento de Castaño en Chile.

Cuadro N° 37. Variables de forma y de sanidad de los rodales de Castaño analizados

Rodal	Sanidad	Rectitud	Flecha
Alupenhue	1-2	2-0	0-3
Lanahue	1-1	1-5	0-5
Santa Luisa	1-1	1-7	0-3
Las Minas	1-0	2-1	0-4
Pillo-Pillo	1-0	2-2	0-5
Pumillahue	1-0	1-9	0-2

Continuación Cuadro N° 37

Rodal	Sanidad	Rectitud	Flecha
San Pedro	1-1	2-0	0-2

Nota: criterios de asignación, Sanidad: 1: Sano; 2: Regular; 3: Malo
 Rectitud: 1: Bueno; 2: Regular; 3: Malo
 Flecha: 1: dos o más flechas; 0: sin doble flecha

En cuanto a sanidad, en general no se observaron agentes de daño importantes. Cabe destacar que aún cuando *Phytophthora* spp. está presente en casi todos los suelos del país y que Castaño es susceptible a este hongo, no se ha observado un ataque importante, lo que podría hacer suponer que el material genético de los Castaños crecidos en Chile presentan cierta resistencia a este daño o que el agente presente en el país es de menor virulencia que en otras partes del mundo, lo que sería muy interesante de comprobar ya que permitiría considerar este material en la búsqueda de individuos resistentes a la enfermedad de tinta.

La Figura N° 50 muestra el rodal Las Minas, ubicado en la X región, donde se pueden observar las características de forma y sanidad, siendo esta situación una muestra representativa de la mayoría de las plantaciones forestales de Castaño.



Figura N° 50. Rodal Las Minas, visión de variables de forma y sanidad

El buen estado sanitario observado en consideración de la amplitud geográfica en que estos se distribuyen, da cuenta de la inexistencia a la fecha de agentes de daño importantes para Castaño en Chile. El desarrollo en diámetro y altura observado y las características de forma, y la sanidad de estos rodales, junto al escaso manejo silvicultural del que han sido objeto, indicaría un potencial en bruto que puede ser desarrollado a través de la aplicación de manejo orientado a la producción de madera de alto valor es posible.

En la serie de fotografías a continuación se muestran distintos rodales de Castaño, en los cuales se puede apreciar su productividad, forma, sanidad, diversidad y calidad.



Figura N° 51. Rodal de 6 años de edad, predio Alupenhue, región del Maule



Figura N° 52. Rodal de 20 años, predio Pumillahue, región de Los Lagos



Figura N° 53. Rodal de 13 años, región de Los Lagos



Figura N° 54. Rodal de 23 años, región de Los Lagos

7.3 Modelos de Crecimiento

Como se indicó en puntos anteriores, el crecimiento del Castaño en las plantaciones forestales existentes en Chile, logra incrementos diamétricos superiores a 1 cm/año (Benedetti y Saavedra, 2003), incluso en algunos sectores manejados puede llegar a 2 cm/año, con tasas de crecimiento muy superior al expresado en sus zonas de origen, representando un potencial de producción de grandes perspectivas. Esto se explica, entre otras razones, porque la estación de crecimiento en Chile es más larga que en Europa (Grau, 1997).

Debido a la creciente demanda por establecer plantaciones de Castaño y a que la decisión para invertir en ello, requiere proyectar la comercialización de los productos, es necesario poder cualificar la productividad bajo esquema de plantaciones forestales y su comportamiento en distintos sitios. Con este objetivo, en el marco del proyecto "Hacia el desarrollo del Castaño forestal en Chile", se analizaron funciones de crecimiento existentes y se desarrollaron nuevas funciones ampliando la base de información de modo afinar las herramientas de predicción, apoyando entonces en mejor medida la toma de decisiones respecto del manejo de esta especie. Con este objetivo, se recurrió al análisis fustal como una herramienta metodológica que permite describir el comportamiento del crecimiento en altura y diámetro.

El desarrollo de un árbol desde que es plantado hasta que se cosecha se puede estudiar directamente a través del análisis de tallo, el que consiste en la medición por secciones de las dimensiones del árbol a diferentes edades (Figura N° 55) y a partir de ello se calculan los distintos elementos del crecimiento. Los datos requeridos para esto se obtienen por conteo y medición de los anillos sobre las rodelas obtenidas a diferentes alturas sobre el fuste.

Las funciones y modelos fueron obtenidos de una muestra de 10 árboles volteados provenientes de cuatro rodales en la provincia de Valdivia, X región de Los Lagos (Cuadro N° 38). Se recomienda que su uso sea local, debido a que no hay validación del sesgo si se utiliza en sectores más alejados.



Figura N° 55. Árbol trozado para análisis de crecimiento

Cuadro N° 38. Característica de los árboles volteados año 2003, para análisis de tallo

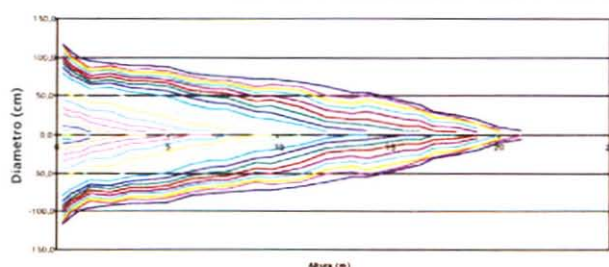
Árbol N°	Rodal	Edad	DAP cm	Altura Total (m)	Altura Tocón (m)
1	Las Minas	22	22,15	20,57	0,07
2	Las Minas	18	23,13	19,32	0,15
3	Las Minas	16	15,09	17,80	0,15
4	Pumillahue	17	18,03	21,75	0,25
5	Pumillahue	18	18,03	21,30	0,20
6	Pumillahue	19	21,80	22,20	0,25
7	Las Minas	16	20,06	19,00	0,23
8	Las Minas	17	15,68	15,70	0,15
9	Pillo Pillo	22	24,28	25,34	0,18
10	Pillo Pillo	20	16,84	23,60	0,17

A estos datos se agregaron otros 3 árboles que habían sido volteados el año 1996 y que fueron la base para el desarrollo de funciones preliminares de crecimiento, (Cuadro N° 39).

Cuadro N° 39. Características de los árboles volteados años 1997, para análisis de tallo

Arbol N°	Localidad	Edad años	Altura de tocón m	Diámetro de tocón cm	DAP cm	Altura total m
1	Las Palmas	41	0,15	53,8	40,2	18,9
2	Las Palmas	40	0,20	52,9	44,1	22,7
3	Las Palmas	40	0,20	52,0	40,3	22,3

La muestra de análisis fustal se construyó a través de la medición de rodela, obtenidas cada 1 m aproximadamente de los árboles volteados. En cada rodela se contabilizaron los anillos de crecimiento y los correspondientes espesores de corteza. En el Gráfico N° 8 se muestra la reconstrucción del perfil del árbol a través de la edad, uniando los anillos detectados en cada rodela.

**Gráfico N° 8. Perfil del árbol número 4 de la muestra**

Función de diámetro - altura

Las funciones dap-altura pueden resultar útiles en estimaciones generales de proyección. Si bien esta relación entre el DAP y la altura es de carácter local, asociada a la edad y condiciones de crecimiento del entorno inmediato, se ajustó una función general altura-dap, por tanto las estimaciones resultantes son sólo de carácter aproximativo.

Se ajustaron algunas funciones generales de Altura-diámetro (Anexo N° 3), incluyendo algunos modelos que han resultado bien en algunas coníferas (Gonda, *et al.*, 2004).

El siguiente modelo es el que tiene mejor ajuste:

$$\ln(H-1,3) = a+b * \ln(dap)$$

Donde, H : Altura total en metros
 dap : Diámetro a 1,3 m sobre corteza
 a : 1,48
 b : 0,47

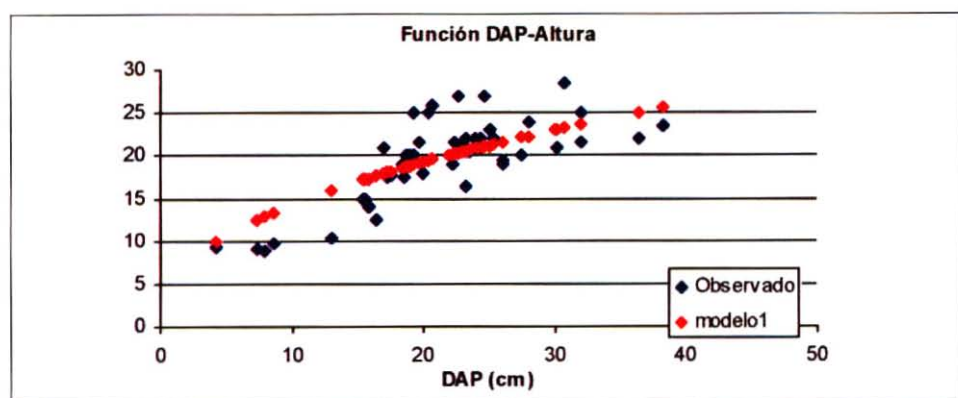


Gráfico N° 9. Distribución de los datos de muestra y los estimados del modelo 1

Función altura - edad - sitio

El concepto de altura dominante fue utilizado para establecer las características del crecimiento en altura de los individuos, así la altura dominante se utiliza como índice de la calidad del sitio y se basa en estimaciones de altura media de los 100 árboles más gruesos presentes en la hectárea.

Se ajustó la función de crecimiento en altura y sitio de acuerdo a la metodología propuesta por García (1983).

Para la estimación del crecimiento se utilizó el modelo de Richards de ecuación diferencial el que se linealiza como:

$$dHT^c / dt = b (a^c - H^c)$$

Donde, HT : Altura Dominante (m),
a,b,c : parámetros
t : Edad (años)

La integración de este modelo permite predecir la altura dominante a cualquier edad, dados una edad y altura dominante inicial, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$HT = a \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{HT_0}{a} \right)^c \right] \exp[-b(t - t_0)] \right\}^{1/c}$$

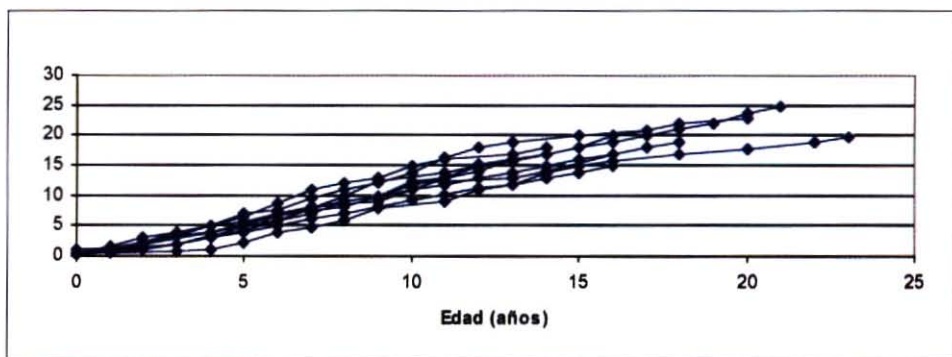


Gráfico N° 10. Series altura edad obtenidas desde los árboles muestreados

De acuerdo a García y Ruiz (2003) fijando el origen (t_0 , HT_0) esta expresión también describe una familia de curvas de índice de sitio. Esta familia se parametriza por un parámetro que sea local, que depende de cada rodal. Se puede definir un índice de sitio IS como la altura dominante típica que alcanza un rodal a una edad base t_c . De esta forma se relaciona al parámetro dependiente del sitio, reemplazando en la expresión anterior IS y t_c por HT y t.

Se compararon los modelos generados por curvas donde el parámetro local fue la asíntota de la altura dominante (a), conocido como curvas anamórficas, y donde el parámetro local es la escala de tiempo (b), curvas polimórficas.

Todos los parámetros fueron estimados con el programa computacional EasySDE (García, 2003). La estimación de las fuentes de error de medición y ambientales se modelaron a través de una ecuación diferencial estocástica.

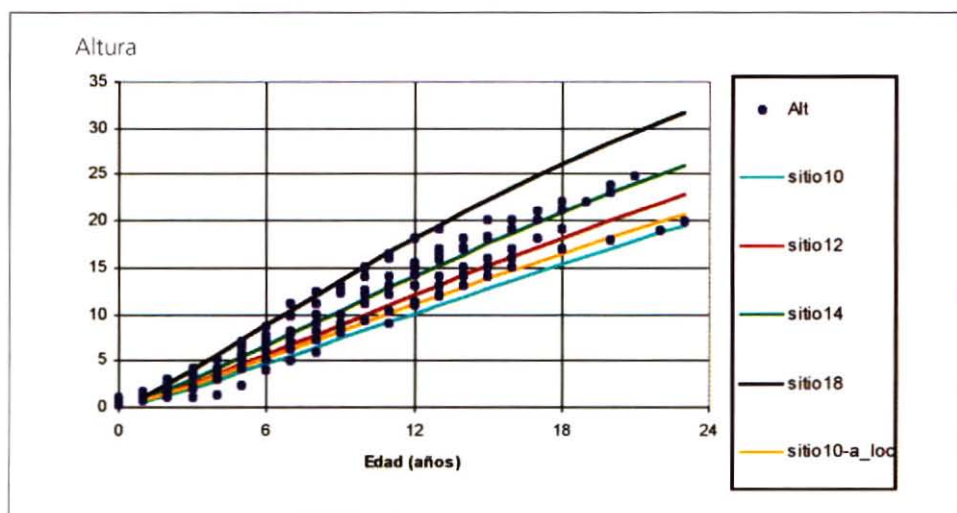


Gráfico N° 11. Comparación de modelos para altura edad para índices de sitio 10, 14 y 18, con edad clave 12 años

La edad clave se define en 12 años debido al rango de edades disponible desde los datos.

Así mismo el índice de sitio, definido como la altura dominante que alcanzaría el rodal a una edad clave determinada, que en este caso se considera 12 años, está dado por la siguiente expresión:

$$IS = 57,29 * \left[1 - \left\{ 1 - \left(\frac{HT}{57,29} \right)^{0,793} \right\}^{12/t} \right]^{1/0,793}$$

De acuerdo a los datos existentes y a las curvas presentadas se observa que los índices de sitio podrían variar desde índices de sitio 10 a 18.

Del análisis de la información se desprende que para el caso de Castaño y de las muestras provenientes de la región de Los Lagos, el mejor modelo encontrado es el que considera como local al parámetro b.

Finalmente es recomendable seguir perfeccionando los modelos a medida que se puedan obtener muestras de clases de mayor edad, o sitios no representados por los actuales datos.

Modelo de crecimiento diametral

A partir de los datos de análisis fustal al igual que para altura se estimó un modelo de crecimiento en DAP mediante la prueba de diversos modelos descritos en la literatura. Los modelos probados fueron el Chapman Richards, Logístico, Bertalanfy y Weibull (Anexo N° 3).

De acuerdo a los estadísticos presentados todos los modelos tienden a subestimar el crecimiento, siendo el modelo Chapman-Richards el que presenta el menor sesgo. Este modelo muestra el menor error y corresponde al más preciso de los 4 modelos estudiados.

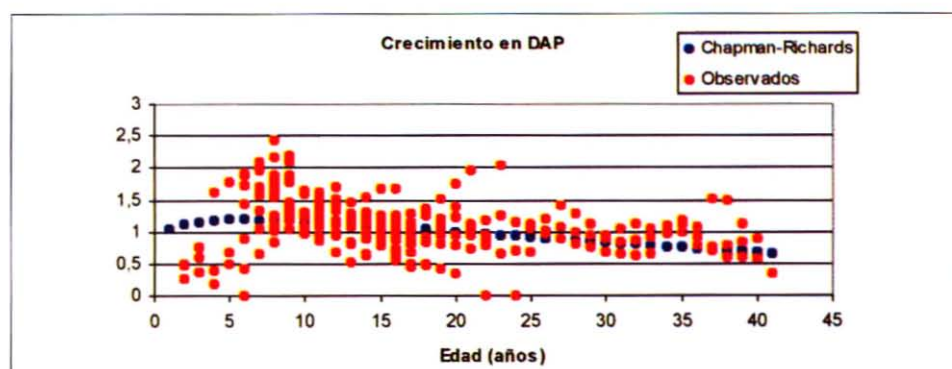


Gráfico N° 12. Comportamiento valores predichos y observados modelo diamétrico

Función de crecimiento en diámetro (cm):

$$\frac{\partial DAP}{\partial E} = a * b * c * \exp(-b * E) * (1 - \exp(-b * E))^{c-1}$$

Función de rendimiento en diámetro (cm):

$$DAP = a * \left[1 - e^{(-b * E)} \right]^c$$

Donde, DAP : Diámetro con corteza en cm a 1,3 m sobre corteza

E : Edad en años

a : 69,5396

b : 0,0230

c : 1,1426

No obstante, la estimación de crecimiento en diámetro presenta tendencia a sobrestimar el crecimiento en diámetro en los primeros años del individuo, su desempeño predictivo es insesgado en edades superiores a 7 años.

Modelo de ahusamiento

La planificación del uso de los recursos forestales tiene como uno de sus pilares básicos la estimación del volumen. A través del tiempo se han ido perfeccionando estos modelos y métodos de modo de generar estimaciones que tengan cada vez mayor precisión. Esto no sucede sólo a nivel del volumen total del árbol o de un rodal, sino que además se busca una mejor estimación en los volúmenes

de productos o de porciones del árbol, obteniendo con esto mejor información para la transformación industrial, diferenciación de precios, planificación de las cosechas, entre otros, temas relevantes cuando se trata de producción de madera de alto valor.

Para obtener esta diferenciación de productos y volúmenes al interior del árbol se han usado las funciones de ahusamiento y también funciones Spline que permiten mejorar las estimaciones (Trincado y Sandoval, 2001). Todos los árboles tienen una forma fustal típica que varía de especie en especie y que también depende del sitio y de la densidad del rodal. La forma en general se representa a través de los factores o cuocientes de forma (o mórficos), series, tablas o funciones de ahusamiento (o conicidad), éstos últimos también se les conoce como modelos de perfil de árbol. Estos modelos describen los diámetros esperados, con o sin corteza a distintas alturas del fuste. Con ellos entonces se pueden estimar volumen para porciones del fuste y también permiten simular trozado de acuerdo a determinadas especificaciones de producto (diámetros mínimos y largos de trozas) o bien determinar la mejor forma de hacerlo (García, 1995).

Para seleccionar una función de ahusamiento adecuada a Castaño se probaron 31 modelos diferentes (Anexo N° 3).

El modelo seleccionado fue el modelo STUD (modelo 30), aunque es relativamente sesgado, indicando que los términos en la polinomial usada como función básica deberían ser aún de mayor potencia.

El Gráfico N° 13 describe el comportamiento del modelo STUD seleccionado (Modelo 30), los valores representan las alturas relativas (razón altura de la sección a altura total) versus los diámetros relativos (diámetro de la sección al DAP del árbol).

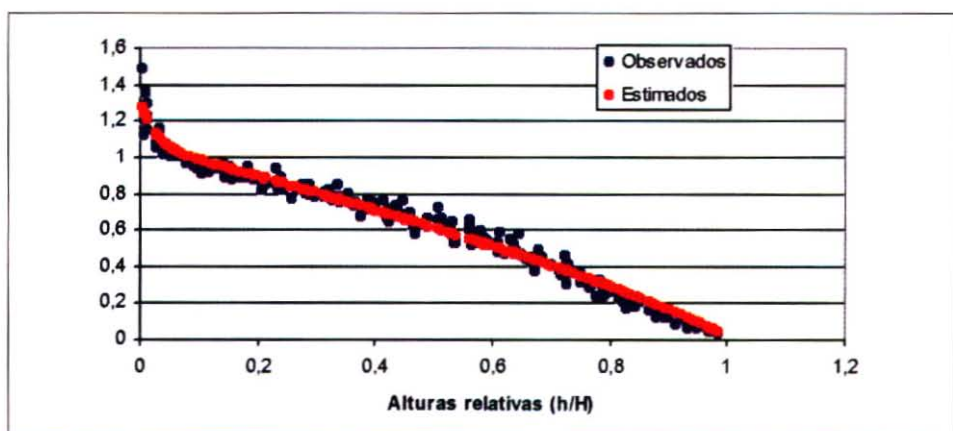


Gráfico N° 13. Ajuste del modelo Stud de ahusamiento

Se analizó también el comportamiento del modelo seleccionado por clase de tamaño de los árboles, se observó una mayor dispersión de los puntos para

aquellos árboles cuyos DAP son menores a 10 cm esta dispersión disminuye a medida que aumenta el DAP y la forma del árbol se estabiliza.

Modelo Stud

$$d = (1 + a * \exp(-b * Hr)) * (c * D * (1 - Hr))^{(d + e * (Hr/D) + f * (1 - h))}$$

Donde, d : diámetro de la sección al Dap del árbol

Hr : hr/H

hr : altura de la sección en metros

H : altura total en metros

a : 0,2285

b : 40,0592

c : 1,0612

D : 0,8312

e : -0,0296

f : -0,0008

Función de volumen fustal

La función de volumen fustal se construye en base a las mediciones provenientes del análisis fustal.

La forma básica de calcular el volumen es una forma combinada, ajustando para cada árbol una curva de Spline y cubicando fracciones pequeñas del árbol mediante la formula de Smalian:

$$VS_i = (g_b + g_s) * \frac{l_i}{2}$$

Donde, VS : volumen de la sección i

g_b : área basal de la sección base

g_s : área basal de la sección superior

l_i : largo de la sección

Para luego acumular los volúmenes de cada sección en un volumen total por árbol. Se ajustaron los modelos generales (Anexo N° 3).

El modelo que presentó un mejor ajuste es el modelo 7 según el criterio del error medio cuadrático.

$$V = b_0 + b_1 \times d^2 \times h$$

- Donde, V : volumen sólido sin corteza hasta una diámetro límite de 5 cm (m³)
d : dap con corteza (cm)
h : altura (m)
b₀ : 0,00061075
b₁ : 0,0000265

ANEXO N° 3 FUNCIONES

Funciones de altura - diámetro

1. $\ln(H - 1.3) = a + b * \ln(dap)$
2. $\ln(H - 1.3) = a + b / dap$
3. $\ln(H - 1.3) = a + b * dap$
4. $\ln(H - 1.3) = a + b \sqrt{dap}$
5. $H = 1.3 + \exp(a + (b / (dap + 2.54)))$
6. $H = 1.3 + a * \exp(b * dap^c)$
7. $H = a + b * dap$

Modelo de crecimiento diametral

Chapman Richards

función de rendimiento

$$DAP = a \left[1 - e^{(-bE)} \right]^c$$

función de crecimiento

$$\frac{\partial Dap}{\partial E} = abc \exp(-bE) (1 - \exp(-bE))^{c-1}$$

Bertalanfy

función de rendimiento

$$DAP = a \left[1 - e^{(-bE)} \right]^3$$

función de crecimiento

$$\frac{\partial Dap}{\partial E} = abc \exp(-bE) / (1 + c \exp(-bE))^2$$

Logístico

función de rendimiento

$$DAP = \frac{a}{1 + c e^{(-bE)}}$$

función de crecimiento

$$\frac{\partial Dap}{\partial E} = abc \exp(-bE) / (1 + c \exp(-bE))^2$$

Weibull

función de rendimiento

$$DAP = a \left[1 - e^{(-bE^c)} \right]$$

función de crecimiento

$$\frac{\partial Dap}{\partial E} = abc(E)^{c-1} (\exp(-bE^c))$$

Modelos de ahusamiento

Modelo 1:

$$d^2/D^2 = a \left[\left(\frac{h}{H} \right) - 1 \right] + b \sin \left(2\pi \left(\frac{h}{H} \right) \right) + c \cot \left[\pi \left(\frac{h}{H} \right) / 2 \right]$$

Modelo 2:

$$d = a \left[D \left(\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right) \right] + bH(H-h)(h-1.3) + c(H-h)(h-1.3) + c(H-h)(h-1.3)(H+h+1.3)$$

Modelo 3:

$$d/D = aX + bX^2 + cX^3$$

con,

$$X = \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right]$$

Modelo 4:

$$d/D = aX_1 + bX_1^2 + cX_1^3 + dX_2$$

con,

$$X_1 = \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right]$$

$$X_2 = h/H$$

Modelo 5:

$$d/D = aX_1 + bX_1^3 + cX_2$$

con,

$$X_1 = \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right]$$

$$X_2 = h/H$$

Modelo 6:

$$d/D = aX_1 + bX_1^2 + cbX_1^3$$

con,

$$X_1 = \left[\frac{(H-h)}{h} \right]$$

Modelo 7:

$$d/D = a \left[\frac{h}{(h-1)} \right] + b \left[\frac{h}{H} \right] + c \left[\frac{(H-h)}{H} \right]$$

Modelo 8:

$$d = aD \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + b \left[\frac{h}{H} \right] + cD$$

Modelo 9:

$$d^2/D^2 = a + bX_1 + cX_1^2$$

con,

$$X_1 = \left[\frac{h}{H} \right]$$

Modelo 10:

$$d = a\sqrt{DX_1} + bDX_1 + cX_2$$

con,

$$X_1 = \frac{(H-h)}{(h-1.3)}$$

$$X_2 = H$$

Modelo 11:

$$d/D^2 = a + b(X_1 - 1) + c \cot(X_1/2)$$

con,

$$X_1 = [h/H]$$

Modelo 12:

$$d = aD \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + \frac{b}{H^2} [H^2 - h^2] [h-1.3]$$

Modelo 13:

$$d = a + bD \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + \frac{b}{H^2} [H^2 - h^2] [h-1.3]$$

Modelo 14:

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + \frac{[b[H^2 - h^2][h-1.3]]}{H^2}$$

Modelo 15

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + \frac{[b[H^2 - h^2][h-1.3]]}{H^2} + c[h/H]$$

Modelo 16

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + b\sqrt{Dh} + ch$$

Modelo 17

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + b[h/H]$$

Modelo 18

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + b[h/H] + c \frac{1}{\sqrt{Dh}}$$

Modelo 19

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + b \left[\frac{h}{H} \right] + c \frac{1}{Dh}$$

Modelo 20

$$d/D = a \left[\frac{H-h}{(h-1.3)} \right] + b \left[\frac{h}{H} \right] + c \frac{1}{Dh^2}$$

Modelo 21

$$d/D = a + b \left[\frac{h}{H} \right] + c \frac{1}{Dh^3}$$

Modelo 22

$$d = a + bD \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + c \frac{h}{H}$$

Modelo 23

$$d/D = a \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + b \frac{h}{H} + c \frac{h^2}{H^2}$$

Modelo 24

$$d/D = aX + bX^4 + cX^5$$

con,

$$X = \frac{(H-h)}{(H-1.3)}$$

Modelo 25

$$d/D = a \left[\frac{(H-h)}{(H-1.3)} \right] + b \frac{h}{H} + ch$$

Modelo 26 (Laasasenaho, 1982)

$$d = D_{0.2h} (b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3 + b_4 X^5 + b_5 X^6 + b_6 X^{13} + b_7 X^{21} + b_8 X^{34})$$

$$D_{0.2h} = a_1 * D^{a_2} * a_3^D$$

Modelo 27 (Kozak)

$$d = D(a + bHr + cHr^2)$$

$$Hr = h / Ht$$

Modelo 28 (Stud)

$$d = (1 + a * \exp(-b * Hr)) * (c * D * (1 - Hr))^{(d + e * (\frac{Hr}{D}) + f * (1 - h))}$$

Modelo 29 (Huiquan)

$$d = (a * D) * \left[\frac{\text{Ln}(\text{seno}(\frac{\pi}{2} * Hr))}{\text{Ln}(\text{seno}(\frac{\pi}{2Ht} * 130))} \right]^{b + c * \text{seno}(\frac{\pi}{2} * Hr) + d * \cos(\frac{3\pi}{2} * Hr) + e * \frac{\text{seno}(\frac{\pi}{2} * Hr)}{Hr} + f * Hr * \sqrt{D} + g * Hr * \sqrt{Ht}}$$

Función de volumen fustal

- 1) $V = b_0 + b_1 * d$
- 2) $V = b_0 + b_1 * d^2$
- 3) $V = b_0 + b_1 * d^3$
- 4) $V = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2$
- 5) $V = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^3$
- 6) $\text{Ln}(V) = b_0 + b_1 * \text{Ln}(d)$
- 7) $V = b_0 + b_1 * d^2h$
- 8) $\text{Ln}(V) = b_0 + b_1 * \text{Ln}(d^2h)$
- 9) $\text{Ln}(V) = b_0 + b_1 * \text{Ln}(d) + b_2 * \text{Ln}(h)$
- 10) $V = b_0 * d + b_1 * e^{b_2}$
- 11) $V = b_0 + b_1 * \text{Ln}(d^2h) + b_2 * d + b_3 * d^3 + b_4 * d^4$
- 12) $d^2/V = b_0 * b_1/h$

8. PRODUCCIÓN DE PLANTAS FORESTALES

C. Delard, M. González, O. Ortiz, M. Molina, C. López.

La producción de plantas de Castaño vía semillas no reviste complejidad, siendo actualmente la única técnica que se utiliza en viveros de nuestro país. Contrariamente, la reproducción asexual de esta especie es más dificultosa, no permitiendo éxito en algunos clones.

Es importante que el material a utilizar para producir plantas sea seleccionado, de modo que se garantice como mínimo la adaptación de las plantas a las características ecológicas de la zona de plantación, presentar buenas aptitudes para madera o madera y fruto (según objetivo de producción) y ser resistente a enfermedades (Álvarez et al., 2000). En este contexto, INFOR ha seleccionado 32 árboles plus, los cuales se han propagado por micropropagación, y cuyas plantas se han establecido en un huerto clonal (punto 8.1.1).

A modo de ejemplo, en Galicia, España se utilizan plantas producidas de ambas formas para las forestaciones con Castaño: por semilla a raíz desnuda el *Castanea sativa*, y también por acodo bajo e *in vitro* para un híbrido utilizado por problemas fitosanitarios.

8.1. Reproducción Asexual: Micropropagación

La propagación vegetativa consiste en la obtención de un nuevo individuo a partir de una parte de la planta progenitora, sea esta una yema, púa, estaca o cualquier otro órgano o tejido (Navarro y Pemán, 1997).

Los diversos métodos de propagación vegetativa de árboles forestales han sido desarrollados con el objetivo de obtener replicas genéticamente idénticas de árboles selectos y establecer plantaciones con este material. Esto es posible, gracias a la propiedad de totipotencia que tienen las células vegetales, esto es la capacidad de regenerar una planta completa cuando están sujetas a los estímulos adecuados.

Las ventajas de la reproducción asexual son:

- Interés por conservar íntegramente el genotipo de la planta progenitora.
- Reproducción de especies que no producen semillas viable o la producen en cantidades muy pequeñas, dificultando la reproducción sexual.
- Cuando la reproducción asexual representa una ventaja económica frente a otros métodos, dada la dificultad para obtener semilla.

Hartmann y Kester (1989) por su parte, indica que esta forma de reproducción tiene la ventaja de reproducir una selección especial en forma masiva.

Existen diversas formas de propagación: por estacas - de tallo principalmente, aunque pueden ser de raíz o de hojas, u otro tipo clasificadas de acuerdo a la parte

de la planta de la que se obtengan- acodo, división o injerto (Hartmann y Kester, 1989; Navarro y Pemán, 1997).

Especial mención se hace al injerto, ya que debido a que Castaño es una especie también considerada como frutícola, esta técnica asegura una fructificación temprana y homogeneidad en la calidad de la producción de frutos. Sin embargo, también se puede utilizar cuando se desea perpetuar clones que no se pueden reproducir convenientemente por los otros métodos asexuales, para aprovechar los beneficios de ciertos patrones, para acelerar el crecimiento de plantas seleccionadas, para reparar partes dañadas de árboles y para el estudio de enfermedades virulentas.

Desde el punto de vista forestal, no se recomienda el injerto, debido a que la madera queda marcada; sólo se recomienda cuando se desea una producción fruto-forestal, es decir, madera y fruto, para lo cual se debe formar el fuste de característica forestal, injertando con la variedad frutal seleccionada por sobre la altura comercial definida.

Entre los métodos disponibles, uno que destaca es la micropropagación, por su capacidad de lograr altas tasas de multiplicación en el corto plazo. El método consiste básicamente en iniciar cultivos *in vitro* a partir de brotes, yemas o segmentos nodales extraídos del árbol que se desea propagar y mediante la aplicación de hormonas lograr multiplicar y enraizar el material micropropagado, generándose de esta manera nuevas plantas que luego de un proceso de aclimatación pueden ser establecidas en terreno.

Una de los principales limitantes que presenta la técnica se relaciona con la dificultad para iniciar y establecer cultivos libres de contaminación, especialmente cuando se trabaja con árboles adultos, como es el caso de la propagación de Castaño. Además, en tejidos adultos las tasas de multiplicación pueden no ser muy altas y también existe la posibilidad de encontrar clones recalcitrantes, llamados así por su incapacidad para generar raíces desde los brotes micropropagados. Estas limitantes pueden ser superadas mediante la aplicación de una buena estrategia de asepsia y desinfección del material desde su colecta hasta el establecimiento de los cultivos y la utilización de medios de cultivo y hormonas apropiados para la especie.

La micropropagación es una herramienta útil en los programas de mejoramiento genético, ya que tiene el potencial de producir plantas de calidad uniforme a escala comercial, a partir de un genotipo selecto, posibilitando de esta forma la rápida transferencia al sector productivo, de las ganancias genéticas que se van obteniendo en las distintas etapas de los ciclos de mejora.

La regeneración *in vitro*, requiere del desarrollo de una serie de etapas sucesivas para la producción de plantas, las que a continuación se describen:

- Identificación y selección de árboles superiores.
- Establecimiento de los cultivos.

- Desarrollo y multiplicación de brotes.
- Enraizamiento de brotes.
- Aclimatación de plantas.
- Crecimiento y endurecimiento.

8.1.1 Identificación y selección de árboles superiores

INFOR ha desarrollado las primeras fases de un programa de mejora genética, contando a la fecha con árboles seleccionados y huertos semilleros clonales establecidos.

La selección de los árboles se realizó en plantaciones de Castaño previamente individualizadas por el equipo técnico de INFOR, en base a la presencia de individuos de interés forestal. Los rodales se encuentran ubicados entre la región del Bío Bío y la de Los Lagos.

Cabe señalar que el origen principal de los árboles seleccionados en la Región del Bío Bío corresponde en la mayoría de los casos a árboles frutales que han tenido muy poco manejo pero que presentan características forestales de interés, también se seleccionaron rodales, para las regiones de la Araucanía y de Los Lagos, que fueron plantados para producir madera que se han manejado irregularmente, pero que sin embargo, presentan características dendrométricas y fenotípicas de interés forestal, es decir, árboles producidos de semillas (sin injertar) que fueron plantados a alta densidad, siendo la mayoría de ellos escasamente manejados. En el Cuadro N° 40 se presentan algunos antecedentes de los árboles superiores seleccionados.

Cuadro N° 40. Antecedentes de los árboles superiores seleccionados de Castaño

N° de árboles seleccionados	Predio	Año Plantación	Comuna	Provincia	Región
1	Lanalhue	1978	Cañete	Arauco	VIII
2	Santa Luisa (Jauja)	1982	Collipulli	Malleco	IX
2	Quilas Bajas		Quepe	Cautín	IX
2	Voipir	1973	Villarrica	Cautín	IX
3	Pillo Pillo	1979	Valdivia	Valdivia	X
1	Los Copihues		Valdivia	Valdivia	X
5	Las Palmas	1962	Valdivia	Valdivia	X
2	Los Pinos	1975	Valdivia	Valdivia	X
1	Tornagaleones		Corral	Valdivia	X

Continuación Cuadro N° 40

N° de árboles seleccionados	Predio	Año Plantación	Comuna	Provincia	Región
3	Las Minas	1982	Corral	Valdivia	X
2	Taico	1989	Paillaco	Valdivia	X
2	Las Trancas	1975	La Unión	Valdivia	X
3	Peleco	1976	La Unión	Valdivia	X
1	San Pedro	1980	Los Lagos	Valdivia	X
1	Pumillahue	1983	Máfil	Valdivia	X

Los árboles fueron seleccionados mediante el sistema de árboles de comparación, en base a sus características fenotípicas de volumen y rectitud. Corresponden a un total de 31 árboles adultos, cuya edad fluctúa entre 40 y 60 años, aproximadamente.

A continuación se presentan y entregan los resultados de las actividades involucradas en la micropropagación de árboles superiores de Castaño realizada por INFOR (González *et al.*, 2006).

8.1.2 Establecimiento de cultivos

En esta primera etapa de la micropropagación, se inician los cultivos *in vitro*, para ello se deben establecer cultivos viables y libres de contaminación. El éxito está determinado por la edad de la planta donante, el estado de desarrollo y el tamaño del explante. En esta etapa los principales procesos a controlar son la selección, el aislamiento y la esterilización de los explantes.

En el caso de Castaño, la literatura indica que una de las formas de iniciar cultivos de árboles adultos, es coleccionar púas de la copa durante la época de reposo (mayo - septiembre), almacenarlas en frío por un período de tiempo y luego forzarlas a brotar en condiciones de laboratorio (Vieitez *et al.*, 1986; Sánchez y Vieitez, 1991; Sánchez *et al.*, 1997a; Sánchez *et al.*, 1997b).

Siguiendo esta metodología, se realizó una colecta del material vegetal (púas) en julio de 2004, a través del escalamiento de los árboles seleccionados (Figuras N° 56 y N° 57).



Figura N° 56. Rodal de Castaño. Predio Las Trancas, X región de Los Lagos



Figura N° 57. Rodal de Castaño. Predio Quilas Bajas, IX región de la Araucanía

Las púas colectadas, fueron desinfectadas en terreno con una solución de fungicidas (Benlate y Captan al 1% p/v) y luego transportadas al laboratorio en cajas térmicas. Al momento de su recepción, se realizó un segundo tratamiento de asepsia, que incluyó lavado y desinfección con hipoclorito de sodio y fungicidas. Posteriormente el material fue almacenado en una cámara de frío, en un rango de temperatura de 2 - 5 °C (Figura N° 58).



Figura N° 58. Lavado, desinfección y almacenamiento en frío del material vegetal colectado

La inducción de la brotación, se llevó a cabo en una sala aislada, previamente desinfectada. La sala contó con control de temperatura y fotoperíodo, la temperatura se mantuvo en un rango de 23 - 25 °C y un fotoperíodo de 16 horas (Figura N° 59). Adicionalmente, durante el último período, la presencia de humidificadores en la sala contribuyó a mejorar la brotación de las púas.



Figura N° 59. Inducción de brotación en clones Castaño

Durante el período de brotación las púas fueron mantenidas en frascos con perlita estéril, los que se renovaron semanalmente. El inicio de la brotación ocurre una semana después de colocar los brotes en la sala.

Se determinó que las púas pueden almacenarse en cámara de frío hasta cuatro meses en buenas condiciones, después de este período se desarrollan hongos que descomponen el material almacenado.

Los brotes obtenidos según el procedimiento anterior, fueron cortados y llevados a cámara de flujo laminar para su esterilización, la que fue realizada con hipoclorito de sodio (NaOCl) en dos concentraciones (5 y 10% v/v) durante 5 minutos. Luego se enjuagaron por tres veces en agua estéril y se cultivaron.

Los explantes esterilizados, fueron colocados en frascos de 200 ml, conteniendo 60 ml de medio de cultivo. Los cultivos se mantuvieron en una cámara a $22 \pm 2^\circ\text{C}$, con un fotoperíodo de 16 horas utilizando lámparas fluorescentes.

El cultivo utilizado en la fase de inducción fue el medio Gresshoff y Doy (1972), con los macronutrientes reducidos a la mitad, sin hormonas, suplementado con sacarosa (3% p/v) y agar (0,7% p/v, Difco-Bacto Agar). El pH fue ajustado a 5,7 con HCl 0,1 N, antes del autoclavado por 20 minutos a 0,1 Mpa.

El tipo de explante más adecuado, para el inicio de los cultivos, correspondió a brotes de 2 - 3 cm de longitud con dos pares de hojas desarrolladas y un ápice. Explantes más pequeños presentan tejidos más suculentos y no sobreviven al tratamiento de desinfección. Previo al cultivo, es muy importante remover las perlas de los brotes ya que producen oxidación en el medio nutritivo.

Inicialmente los cultivos se mantuvieron por 3 - 4 semanas en el medio de inducción, posteriormente se observó que era mejor dejarlos sólo por una semana en este medio, dado el bajo nivel de contaminación de los explantes y la respuesta positiva a la hormona presente en el medio de multiplicación.

La contaminación de los explantes en general fue baja, de alrededor de 30% en promedio. El principal problema en esta fase fue la oxidación de los cultivos, la cual fue muy intensa en algunos clones, provocando pérdida de brotes por necrosis; en algunos clones ésta fue de hasta el 60% de los explantes establecidos. Como una forma de mitigar el problema, los explantes fueron repicados a medio fresco, tan pronto como se observaba la presencia de oxidación en el cultivo.

Adicionalmente, durante esta fase y por un período de 4 a 6 semanas los cultivos fueron mantenidos en una condición de semisombra. También se observó un efecto positivo, a la adición de PVP (Polivinylpirrolidone) al medio de cultivo, en una dosis de 60 mg/l.

Mediante la aplicación de estos procedimientos, se logró establecer en cultivo *in vitro* 28 clones de los 31 árboles superiores seleccionados.

8.1.3 Desarrollo y multiplicación de brotes

Una vez observada la estabilización de los cultivos, caracterizada por brotación abundante y crecimiento normal del callo, los explantes fueron traspasados en grupos de a cuatro a frascos de 500 ml (Figura N° 60).

Para esta etapa, se probaron tres medios de cultivos GD (Gresshoff y Doy, 1972), BTM (Chalupa, 1983) y DKW (Driver y Kuniyuki, 1984) con diferentes concentraciones de citoquinina (BAP, 6-benzylaminopurine) y agentes gelificantes como Agar y Phytigel. La combinación de mejor resultado en cuanto a producción de brotes y calidad de los mismos, fue el medio BTM adicionado con 0,125 mg/l de BAP, 2% (p/v) de sacarosa y 0,7% de agar (DIFCO).

Los explantes fueron periódicamente seccionados para su multiplicación y traspasados a medio fresco, cada 21 días. Los cultivos fueron mantenidos en las mismas condiciones ambientales de la etapa anterior.

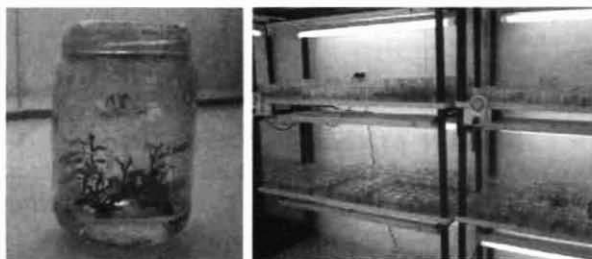


Figura N° 60. Etapa de multiplicación de clones de Castaño

Se observó, en algunos casos necrosis apical y cierta vitrificación de los brotes, lo cual fue corregido mediante el uso de una doble capa de film de polietileno para tapar los frascos. Este material permite un mayor intercambio de gases entre el frasco y el ambiente, lo que a su vez ayuda a mejorar la calidad del cultivo.

En general, la tasa de multiplicación fue lenta al principio, pero esta aumentó a medida que se realizaron los sub-cultivos. Al cabo de seis meses, la tasa de multiplicación registrada fue variable dependiendo del clon, se observaron clones con muy buen comportamiento en cuanto a producción de brotes y otros donde la tasa de multiplicación no fue mayor a 1:2.

8.1.4 Enraizamiento de brotes

Los ensayos de enraizamiento, fueron realizados en los 5 clones que presentaron las tasas de multiplicación más altas (Predios de Jauja, Las Trancas y Peleco). En esta etapa, numerosos estudios han reportado que la aplicación de la auxina IBA (Ácido Indol-Butírico) para inducción de rizogénesis, provoca necrosis apical en los explantes, que en los casos más severos produce la muerte del explante (Sánchez y Vieitez, 1991; Sánchez *et al.*, 1997a; Sánchez *et al.*, 1997b).

Se ensayaron siete procedimientos, el de mejor resultado fue el uso de medios de enraizamiento sucesivos, en donde se utiliza uno para la primera fase llamada de inducción de raíces y otro para una segunda fase de expresión, que es donde se forman y emergen las raíces del brote. Con este procedimiento, se obtienen porcentajes de enraizamiento entre 70 y 100%, además de un mejor resultado en cuanto al manejo de la necrosis apical y posterior sobrevivencia del explante (Figura N° 61).

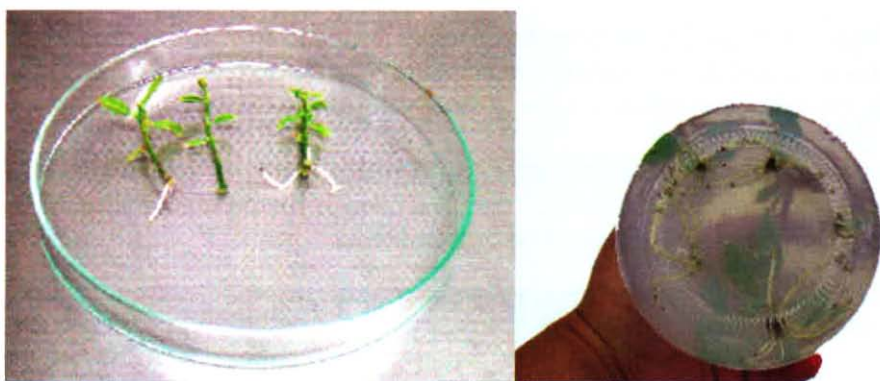


Figura N° 61. Enraizamiento de Castaño

8.1.5 Aclimatación de plantas

Las plantas producidas *in vitro*, debido a la alta humedad presente en los frascos de cultivo, desarrollan estomas que no son funcionales en condiciones ambientales normales, por lo tanto deben someterse a un proceso que se llama "aclimatación", en el cual se acondiciona la planta para permitir su sobrevivencia en un ambiente normal.

Para la aclimatación de las plantas, una vez ocurrido el enraizamiento y cuando las raíces alcanzan 4 cm de longitud, los explantes son repicados a cajas de aclimatación (Figura N° 62). Estas cajas contienen un sustrato compuesto por turba y perlita en relación 1:3, adicionado con el medio nutritivo BTM en forma líquida, sin sacarosa y con los macronutrientes reducidos a la mitad.

Luego del trasplante, las cajas se cubren con dos capas de film de polietileno. Cuando se observa crecimiento activo del extremo apical, las capas son retiradas gradualmente, a fin de aclimatar los estomas a condiciones ambientales normales y que la planta se vuelva autotrófica.



Figura N° 62. Plantas de Castaño enraizadas en proceso de aclimatación

Este procedimiento, permitió lograr un 70 a 100 % de sobrevivencia de las plantas micropropagadas, en la etapa de aclimatación.

8.1.6 Crecimiento y endurecimiento

Una vez aclimatadas las plantas, fueron transplantadas a macetas de 2 l de capacidad, el sustrato correspondió a una mezcla de turba y perlita en relación 1:3, adicionado con el fertilizante Osmocote 14-14-14 en una dosis de 5 kg/m³. El fertilizante es de lenta entrega, y tiene una duración de aproximadamente 4 meses aproximadamente, se le utiliza para promover el crecimiento vigoroso de la planta (Figura N° 63).



Figura N° 63. Plantas micropropagadas transplantadas a maceta en proceso de crecimiento

Una vez, que la altura de la planta fue de aproximadamente 20 cm, se comenzó el proceso de endurecimiento con la aplicación de un fertilizante foliar que posee una alta proporción de potasio, en este caso se utilizó el producto Ultrasol (4-25-35), para promover la lignificación de los tejidos (Figura N° 64).



Figura N° 64. Plantas en etapa de acondicionamiento y endurecimiento en vivero

Adicionalmente, se implementó un programa de cuidado fitosanitario preventivo, principalmente para el hongo *Phytophthora* spp., el cual consistió en la aplicación semanal y en forma alternada de los productos Previcur 0,15% (v/v) y Aliette 3g/l.

A la fecha, se ha logrado producir plantas de 5 clones para ser establecidos en ensayos con propietarios privados. Estos promisorios resultados, constituyen una

herramienta interesante de ser utilizada con fines productivos, pues se concluye que la multiplicación *in vitro* de individuos adultos de árboles seleccionados o superiores por sus características forestales es posible, y permitiría a largo plazo generar material de alto valor de aquellos individuos superiores seleccionados. Es importante señalar, que se hace necesario aumentar el número de árboles superiores seleccionados de modo de aumentar el número de "clones" a obtener vía micropopagación, así como continuar con la investigación técnica en esta especie (González *et al.*, 2006).

8.1.7 Experiencias de investigación en Chile

En España, se encuentran disponibles desde hace algunos años, clones híbridos seleccionados para madera por su vigor y resistencia a la tinta (*Phytophthora* sp.). La obtención de plantas resistentes a la enfermedad de la tinta se ha logrado en los Castaños híbridos (Cuadro N° 41), no obstante, aún no se han logrado plantas resistentes a la enfermedad del cancro (*Endothia parasitica*), lo cual es objeto de investigación (Alvarez *et al.*, 2000).

Cuadro N°41. Clones híbridos resistentes a la tinta y sus aptitudes, disponibles en España, en viveros privados según el Centro de Investigaciones Forestales (C.I.F.) de Lourizán

Denominación actual	Nombre antiguo	Aptitud según C.I.F. de Lourizán	Aptitud según algunos viveros forestales
CHR 151	HS	Portainjerto	-
CHR 136	2671	Productor directo de castaña temprana y portainjerto en ensayo	-
CHR 33	111	Clon para madera vigoroso	Buena ramificación. Rama fina y horizontal
CHR 162	7521	Clon para madera y portainjerto. Vigor medio	Buen vigor tras 2-3 años. Peor ramificación

Fuente: Álvarez *et al.*, 2000.

La propagación por cultivo *in vitro*, o micropopagación, en Europa tiene algunas variaciones, respecto a lo realizado en Chile, llevándose a cabo el enraizamiento *in vitro*, paralelamente a la aclimatación de las plantas, en túneles de aclimatación con sistemas de nebulización tipo 'fog-air', seguido de uno o dos años de cultivo en vivero (para aumentar el tamaño de la planta). De acuerdo a lo indicado por los autores españoles, esta técnica de multiplicación clonal es la más prometedora en Castaño. De hecho, en Francia se propagan comercialmente varios clones híbridos que se han seleccionado por su aptitud para la producción de fruto y que se presentan en injerto sobre patrón o en sus propias raíces (Alvarez *et al.*, 2000).

Las ventajas e inconvenientes que este sistema presenta en comparación con la producción convencional por acodo se citan en el Cuadro N° 42).

Cuadro N° 42. Ventajas e inconvenientes del cultivo *in vitro*

Ventajas	Inconvenientes
- Plantas de buena calidad, con un buen sistema radical y equilibrio entre la parte aérea y la radical. - Precio similar a la de la planta de acodo. - Difusión rápida de material procedente de la investigación. - Comercialización de un gran número de plantas correspondientes a un número reducido de clones.	- Mayor inversión inicial - Necesidad de personal especializado - Necesidad de una alta demanda de planta que justifique la inversión

Fuente: Álvarez *et al.*, 2000.

En la planta micropropagada es frecuente una mayor producción de ramas laterales, lo que hace recomendable su poda antes de salir del vivero. Desde el punto de vista económico, el Castaño híbrido resistente resulta mucho más caro que la planta de Castaño del país, reduciéndose los costos mediante el establecimiento de plantaciones madereras mixtas cuando se planta a altas densidades, siempre que las condiciones lo permitan (*Op. cit.*).

Respecto de la macropropagación, INFOR, al igual que Ríos *et al.* (2001), cit. por Avilés (2003), ha constatado la dificultad del enraizamiento de estacas de Castaño, al probar sin resultados satisfactorios a la fecha diferentes tipos de púas y métodos para lograr el enraizamiento.

8.2. Reproducción Sexual

Existen diferentes formas de propagar Castaño por medio de semillas, entre los que destacan a raíz desnuda, maceta y otro tipo de contenedores. En general este tipo de reproducción es simple, no requiriendo una gran infraestructura ni insumos.

8.2.1 Origen de las semillas

Las semillas para producir plantas de Castaño deben ser de calidad, es decir con alto nivel de pureza y capacidad germinativa, buena calidad genética y características adecuadas a la zona donde se va a utilizar, es decir semilla local o aquella obtenida de condiciones ecológicas similares a la zona donde se realizará la plantación (Ballester-Olmos, 1996).

Al desear una plantación con fines madereros, las semillas se pueden coleccionar de árboles o rodales con buenas características madereras; esto es fustes rectos, baja ramosidad, buen aspecto sanitario (Álvarez *et al.*, 2000).

En términos generales, un buen árbol forestal es el que cumple con las siguientes características:

- Crecimiento en altura que sobresalga dentro del rodal
- Desarrollo diamétrico sobresaliente dentro del rodal
- Buena dominancia apical
- Baja conicidad
- Buena poda natural e inserción de ramas en forma horizontal
- Excelente aspecto sanitario

Las semillas deben colectarse maduras, entre marzo y mayo, dependiendo de las condiciones climáticas.

Alternativamente las semillas se pueden comprar, para lo cual es recomendable que sean semillas certificadas, con etiqueta que indique la especie, la variedad (si corresponde), la pureza y germinación, fecha de recolección, región de procedencia y categoría genética (en Chile aún no se cuenta con variedades de Castaño mejoradas genéticamente con fines forestales).

En el caso de importar semillas, así como plantas o partes de plantas u otros productos destinados a la propagación, multiplicación, reproducción y liberación en el ambiente, se deben considerar los requisitos exigidos por el Servicio Agrícola y Ganadero como Organización Nacional de Protección Fitosanitaria, a través de las resoluciones publicadas en el Diario Oficial, armonizadas con los estándares internacionales.

Estos productos deben ingresar, ya sea en forma definitiva o en tránsito, por los puertos autorizados para estos efectos, donde personal del SAG efectúa la inspección fitosanitaria documental o física que corresponda según la categoría de riesgo definida (SAG, 2007).

8.2.2. Conservación de semillas

Durante la colecta de semillas y posterior almacenamiento, se debe mantener la precaución de que no se deshidraten los frutos, debido a que se pierde la viabilidad de las semillas (Goldsbrough, 1990). Éstas requieren de conservación para permanecer en buenas condiciones de germinación por largo tiempo (30-40 meses). Para ello, en primer lugar se recomienda tratar las castañas con un fungicida de amplio espectro, para evitar su podredumbre (Vieitez *et al.*, 1996).

También para su conservación pueden ser almacenadas envasadas en sacos de yute o polietileno, con aserrín y/o arena húmeda, por un período de 4 a 7 meses en un recinto frío (puede ser refrigerador), seco, oscuro y libres de roedores, a modo de estratificación. También se recomienda la esterilización del material a usar en la estratificación, ya sea arena, aserrín, turba u otro. La temperatura de las semillas estratificadas deberá oscilar entre -2 y 0 ° C, evitando llegar a 2 ° C, temperatura a la cual comienzan a germinar (Vieitez *et al.*, 1996).

En Chile se ha probado diversas técnicas de conservación o estratificación de las semillas hasta la siembra. En general, los pasos a seguir son:

- Selección de frutos: éstos deben estar sanos (no debe haber deshidratación o presencia de hongos). También se puede emplear el método de flotación para eliminar las semillas vanas.
- Estratificación en arena húmeda hasta el desarrollo de la radícula. Esta consiste en colocar en una cubeta plástica o de madera (en este caso se debe recubrir con polietileno) una capa de arena y luego una capa de semilla, alternando hasta llenar la cubeta y dejarla completamente cubierta con arena. Las cubetas o cajones se humedecen con agua limpia evitando saturación o exceso de agua, y se debe revisar periódicamente la humedad agregando agua en la medida que se requiera (Monteáguila, 2005⁸). Alternativamente se puede utilizar en las cubetas hojas de castaña en vez de arena, manteniendo las semillas a la intemperie protegidas de roedores.

La estratificación dura entre 30 y 90 días, esto significa que a los 30 días se debe comenzar a revisar cuidadosamente las cubetas y se van retirando los frutos que han germinado (que presenten radícula). Lo ideal es revisar toda la cubeta retirando todos los frutos y volviendo a poner los que aún no presenten germinación, y también se deben retirar aquellos frutos que presenten problemas fitosanitarios (pudrición).

El número de semillas por kilo varía entre 150 y 330, con una viabilidad del 65% y una capacidad germinativa entre 67 y 93% (Gordon y Rowe, 1982). En España, el porcentaje de pérdida es del orden del 10%, donde para obtener buenos resultados, recomiendan nunca utilizar frutos de la temporada anterior (Berrocal *et al.*, 1998).

Debido a que las castañas no tienen periodo de letargo germinan fácilmente una vez que fueron liberadas por los erizos en donde se formaron. No tienen inhibidores de la germinación que puedan inhibir o retrasar el proceso de desarrollo de sus embriones (Edlin, 1985; Vieitez *et al.*, 1996).

8.2.3. Siembra en vivero

Los viveros de Castaño suelen hacerse a principios de primavera para evitar daños por heladas y roedores. Se utiliza el material que estuvo conservado en frío o aquel estratificado para hacer los semilleros, donde en este último caso puede suceder que parte de las castañas estén germinadas con la radícula principal de varios centímetros. Esto no presenta mayor inconveniente para sembrar las castañas, pero se debe evitar que se rompa la raíz principal, lo que tampoco es irreparable, porque ésta sería reemplazada con la formación de numerosas raíces laterales que

8. Vivero Forestal Monteáguila, 2005. Comunicación Personal.

suplen la función de raíz principal (Vieitez *et al.*, 1996). Para evitar que se rompa la raíz principal, si es muy larga, se puede cortar para facilitar el proceso de siembra posterior.

¿Qué sistema de producción emplear?

Como se mencionó anteriormente, Castaño se puede producir bajo distintas modalidades: a raíz desnuda o a raíz cubierta (maceta, contenedor). A raíz desnuda puede ser en surcos, platabandas o una novedosa modalidad llamada en cajón, utilizada en Europa y principalmente en Italia, que consiste en colocar las semillas en un cajón en que en el fondo se coloca un material inerte y luego tierra común o mezcla de tierra de hoja, tierra de vivero y arena, de modo que las raíces, al contacto con el material inerte, inhiban su desarrollo y emitan raicillas laterales y por ende un mejor sistema radicular.

La producción a raíz desnuda es la mayormente utilizada en nuestro país, con buenos resultados de calidad de planta, sin embargo, se le asocian problemas de espiralamiento de raíces. Por otro lado, se ha observado un buen desarrollo de raicillas y buena relación altura diámetro de cuello, con bajo costo de producción. Sin embargo, el vivero que produzca este tipo de plantas debe contar con un suelo adecuado y se debe considerar la posibilidad de presencia de patógenos en el suelo. La producción a raíz desnuda permite una gran volumen de producción pero en un pequeño número de especies, dependientes del clima (Quiróz, *et al.*, 2001).

La producción en contenedor permite controlar el ambiente de cultivo, principalmente el tipo de sustrato y espacio disponible para la planta. Además, permite una excelente protección contra la desecación y evita el indeseado espiralamiento de raíces. Sin embargo, usualmente es de mayor costo que la producción a raíz desnuda, sobretodo si se realiza en invernadero, por la infraestructura requerida y por la necesidad de un mejor diseño de la producción (Ballester-Olmos, 1996; Quiróz *et al.*, 2001). Además necesita tantos envases como número de plántulas y un continuo suministro de sustrato. Las labores son difíciles de mecanizar pero es un método posible de utilizar en muchas especies no dependientes del clima (Quiróz *et al.*, 2001).

Para la producción en contenedor, se debe considerar utilizar uno de al menos 250 cc para que la semilla pueda quedar completamente dentro del envase en el momento de la siembra y tener posteriormente la planta un espacio suficiente para desarrollarse. Al respecto, Alvarez *et al.* (2000) mencionan que para el correcto desarrollo de la planta el contenedor debe ser al menos de 300 cc.

El tipo y la tecnología de producción dependerán de cada viverista; de la capacidad de inversión y de gestión. En todo caso, cualquiera sea el método de producción, se debe contemplar que para una exitosa plantación, ésta se debe realizar con plantas de buena calidad, que permitan su buen establecimiento y desarrollo.

¿Dónde instalar el vivero?

La ubicación del vivero debe ser lo más cercana posible a las áreas a forestar y a fuentes de mano de obra. Debe tener buen acceso y debe existir agua en cantidad suficiente y estable (Arnold, 1996; Fundación Chile 2001; Quiróz *et al.*, 2001).

Se debe contar terreno plano (máximo 5% pendiente) y con suelo adecuado para el cultivo; esto es suelos fértiles, profundos, aireados, con buen drenaje; sin piedras ni materiales gruesos (Berrocal *et al.*, 1998). Además debe estar protegido del viento (Fundación Chile, 2001).

Se debe tener cuidado de escoger sitios que con anterioridad hayan sido cultivados, ya que es probable que pueda verse cubierto de malezas de difícil erradicación o que en el suelo permanezcan residuos de herbicidas que puedan ser peligrosos para las plantas (*Op. cit.*).

En el caso de producción en contenedor la elección del sitio del vivero es de menor relevancia, debido a que el sustrato utilizado en contenedores es diferente al del sitio del vivero, usualmente corteza de pino.

Además de lo anterior se debe cercar para impedir el paso de animales, incluyendo roedores y lagomorfos y también se puede considerar una bodega, con un área abierta para la selección y embalaje de plantas en invierno.

¿Cómo instalar el vivero?

• Producción a raíz desnuda

En el caso de la producción a raíz desnuda, si el suelo está cubierto de pradera, se debe utilizar Roundup en dosis de 6 l/ha en 400-450 l de agua. Para actuar, este producto requiere de mínimo 6 horas sin lluvia y luego no se puede trabajar el suelo por 2 semanas para permitir el traslocamiento de él a todas las partes de las malezas (Fundación Chile, 2001). En todo caso, el efecto residual no debe ser superior a 3-4 meses. A fin de ayudar a la descomposición de la capa vegetal superior, deberá cultivarse el suelo utilizando un rotovalor o arado de discos a poca profundidad. En caso de no disponer de estos elementos, se puede utilizar un arado de tiro animal (*Op. cit.*).

Benedetti y Subiri (2000) y Arnold (1996), mencionan además que, en los casos que se requiera, se debe incorporar insecticida granulado que ayude al control de gusanos u otro insecto fitófago.

Posteriormente, en septiembre - octubre se debe efectuar un nuevo rastraje y pasar un rotovalor si se requiere, de manera de dejar el suelo mullido (*Op. cit.*).

Al momento de la confección de platabandas o surcos, es de vital importancia incorporar fungicidas que prevengan la presencia de *Phytophthora* sp., siendo

conveniente también la incorporación de fertilizantes como Superfosfato Triple, entre otros, manteniendo una relación de 5-10-5 de N.P.K (Benedetti y Subiri, 2000.). Alternativamente se puede aplicar abono orgánico en cantidades de 25 ton/ha cada dos años, para incorporarlo previamente antes de la siembra. También son recomendables los fertilizantes químicos a base de Nitrato Potásico (13-0-45) a razón de 150 kg/ha. Se debe tener en cuenta que estas dosis hay que verificarlas, según las características del suelo en particular (Berrocal *et al.*, 1998).

Las platabandas pueden ser confeccionadas a nivel o a 15 cm sobre nivel, dependiendo del tipo de suelo, con un ancho de 120 ó hasta 130 cm y con 6 hileras sobre la platabanda, distanciadas a 20 cm entre ellas. Las platabandas deberán hacerse en forma perpendicular a la pendiente. Este sistema requiere de riego por aspersión y control manual de maleza post siembra (Benedetti y Subiri, 2000; Fundación Chile, 2001).

Al hacer la platabanda INFOR sugiere la aplicación de fertilizantes; para ello se recomienda la realización de un análisis de suelo y en función de los resultados aplicar los fertilizantes más adecuados; usualmente se utilizan del tipo NPK (ejemplo, en dosis 10:27:17) y también fertilizantes en base a Azufre y Boro.

• Producción en contenedor

En el caso de la producción en contenedores, éstos se deben ubicar en un lugar que permita facilitar su manipulación y acondicionamiento a través de las labores culturales, como riego, fertilización y eventualmente control de maleza. Para ello, se pueden ubicar en el interior de un invernadero o a la intemperie, con un sistema de cobertura variable, sobre mesones. Estos últimos son contruidos con una malla metálica rígida que actúa como plataforma donde van colocadas las bandejas. El alto de los mesones es de aproximadamente 1 m y su largo es variable (Quiróz *et al.*, 2001).

Respecto del sustrato, los más conocidos son corteza de pino compostada y turba, los que pueden ser mezclados con otros materiales como perlita, arena y piedra volcánica, para mejorar el intercambio gaseoso. La corteza de pino comportada es el sustrato comercial más utilizado en Chile debido a su disponibilidad y a sus buenos resultados en el desarrollo de plantas (*Op. cit.*).

Previo al llenado de los contenedores, éstos deben ser lavados con agua, idealmente con algún sistema de presión que facilite la remoción de sustrato anterior (si es que lo hubiere) adherido a las paredes. Además se recomienda bañarlos con una mezcla de latex con oxiclورو de cobre (100 l latex y 60 k de oxiclورو de cobre en 700 l agua), lo que permite fijar el sustrato e el contenedor y actúa como podador químico de raíces (*Op. cit.*).

Siembra

La siembra en vivero se realiza en primavera, antes o después dependiendo de la zona y del tipo de suelo y consiste en colocar la semilla en forma horizontal, a una profundidad de 8 a 10 cm. En el caso de siembra a raíz desnuda se siembra con un distanciamiento sobre la hilera de 10 cm, con lo que se alcanza una densidad de 60 plantas por metro lineal (50-100 plantas/m²) y en contenedor se coloca una semilla por cavidad (Benedetti y Subiri, 2000). Es necesario destacar que la época de siembra en contenedor tiene mayor flexibilidad, debido a que en este sistema se pueden controlar en mayor medida las condiciones ambientales donde se producen.

En Chile la mayoría de los viveros realizan la estratificación de las semillas y posterior siembra en vivero durante la primavera; sin embargo, también se ha observado que algunos viveristas luego de cosechar la semilla la siembran inmediatamente en otoño; para esto se debiera verificar las condiciones particulares del vivero, ya que las semillas podrían dañarse en el período invernal.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta al momento de la siembra, es que los frutos son muy apetecidos por muchos roedores y aves, por lo que se debe hacer un tratamiento integral y perimetral. Un método de control puede ser la aplicación de cebos parafinados o trocitos de alguna fruta o verdura impregnados a base de rodenticidas crónicos anticoagulantes (Berrocal et al., 1998). Sin embargo, esto presenta ciertos riesgos.

8.2.4 Cuidados culturales

Riegos

El riego puede ser por aspersión o por surco. Estos deben ser frecuentes para mantener un adecuado grado de humedad en el suelo, especialmente los dos primeros meses (Benedetti y Subiri, 2000). Se recomienda realizarlos temprano en la mañana o al atardecer, cuando la temperatura baja, para optimizar el aprovechamiento del agua (Op. cit.; Quiróz et al., 2001)

En la producción de plantas en contenedor, se recomienda un riego dos veces al día cuando están en proceso de germinación, una vez por la mañana y otra en la tarde. Luego de un mes de la germinación, la frecuencia de riego puede disminuir a uno o máximo 2 por día pero con mayor intensidad. Algunos viveros riegan periódicamente y otros más tecnificados cuentan con sistemas de control ambiental que permiten determinar el momento y cantidad de riego; cualquiera sea el caso, lo importante es no solo humedecer el follaje sino la mayor parte de la raíz de la planta, lo que se verifica al extraer y evaluar la humedad del sustrato del contenedor (Quiróz et al., 2001). El riego en este tipo es usualmente por aspersión o nebulización con microjet.

Fertilización

Benedetti y Subiri (2000), recomiendan que a partir de los dos meses de emergidas las plantas y posterior al primer desmalezado aplicar abonos foliares cada 15 ó 30 días, con una incorporación en enero de Salitre potásico u otro fertilizante que formule un especialista, de acuerdo a los requerimientos del suelo y en particular de Castaño, apoyándose en análisis foliares y de suelo.

Específicamente en la producción de plantas en contenedores, a pesar que no existe un protocolo específico para la fertilización de Castaño, la fertilización puede realizarse siguiendo un estándar. A continuación se presentan 3 alternativas (Alzugaray, 2005⁹);

- **NPK fertilizante granulado:** Aplicar 4 gránulos por cavidad de contenedor. En un inicio aplicar NPK 10-20-10, (mayor dosis de fósforo para favorecer el desarrollo radicular); luego disminuir fósforo (puede aplicarse NPK 10-10-10) y al final del período aumentar dosis de potasio (NPK 10-10-20)
- **Fertirrigación (NPK soluble):** Puede ser fertilizante Peters (o similar), en un comienzo el Starter en dosis de 100 partes por millón de N, y luego aumentar a 200 ppm de N, de acuerdo al crecimiento en altura de las plantas.
- **Osmocote (o Basacote de BASF):** Se aplica 5 g/l de sustrato, es decir aproximadamente 1 g por celda del contenedor.
- Para cualquiera de estas alternativas lo ideal es que se escoja un fertilizante con efecto residual de 5-6 meses.

Control de malezas

Ante la aparición de pastos y malezas que no hayan sido controlados con el herbicida pre-siembra, se recomienda un desmalezado manual en el caso de las platabandas y con caballo en los surcos. Dos labores en la temporada deberían ser suficientes (Benedetti y Subiri, 2000).

Lavanderos y Douglas (1985) cit. por Quiróz *et al.*, 2001, mencionan que aún efectuando una buena labor de suelos, es conveniente complementarla con un control químico de malezas; usualmente se utiliza Simazina post emergencia. Para el caso de Castaño no existen muchos antecedentes, pues el control se realiza principalmente de forma manual.

9. Alzugaray, P. 2005. Instituto Forestal. Comunicación Personal.

Micorrización

Es interesante estudiar la inoculación de hongos micorrícicos en viveros de Castaños, que corresponde a aquellos que se encuentran asociados en forma de simbionte, debido a que favorecen el desarrollo de las plantas, por medio de:

- Una mejor asimilación de los nutrientes en las plantas (aumento de la producción, aumento de la calidad, entre otras cosas).
- Una mejor tolerancia de las plantas frente a muchos factores de stress, por ej.: sequía, valores desfavorables de pH, alto contenido de sales, exceso de viento, etc.
- Mayor resistencia de las plantas frente a organismos patógenos (mejora de la salud de las plantas sin aplicación de bióxidos, entre otras cosas) (Biotriton, 2007).

Martins y Pais (2005) demostraron para Castaño el efecto positivo de micorrizas en plantas micropropagadas en relación a altura, diámetro al nivel del cuello y en el peso verde y peso seco respecto a plantas no micorrizadas.

Manejo de plagas y enfermedades

En general, los viveros de Castaño presentan pocas plagas y enfermedades. Existen problemas puntuales como hongos del género *Phytophthora* sp, que corresponde a una de las enfermedades más importantes del Castaño, y que va en estrecha relación con el tipo de suelo (arcillosos - pesados) y su drenaje, por lo que es importante elegir correctamente el suelo donde instalar el vivero. Preventivamente se pueden aplicar fungicidas específicos durante la preparación del suelo, como se indicó anteriormente y también posterior a la emergencia (Benedetti y Subiri, 2000).

Durante el desarrollo del tallo y hojas, las plantas pueden ser afectadas por pulgones y por insectos defoliadores, ante lo cual es necesario aplicar un insecticida adecuado a cada situación particular (*Op. cit.*). Se sugieren dos aplicaciones; la primera preemergencia, de manera de controlar los estados larvales de insectos que dañan las raíces; y la segunda en postemergencia (principios de diciembre aproximadamente), debido a que en esa época se encuentra la mayor parte de los estados larvales de los defoliadores. Luego de cada aplicación se debe regar para incorporar de buena forma el producto aplicado al sustrato (Quiróz et al., 2001).

Manejo radicular

La poda radicular y descalce en plantas de viveros a raíz desnuda es una técnica exitosa utilizada con el fin de obtener modificaciones morfológicas y fisiológicas de modo de incrementar la supervivencia y crecimiento de las plantas en el sitio de establecimiento (Quiróz et al., 2001).

Se recomienda realizar una poda de raíces laterales y una poda basal a fines de febrero-marzo, de modo de evitar un crecimiento mayor de la raíz principal, obteniendo con ello una masa de raíces secundarias importante, lo que ayuda al buen prendimiento en terreno. La poda basal debe ser efectuada a una profundidad de 25-30 cm y la lateral a los 20 cm, a ambos lados de la hilera (Benedetti y Subiri, 2000).

La poda radicular puede venir acompañada de un descalce, que levanta la planta y suelo de la platabanda, rompiendo su estructura y permitiendo con ello una mayor aireación y soltura del suelo (Donoso *et al.*, cit por Quiróz *et al.*, 2001). Esto facilita la operación de extracción para llevarla al sitio de plantación.

8.2.5 Selección de las plantas, extracción y embalaje

La experiencia que se ha tenido en viveros de Castaño, indica que la calidad de plantas obtenidas al final del período es heterogénea, lo que se atribuye a la alta variabilidad genética, obteniéndose plantas con alturas que fluctúan entre 20 y 120 cm y diámetros de cuello entre 0,6 y 2,0 cm. Por otra parte, se logran plantas con un marcado hábito de crecimiento monopodial, mientras que otras marcadamente simpodiales. Por tales motivos, es indispensable la selección y tipificado del material a cosechar (Carmona, 1999, cit por Benedetti y Subiri, 2000).

En cualquier caso, el objetivo de la selección es llevar plantas al lugar de plantación cuyas características le permitan una máxima adaptabilidad y un óptimo desarrollo posterior. Se descartan todas aquellas afectadas por malformaciones, daños mecánicos, con problemas radiculares y con evidencia de enfermedades. También las con marcado hábito simpodial y aquellas notoriamente pequeñas. Estas variables definen la calidad de las plantas, tema que será abordado posteriormente.

Para una buena remoción de las plantas con un mínimo de raíces, se utiliza un descalzador basal de plantas, incorporado lateralmente a un tractor agrícola. Si no se cuenta con este tipo de maquinaria, esta labor se puede efectuar con palas rectas, largas y layas (*Op. cit.*).

Al momento de la extracción de plantas del vivero, se deben evitar las siguientes situaciones (Berrocal *et al.*, 1998; Quiróz *et al.*, 2001):

- Que las raíces o raicillas y ápice queden dañadas mecánicamente, perdiendo sus extremos, descortezándose o quebrándose.
- Que las plantas se deshidraten, sobre todo en su parte radical.
- Que las plantas se sobrecalienten.

Luego las plantas se deben calibrar por su altura en dos o tres categorías, con identificación de su procedencia, para posteriormente someterlas a una poda de raíces restauradora, dejándolas de 10 a 12 cm de largo. Luego se recomienda

sumergirlas en una solución nematicida y cicatrizante, y finalmente se les da un baño con hidrogel, para proteger el sistema radicular de la deshidratación que pudiera sufrir durante la manipulación en vivero y transporte. La dosis varía entre 3 a 5 gramos de gel por litro de agua (Quiróz *et al.*, 2001). Concluido lo anterior, se forman paquetes de 25 unidades, que serán barbechadas en una mezcla de aserrín, arena y tierra, en una razón de 2-1-1, previamente desinfectadas y adecuadamente protegidas del viento y el sol (Carmona, 1999 cit por Benedetti y Subiri, 2000).

Para el traslado de las plantas al lugar de plantación, se pueden embalar en arpillera o en cajones con aserrín húmedo, dependiendo de la distancia de traslado (*Op. cit.*).

8.2.6 Experiencias de investigación

INFOR, ha estudiado el tema de la producción de plantas utilizando diversos métodos de producción (raíz desnuda, contenedor, cajón) con y sin la aplicación de micorrizas, en viveros particulares. Luego de la temporada de viverización se obtuvieron los siguientes resultados (Cuadros N° 43 y N° 44).

Cuadro N° 43. Antecedentes de germinación y crecimiento de plantas en vivero utilizando diversos métodos de producción

Vivero Caipulli, X región de Los Lagos						
	Contenedor		Cajón		Raíz desnuda	
	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas
Germinación (%)	87,60	83,89	72,92	73,55	73,20	47,81
Mortalidad (%)	5,0	5,0	26,8	11,0	9,0	5,0
Altura promedio (cm)	17,26	17,53	18,40	19,40	24,68	19,55
DAC promedio (mm)	6,69	7,01	6,80	7,52	8,04	6,61
N° raíces secundarias	51	33	34	26	29	31
H/Dac promedio (mm)	25,21	24,99	27,7	25,88	31,39	29,36
PST/PSR *(g)	0,36	0,36	0,36	0,31	0,55	0,42
Vivero California IX región de La Araucanía						
	Contenedor		Cajón		Raíz desnuda	
	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas
Germinación (%)	50,2	51,2	80,1	79,5	79,1	69,9
Mortalidad (%)	25,8	3,5	6,5	8,7	2,8	3,1
Altura promedio (cm)	17,81	18,06	20,87	20,75	24,10	29,64
DAC promedio (mm)	6,3	6,00	7,45	7,3	8,35	10,26
N° raíces secundarias	21	26	41	38,25	46	36
H/Dac promedio (mm)	28,63	30,09	28,44	29,02	28,64	29,50
PST/PSR *(g)	0,33	0,28	0,47	0,41	0,46	0,56

Continuación Cuadro N° 43

Vivero El Parque X, región de La Araucanía						
	Contenedor		Cajón		Raíz desnuda	
	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas	Con micorrizas	Sin micorrizas
Germinación (%)	57,1	59,0	60,8	54,6	95,2	94,6
Mortalidad (%)	5	5	63,1	14,4	5	5
Altura promedio (cm)	16,53	15,20	16,83	16,83	26,30	28,68
DAC promedio (mm)	5,01	4,66	5,70	5,64	9,54	9,11
Nº raíces secundarias	48	43	41	32	53	53
H/Dac promedio (mm)	32,81	33,58	30,16	30,09	27,21	29,86
PST/PSR *(g)	0,29	0,25	0,36	0,37	0,38	0,43

Cuadro N° 44. Antecedentes de germinación y crecimiento de plantas en vivero utilizando sólo contenedor

Monteáguila VIII región del Bío Bío		
	Con micorrizas	Sin micorrizas
Germinación (%)	91,7	96,7
Mortalidad (%)	12,5	11,1
Altura promedio (cm)	39,82	45,24
DAC promedio (mm)	9,00	10,50
Nº raíces secundarias	18	30
H/Dac promedio (mm)	43,03	40,31
PST/PSR *(g)	1,21	1,17



Figura N° 65. Producción de plantas de Castaño en contenedor. Vivero Caipulli, Región de Los Lagos

Las otras variables evaluadas tienen un comportamiento errático, en función del vivero donde se produjo la planta. A modo de ejemplo, en el vivero Caipulli (Figura N° 65) se obtuvo una mejor relación altura/diámetro en el tratamiento en contenedor, en el vivero El Parque esta relación fue mejor en la producción a raíz desnuda y en el Vivero California en el tratamiento en cajón. Esto obedece de cierta manera

al expertiz por parte de los viveros en los sistemas de producción; Vivero Caipulli cuenta con experiencia en la producción en contenedor, no así los otros viveros; y por su parte Vivero El Parque produce principalmente plantas a raíz desnuda.



Figura N° 66. Experiencia de producción de plantas a raíz desnuda, región de Los Lagos

Es necesario sin embargo, profundizar la investigación sobretodo en lo que se refiere a la producción en cajón, dado que en esta experiencia se produjeron algunos inconvenientes al utilizar este método, que produjeron mortalidad y probablemente menor desarrollo de las plantas (Figura N° 67).



Figura N° 67. Experiencia de producción de plantas en cajón. región de Los Lagos

En el caso de la producción en contenedor, se recomienda utilizar uno de al menos 250 cc para que la semilla pueda quedar completamente dentro del envase en el momento de la siembra y tener posteriormente la planta un espacio suficiente para desarrollarse.

Es importante destacar que los resultados obtenidos también obedecen a la tecnología existente en cada uno de los viveros, donde en el caso de Monte Águila se cuenta con tecnología de punta y experiencia en la producción de plantas en contenedores, y por lo tanto las variables dac y altura de las plantas alcanzaron los mayores valores; además los resultados obedecen al cuidado de las plantas durante el período de producción, observándose en algunos viveros una superioridad de un tratamiento respecto de otro, dado exclusivamente al cuidado respecto del resto de los tratamientos.

Por último, se debe verificar el comportamiento de las plantas producidas con los diferentes métodos en terreno para determinar un estándar de calidad de las plantas de Castaño en vivero; y considerar que en función del sitio de plantación se debe escoger las características de las plantas a plantar.

8.3 Calidad Forestal de la Planta de Castaño

Se ha discutido bastante acerca de la calidad requerida de una planta para lograr el deseado establecimiento y desarrollo en una plantación. Sin embargo, este concepto debe ser considerado por viveristas, pequeños propietarios e inversionistas interesados en plantar Castaño, para tomar una buena decisión al momento de escoger las plantas, y así contribuir al éxito de su plantación.

Según Escobar (1994), se define como planta de calidad a aquella que logra las más altas tasas de supervivencia y crecimiento inicial en un sitio determinado. Por lo tanto la prueba final de una planta producida en vivero es su comportamiento en la plantación. Hay consenso entre los investigadores del mundo para señalar que la morfología de la planta, al momento de plantar, es el mejor indicador para pronosticar la potencialidad de supervivencia de las mismas.

A fin de definir los criterios y las variables para expresar la calidad de planta de Castaño se distinguen tres grupos de atributos:

- **Atributos morfológicos:** Altura, diámetro a la altura del cuello, raíces, coeficiente de esbeltez¹⁰, relación tallo/raíz, relación peso seco tallo/peso seco raíz.
- **Atributos fisiológicos:** Contenido nutrientes, contenido humedad (indica posibilidad de fotosíntesis), contenido de carbohidratos (reservas para generar nuevas raíces), control del fotoperíodo, potencial hídrico, nutrición (niveles de nitrógeno, calcio, magnesio y azufre, relación entre potasio y nitrógeno, etc).
- **Atributos genéticos:** Origen, procedencia, progenie, otro.

De acuerdo a los atributos morfológicos, Buresti (2003), experto italiano en Arboricultura menciona que las características a considerar para la selección de plantas de latifoliadas a establecer en plantaciones son:

- Vigor general de la planta, bien conformada
- Fuste recto
- Fuste y último crecimiento bien lignificado
- Yema apical íntegra
- Edad máxima: 2-3 años

10. Es la relación entre la altura (cm) y el diámetro de cuello de la raíz (mm). Es un método sencillo para establecer la calidad morfológica de la planta y parece tener mayor valor predictivo que cada atributo tratado de forma aislada (Navarro y Pemán, 1997)

- Ausencia de daño mecánico
- Planta equilibrada
- Proporción parte epigea e hipogea
- Raíces color ámbar o apariencia sana
- Sistema radical desarrollado correctamente
- Sistema radical íntegro, rico en pelos radicales

En términos cuantitativos, para latifoliadas se considera adecuado:

- Altura de 30-60 y hasta 70 cm (Buresti y Mori, 2003).
- DAC mínimo de 5 mm.
- Coeficiente de esbeltez entre 50/80; 60/80 (Bourger y Castaner, 1988).
- $H/DAC < 100$ (entre 50 y 80 según Buresti y Mori, 2003).
- Relación Tallo/Raíz de 0,15 a 0,5, para plantas producidas a raíz desnuda. Sin embargo, existen diferencias de opinión entre los investigadores respecto del valor predictivo de esta variable (Thomson, 1985 citado por Escobar, 1994).
- Razón PS tallo/PS raíz cercana a 1 (mayor probabilidad de sobrevivencia en sitios secos). En general se exige que la parte aérea no doble al de la raíz (Quiróz *et al.*, 2001).

Como ejemplo, se citan algunos indicadores utilizados en Inglaterra para distintas especies de latifoliadas y entre ellas Castaño (Cuadro N° 45).

Cuadro N° 45. Indicadores de calidad para latifoliadas

Especie	H min. (cm.)	DAC min. (mm)	H máx. (cm)	DAC máx. (mm.)
Fresno	20	5,0	50	9,5
Cerezo	20	4,0	50	7,5
Roble	20	5,0	50	9,5
Cerezo	20	5,0	50	9,5
Arce	30	4,5	50	6,0
Castaño	20	5,0	50	9,5

Fuente: Kerr y Evans (1993)

8.3.1 Hacia un estándar de calidad de plantas de Castaño en Chile

La construcción de un estándar de calidad de plantas de Castaño tiene por objetivo apoyar a viveristas, operadores forestales, propietarios e inversionistas interesados en establecer plantaciones forestales de Castaño, en la selección de plantas adecuadas a este objetivo.

INFOR ha trabajado junto a viveristas y expertos en producción de plantas en la generación de un estándar de calidad para plantas de Castaño con fines forestales,

y se ha considerado que los aspectos morfológicos son, por el momento, los más adecuados para definir estándares de calidad de plantas, puesto que están expresando de alguna manera los aspectos fisiológicos y genéticos. Esto se debe a que recién comienza el desarrollo de plantas forestales de Castaño en Chile y la mayoría de los viveros no poseen la tecnología o recursos para analizar y entregar las características fisiológicas de sus plantas, y tampoco hay disponible material de reproducción de origen forestal genéticamente conocido y validado.

Las variables más relevantes a considerar en la calidad de una planta es el DAC y la conformación de raíces; deben ser de al menos 0,5 cm de DAC con un buen desarrollo del sistema radicular.

Respecto de la altura, a pesar que hay relativo consenso que las plantas deben ser de al menos 30 cm. de altura, hay distintas opiniones, y éstas tienen una relación clara dependiendo de la región. En las regiones VII y VIII existe preferencia por plantas de mayor tamaño, de entre 1 a 1,20 m de altura, porque se piensa que se adaptan mejor y más rápido, y un aspecto importante es su resistencia al ataque de chicharra, muy común en estas regiones, entonces al utilizar plantas más grandes, generalmente de 2 temporadas de vivero, ya están más lignificadas y se aminora el daño de este insecto. En las regiones IX y X prefieren plantas de una temporada de vivero y entre 30 a 60 cm de altura.

La buena forma de las plantas también es un parámetro fácil de visualizar por quienes adquieren plantas. Se debieran descartar las plantas con doble flecha y visualizar las raíces para comprobar que no estén mutiladas y tengan presencia de raicillas o raíces secundarias.

Respecto de la relación altura tallo/altura raíz, ésta también podría ser una buena indicadora de la calidad de la planta, pero no es fácilmente medible.

A modo de resumen, en el Cuadro N° 46 y Figura N° 68 se aprecian las características deseadas en una planta de calidad de Castaño

Cuadro N° 46. Atributos de calidad deseados para plantas de Castaño

Variable	Aspectos cuantitativos	Aspectos cualitativos
Altura	≥ 30 cm	
Diámetro de cuello	$\geq 0,5$ cm	Lignificado
Raíz principal		Buen desarrollo
Raíces secundarias		Abundantes
Sistema radicular		Equilibrado respecto a la altura y/o diámetro de cuello, no dañado con podas y presencia de pelos pediculares.
Tallo		Con ápice principal bien definido



Figura N° 68. Planta de buena calidad de Castaño producida a raíz desnuda

Es importante destacar que la planta ideal responde a un sitio particular, es decir, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y de las posibilidades del forestador, se debe definir la planta deseable a plantar. Además, se debe validar la calidad de la planta observando su comportamiento en terreno.

8.4 Mercado de las Plantas de Castaño

El mayor conocimiento de Castaño, debido a la investigación realizada por el Instituto Forestal, ha permitido un aumento en el número de viveros que produce plantas de la especie (Gráfico N° 14). La información del número de plantas no es conocida, ya que muchos viveros producen más de una especie, sin embargo se cuenta con la cifra de la temporada 2001-2002 donde se produjeron 4.385.000 de plantas, producidas en 28 viveros.

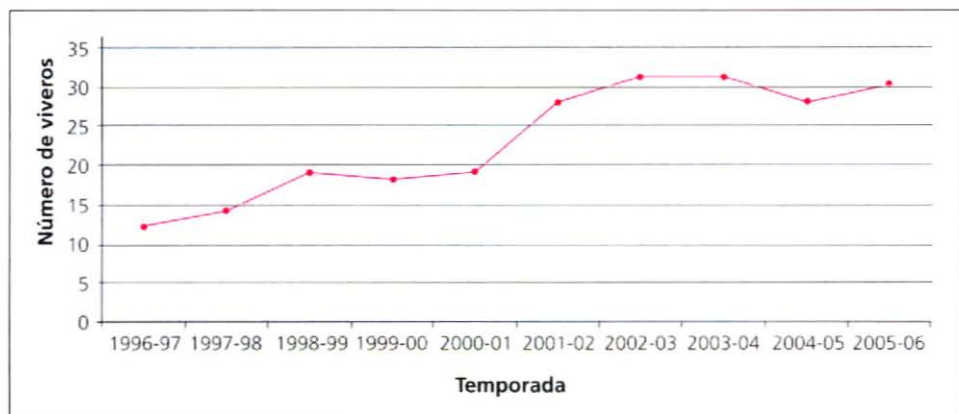


Gráfico N° 14. Viveros dproductores de Castaño. Período 1997-2006

Fuente: CONAF, 1997 a 2005

En la temporada 2006, los viveros que producen plantas de Castaño son 30, ubicados en la VIII región del Bío Bío (16,7%), IX región de La Araucanía (63,3%) y X región de Los Lagos (20%). Sin embargo no existe distinción entre los viveros que producen plantas con objetivo forestal o frutal, desconociéndose también la producción total anual (Cuadro N° 47).

Cuadro N° 47. Viveros productores de plantas de Castaño año 2006

Región	Provincia	Comuna	Vivero	Producción
VIII	Arauco	Contulmo	El Manzano	2.000
	Concepción	Coronel	INFOR	6.000
	Concepción	Coronel	San Fabián	1.000.000
	Concepción	Coronel	Sarrasqueta	5.000
	Nuble	Chillán	Agroforestal Alhuen	3.000
Total Viveros en la VIII Región 5				
IX	Cautín	Cunco	Los Troncos	s/í
	Cautín	Nueva Imperial	Traiful	s/í
	Cautín	Nueva Imperial	La Rinconada	s/í
	Cautín	Nueva Imperial	CONAF	s/í
	Cautín	Nueva Imperial	Los Álamos	s/í
	Cautín	Lautaro	El Saco	s/í
	Cautín	Temuco	Los Robles	s/í
	Cautín	Villarrica	Santa Camila	s/í
	Cautín	Villarrica	Voipir	s/í
	Cautín	Villarrica	Río Cruces	s/í
	Cautín	Freire	El Nudo	s/í
	Cautín	Nueva Imperial	Los Aromos	s/í
	Cautín	Loncoche	Río Cruces	s/í
	Cautín	Gorbea	La Araucaria	s/í
	Cautín	Pucón	Los Álamos	s/í
	Cautín	Curarrehue	Los Alpes	s/í
	Malleco	Renaico	La Hiedra	s/í
	Malleco	Victoria	California	s/í
	Malleco	Lumaco	Vivesur	s/í
Total Viveros en la IX Región 19				
X	Osorno	Osorno	Vivero Forestal Caipulli	s/í
	Osorno	Osorno	Vivero Forestal El Parque	s/í
	Llanquihue	Frutillar	Vivero Forestal El Parque	s/í
	Valdivia	Valdivia	La Quila	s/í
	Valdivia	Panguipulli	Liceo Agrícola y Forestal People Help People	s/í
	Valdivia	La Unión	Agroforestal Camarones	s/í
Total Viveros en la X Región 6				

Fuente: CONAF, 2006.

En cuanto a precios se observa que en el período 2003-2006 existe bastante disparidad dentro y entre regiones así como una variedad de tipos de plantas. En el período mencionado las plantas 1:0 han experimentado una variación del 100% en su precio, alcanzando los \$500 el año 2005. Las plantas 2:0 han tenido menos variaciones en su precio desde \$220 el año 2005 a \$300 el año 2006 (Cuadro N° 48).

Cuadro N° 48. Precios de plantas de Castaño, período 2003-2006

Año	Tipo	Región	Provincia	Precio Promedio Unitario
2003	1:0	IX	Cautín	\$250
	1:1	IX	Malleco	\$150
	1:1	X	Osorno	\$150
	1:1	X	Valdivia	\$210
	1:2	IX	Cautín	\$500
	2:0	VII	Talca	\$250
	2:0	X	Valdivia	\$220
2004	1:0	IX	Cautín	\$250
	1:1	IX	Cautín	\$300
	1:1	IX	Malleco	\$150
	1:1	X	Osorno	\$200
	1:1	X	Valdivia	\$140
	2:0	VII	Linares	\$400
	2:0	VII	Talca	\$250
2005	2M	VIII	Concepción	\$400
	1:0	IX	Cautín	\$500
	1:1	IX	Cautín	\$700
	1:1	X	Osorno	\$200
	1:2	IX	Malleco	\$150
	2:0	VII	Talca	\$300
	3:0	VII	Linares	\$500
	2m	VIII	Concepción	\$400
2006	2m	X	Llanquihue	\$250
	1:0	X	Valdivia	\$110.000 (por 1.000 un)
	1:1	IX	Cautín	\$1.000
	1:1	X	Osorno	\$250
	1:3	IX	Malleco	\$150
	2:0	VII	Linares	\$300
	2m	VIII	Concepción	\$500
	2m	X	Llanquihue	\$200
2006	2:0 (con injerto fruto/ forestal)	VII	Talca	\$1.600

Fuente: INFOR, 2003b; 2004b; 2005; 2006b.

En el marco del proyecto “Fuentes de Semilla Mejorada para las Especies Prioritarias de Diversificación Forestal Nacional”, INFOR realizó una encuesta a 108 viveros entre las regiones VII de Maule y X de Los Lagos (año 2004), observándose que un 43% de ellos produce plantas de Castaño (46 viveros). Además de esto, se obtuvo la siguiente información:

- La producción total de plantas de la especie ese año fue de 638.360 que representa un 8,2% del total de especies producidas en viveros.
- Los viveros de Castaño ese año se concentraron en las regiones X de Los Lagos y IX de La Arucanía con un 55 y 54%, respectivamente.
- La mayoría (77%) de los viveros se abastece de semillas por cosecha directa o de proveedores informales, y los restantes presentan problemas de disponibilidad de semillas principalmente por nula u ocasional oferta de ellas y también porque se consideran de alto costo.
- Si bien la mayoría de los viveros utilizan semillas para la producción de plantas, se observó que un 3% utiliza plantas de regeneración de rodales existentes para su producción.

9. SILVICULTURA Y MANEJO FORESTAL DEL CASTAÑO

S. Benedetti, A. Pavez, L. Barrales, M. González, C. Delard, V. Loewe.

9.1 La Plantación

El éxito de sobrevivencia y desarrollo de las plantas es el principal objetivo de una plantación, razón por la cual es necesario tener en cuenta y analizar una serie de factores que influyen en ello y considerar los posibles riesgos e imponderables que puedan alterar los planes que se persiguen con la plantación, tales condiciones de sitio, sequías, heladas, viento, competencia de vegetación circundante, ataque de animales o utilización de técnicas no adecuadas a la especie.

Como toda empresa el establecer una plantación representa un proceso que requiere de planificación, por ende de definir objetivos, analizar opciones, costos y financiamiento para evaluar la inversión y definir los pasos y actividades a desarrollar.

Con este objetivo, el presente capítulo hace referencia en particular a la planificación de una plantación para la producción forestal de Castaño, especialmente de madera de alto valor, por lo tanto todas las orientaciones técnicas que aquí se entregan tienen relación con ello.

9.1.1 Definición del objetivo de la plantación

Un aspecto fundamental en el establecimiento de una plantación es tener claro el objetivo que se busca alcanzar con ella. De este objetivo depende la planificación de los pasos y actividades necesarios para llevar a cabo la plantación y determinar los costos asociados, elementos clave para la toma de decisión de la inversión.

Los objetivos pueden ir desde los ambientales tales como mejoramiento del paisaje o recuperación de suelos, hasta fines productivos como energía, pulpa, postes, madera aserrada, entre otros. Este abanico de posibilidades representa también distintas opciones de diseño de plantación, tipo de planta, técnicas silviculturales, esquemas de manejo, costos y rentabilidades, razón por la cual el propietario debe tener claridad respecto de lo que desea de la plantación para tomar decisiones o para ser asesorado.

En el caso de Castaño, especie multipropósito que presenta una amplia gama de posibilidades de uso, desde frutos hasta madera de alto valor, que puede ser utilizada con fines paisajísticos, producción de miel, en esquemas productivos combinados, fruto-forestal, miel y madera, madera y hongos, madera y cultivos agrícola o praderas, las técnicas y material vegetal a utilizar son también diversos.

Desde el punto de vista forestal, el objetivo productivo de Castaño económicamente más atractivo, es la obtención de trozas foliales o aserrables libres de nudos, de excelente calidad para industrias exigentes, donde la madera se considera un

material noble que valoriza los diseños en la industria de muebles o pisos. En este caso es necesario tener claro que prima la calidad de la madera más que el volumen, por ende cada árbol en sí es importante para su manejo.

9.1.2 El diseño de la plantación

El diseño de una plantación se genera luego de un análisis entre lo que se desea y lo que se puede hacer, en el cual se deben conjugar los objetivos definidos, las características del sitio, la tecnología y el financiamiento disponible.

El diseño de una plantación corresponde al arreglo espacial de las plantas en el terreno. Este puede incluir una o varias especies, pudiendo ser de tipo forestal o agroforestal y lleva implícito el espaciamiento o densidad de plantación y la distribución de los árboles en un determinado sitio. La elección de la densidad de plantación es una cuestión de la máxima importancia, por sus implicancias silvícolas y económicas (Álvarez *et al.*, 2000), por lo que se deben tener en consideración algunos aspectos tales como:

- El sitio: mediante una evaluación del terreno se debe constatar que el sitio cumple con las condiciones adecuadas para establecer Castaño y/o las especies acompañantes que se quisieran incluir. La calidad de sitio es un factor importante para determinar la densidad de plantación, a menor calidad se recomienda menor densidad ya que la planta necesitará de una superficie mayor de donde obtener nutrientes y agua. Si el terreno presenta una pendiente superior al 25% lo ideal es establecer las líneas de plantación en el sentido de las curvas de nivel y por ningún motivo en la dirección de la pendiente. Por otra parte se recomienda la plantación en sitios con cierta pendiente con el objeto de evitar la acumulación de agua, dañina para Castaño.
- Condiciones microclimáticas: Si el terreno está expuesto al viento es recomendable establecer densidades más bien altas para evitar la curvatura de los árboles. Igualmente se recomienda establecer las líneas de plantación en forma diagonal a la dirección del viento.
- Intensidad y costos de manejo: si se desea establecer una plantación relativamente poco demandante en intervenciones de manejo durante los primeros años de la plantación, es recomendable establecerla a alta densidad, al menos 1.100 plantas por hectárea, es decir a un espaciamiento de 3 x 3 m, sin embargo hay que considerar el incremento en costo por efectos de compra de la cantidad de plantas que implica esta densidad, y que Castaño requiere una o dos podas de formación durante los primeros años, independiente de la densidad de plantación y de raleos para favorecer el crecimiento en diámetro del fuste. También se debe considerar que a mayor densidad, habrá al menos un raleo a desecho. Densidades menores, por ejemplo espaciamientos de 4 x 4 m, implican menores costos por adquisición de menos plantas pero requieren más intervenciones de podas de formación. A bajas densidades se

puede realizar solo un raleo comercial. Por otra parte a mayor número de árboles por hectárea, hay mayores posibilidades de seleccionar árboles en los raleos, al contrario a menores densidades las opciones de selección de árboles para la cosecha final disminuyen.

- Aspectos que pueden hacer más atractivo el negocio: esto tiene relación con las características regionales y de economía local. Entre otros destacan el aprovechamiento de la belleza escénica para fines turísticos, usos no madereros como miel y utilización del fruto, asociación a otros cultivos como esquemas agroforestales, etc. El interés de explotar estos aspectos deben ser considerados en el diseño.

En definitiva puede haber mucha creatividad en el diseño de una plantación, se pueden considerar plantaciones puras, mixtas, plantación en hileras o fajas y bosquetes, entre otros.

En plantaciones de Castaño para producción de madera, se recomiendan densidades altas, en marcos reducidos, 3 x 3 m, 3,5 x 3 m, 3,5 x 3,5 m y 4 x 2 m, lo que corresponde a entre 815 a 1.430 pl/ha.

Es posible también plantar a una densidad única y final en marcos de 4 x 4 m y 5 x 5 m, lo que corresponde a densidades de 625 a 400 pl/ha, donde el manejo estará basado en podas de formación y de levante de copa hasta formar una o dos troza libre de nudos y no será necesario aplicar raleos. Para este tipo de plantación es fundamental contar con terrenos de muy buena calidad y plantas también de excelente calidad, ya que las plantas que se utilicen al momento de la plantación serán las que se cosecharan ya que no se aplicarán raleos para la selección de árboles.

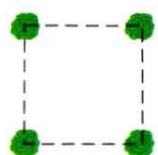
Por otra parte, si se considerara la obtención de una sola troza, lograda la altura deseada para la troza, se podría mejorar la producción de frutos en base a la injertación de material seleccionado para dicho objetivo, esta es una técnica que se usa en Europa para especies frutales y de buena calidad de madera, en Chile no se han realizado experiencias de este tipo aún en Castaño.

INFOR ha centrado la investigación en el manejo del Castaño con un criterio frutoforestal, dando énfasis a la obtención de madera, considerando la producción de fruto como secundaria, criterio basado en que la calidad del fruto proveniente de las plantaciones forestales es baja dado su bajo calibre, debido a que para la producción de madera no se utilizan plantas injertadas con variedades de calidad frutal.

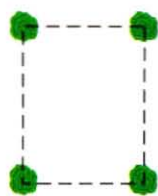
En el Capítulo 10 se entrega información y orientaciones de esquemas de plantaciones mixtas.

Con respecto a la disposición de las plantas, ésta se define como una referencia geográfica modular que una vez llevada al terreno permite distribuir las plantas y

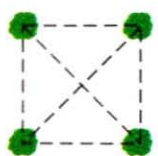
establecer relaciones precisas entre los diferentes componentes, está directamente relacionada con la densidad de la plantación. Una plantación puede realizarse en esquemas cuadrados, en rectángulo y a tres bolillos (cuya base es un rectángulo isósceles, y en la práctica se obtiene poniendo una planta al centro de un cuadrado).



La disposición cuadrada es simple de establecer y a la vez simplifica la remoción mecánica del suelo. Las plantas gozan de la misma iluminación, pero quedan significativas proporciones de superficie inutilizada.



La disposición rectangular tiene las mismas características pero se diferencia en que, al disminuir el distanciamiento de plantas sobre la hilera, se reduce el material para las instalaciones de riego, control de malezas y fertilizaciones. El porcentaje de terreno cubierto por las copas es el menor de todos los casos, la iluminación no es uniforme lo que puede favorecer copas asimétricas, que podrían causar irregularidades o curvaturas del tronco.



La disposición a tres bolillos en general tiene las mismas características que el cuadrado, porque en realidad se trata de la misma figura geométrica que ha sufrido una rotación de 45°, aunque es más compleja. Esta disposición usa de mejor forma el espacio disponible ya que el espacio entre plantas es el mismo en todos los sentidos. Esta disposición se adecua bien en zonas ventosas, de pendientes pronunciadas y en lugares en donde se quiere dar un aspecto de tipo bosque natural (Buresti y Mori, 1995).

9.1.3 Selección del sitio de plantación

La selección de un terreno o sitio adecuado a Castaño es clave en el éxito de una plantación. Se recomienda siempre cotejar las características particulares del terreno en que se va a establecer la plantación con los requerimientos ecológicos de la especie (Capítulo 2), de lo contrario la plantación podría verse expuesta a ataque de enfermedades, pérdida de plantas, retrasos de crecimiento o pérdida en la calidad de la madera.

En particular una consideración importante es que el terreno no posea ningún riesgo de anegamiento, aunque este pudiera darse en forma temporal y esporádica. De acuerdo a experiencias de INFOR los sitios más adecuados para plantaciones forestales de Castaño corresponden a aquellos ubicados en laderas con cierto grado de pendiente. Sin embargo también es importante en caso de sequías o déficit hídrico del suelo, contar con una posibilidad cercana para riegos de emergencia.

9.1.4 Época de plantación

La plantación de Castaño se puede realizar desde fines de mayo hasta comienzos de agosto, durante el periodo de receso vegetativo (Benedetti y Subiri, 2000), pudiendo variar levemente según las características del año, especialmente de precipitación, y la posición geográfica del sitio.

Siempre es recomendable establecer la plantación durante el periodo libre de heladas y evitar golpes de calor o de vientos en las plantas recién establecidas.

No es recomendable plantar tardíamente en primavera, ya que si ésta viene seca afectará el desarrollo de las plantas y por ende el éxito de la plantación. Si se plantara tardíamente será necesario realizar riegos.

9.1.5 Tipo de planta

De acuerdo a lo visto en el punto 9.1.3, se recomienda utilizar plantas 1: 0 ó 2: 0, vigorosas, ojala con un único tallo o con el ápice principal definido mayor de 30 cm de altura y con un diámetro de cuello superior a 0,5 cm; y especialmente que presenten un sistema radicular bien conformado, ya que Castaño posee una raíz central de anclaje mecánico muy desarrollada, y raíces secundarias laterales, más un grupo de raicillas pequeñas. Son estas las que una vez establecida la plantación realizan el intercambio de solubles desde el suelo, las primeras están encargadas de fijar físicamente la planta al suelo. Razón por la cual, una consideración importante a tener en cuenta es que al momento de sacar las plantas del vivero, siendo estas a raíz desnuda, se debe tener la precaución de realizarlo de tal manera que las raicillas pequeñas sufran el menor daño posible, y que las raíces mayores sean cortadas en forma limpia y en sentido oblicuo.

Dado que la época de plantación coincide con el periodo de receso vegetativo es importante al seleccionar las plantas en vivero, escoger aquellas que no presentan hojas, dado que Castaño es una latifoliada de hoja caduca, por ende la presencia de hojas durante este periodo puede representar un problema a nivel de planta, por lo que es mejor no contar con plantas de este tipo al momento de plantar.

Otro aspecto a tener en consideración es el origen de la planta, es decir, de donde proviene la semilla o el material vegetal original. Aún cuando en Chile no existen selecciones de variedades forestales, se debe preferir siempre semillas provenientes de plantaciones forestales, en ningún caso variedades frutales o plantas injertadas ya que el objetivo de selección de material genético para de este tipo de plantas no es precisamente producción de madera de calidad.

Si bien a la fecha se ha observado una mejor calidad y costo menor de plantas producidas a raíz desnuda, no se descarta la utilización de plantas producidas en contenedor u otra técnica.

Las plantas de selección frutal o las injertadas son de un costo bastante más alto que las plantas forestales, la cicatrización del injerto además se traduce en un defecto a nivel de la madera en un área mayor a la de la herida que afectar la calidad y precio de ésta.

9.1.6 Preparación del terreno

La preparación del suelo es una labor que depende directamente de las condiciones locales del sitio donde se va a establecer la plantación. Por tales motivos, se hacen algunas recomendaciones solamente de carácter general.

Una preparación adecuada del terreno es indispensable para garantizar el éxito de una plantación de Castaño, lo que consiste en habilitar el terreno, es decir, eliminar y extraer los materiales y vegetales presentes en el área a plantar y que provocan competencias entre vegetales indeseados, con la especie a establecer y dificultan la ejecución de la faena de plantación.

Roce

Castano es sensible a la competencia por agua y por nutrientes que ejercen los matorrales y hierbas, por lo tanto se requiere de desbroces intensos, los que pueden ser manuales o mecanizados. En las zonas propicias para establecer Castano es común encontrar densos matorrales de Murra (*Rubus constrictus*, *Rubus ulmifolius*) y Ulex (*Ulex europeus*). En estos casos el desbroce puede ser mecanizado, realizando una limpia en fajas y dejando el matorral entre fajas. Esto abarata los costos y crea competencia lateral por luz lo que ayuda a lograr una buena forma del fuste. Sin embargo, si se realiza este tipo de limpia, el matorral debe ser inspeccionado periódicamente e intervenir cada vez que empiece a invadir el espacio de la faja de plantación (Figura N° 69).



Figura N° 69. Limpia del terreno

En el Cuadro N° 49 se entregan antecedentes de rendimiento para esta faena.

Cuadro N° 49. Rendimiento en roce según cobertura vegetal

Tipo de roce	Cobertura vegetal	Rendimiento (jor/ha)
Roce fácil	Pastos menores	2
Roce liviano	20% arbóreo 80% arbustivo	9
Roce moderado	20% arbóreo 80% arbustivo	12
Roce fuerte	70% arbóreo 30% arbustivo	15
Roce muy fuerte	80 % arbóreo 20% arbustivo	18

Fuente: Villarroel y Poblete, 1997.

Preparación del suelo

En suelos con algún grado de compactación, que son la mayoría a excepción de los trumaos, es recomendable el subsolado. Este produce rotura del suelo que mejora el arraigamiento de las plantas y la infiltración de agua y nutrientes. Para que sea efectivo debe alcanzar una profundidad mayor a 50 cm. Para realizarlo se requiere de baja humedad del suelo por lo que la época estival es la más recomendable.

Dependiendo de la zona, el subsolado puede significar una disminución de la resistencia de los árboles al efecto del viento, ya que debido a esta preparación del suelo, el sistema radicular puede desarrollarse sólo en el sentido del subsolado. El subsolado se aplica con maquinaria pesada, tractor bulldozer, que permite romper la compactación hasta 0,8 m de profundidad.

Para suelos francos a franco-arenosos, como el caso de los trumaos, generalmente el subsolado no se justifica, debido a que se trata de suelos livianos y con buen drenaje, siendo recomendable la aradura de cincel o de disco con al menos tres pasadas (Benedetti y Subiri, 2000).

En lugares de pendientes pronunciadas o pedregosidad, que impidan el uso de maquinaria, es necesario preparar el suelo en forma manual con preparación de casillas con dimensiones mínimas de 50 x 50 x 50 cm. Con éste método, se deja una porción de tierra mullida que facilitará la penetración de las raíces durante los primeros años de desarrollo de la planta, además de mejorar las condiciones de infiltración y retención de agua (*Op. cit.*).

La época ideal de preparación del terreno es el verano, dejando los hoyos abiertos por lo menos dos meses, para favorecer la mineralización de la materia orgánica y para que el terreno se desmenuce y asiente, de tal forma que durante la plantación no queden bolsas de aire al rellenar el hoyo, lo que secaría la planta (Álvarez et al., 2000).

9.1.7 Plantando correctamente

La faena de plantación se realiza en forma manual, con pala plantadora. Se debe tener la precaución de no dejar bolsones de aire dentro de la casilla u hoyo de plantación ya que esto puede producir la mortalidad de los individuos.

Con la pala se debe realizar un hoyo, se incorpora parte del suelo orgánico a los horizontes más profundos (hasta aproximadamente 50 cm de profundidad). Esta labor es quizás la más importante, pues entre otras cosas elimina la posible compactación del suelo, lo muelle, aumenta su aireación y mejora las condiciones de infiltración, estimulando así la aparición de organismos vivos. Todo lo anterior se traduce en efectos benéficos para la planta.

En el centro de la casilla se realiza un hueco de un tamaño que permita extender completamente el aparato radicular de la planta, sin que éste quede doblado. Se aconseja proteger las raíces con la mano, de manera tal, que posteriormente al dar el tirón ésta quede con el cuello a nivel de la superficie del suelo. Luego que la raíz ha sido bien situada se procede a agregar tierra, cuidando que no quede ningún espacio con aire, ya que esto puede ocasionar serios daños o simplemente la muerte de la planta. Se completa con tierra hasta un poco más arriba del nivel definitivo, pues al compactar posteriormente ésta baja. Finalmente se le da un pequeño tirón para que aquellas raíces que pudieran haber quedado dobladas se estiren y se pisa alrededor del cuello de la planta con el fin de que ésta quede firmemente arraigada al suelo y perpendicular al suelo.

Siempre se debe tener la precaución de no tapar el cuello de la planta si no se toma en cuenta lo anterior la planta tiende a generar brotes epicórmicos, lo que se retrasa el crecimiento en un par de años por el gasto de energía de emitir y hacer crecer los brotes.

La Figura N° 70 grafica como plantar correctamente:

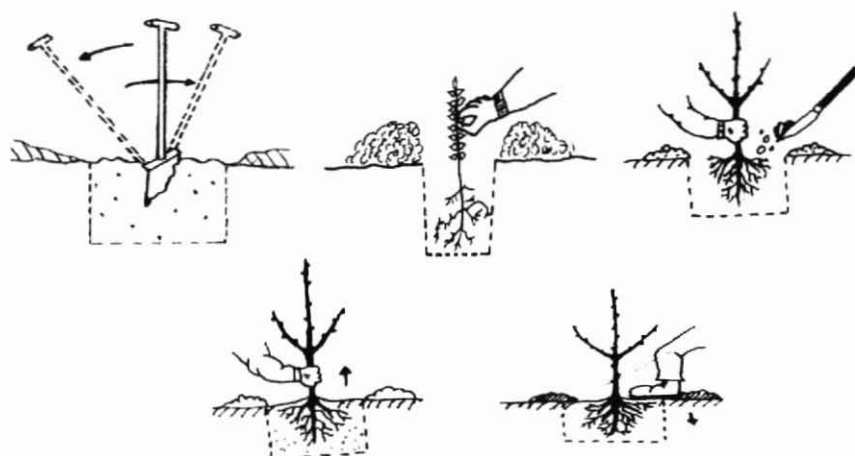


Figura N° 70. Secuencia de plantación

Lo ideal es que las plantas sean plantadas el mismo día que salen del vivero, si no fuera así es recomendable dejarlas en barbecho. Esto consiste en realizar una zanja, de preferencia en pendiente y sobre la curva de nivel, dependiendo del tamaño del sistema radicular las dimensiones varían, siempre debe tener el tamaño suficiente que permita colocar en forma holgada las raíces y agregar tierra por los costados. Una vez realizada la zanja se procede a ubicar las plantas con algún grado de inclinación pendiente arriba, luego se agrega tierra, y cada cierto intervalo de tiempo se mueve la planta para que la tierra escurra por toda la raíz. Se recomienda también mojar el suelo si es que el contenido de humedad no fuera suficiente, esto tiene 2 efectos, convertir el suelo en un gel que cubra bien la raíz y no dejar que la raíz pierda agua.

Durante la faena de plantación se debe evitar que las plantas se deshidraten sobre todo en la parte radical y que se sobrecalienten; para lo anterior, si las plantas son a raíz desnuda es recomendable transportarlas envueltas en telas húmedas; si son plantas en contenedor se recomienda regarlas al momento antes de ser transportadas.

Protección de la plantación

Un aspecto de suma importancia en la sobrevivencia de la plantación es la protección de las plantas de posibles ataques de animales. Lo más utilizado en Chile es el cerco perimetral, con postes enterrados cada 3 m y varias hileras de alambre de púas, si son animales mayores, o malla Ursus o hexagonal si son animales más pequeños.

Otra forma de protección utilizada en Europa son los protectores individuales a nivel de planta, shelters (Figura N° 71), en general son tubos biodegradables que además promueven el crecimiento en altura y restringe el crecimiento de ramas. Sin embargo por su alto costo se justifican solo para plantaciones en pequeñas superficies.

INFOR ha desarrollado algunas experiencias con protectores individuales en base a tres tutores y malla ruschel (Figura N° 72), con excelentes resultados, pero al igual que los shelters por su costo solo se justifica en superficies pequeñas.



Figura N° 71. Plantación con shelters



Figura 72. Plantación con protectores de malla ruschel

9.1.8 Cuidados culturales de la plantación

Una vez realizada la plantación se debe tener la precaución de efectuar cuidados posteriores durante al menos los tres primeros años, periodo en que las plantas ya están bien asentadas y adaptadas al terreno. Los cuidados culturales posteriores están además orientados a aumentar la calidad del cultivo, entre ellos destacan:

Control de la vegetación

Una actividad que siempre se debe tener presente para garantizar el buen desarrollo de las plantas de Castaño es el control periódico de malezas y otra vegetación que pueda representar alguna competencia por agua y nutrientes.

El control de maleza se debe realizar periódicamente, en forma manual o con herbicidas, el objetivo es eliminar la competencia en el periodo inicial de crecimiento, hasta los 2 ó 3 años de edad, dependiendo de la agresividad de las especies indeseables. Este puede ser a nivel de taza o casilla, al menos limpiando un diámetro de 1 m alrededor de la planta (Figura N° 73), en la faja de plantación, siempre manteniendo limpia una superficie de 1 m a cada lado de la hilera, o el control total de vegetación, el sistema a aplicar dependerá de los recursos disponibles y de la cobertura de la vegetación no deseada. La limpia se puede hacer con rozón, con desbrozadota o con desmalezadora.



Figura N° 73. Control de maleza a nivel de taza

En el caso de eliminar la competencia en la casilla, se aconseja usar pala plana bien afilada o azadón. La herramienta elegida dependerá del tipo de vegetación que se desea eliminar. También es posible usar herbicidas, los que pueden emplearse para eliminar malezas entre hileras y dentro de las hileras. Aunque el desmalezado tiene un efecto inmediato en el crecimiento de las plantaciones, su duración depende de la agresividad de las especies que compiten. Una alternativa

para prolongar los efectos en el tiempo, es el empleo de mulch en la taza de plantación o dejar los productos de la limpia en el sitio. La aplicación de herbicidas es recomendable siempre y cuando los pastos estén cortos, por lo que de igual forma se necesita una limpieza previa.

El porcentaje de cobertura y la altura de la vegetación son los factores determinantes en el rendimiento en la faena de limpia. En el Cuadro N° 50, se puede observar la influencia de la altura en el los rendimientos.

Cuadro N° 50. Rendimiento en limpia de plantaciones según vegetación, altura y cobertura

Especie	Altura m	Jor/ha según % de cobertura			
		21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
1	0 -1	6	10	14	18
1	1 y +	8	12	16	20
2	0 -1	2	4	6	8
2	1 y +	3	5	7	10
3	0 -1	3	5	7	9
3	1 y +	4	6	8	11
4	0 -1	2	3	5	7
4	1 y +	2	4	6	8
5	-1	2	5	8	10
5	1 y +	3	6	9	12
6	0 -1	0.5	1	3	4
6	1 y +	0.5	2	4	6

Especie : 1 Ulex; 2 Retamillo, Quila, Retamo; 3 Murra, Mosqueta; 4 nativas, Roble, Maqui;
5 rebrotes nativos; 6 rebrotes nativos Eucalipto

Fuente: Villarroel y Poblete, 1997.

Riego

Castaño se puede desarrollar sin riego en la mayor parte de las regiones del Bio Bío a la de Los Lagos. Sin embargo, debido a la amplia variación de las precipitaciones entre un año y otro es recomendable contar con posibilidades de riegos estivales y un análisis a nivel predial para determinar si las condiciones hídricas son óptimas, sobretodo en los primeros años de la plantación. En la Región del Maule, si bien posee zonas adecuadas para la especie, el menor monto de las precipitaciones hace necesario siempre considerar la necesidad de riego.

Por otra parte, si se quiere mantener una alta producción de frutos, es necesario regar durante el período de la formación de los frutos, pues el crecimiento de éstos se caracteriza por presentar un aumento importante en la última fase de

desarrollo. Esto último, se debe tener en cuenta para la determinación del riego en zonas con baja precipitación estival (Sudzuki, 1983).

El riego puede ser por tendido, por goteo o por aspersión. Por tendido es aplicable sólo en suelos con excelente drenaje y muy fértiles. El riego por goteo tiene la ventaja de utilizar menor cantidad de agua, pero puede inducir la pudrición de raíces por ataque de *Phytophthora* spp., en caso que el gotero esté muy cerca del tallo. El riego por aspersión parece ser una buena opción (Goldsbrough, 1990), estas dos últimas alternativas implican un costo bastante mayor.

Fertilización

Se recomienda siempre realizar antes del establecimiento de la plantación un análisis de suelo para determinar las necesidades de nutrientes y dosis necesarios. La muestra se obtiene de los primeros 40 cm de suelo mineral, es en este nivel de donde las plantas obtendrán nutrientes por lo menos el primer año de establecidas.

Para hacerlo representativo y abaratar costos se obtiene una sola muestra producto de la mezcla de a lo menos 8 puntos que cubran el área, se debe llevar la muestra al laboratorio elegido y pedir las determinaciones que sean importantes para Castaño, las cuales son pH, Ct %, Nt %, C/N, P, Al, Na, K, Ca, Mg, y Al.

Al año siguiente de la plantación es conveniente fertilizar nuevamente, determinando las dosis basándose en un análisis foliar.

Recomendaciones de fertilización obtenidas por el Departamento de Suelo de la Universidad Católica señalan que, en términos generales, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos al momento de elegir los fertilizantes: utilizar fertilizantes acidificantes en casos que el pH sea mayor a 5,6 (urea, fosfato de amonio); en el caso que el pH sea menor a 5,6, es conveniente utilizar fertilizantes neutros tales como Supernitro, Nitroplus, Nitromag, Nitrato de amonio neutralizado. Al aplicar Nitrógeno o Boro no debe quedar el fertilizante en contacto con las raíces.



Figura N° 74. Fertilización

En el siguiente diagrama se presenta un cronograma de las actividades a seguir para el establecimiento de una plantación de Castaño

Actividad	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Desbroce												
Preparación de suelo												
Subsolado												
Casillas												
Control malezas preplantación												
Plantación												
Control de malezas post plantación												
Fertilización												
Riego												

Figura N° 75. Cronograma de las actividades para el establecimiento de la plantación

9.1.9 Experiencia de investigación en Chile

En el marco del Proyecto "Hacia el desarrollo del Castaño forestal en Chile", se realizaron experiencias de plantaciones utilizando plantas a raíz desnuda y en contenedor, con el objetivo de evaluar el desarrollo y crecimiento de la plantación en función del sistema de producción de plantas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el ensayo establecido en el predio Pumillahue, cuya ubicación y características de sitio se muestran en el siguiente Cuadro:

Cuadro N° 51. Características ensayo de plantación Pumillahue

Nombre predio	Pumillahue
Región	Los Lagos
Comuna	Valdivia
Ubicación coord. geográfica	72° 46' 58,43" longitud oeste, 39° 38' 26,40" latitud sur
Altitud	214 m.s.n.m.
Clima	T° media anual: 12,5°C; T° máxima media mes más cálido (enero): 27,1°C; T° mínima media mes más frío (junio): 3,3°C. Período libre de heladas: 3 meses. Precipitación media anual de 2.139 mm, sin estación seca, con dos meses febrero y marzo, no húmedos ¹¹ .
Suelo	Suelo Trumao, buen drenaje, textura media - moderadamente pesada. Ligeramente ácido. Profundidad efectiva: 86 cm. Material parental: cenizas volcánicas modernas sobre complejo metamórfico ¹²
Pendiente	35-45%

11. Novoa *et al.*, 1989

12. Ministerio de Agricultura *et al.*, 1968; Tosso, 1985; IREN, 1979; Roberts y Díaz, 1959-60; Whright, 1959-60; Díaz *et al.*, 1958.

Este ensayo se estableció el año 2004 y utilizó un diseño al azar con tres repeticiones. Se analizaron 4 tratamientos; plantas a raíz desnuda con micorrizas, plantas a raíz desnuda sin micorrizas, plantas en contenedor con micorrizas y en contenedor sin micorrizas, entre cada tratamiento se dejaron dos hileras de aislación y se consideraron dos hileras de borde.

Se realizó una primera medición al momento del establecimiento y se realizaron mediciones los años 2005 y 2006, las variables evaluadas fueron sobrevivencia, altura y diámetro a nivel del cuello (DAC).

Los Gráficos N° 15 y N° 16 muestran las gráficas de la altura media y DAC medio de las mediciones correspondientes a los años 2004, 2005 y 2006.

En relación a la evolución de la variable altura, se observa que las plantas producidas a raíz desnuda con micorrizas durante las tres evaluaciones presentan la media más alta, en cambio las plantas producidas en contenedor se puede ver que en el año 2005 las micorrizadas presentaron una altura mayor que aquellas no micorrizadas, sin embargo, en el año 2006 la situación se revierte.

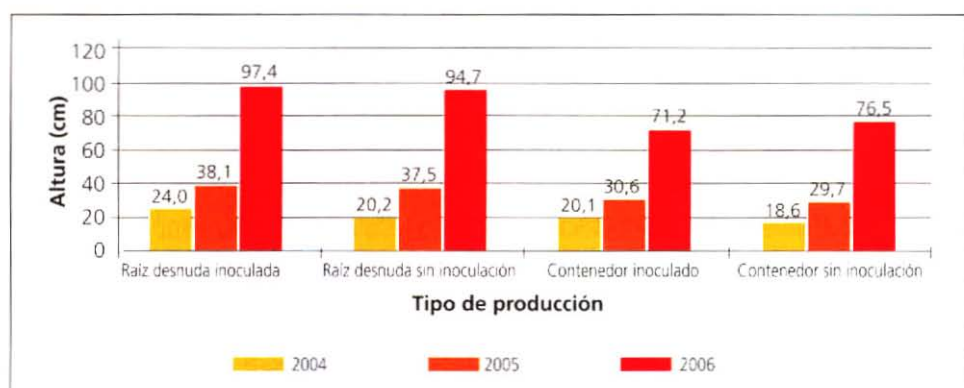


Gráfico N° 15. Altura media para años 2004, 2005 y 2006

Con respecto al comportamiento del DAC (Gráfico N° 16), al año de establecimiento (2004) las plantas producidas a raíz desnuda micorrizadas tenían un mayor DAC que aquellas no micorrizadas, sin embargo, durante los años 2005 estos valores se equiparan y el 2006 las plantas no micorrizadas presentaron un ascenso leve. En general, las plantas a raíz desnuda presentaron una evolución mayor que aquellas en contenedor y se ven diferencias muy leves entre aquellas micorrizadas y las no micorrizadas.

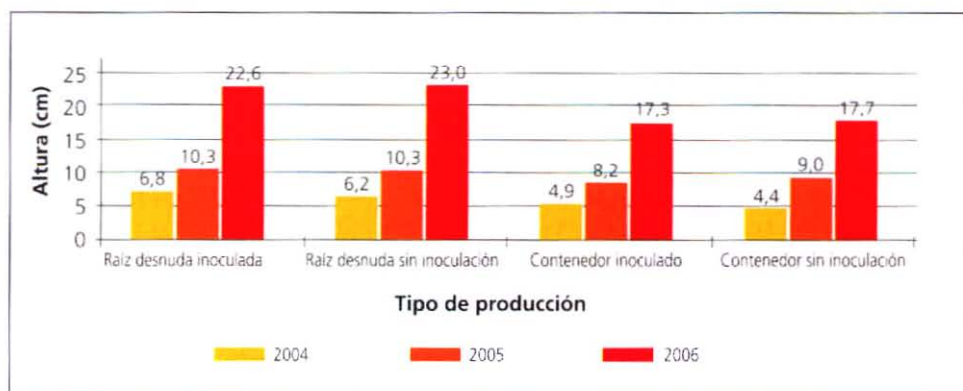


Gráfico N° 16. DAC medio para los años 2004, 2005 y 2006

En relación a los incrementos en altura y DAC, los Gráficos N° 17 y N° 18 presentan las gráficas de los incrementos entre las edades de 1 y 2 años, los cuales denotan que las plantas producidas raíz desnuda (con o sin micorrizas) favorecen al establecimiento de las plantas y genera incrementos mayores que las plantas producidas en contenedor.

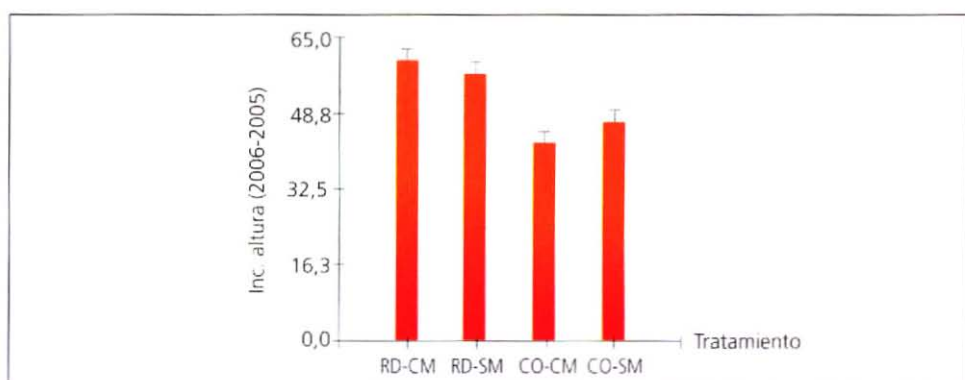


Gráfico N° 17. Incremento en altura

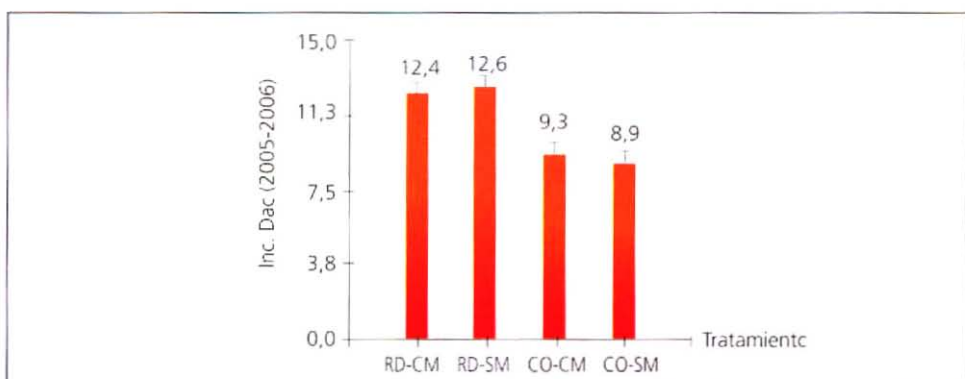


Gráfico N° 18. Incremento en DAC

Por otra parte, es necesario señalar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre plantas micorrizadas y no micorrizadas dentro de un mismo tratamiento. Sin embargo, las plantas producidas a raíz desnuda alcanzaron mayor altura y DAC que aquellas producidas en contenedor, habiendo evidencia de diferencias estadísticas. Las plantas producidas a raíz desnuda presentaron los mejores incrementos en altura (60,0 cm con micorrizas y 57,2 cm sin micorrizas), en comparación con las producidas en contenedor (42,5 cm con micorrizas y 47,1 cm sin micorrizas). Siendo el mejor tratamiento la producción de plantas a raíz desnuda con micorrizas.

En las Figuras a continuación se observa el desarrollo logrado por las plantas el año 2005 y 2006.



Figura N° 76. Desarrollo de una planta el primer año de crecimiento (2005)



Figura N° 77. Incremento en altura del segundo año de crecimiento (2006)

9.2. Podando

9.2.1 Qué se busca con la poda

La poda es una de las técnicas culturales de mayor importancia a realizar en plantaciones destinadas a producir maderas valiosas, ya que de ella depende su calidad, lo que determina el valor y los nichos de mercado en que pueden ser comercializadas.

Cuando el objetivo es producir madera de calidad para obtener un alto valor en el mercado, se debe tener en mente trozas para foliado, la mejor calidad considerada, cuyas dimensiones mínimas actualmente corresponden a 3 m de largo y 40 cm de diámetro.

9.2.2 Técnicas de poda

Para producir madera de calidad es necesario efectuar algún tipo de poda de formación durante los primeros años de una plantación, que puede ser de diferentes tipos. La técnica de poda de formación más apropiada para ser aplicada en esquemas de manejo silvicultura corresponde a la poda de formación progresiva.

Poda de formación progresiva

- Actividades a efectuar en invierno

Esta intervención, ampliamente difundida en Francia y algunas zonas de Italia, consiste en una poda gradual y moderada del individuo para obtener un fuste libre de ramas del largo deseado, que se realiza a partir del primer año después de la plantación, sin disminuir drásticamente la copa (Loewe, 2002).

Esta poda no estresa la planta y da buenos resultados aún en sitios poco favorables. Su objetivo es la obtención de una planta con un eje central único, ramas con disposición horizontal y distribuidas lo más uniformemente posible. La Figura N° 78 presenta un esquema de poda progresiva.



Figura N° 78. Poda progresiva

Fuente: Álvarez *et al.*, 2000

Para ello se deben eliminar las ramas muy vigorosas o gruesas de hasta 3 - 4 cm (Falcioni, *et al.*, 1996). Las ramas que se eliminan deben ser cortadas a ras del tronco, pero sin dañar el anillo situado en el nivel de inserción de la rama, denominado anillo cicatricial (Figura N° 79), que corresponde a un tejido precicatrizado, que impide la entrada de patógenos y la decoloración de la madera (Loewe, 2002). Tampoco se deben dejar muñones por sobre el anillo cicatricial, ya que éstos proporcionan a los patógenos una fuente de alimento.