

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I Ó N
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura

CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA EN
BOSQUE NATIVO Y *Eucalyptus globulus* Labill Y SU RELACIÓN
CON LA PROFUNDIDAD Y EL pH DEL SUELO



MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

CONCEPCIÓN - CHILE

2000

CUANTIFICACIÓN DEL GRADO DE COLONIZACIÓN MICORRÍZICA EN
 BOSQUE NATIVO Y *Eucalyptus globulus* Labill Y SU RELACIÓN
 CON LA PROFUNDIDAD Y EL pH DEL SUELO.

Profesor Asesor



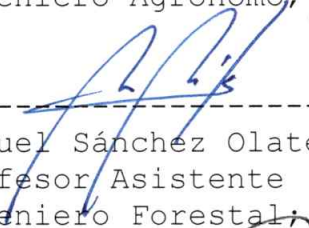
 Pedro Manzanarez Núñez;
 Profesor Asociado
 Ingeniero Agrónomo; M. Sc.

Profesor Asesor



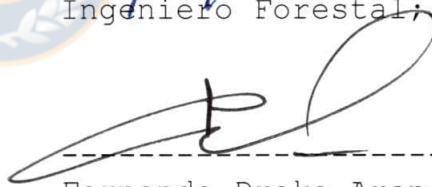
 Gastón González Vargas;
 Profesor Titular
 Ingeniero Agrónomo; M. Sc.

Director Departamento
 Silvicultura



 Manuel Sánchez Olate;
 Profesor Asistente
 Ingeniero Forestal; Dr.

Decano Facultad de Ciencias
 Forestales



 Fernando Drake Aranda;
 Profesor Asociado
 Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de Título

Pedro Manzanarez N.:	90 puntos	(noventa puntos)
Gastón González V.:	90 puntos	(noventa puntos)

AGRADECIMIENTOS

- Quisiera agradecer en primer lugar a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, en especial durante todos aquellos momentos difíciles. En ellos quiero representar a toda mi familia.
- También deseo agradecer la colaboración y dedicación de los profesores Gastón González V. y Pedro Manzanarez N.
- A mis amigos Alejandro Ibáñez, Ricardo Rodríguez, Luis López, Alberto Vásquez, Erich Vera, Bladimir Álvarez, Cristian Oñate, Roberto Ferrada, Cristian Leal y a todos aquellos que hicieron de mi estadía en la Universidad una etapa llena de agradables recuerdos.
- Finalmente quiero agradecer a todo el personal administrativo de la Facultad de Ciencias Forestales, en especial a Luis Castro, Marta Gavilanez, Leonel Jara, Patricia Espinoza, M. Eugenia Avello, Dionisio Cartes, René Martínez y Alejandro Alarcón por esa siempre buena disposición y atención a los alumnos.

"Todo esfuerzo que es perseverado algún día es recompensado"

ÍNDICE DE MATERIAS

CAPÍTULOS	PÁGINA
I	INTRODUCCIÓN..... 1
1.1	Tipos de micorrizas..... 2
1.1.1	Ectomicorrizas..... 2
1.1.2	Endomicorrizas..... 3
1.1.3	Ectoendotróficas..... 4
1.2	Factores que influyen en el porcentaje de micorrización..... 4
1.2.1	pH del suelo..... 4
1.2.2	Profundidad del suelo..... 5
1.2.3	Efecto antrópico..... 5
1.2.4	Nutrientes del suelo..... 5
1.3	Objetivos..... 6
II	METODOLOGÍA..... 7
2.1	Antecedentes Generales..... 7
2.1.1	Ubicación geográfica..... 7
2.1.2	Clima..... 7
2.1.3	Suelo..... 7
2.1.4	Vegetación..... 8
2.1.4.1	Bosque nativo..... 8
2.1.4.2	Eucalipto..... 9
2.2	Selección de los sitios..... 9
2.3	Muestreo de las micorrizas..... 10
2.3.1	Preparación de las muestras..... 10
2.3.2	Cuantificación de las ectomicorrizas..... 11
2.3.3	Preparación de las endomicorrizas..... 12
2.3.3.1	Tinción..... 12
2.3.3.2	Cuantificación de las endomicorrizas..... 13
2.4	pH del suelo..... 15

CAPÍTULO	PÁGINA
2.5	Análisis estadístico..... 15
III	RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 16
3.1	Bosque nativo..... 16
3.1.1	Presencia de micorrización..... 16
3.1.2	Porcentaje de micorrización y profundidad.. 16
3.1.3	Porcentaje de micorrización y pH del suelo. 20
3.2	Eucalipto..... 24
3.2.1	Presencia de micorrización..... 24
3.2.2	Porcentaje de micorrización y profundidad.. 25
3.2.3	Porcentaje de micorrización y pH del suelo. 25
IV	CONCLUSIONES..... 27
V	RESUMEN..... 28
	SUMMARY..... 29
VI	BIBLIOGRAFÍA..... 30
VII	APÉNDICES..... 35
VIII	ANEXOS..... 41



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°		PÁGINA
<u>En el texto</u>		
1	Grado de ectomicorrización en roble a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	17
2	Frecuencia de endomicorrización en peumo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	17
3	Intensidad de endomicorrización en peumo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	18
4	Frecuencia de endomicorrización en boldo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	18
5	Intensidad de endomicorrización en boldo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	19
6	Frecuencia de endomicorrización en lingue a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	19
7	Intensidad de endomicorrización en lingue a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	20

TABLA N°**PÁGINA**

8	Grado de ectomicorrización en eucalipto a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.....	25
---	--	----

En el Apéndice

1 A	Porcentaje de luz exterior que llega al piso del rodal de eucalipto.....	34
2 A	Porcentaje de luz exterior que llega al piso del rodal de bosque nativo.....	35
3 A	Resultados del análisis estadístico.....	39

En el Anexo

1 B	Cantidad de precipitación mensual (mm). Período 1965-1997.....	40
2 B	Temperatura máxima media (°C). Período 1965-1997..	40
3 B	Temperatura media (°C). Período 1965-1997.....	40
4 B	Temperatura mínima media (°C). Período 1965-1997..	41
5 B	Tabla de rodal del bosque nativo.....	46
6 B	Tabla de rodal plantación de eucalipto.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	PÁGINA
<u>En el texto</u>	
1	Grado de ectomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en roble. 21
2	Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en peumo. 21
3	Intensidad de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en peumo. 22
4	Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en boldo. 22
5	Intensidad de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en boldo. 23
6	Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en lingue. 23
7	Intensidad de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en lingue. 24
8	Grado de ectomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en eucalipto..... 26

I INTRODUCCIÓN

Las micorrizas corresponden a una simbiosis mutualista entre hongos y raíces de diversas plantas superiores. Producto de esta asociación se mejora la agregación del suelo (Sutton y Sheppar 1976, Tisdall 1994), se reduce la lixiviación de los nutrientes presentes en el mantillo (McBride 1974, citado por Donoso 1981). Además Pritchett (1991) señala que la simbiosis aumenta la movilización de los nutrientes por medio de la intemperización biológica.

También, se reporta que la planta incrementa la absorción de nutrientes y de agua; se protege contra el ataque de organismos patógenos, mejora su supervivencia en el trasplante, aumenta su tolerancia a altas temperaturas, a tóxicos del suelo y a valores de pH extremos (Swart y Theron 1990, Herrera 1999).

El hongo por su parte recibe carbohidratos, vitaminas y aminoácidos desde el árbol (Ipinza y Granger 1985) y un nicho ecológico protegido de los fenómenos de antagonismo microbiano en la rizósfera (Herrera 1999).

Sin las micorrizas, la mayoría de las especies arbóreas importantes no podrían sobrevivir por mucho tiempo contra la dinámica de las comunidades biológicas fuertemente competitivas que habitan los suelos forestales. Las raíces de la mayor parte de las plantas cultivadas y silvestres están infestadas de hongos micorrízicos (HacsKaylo 1972, Pritchett 1991).

Carrillo et al. (1992) en un estudio de la simbiosis micorrízica en comunidades boscosas del Valle Central del

Sur de Chile encontró que existe simbiosis endomicorrízica en la mayoría de las especies nativas incluyendo lingue y boldo, y ectomicorrízica en los *Nothofagus*, incluyendo al roble, aunque no determinó el grado de colonización micorrízica.

El género *Eucalyptus* forma tanto endomicorrizas vesículo-arbusculares (VA) como ectomicorrizas (Herrera 1999), más aún, ambos tipos de simbiosis pueden estar presentes simultáneamente en el mismo eje radicular, es decir, el hongo endomicorrízico VA coloniza la parte más interna del cortex, en tanto el hongo ectomicorrízico se establece en la epidermis (Chilvers et al. 1987).

1.1 Tipos de micorrizas.

Las micorrizas se clasifican, basándose en su estructura y su morfología, en dos grandes grupos: ectotróficas y endotróficas (Pritchett 1991), aunque también se ha observado una forma intermedia llamada ectoendomicorriza (Ipinza y Granger 1985).

1.1.1 Ectomicorrizas. Las ectomicorrizas se caracterizan porque sus hifas presentan septos y crecen entre las células de la raíz, pero sin penetrar en ellas. Típicamente, una raíz infectada aparece cubierta por un manto de hifas, el cual puede variar desde una apariencia suelta a un tejido tipo parenquimatoso. A partir de este manto se extiende una red de hifas (red de Hartig) hasta las primeras capas de la corteza o, con menos frecuencia, hacia capas más profundas y luego esta red se extiende hacia la endodermis.

Las ramificaciones de hifas que se extienden fuera del manto absorben nutrientes desde el suelo y los conducen hacia la raíz de la planta a través de la red que penetra en la corteza. En la raíz infectada, los pelos radicales no se desarrollan y la raíz presenta una morfología distinta, siendo más corta y ramificada.

La mayoría de los hongos ectomicorrízicos son Basidiomicetes, aunque algunos como las trufas son Ascomicetes (Alexopoulos y Mims 1985, Herrera 1999).

Se ha observado que los hongos ectomicorrízicos se desarrollan en humus moderadamente descompuesto (Read 1991). Están ampliamente distribuidos en la naturaleza y se encuentran en muchas plantas leñosas importantes, incluidos el sauce, roble, haya y también, todos los miembros de las Pináceas (Meyer 1973); aunque tienen una distribución más limitada entre las especies vegetales y una mayor uniformidad morfológica (Pritchett 1991).

1.1.2 Endomicorrizas. El crecimiento de la hifa es intracelular, pudiendo penetrar en los pelos radiculares y otras células epidérmicas y, aún, en las células corticales. En general, no se observa ningún tipo de crecimiento hifal denso sobre la superficie de las raíces. Los hongos pertenecientes al suborden Glomineae forman hinchamientos (vesículas) y ramas diminutas (arbusculos) dentro de las células del huésped (Alexopoulos y Mims 1985, Herrera 1999). Generalmente se asocian a suelos con humus mineral o descompuesto (Read 1991).

Los hongos endomicorrízicos tienen un espectro de huéspedes muy amplio, lo que obliga a catalogarlos como inespecíficos. Pero, sí se registran diferencias en el grado de susceptibilidad del huésped y en la adaptabilidad del hongo a determinadas condiciones, aunque esta cierta especificidad parece depender más de la interacción con un tipo de suelo y condiciones de cultivo que con un hospedador en particular (Herrera 1999). Los hongos endotróficos son normalmente hongos "inferiores", en su mayoría pertenecen a la clase de los Zigomicetes y se pueden encontrar en gran parte de las Angiospermas (Alexopoulos y Mims 1985).

1.1.3 Ectoendotróficas. Esta forma intermedia se caracteriza porque el hongo se desarrolla fuera de las células corticales, pero también penetra para crecer dentro de ellas (Ipinza y Granger 1985).

1.2 Factores que influyen en el porcentaje de micorrización.

1.2.1 pH del suelo. La acidez es un factor edáfico que puede influir en gran medida en la distribución de las micorrizas (Siqueira et al. 1984), desarrollo y función de muchas taxas (Abbot y Robson 1985). Puede tener también un efecto directo o indirecto sobre la germinación de las esporas ya que puede afectar la solubilidad de elementos esenciales y de toxinas, además de incidir en el crecimiento de los tubos de germinación (Harley y Smith 1983, citados por Herrera 1999).

La mayoría de los hongos micorrízicos en especies arbóreas son considerados acidófilos, estimándose que crecen mejor

en suelos con pH 4 a 5 (Hacskaylo 1957, Harley 1959, Tesic 1958, citado por Marx y Tak 1965). Tanto es así que algunos cuerpos fructíferos sólo se formarán en suelos ácidos (Hacskaylo 1957).

1.2.2 Profundidad del suelo. Debido a que en las capas más superficiales se acumulan los restos orgánicos que sirven como fuente de energía para la microflora y fauna del suelo, la actividad biológica disminuye al aumentar la profundidad (Pritchett 1991). Esta opinión se confirma con los resultados obtenidos por Reddell y Malajczuk (1984) en un bosque nativo de *E. marginata* Donn ex Smith en Australia, donde el porcentaje de ectomicorrización disminuyó con la profundidad.

1.2.3 Efecto antrópico. El hombre, con el actual manejo tecnológico del recurso forestal, puede llegar a alterar la casi totalidad de los ecosistemas terrestres. Se ha encontrado que los hongos micorrízicos abundan en suelos no perturbados, pero estos propágulos se pueden perder después de perturbaciones mecánicas o por medio de la eliminación de la vegetación (Harley 1959, Jasper et al. 1989).

1.2.4 Nutrientes del suelo. Lo normal en los ecosistemas no es solamente que las plantas presenten la condición de micorrizables, sino que estén extensamente colonizadas, particularmente si se encuentran en suelos con bajos niveles nutricionales (Harley y Smith 1983, citados por Herrera 1999). Generalmente la colonización de plantas por hongos micorrízicos disminuye cuando se incrementa la fertilidad del suelo (Hacskaylo 1972, Marx et al. 1977, Azcon-Aguilar y Barea 1980, Ocampo 1980).

1.3 Objetivos.

Los objetivos de esta memoria son:

- Cuantificar el grado de colonización micorrízica en un rodal de bosque nativo en las especies: *Nothofagus obliqua* (Mirbel) Oerst (roble), *Cryptocaria alba* (Mol.) (peumo), *Peumus boldus* Mol. (boldo), *Persea lingue* (R. et P.) Nees (lingue) y en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill.
- Relacionar el grado de colonización micorrízica, de estas 5 especies, con la profundidad y el pH del suelo.



II METODOLOGÍA

2.1 ANTECEDENTES GENERALES.

2.1.1 Ubicación geográfica. El predio en estudio se ubica en la VIII Región, Provincia de Concepción, Comuna de Concepción, en los 36°50' de Latitud y 73°03' de Longitud.

2.1.2 Clima. El área de estudio se encuentra en una zona de clima templado cálido, correspondiente a la Cordillera de la Costa, con una amplitud térmica moderada.

La pluviometría media anual (promedio de 32 años) es de 1197,9 mm, con la siguiente distribución estacional: Otoño 28%, Invierno 51%, Primavera 16% y Verano 6%.

Las temperaturas medias (promedio de 32 años) son: 12,1 °C anual; 16,4 °C en Enero y 8,6°C en Julio (Estación Experimental Bellavista). Dado que ocupa valles costeros la influencia oceánica se manifiesta por una atenuación de las condiciones térmicas.

Información más detallada de las condiciones climáticas del área de estudio se presentan en el Anexo I. En el Apéndice I se muestra la relación de intensidad lumínica a nivel del suelo respecto a la que llega a campo abierto.

2.1.3 Suelo. En el área de estudio se presenta la serie de suelo San Esteban (Sub-orden Xeralfs). Se trata de un suelo de origen intrusivo, rico en cuarzo, granítico a diorita cuarzosa. Es un suelo de textura arcillosa, de superficie rocosa con comienzo de sedimentación. Estos suelos han experimentado una fuerte erosión laminar y de

cárcavas, causada por intensas lluvias invernales, fuerte pendiente, deforestación y baja infiltración. Sus perfiles son profundos (salvo en las laderas de las quebradas), son muy plásticos y adhesivos en húmedo, duros y compactos en seco. El drenaje externo es rápido y el interno es medio.

El principal factor limitante que tienen estos suelos es la pendiente que junto con las características texturales los hacen muy susceptibles a una erosión intensa. (Carrasco et al. 1993). En el Anexo II se presenta una descripción detallada de la serie San Esteban.

La capacidad de uso del sitio es VII. La pendiente del área de estudio es de 44.5 %. La profundidad efectiva oscila entre 50-90 cm (observaciones hechas en el área de estudio por el autor).

Un análisis en detalle de la materia orgánica en los horizontes L, F y H, así como de algunas propiedades químicas locales (pH, CIC, Ca, Mg, entre otras) se puede encontrar, respectivamente, en las Memorias de Título de Vera (2000) y Álvarez (2000), quienes trabajaron junto al autor en la misma área de estudio.

2.1.4 Vegetación.

2.1.4.1 Bosque Nativo. El rodal de bosque nativo es de transición de esclerófilo a siempreverde, con presencia de *Nothofagus spp.* En el rodal de bosque nativo se analizó: *Nothofagus obliqua* (Mirbel) Oerst (roble), *Cryptocaria alba* (Mol.) (peumo), *Peumus boldus* Mol. (boldo) y *Persea lingue* (R. et P.) Nees (lingue). En el rodal además se encontró: *Aextoxicum punctatum* R. et Pav. (olivillo) *Drimys winterii*

J. R. et G. Foster (canelo), *Gevuina avellana* Mol. (avellano), *Lomatia dentata* (R. et P.) R. Br. (avellanillo), *Luma apiculata* (Dc.) Burret (arrayán), *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz (maqui), *Lithraea caustica* (Mol.) H. et Arn. (litre), *Lapageria rosea* R. et P. (copihue), *Teline montpessulana* (L.) C. Koch. Sublan (retamilla) y *Chusquea quila* Kunt (Quila). Con ayuda del libro Flora Silvestre de Chile, Zona Central de Hoffman, (1982) se lograron distinguir las siguientes especies: *Lobelia tupa* L. (Tupa), *Baccharis elaeoides* Remy tribu Astérea (vauetro), *Calceolaria integrifolia* Murr (argenita) y *Herreria stellata* R. et P. (zarza).

2.1.4.2 Eucalipto. La vegetación acompañante en el rodal de eucalipto comprende a *Teline montpessulana* (retamilla) y *Rubus ulmifolius* (zarzamora). El sotobosque es muy denso en esta plantación y dificulta el acceso (situación verificada entre los meses de Mayo y Agosto de 1998). En el Anexo III se describe más detalladamente de los rodales estudiados.

2.2 Selección de los sitios.

La selección de los sitios de estudio se hizo en sectores con pendiente, exposición, posición y rango de edad similares, con el propósito de aislar los efectos que pudieran existir sobre las variables analizadas.

Para el caso de la exposición se consideró un rango de variación de 30° con respecto al punto cardinal. En ambos rodales se consideró la posición media del cerro debido a que esta posición no presenta el problema de depósito de materiales.

2.3 Muestreo de las micorrizas.

Para la extracción de las muestras de suelos se utilizó un barreno de cilindro, que permitió obtener un volumen de alrededor de 500 cm³.

Se seleccionaron 5 árboles aleatoriamente para cada especie en cada rodal, excluyendo a los árboles que se encontraron en el límite de los rodales. Luego, a una distancia de 0,5 m del fuste del árbol y para los efectos de variabilidad espacial de las raíces se extrajo una muestra de suelo entre 0-15 cm y otra entre 15 - 30 cm en cada uno de los cuatro puntos cardinales, totalizando 400 muestras, según la siguiente relación:

$$\text{Rodal} \times \text{Especie} \times \text{N}^\circ \text{arb/esp.} \times \text{Pto. Cardinal} \times \text{Prof.} = \text{N}^\circ \text{de muestras}$$

$$2 \times 5 \times 5 \times 4 \times 2 = 400$$

Las muestras fueron almacenadas en bolsas de polietileno y luego se sometieron a refrigeración hasta su análisis, según procedimiento utilizado por Iturra (1998).

2.3.1 Preparación de las muestras. Cada muestra de suelo fue retirada de la refrigeración y puesta en un recipiente de 5.000 cm³ con agua, durante 2 horas. Posteriormente se realizó una ligera agitación para que las raíces queden suspendidas en la fase líquida y poder colectarlas a través de un colador de aluminio con una malla de 4 mm². Las raíces así obtenidas fueron inmersas nuevamente en agua. Para este efecto se usó una bandeja de color rosado de 780 cm² y de una profundidad de 3,5 cm. Esta operación permitió la separación de la totalidad de las raíces del material de suelo.

2.3.2 Cuantificación de las ectomicorrizas. Una vez aisladas las raíces, con la ayuda de pinzas y lupa (10X) se procedió a medir la longitud de las raíces que presentaban características evidentes de asociación ectomicorrízica, como son: raicillas monopódicas, bifurcadas, raíces secundarias coraloides y raíces secundarias con un manto fungoso evidente.

A las raíces que presentaron asociación se les contó la totalidad de ectomicorrizas presentes. Aquellas raicillas que no presentaron asociación ectomicorrízica fueron también consideradas para el conteo total de raicillas presentes en cada ecosistema radicular. La determinación del grado de ectomicorrización de las muestras se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$GE = \frac{LRE}{LTR} * 100 \quad (\text{Iturra, 1998})$$

Donde:

GE : Grado de ectomicorrización (ó % de infección)

LRE: Longitud de raíces con evidente asociación ectomicorrízica.

LTR: Longitud total de raíces.

Una vez cuantificado el grado de ectomicorrización las muestras fueron depositadas en frascos de vidrio transparente de 10 ml, provistos de tapa de goma. Luego, se agregó F.A.A. hasta cubrir las raíces, a fin de fijar las muestras para el posterior análisis endomicorrízico. La combinación del F.A.A. consistió de 100 ml de etanol 96%; 6,5 ml de formaldehído y 2,5 ml de ácido acético glacial.

2.3.3 Preparación de las endomicorrizas. Debido a que las micorrizas de tipo arbuscular no son visibles a simple vista, se realizó un proceso de preparación y tinción selectiva (Ocampo 1999).

Se extrajo las raíces desde el F.A.A. en que estaban inmersas y se lavaron tres veces con agua de llave. Posteriormente se cortaron en segmentos de 1-2 cm. Luego, se introdujeron en vasos precipitado de 100 ml con la ayuda de un colador de 2 mm², (manteniendo la rotulación) y se les agregó una solución de KOH 10%. Se dejó estar así durante aproximadamente 8 horas, con el fin de facilitar la posterior penetración de la tinción.

Finalizada la aplicación del KOH 10%, las raíces fueron nuevamente lavadas, luego a los frascos se les agregó peróxido de hidrógeno de 20 volúmenes, enseguida éstos se pusieron a temperatura ambiente durante toda la noche (aproximadamente 8 horas) o hasta lograr un adecuado blanqueo de las raíces. A continuación, las raíces se lavaron con agua de llave y antes de la aplicación de la tinción se agregó una solución de ácido clorhídrico 0,1 N durante 3 a 5 minutos. Se eliminó el HCl 0,1N reteniendo las raíces con un colador, sin lavarlas con agua. Enseguida, se volvieron a poner en los frascos (Torres 1990, Ocampo 1999, ⁽¹⁾).

2.3.3.1 Tinción. La tinción se realizó con azul tripán al 0,05% en ácido láctico a temperatura ambiente durante

(1) González, G. 1999. Comunicación personal.

toda la noche (aproximadamente 8 horas). Luego, las raíces se lavaron con agua de llave a fin de arrastrar las partículas de azul tripán que no hubieran tomado en el tejido. Enseguida, se agregó ácido láctico 20% a fin de poder conservar las muestras para su posterior medición (Ocampo 1999).

2.3.3.2 Cuantificación de las endomicorrizas. Ésta se hizo mediante el método del portaobjeto, que consistió en una selección al azar de segmentos de raíces de un centímetro de longitud, los que se dispusieron en grupos de a 10 sobre un portaobjeto a fin de ser observados en el microscopio (32 a 400X). De esta forma se pudo distinguir a las estructuras características del hongo, por el color y morfología, es decir, arbúsculos u órganos de intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta, vesículas que son estructuras de reserva de nutrientes del hongo y micelio (Ocampo 1999).

El porcentaje de raíces colonizadas se estima en función de lo observado a través del recorrido de los segmentos de raíces y corresponde a una apreciación del número de raíces infectadas, en relación con la cantidad de raíces susceptibles de ser colonizadas. Usualmente los resultados se expresan en clases de infección, cada una de las cuales comprende un amplio rango.

La clasificación utilizada por el USDA Forest Service considera los siguientes rangos: clase UNO: 0-5% de infección; clase DOS: 6-25 % de infección; clase TRES: 26-50 % de infección; clase CUATRO: 51-75 % de infección y clase CINCO: 76-100 % de infección.

Para el manejo estadístico de los datos obtenidos con esta clasificación es necesario estimar la frecuencia e intensidad de endomicorrización, conforme a las fórmulas:

$$\text{Frecuencia} = \frac{100(n - n^{\circ})}{n}$$

donde - n : número total de segmentos observados en el portaobjeto (n=10)

- n°: número de segmentos observados sin micorrización

$$\text{Intensidad} = \frac{2.5 * C1 + 14.5 * C2 + 38 * C3 + 63 * C4 + 87 * C5}{n}$$

donde - C1, C2, C3, C4 y C5 son las Clases de infección definidas por el USDA Forest Service.

- 2.5, 14.5, 38, 63 y 87 corresponden al factor a utilizar en el cálculo de la intensidad, obtenidos de la media aritmética de cada clase (C1, C2...C5) anteriormente indicada.

Es decir, la frecuencia determina el porcentaje de presencia o ausencia de endomicorrización y la intensidad determina el porcentaje de infección de solamente las muestras con presencia de endomicorrización.

2.4 pH del suelo.

El pH al agua se midió en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción y para ello se utilizó una relación suelo-agua de 1:2,5. La medición se realizó usando un potenciómetro dotado con electrodos de vidrio y calomenano como referencia. Con el propósito de relacionarlas con el porcentaje de micorrización se determinó el pH a cada una

de las muestras de suelo en que se obtuvo el porcentaje de micorrización. Para ambos rodales, B. nativo y plantación de eucalipto, esta medición se realizó en los tres primeros árboles que aparecen en las Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del capítulo de resultados y discusión.

2.5 Análisis estadístico

Para estimar la existencia de diferencia significativa entre porcentaje de micorrización y la profundidad, se utilizó la "Prueba t de dos muestras" y la "Prueba de Smith-Satterthwaite".

Las curvas de regresión polinomiales de 2° orden, los coeficientes de correlación entre los valores de pH y los porcentajes de micorrización fueron obtenidos mediante la opción Graficar del programa Microsoft Excel'97 versión 5.0 en WINDOWS'95. Más detalle del procedimiento estadístico se presentan en el Apéndice II.

III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Bosque Nativo.

3.1.1 Presencia de micorrización. Los resultados obtenidos indican presencia solamente de ectomicorrizas en roble (Tabla 1) y solamente endomicorrizas en peumo, boldo y lingue (Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

La presencia de ectomicorrizas en roble ha sido también registrada por Carrillo et al. (1992) y Godoy et al. (1994). En general, es muy común observar ectomicorrizas en *Nothofagus*.

Aunque a Peumo no se le ha cuantificado la presencia de micorrización, se puede decir que coincide con la tendencia general observada en bosque nativo chileno de presentar endomicorrizas (Carrillo et al. 1992, Godoy et al. 1994).

La presencia de endomicorrizas en boldo y lingue es concordante con los estudios realizados por Godoy et al. (1994) y Carrillo et al. (1992).

3.1.2 Porcentaje de micorrización y profundidad. En todas las especies analizadas se observó que el porcentaje promedio (5 árboles) de micorrización fue mayor en la profundidad de 0-15 cm que en la de 15-30 cm, tanto para la frecuencia como para la intensidad de endomicorrización (Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Esto probablemente debido a que existe una menor actividad biológica a mayor profundidad (Donoso 1981, Pritchett 1991). En todas las especies analizadas existió diferencia significativa (ver Apéndice II).

TABLA 1. Grado de ectomicorrización en roble a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

Grado de ectomicorrización en roble (%)										
Profundidad 1(0-15cm)						Profundidad 2 (15-30cm)				
Orientación						Orientación				
Nº de árbol	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media
Árbol 1	47	45	46	47	46	44	44	45	45	44
Árbol 2	47	46	46	45	46	45	46	45	45	45
Árbol 3	45	46	45	46	45	46	45	45	45	45
Árbol 4	49	48	45	46	47	45	41	40	40	42
Árbol 5	42	46	45	45	45	40	36	35	35	37
	Media Prof. 1 = 46					Media Prof. 2 = 43				

TABLA 2. Frecuencia de endomicorrización en peumo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

Frecuencia de endomicorrización en peumo (%)										
Profundidad 1(0-15cm)						Profundidad 2 (15-30cm)				
Orientación						Orientación				
Nº de árbol	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media
Árbol 1	53	48	52	51	51	46	44	51	49	47
Árbol 2	51	49	50	49	50	49	47	49	48	48
Árbol 3	52	53	52	54	53	50	47	47	46	48
Árbol 4	49	47	48	47	48	48	45	45	44	46
Árbol 5	50	51	50	52	51	46	43	43	42	44
	Media Prof. 1 = 50					Media Prof. 2 = 46				

TABLA 3. Intensidad de endomicorrización en peumo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

Nº de árbol	Intensidad de endomicorrización en peumo (%)											
	Profundidad 1(0-15cm)					Profundidad 2 (15-30cm)						
	Orientación					Orientación						
	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media		
Árbol 1	42	34	41	40	39	30	26	35	31	30		
Árbol 2	38	37	35	33	36	34	30	33	34	33		
Árbol 3	32	38	38	35	36	36	35	29	30	32		
Árbol 4	34	37	37	34	35	37	32	30	29	32		
Árbol 5	35	36	38	33	35	38	31	31	28	32		
	Media Prof. 1 =					36	Media Prof. 2 =					32

TABLA 4. Frecuencia de endomicorrización en boldo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

Nº de árbol	Frecuencia de endomicorrización en boldo (%)											
	Profundidad 1(0-15cm)					Profundidad 2 (15-30cm)						
	Orientación					Orientación						
	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media		
Árbol 1	63	53	59	59	58	51	46	54	51	51		
Árbol 2	60	54	54	51	55	51	57	52	49	52		
Árbol 3	50	54	53	58	54	55	50	50	51	51		
Árbol 4	57	65	60	64	62	56	56	60	56	57		
Árbol 5	55	63	58	62	60	54	54	58	54	55		
	Media Prof. 1 =					58	Media Prof. 2 =					53

TABLA 5. Intensidad de endomicorrización en boldo a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

N° de árbol	Intensidad de endomicorrización en boldo (%)									
	Profundidad 1(0-15cm)					Profundidad 2 (15-30cm)				
	Orientación					Orientación				
	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media
Árbol 1	46	34	40	43	41	30	26	33	30	30
Árbol 2	43	38	37	35	38	29	35	30	27	30
Árbol 3	38	35	36	41	37	34	27	28	29	29
Árbol 4	39	35	38	40	38	35	34	30	28	32
Árbol 5	40	34	39	39	38	37	28	32	28	31
	Media Prof. 1 = 38					Media Prof. 2 = 30				

TABLA 6. Frecuencia de endomicorrización en lingue a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

N° de árbol	Frecuencia de endomicorrización en lingue (%)									
	Profundidad 1(0-15cm)					Profundidad 2 (15-30cm)				
	Orientación					Orientación				
	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media
Árbol 1	53	50	55	54	53	45	44	46	48	46
Árbol 2	54	51	53	50	52	47	50	47	45	47
Árbol 3	51	52	51	50	51	48	47	47	46	47
Árbol 4	52	53	52	51	52	49	48	48	47	48
Árbol 5	53	54	53	52	53	50	49	49	48	49
	Media Prof. 1 = 52					Media Prof. 2 = 47				

TABLA 7. Intensidad de endomicorrización en lingue a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

Intensidad de endomicorrización en lingue (%)										
Profundidad 1(0-15cm)						Profundidad 2 (15-30cm)				
Orientación						Orientación				
Nº de árbol	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media
Árbol 1	39	37	41	40	39	31	30	32	34	32
Árbol 2	39	39	40	38	39	33	37	34	32	34
Árbol 3	38	39	39	38	39	35	34	34	33	34
Árbol 4	40	36	42	39	39	34	31	35	31	33
Árbol 5	40	38	41	37	39	36	33	35	33	34
Media Prof. 1 =					39	Media Prof. 2 =				33

3.1.3 Porcentaje de micorrización y pH del suelo. En todas las especies analizadas el porcentaje de micorrización promedio (3 árboles analizados) tendió a disminuir a medida que aumentaba el pH, (Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) coincidiendo con los resultados de Hacksaylo (1957), Tesic (1958), citado por Marx y Tak (1965), Harley (1959), Abbot y Robson (1985) e Iturra (1998).

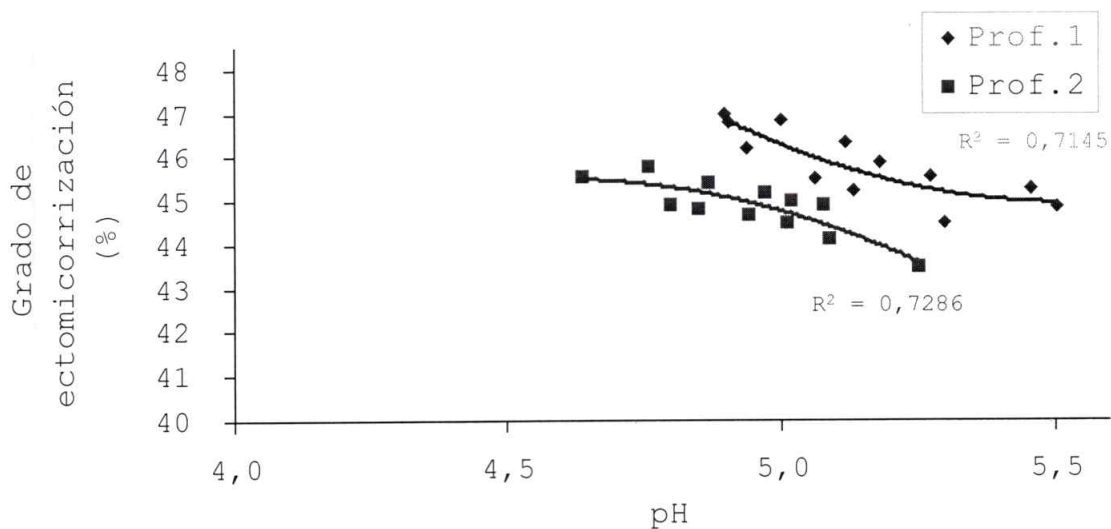


Figura 1. Grado de ectomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en roble.

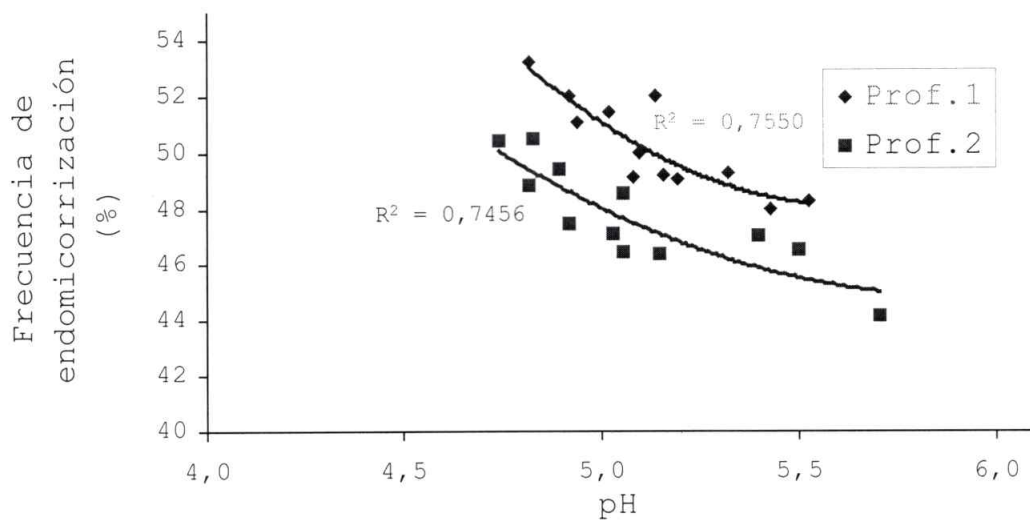


Figura 2. Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en peumo.

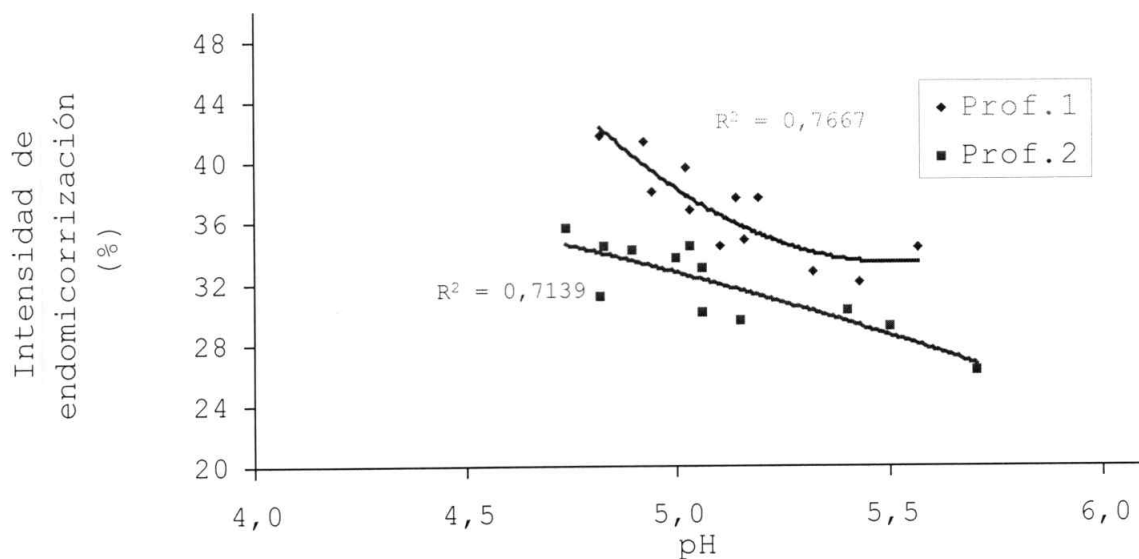


Figura 3. Intensidad de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en peumo.

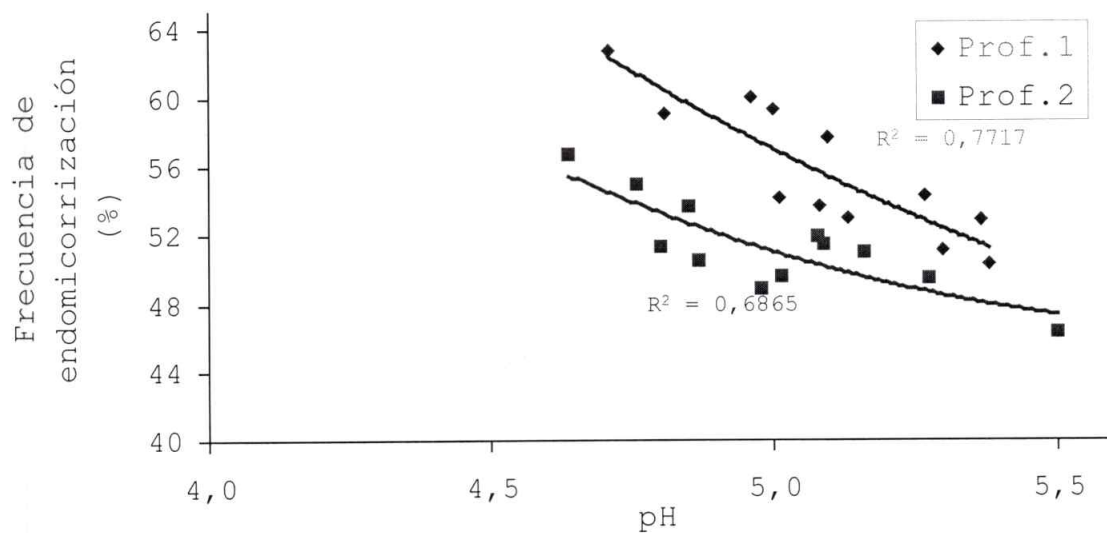


Figura 4. Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en boldo.

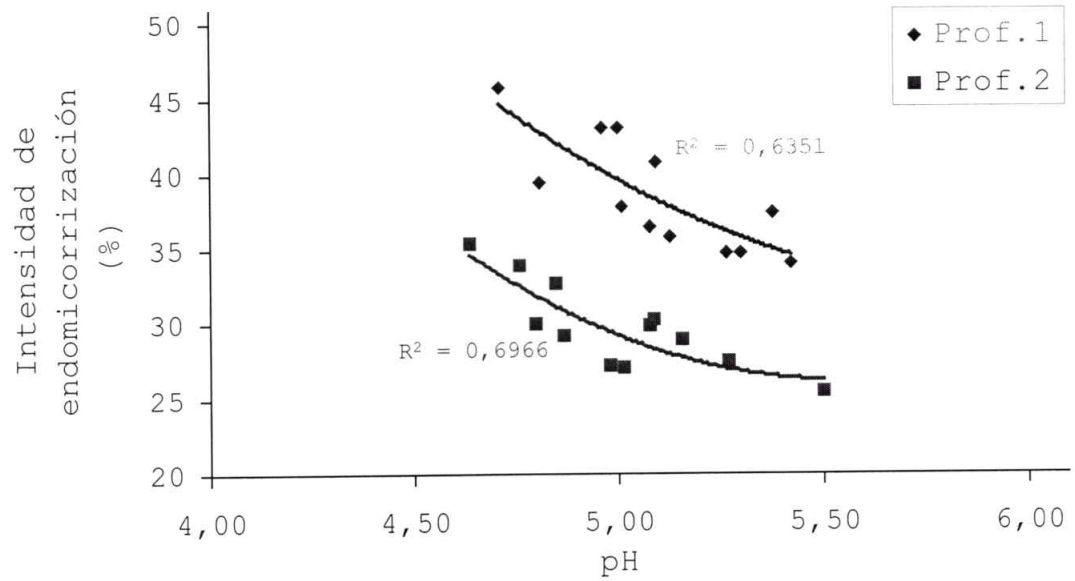


Figura 5. Intensidad de endomicorrización a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en boldo.

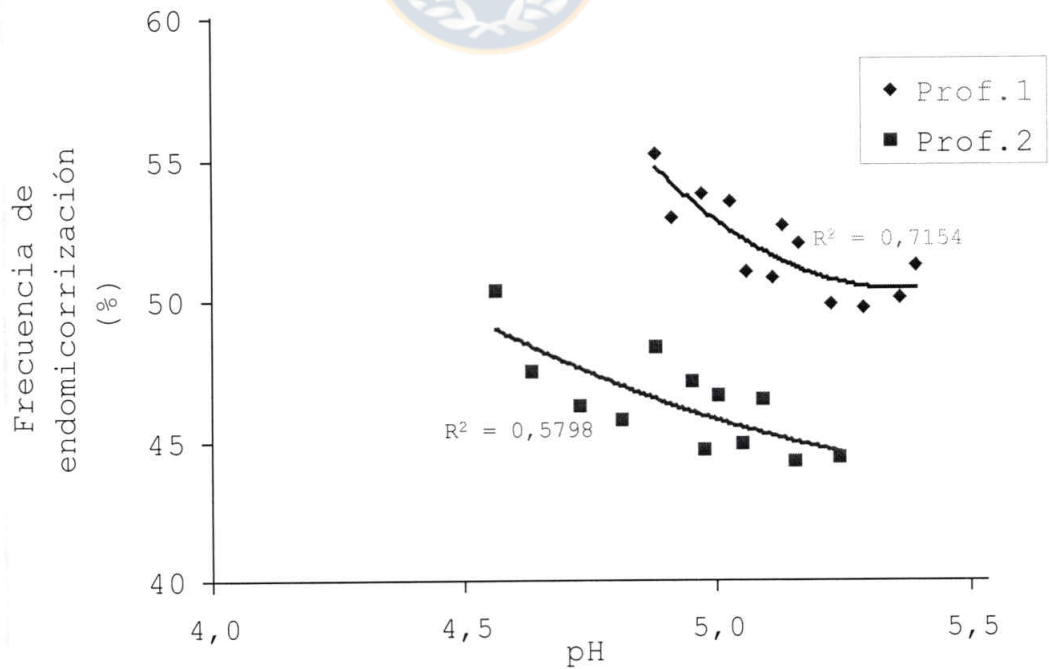


Figura 6. Frecuencia de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en lingue.

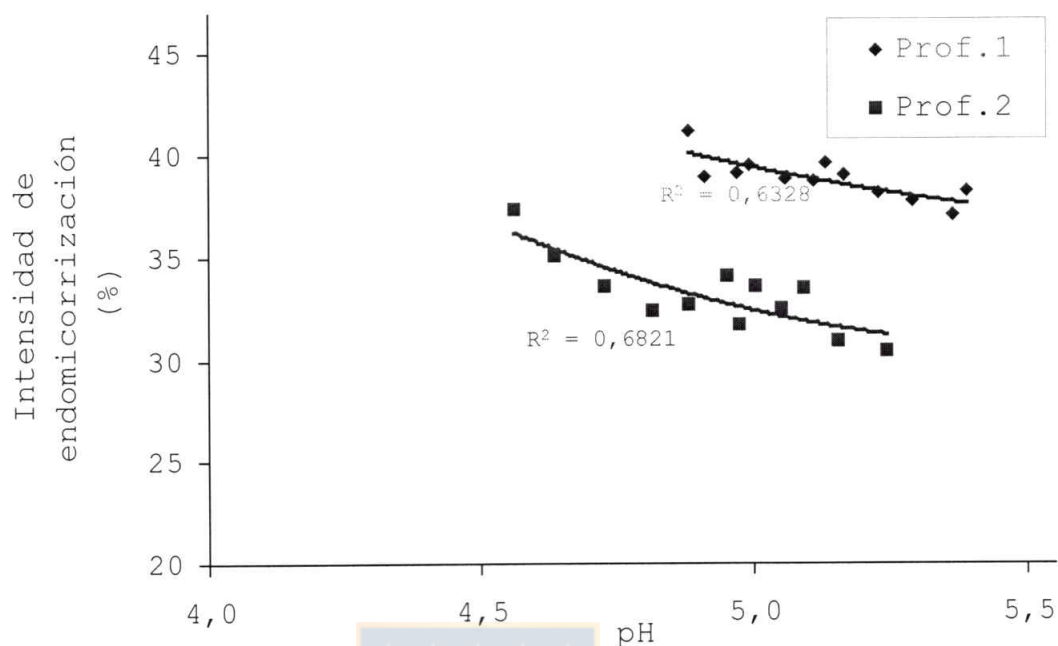


Figura 7. Intensidad de endomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en lingüe.

3.2 Eucalipto.

3.2.1 Presencia de micorrización. Los resultados indican que sólo se encontró presencia de ectomicorrizas (Tabla 8). Pese a que algunos autores han encontrado endomicorrizas en algunas especies de *Eucalyptus*, y que este tipo de micorrización se manifiesta en los primeros años de desarrollo (Chilvers y Pryors 1965, Harley 1959), muchos autores han registrado ectomicorrizas en varios estados de desarrollo (Ashton 1976, Warcup 1980, Malajczuk y Hingston 1981, Malajczuk y Cromack 1982, Reddell y Malajczuk 1984, Chilvers et al. 1987), por lo que la presencia de ectomicorrizas encontrada en el rodal en estudio (de 14 años de edad) es un antecedente más de la existencia de este tipo de micorrización.

TABLA 8. Grado de ectomicorrización en eucalipto a profundidades 1 y 2 orientadas de acuerdo a los puntos cardinales.

N°de árbol	Grado de ectomicorrización en eucalipto(%)											
	Profundidad 1 (0- 15cm)					Profundidad 2 (15- 30cm)						
	Orientación					Orientación						
	N	S	E	O	Media	N	S	E	O	Media		
Árbol 1	48	59	43	47	49	39	42	37	48	42		
Árbol 2	48	45	39	55	47	38	40	38	42	40		
Árbol 3	49	51	41	53	48	46	38	37	44	41		
Árbol 4	41	42	46	45	44	40	38	39	36	38		
Árbol 5	50	45	45	52	48	43	35	42	42	41		
	Media Prof. 1 =					47	Media Prof. 2 =					40

3.2.2 Porcentaje de micorrización y profundidad. Al igual que en las especies de bosque nativo analizadas, también existió diferencia significativa entre el grado de micorrización promedio (5 árboles) y la profundidad, es decir, con un promedio de 47% en la profundidad 1 (0-15 cm) y de 40% en la profundidad 2 (15-30 cm). Ver Apéndice II. Esta disminución es coincidente con los resultados obtenidos por Reddell y Malajczuk (1984) y se puede explicar por la disminución de la actividad biológica a mayor profundidad (Donoso 1981, Pritchett 1991).

3.2.3 Porcentaje de micorrización y pH del suelo. En este estudio se encontró que el grado de micorrización promedio (3 árboles) disminuyó al aumentar el pH (Figura 8). Este resultado coincide con lo expresado por varios otros autores respecto de otras especies, en sentido a que el porcentaje de micorrización disminuye con el aumento del pH (Hacksaylo 1957, Harley 1959, Tesic 1958, citado por Menge et al. 1978).

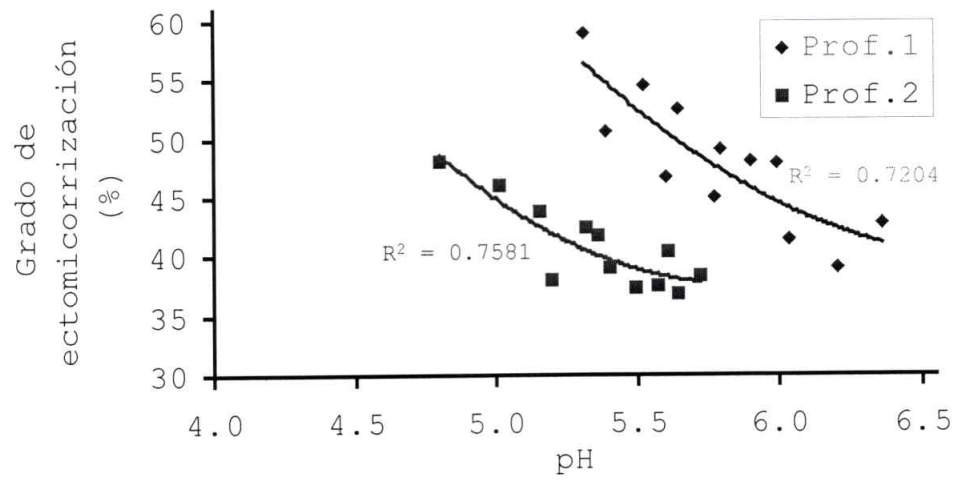


Figura 8. Grado de ectomicorrización versus pH a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm) en eucalipto.



IV CONCLUSIONES

- En el rodal de bosque nativo presentaron endomicorrizas y no ectomicorrizas *Cryptocaria alba* (Mol.) (peumo), *Peumus boldus* Mol. (boldo) y *Persea lingue* (R. Et P.) Nees (lingue). En cambio *Nothofagus obliqua* (Mirbel) Oerst (roble) sólo presentó ectomicorrizas.
- A *Eucalyptus globulus* Labill se le observó ectomicorrizas y no endomicorrizas.
- El grado de colonización micorrízica fue mayor en la profundidad de 0-15 cm que en la profundidad de 15-30 cm en todas las especies analizadas. Además, estas diferencias fueron estadísticamente significativas.
- El grado de colonización micorrízica tendió a disminuir al aumentar la reacción de suelo en todas las especies analizadas, tanto en bosque nativo como en eucalipto.

V RESUMEN

Se cuantificó el grado de colonización micorrízica en un rodal de bosque nativo y en una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill y se relacionó con la profundidad y el pH del suelo. Ambos rodales se encuentran sobre un suelo de la serie San Esteban (Xeralfs) en las cercanías de la Universidad de Concepción, Chile (36°50' de Latitud y 73°03' de Longitud).

A las cinco especies analizadas (*Nothofagus obliqua*, *Cryptocaria alba*, *Peumus boldus*, *Persea lingue*, en el rodal de bosque nativo, y *Eucalyptus globulus* en el rodal plantado) se les cuantificó el grado de ectomicorrización (%), la frecuencia (%) y la intensidad (%) de endomicorrización a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm). Para el pH al agua se utilizó la relación suelo agua 1:2,5.

N. obliqua y *E. globulus* presentaron sólo ectomicorrizas. En cambio, a *C. alba*, *P. boldus* y *P. lingue* se les observó endomicorrizas y no ectomicorrizas. Todas las especies analizadas presentaron un porcentaje de micorrización mayor en la profundidad de 0-15 cm que en la profundidad de 15-30 cm. Este porcentaje tendió a disminuir a medida que aumentó el pH, tanto para las especies del rodal de bosque nativo como para la plantación de eucalipto.

V SUMMARY

The degree of mycorrhizal colonization was evaluated in a stand of native forest and *Eucalyptus globulus* Labill plantation and was related to depth and soil pH. Both stand were around Concepción University of Chile, growing on a Xeralfs (San Esteban Serie) soil (36°50' La and 73°03' Lo).

To all five species (*Nothofagus obliqua*, *Cryptocaria alba*, *Peumus boldus*, *Persea lingue* in the stand of native forest, and *Eucalyptus globulus* in the plantation) the degree (%) of ectomycorrhizal colonization was assessed and the frequency (%) and intensity (%) of endomycorrhizal colonization to two depth (0-15 cm and 15-30 cm) was quantified. To the pH H₂O was used the relation soil-water 1:2,5.

N. obliqua and *E. globulus* only show ectomycorrhizas, but did not show endomycorrhizas. On the other hand, *C. alba*, *P. boldus* and *P. lingue* presented endomycorrhizas, but did not show ectomycorrhizas.

All analysed species show higher percentage of mycorrhization in the depth of 0-15 cm than depth of 15-30 cm. This percentage tended to decrease according as pH increased.

VI BIBLIOGRAFÍA

1. Abbot, L. y Robson, A. 1985. The effect of soil pH on the formation of VA micorrizas by two species of *Glomus*. *Aust. J. Soil. Res.* 23: 253-261.
2. Alexopoulos, C. J. y Mims, C. W. 1985. *Introducción a la Micología*. Editorial Omega, S.A. pp.458.
3. Álvarez. B. 2000. Efecto de tres cubiertas arbóreas sobre algunas propiedades químicas de un suelo granítico en la Provincia de Concepción. Memoria de Título Universidad de Concepción. Chile.
4. Ashton, D. 1976. Studies on the mycorrhizal of *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Australian Journal of Botany*. 24: 723-741.
5. Azcón-Aguilar, C y Barea, J. M. 1980. Micorrizas. *Investigación y ciencia*. 47:8-16.
6. Carrasco, P.; Millán, J. y Peña, L. 1993. Suelos de la Cuenca del río Bío-Bío, características y problemas de uso. Grupo Editor EULA.
7. Carrillo, R.; Godoy, R. y Peredo, H. 1992. Simbiosis micorrízica en comunidades boscosas del Valle Central en el sur de Chile. *Bosque* 13(2):57-67.
8. Chilvers, G. y Pryor, L. 1965. The structure of Eucalypt micorrizas. *Australian Journal of Botany*. Vol. 13 N° 2.
9. Chilvers, G.; Lapeyrie, F.; Horan, D. 1987. Ectomycorrhizal vs endomycorrhizal fungi within the same root system. *The New Phytologist* 107:441-448.
10. Donoso, C. 1981. *Ecología Forestal*. El bosque y su medio ambiente. Valdivia. Editorial Universitaria. Tercera edición. Universidad Austral de Chile.
11. Gatherum, G. E. 1961. Variation in measurement of light intensity under forest canopies. *Forest Science* 7:144-145.

12. Giltrap, N y Lewis, D. 1981 Inhibition of growth of ectomycorrhizal fungi in culture by phosphate. *The New Phytologist*. 87:669-675.
13. Godoy, R.; Romero, R. y Carrillo, R. 1994. Estatus micotrófico de la flora vascular en bosques de coníferas nativas dl sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 67:209-220.
14. Hacskaylo, E. 1957. Pure culture synthesis of pine mycorrhizae in Terra-lite. *Mycología* 45:971-975.
15. Hacskaylo, E. 1972. The physiology of mycorrhiza. *Bioscience* 22:577-582.
16. Harley, J. 1959. The biology of mycorrhiza. *Plant Science Monograph*. London.
17. Herrera, M. A. 1999. Primer Curso Internacional sobre simbiosis radicales: micorrizas. Escuela de Graduados. Universidad de Concepción. Chile.
18. Hoffman, A. 1982. *Flora Silvestre de Chile*. Zona Central. Ediciones Fundación Claudio Gay.
19. Ipinza, C. y Granger, M. 1985. Micorrización artificial en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de 1 a 2 años en la VII Región. Fondo de Investigación Agropecuaria. Ministerio de Agricultura. Chile pp. 187.
20. Iturra, A. 1998. Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* de diferentes edades en la reacción del suelo y su impacto en las poblaciones de micorrizas. Memoria de título para Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción.
21. Jasper, D. A.; Abbot, L. K. y Robson, A. D. 1989. Hyphae of VA mycorrhizal fungus maintain infectivity in a dry soil, except when the soil is disturbed. *The New Phytologist*. 112:101-107.
22. Johnson, R. A. 1994. Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund. Editorial GRAFIK, S.A.
23. Malajczuk, N. y Hingston, F. 1981. Ectomycorrhizae associated with Jarrah. *Australian Journal of Botany*. 29: 453-462.

24. Marx, D. y Tak, B. 1965. Effect of pH on mycorrhizal formation of Slash pine in aseptic culture. *Forest Science*. 11(1): 65-74.
25. Marx, D.; Hatch, A y Mendicino, J. 1977. High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. *Canadian Journal of Botany*. 48:207-211.
26. Menge, J., Johnson, E. Y Platt, R. 1978. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrients regimens. *The New Phytologist*. 81:553-559.
27. Meyer, F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forest. Their Ecology and Physiology. Academic Press, New York.
28. Ocampo, J. A. 1980. Micorrizas VA. III. Ecología. *Anales de edafología y agrobiología*. Tomo XXXIX:1071-1078.
29. Ocampo, J. A. 1999. Primer Curso Internacional sobre simbiosis radicales: micorrizas. Escuela de Graduados. U. de concepción. Chile.
30. Pritchett, W. L. 1991. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México.
31. Read, D. 1991. Nature's response to the "Law of the Minimum". *Mycorrhizas in ecosystem*. CAB International.
32. Reddell, P. y Malajczuk, N. 1984. Formation of mycorrhizae by Jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Smith) in Litter and Soil. *Australian Journal of Botany* 32:511-520.
33. Siqueira, J. O.; D. H. Hubbell y A. W. Mahmud. 1984. Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by VA mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*. 76:115-124.
34. Sutton, J. y Sheppard, B. 1976. Aggregation of sand dune by endomycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Botany*. 54:326-333.

35. Swart, W. J. y Theron, J. M. 1990. Future needs of mycorrhizal research in South African Forestry. Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif. 153:31-33
36. Tisdall, J. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil. 159:115-121.
37. Torres, J. M. 1990. Determinación e identificación de micorrizas vesículo arbusculares (MVA) en plantas leñosas de vivero de especies de interés para la forestación de zonas áridas. Memoria de título para Ingeniero Forestal U. de Chile.
38. Vera, E. 2000. Influencia de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* en la dinámica de formación y desarrollo del horizonte orgánico en un suelo granítico de la VIII región. Memoria de Título Universidad de Concepción Chile.
39. Warcup, J. 1980. ★ Ectomycorrhizal association of Australian indigenous plants. The New Phytologist. 85:531-535.



VI APÉNDICES

APÉNDICE I. Medición del porcentaje de luz exterior que llega al piso del rodal.

Con el uso de un luxómetro portátil, marca EXTECH, modelo 240-043, de alrededor de 500 gr de peso y con una batería de 9 Volt en su interior se midió la intensidad de luz exterior y luz interior que llega al piso del bosque alrededor del mediodía (+/- 10 minutos) por cada 2 días despejados seguidos, ya que según Gatherum (1961) el mediodía es una hora representativa de medición de todo el día.

En el primer día se midió la intensidad de luz exterior a las 12^o horas y sólo si al otro día también estaba despejado se internó al bosque a medir la luz que llegaba al piso del bosque a 50 cm al norte del árbol seleccionado, también alrededor del mediodía (+/- 10 minutos).

Tabla N° 1 A. Porcentaje de luz exterior que llega al piso del rodal de eucalipto.

Especie	Exterior		Interior			Luz Int. Luz Ext. (%)
	Día	Int. Luminosa (Lux)	Día	Árbol N°	Int. Luminosa (Lux)	
eucalipto	02-07-1999	10250	03-07-1999	1	525	5,1
				2	592	5,8
				3	780	7,6
eucalipto	04-07-1999	10640	05-07-1999	1	518	4,9
				2	587	5,5
				3	773	7,3
Promedio =						6,0

TABLA N° 2 A. Porcentaje de luz exterior que llega al piso del rodal de bosque nativo.

Especie	Exterior		Interior			Luz Int.
	Día	Int. Luminosa (Lux)	Día	Árbol N°	Int. Luminosa (Lux)	Luz Ext. (%)
roble	09-07-1999	16240	10-07-1999	1	481	3,0
				2	491	3,0
				3	576	3,5
peumo	14-07-1999	15360	15-07-1999	1	483	3,1
				2	493	3,2
				3	578	3,8
boldo	16-07-1999	12360	17-07-1999	1	487	3,9
				2	497	4,0
				3	582	4,7
lingue	30-07-1999	14506	31-07-1999	1	485	3,3
				2	495	3,4
				3	580	4,0
PROMEDIO =						3,6



APÉNDICE II. Descripción del análisis estadístico.

Para estimar la existencia de diferencia significativa entre el grado de ectomicorrización, frecuencia e intensidad de endomicorrización y la profundidad se utilizó la "Prueba t de dos muestras" para el caso de varianza homogénea, definida por la siguiente ecuación:

$$t_{\text{calc}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$\text{Grados de libertad} = n_1 + n_2 - 2$$

Para el caso de varianza no homogénea (grado de ectomicorrización en roble) en que una varianza supera a la otra en cuatro veces se usó la prueba de Smith-Satterthwaite propuesta por Johnson (1994) y está definida como:

$$t'_{\text{calc}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad \text{grados de libertad} = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

en donde:

t_{calc} : valor t calculado para ser contrastado con un valor t de tabla (t_{tab1}) y un $\alpha = 0,05$.

t'_{calc} : valor t' calculado para ser contrastado con un valor t' de tabla (t'_{tab1}) y un $\alpha = 0,05$.

n_1 : tamaño de la muestra a la profundidad 1 ($n_1 = 20$).

n_2 : tamaño de la muestra a la profundidad 2 ($n_2 = 20$).

\bar{X}_1 : promedio porcentaje de micorrización a profundidad 1.

\bar{X}_2 : promedio porcentaje de micorrización a profundidad 2.

S_1^2 : Varianza del porcentaje de micorrización a profundidad 1

S_2^2 : Varianza del porcentaje de micorrización a profundidad 2.

Estas pruebas fueron usadas con los supuestos estadísticos de:

- Distribución normal de los datos.
- La esperanza del error tiende a cero.
- Muestras aleatorias independientes.

A continuación se presenta el procedimiento de cálculo para la prueba de Smith-Satterthwaite utilizada en roble.

1. Hipótesis nula : $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alternativa : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$

2. Nivel de significación : $\alpha = 0,05$

3. Criterio : Rechazar la hipótesis nula si $t'_{calc} < - t'_{tab}$ ó $t'_{calc} > t'_{tab}$

4. Cálculos :

$$t'_{calc} = \frac{(46 - 43)}{\sqrt{\frac{2,0743}{20} + \frac{13,3280}{20}}} = 3,7177$$

$$t'_{tab} = 1,7080 \text{ con } \alpha = 0,05$$

$$\text{y grados de libertad} = \frac{\left(\frac{2,0743}{20} + \frac{13,3280}{20}\right)^2}{\frac{\left(\frac{2,0743}{20}\right)^2}{20-1} + \frac{\left(\frac{13,3280}{20}\right)^2}{20-1}} = 25$$

5. Decisión: Dado que $t'_{\text{calc}} = 3.7177$ excede de 1.7080, la hipótesis nula debe ser rechazada en el nivel de $\alpha = 0,05$. Se concluye que existe diferencia significativa entre el porcentaje de ectomicorrización de la profundidad 1 y la profundidad 2.

Para el resto de las especies se utilizó la prueba t dado que existió homogeneidad de varianza y se utilizó un procedimiento similar de aceptación o rechazo de la hipótesis nula, pero con

$$t_{\text{calc}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

y $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.



VII ANEXOS

ANEXO I. Antecedentes climáticos del área de estudio.

TABLA N° 1 B. Cantidad de precipitación mensual (mm).
Período 1965-1997(*)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
N°datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	87	71	125	193	550	555	561	303	204	212	201	102	1654
Mínimo	0	0	0	0	28	71	57	28	13	0	0	0	711
Media	19	16	25	73	208	245	229	149	86	72	42	34	1198
S.d.	25	19	24	52	129	97	103	65	48	54	42	33	236

TABLA N° 2 B. Temperatura máxima media (°C). Período 1965-1997(*)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N°datos	33,0	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	24,8	25	23,3	20,0	17,1	15,4	14,6	15,2	16,3	19,2	21,6	23,3
Mínimo	21,3	21	19,2	17,0	14,0	11,8	12,0	12,1	14,3	15,4	18,0	20,1
Media	23,2	23	21,3	18,7	15,7	13,7	13,2	14,0	15,5	17,1	19,5	21,6
S.d.	0,8	1,1	1,0	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,9	0,9	0,9

TABLA N° 3 B. Temperatura media (°C). Período 1965-1997(*)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N°datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	18,6	17,4	16,4	13,8	12,4	11,8	12,3	10,3	12,0	13,5	14,6	16,5
Mínimo	14,7	13,8	12,0	8,9	9,0	6,2	6,8	7,1	8,2	10,2	12,4	14,1
Media	16,4	15,7	14,1	11,9	10,6	9,2	8,6	8,7	9,8	11,5	13,5	15,4
S.d.	0,7	1,0	1,0	1,0	0,8	1,2	1,2	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6

TABLA N° 4 B. Temperatura mínima media (°C). Período 1965-1997 (*)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
N°datos	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Máximo	12,1	12,6	10,8	9,9	9,9	9,8	9,0	7,8	8,1	9,0	9,5	10,3
Mínimo	7,5	6,9	5,1	3,8	4,2	2,7	2,2	2,9	3,1	4,4	5,5	6,5
Media	9,3	9,2	8,3	7,3	7,2	6,2	5,4	5,2	5,5	6,3	7,5	8,9
S.d.	1,1	1,3	1,4	1,5	1,2	1,5	1,5	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0

(*) Fuente. Estación Experimental Bellavista. U. de Concepción (36.47° S; 73.07° W). Período 1965-1997.



ANEXO II. Descripción de la serie de suelo San Esteban.

La serie San Esteban pertenece al grupo de los suelos Graníticos. Los materiales generadores que han originado estos suelos son rocas graníticas, dioritas cuarzosas o material intrusivo muy rico en cuarzo.

Los suelos de este grupo se presentan en la vertiente oriental de la cordillera de la Costa. Son suelos de posición media alta, con una topografía que varía desde lomajes con pendientes variables y complejas disectadas por quebradas, a serranías con fuerte pendiente en la alta cordillera.

En general se trata de suelos profundos, con perfiles arcillosos densos muy compactos, que han experimentado un fuerte proceso erosivo laminar y zanjas, en los casos más severos. La erosión limita seriamente su calidad. En cambio, constituyen excelentes sitios forestales todas aquellas áreas donde la erosión es mínima.

La serie San Esteban presenta las siguientes características:

Clasificación	:Orden Alfisol Sub-orden Xeralfs.
Geomorfología	:Zona montañosa disectada por quebradas
Topografía	:Pendiente compleja.
Pendiente	:28 %
Material de origen	:rocas graníticas.
Vegetación natural	:bosque de transición.
Erosión	:laminar intensa.
Capacidad de uso	:VII.
Ubicación calicata	:37°22' y 73°06'
Altitud	:700 m.s.n.m.

Descripción del Perfil

1. Horizontes orgánicos.

L (Ol)1,0 cm: desechos orgánicos sin cambios morfológicos en relación a su aspecto original en el que predominan: acículas, ramas, ramillas y conos de pino radiata.

F (Of)0,6 cm: material vegetal alterado, con bajo contenido de sustancias orgánicas reconocibles, con alto predominio de sustancia orgánica fina, reconocible a simple vista, difiere en color del subyacente.

H (Oh)1,2 cm: horizonte húmico de color oscuro con escasos residuos orgánicos reconocibles, con alto predominio de sustancia orgánica fina respecto a la mineral del suelo.

2. Horizontes minerales.

A1 0-18 cm: color 7,5 YR 3/2 en húmedo (pardo oscuro), 10 YR 4/4 en seco (pardo oscuro amarillento); textura franco arcillosa; estructura granular bien desarrollada y firme; plástico y adhesivo en mojado, duro en seco; gran cantidad de materia orgánica; límite inferior gradual lineal.

B1 18-36 cm: color 10 YR 3/4 en húmedo (pardo oscuro amarillento); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios y firmes; muy plástico y adhesivo en mojado, duro y compacto en seco;

- abundancia de raíces y raicillas; límite inferior lineal.
- Bt2 36-71 cm: color 5 YR 3/3 en húmedo (pardo rojizo oscuro), 7,5 YR 4/4 en seco (pardo); textura arcillosa; estructura de bloques subangulares medios que se rompen en bloques subangulares finos; abundancia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado, duro en seco; raíces y raicillas escasas; límite inferior difuso.
- B21 71-101 cm: color 7,5 YR 4/4 en húmedo (pardo), 7,5 YR 5/4 en seco (pardo); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios y firmes; con presencia de grava cuarzosa; muy plástico y adhesivo en mojado, duro y compacto en seco; raíces y raicillas escasas; límite inferior difuso.
- B22 101-135 cm: color 10 YR 5/6 en húmedo (pardo amarillento), 10 YR 6/6 en seco (amarillo parduzco); textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares medios que rompen a bloques subangulares finos; abundancia de grava cuarzosa; muy plástico en mojado, duro en seco.

Observaciones.

Esta serie presenta las siguientes fases: moderada a altamente susceptible a la erosión y muy erosionada, profunda, moderadamente profunda y de escasa profundidad. Posee un bajo porcentaje de nitrógeno en todo el perfil; bajo porcentaje de materia orgánica en el horizonte

superior y muy bajo en los restantes; presenta además bajos niveles de calcio.

Fuente. Suelos de la Cuenca del río Bío-Bío, características y problemas de uso. Carrasco et al. 1993.



ANEXO III. Descripción de los rodales.

Antecedentes del bosque nativo

Tipo forestal :Bosque de transición entre la zona higromórfica y mesomórfica

Superficie :8 ha

Altitud :175-200 msnm

Pendiente :44,5 %

Exposición :Oeste

Tratamiento silvícola :Floreo

TABLA N° 5 B. Tabla de rodal del bosque nativo.

Clase diamétrica	N° arb/ha	Area basal (m2/ha)
6	50	0,1414
8	242	1,2164
10	116	0,9111
12	158	1,7869
14	216	3,3251
16	58	1,1662
18	266	6,7689
20	92	2,8903
22	300	11,4040
24	83	3,7548
26	75	3,9820
28	108	6,6501
30	50	3,5343
32	66	5,3080
34	16	1,4527
36	16	1,6286
38	0	0,0000
40	33	4,1469
Total	1.880	52,8394

Antecedentes rodal de eucalipto

Especie	: <i>Eucalyptus globulus</i> Labill
Superficie	: 3,9 ha
Altitud	: 175 msnm
Año plantación	: 1985
Pendiente	: 44,5 %
Exposición	: Sur-Oeste
Tratamiento silvícola	: Cortas para leña
D.A.P. promedio	: 14.41 cm
Altura promedio	: 17.87 m

TABLA N° 6 B. Tabla de rodal plantación de eucalipto.

Clase diamétrica	N° arb/ha	Altura (m)	Area basal (m ² /ha)
6	173	5,23	0,4891
8	267	13,5	1,3421
10	173	17,33	1,3587
12	160	19,41	1,8096
14	127	20,67	1,9550
16	127	21,48	2,5535
18	80	22,04	2,0358
20	107	22,44	3,3615
22	120	22,73	4,5616
24	53	22,96	2,3977
26	53	23,13	2,8139
28	27	23,27	1,6625
30	27	23,38	1,9085
32	27	23,48	2,1715
Total	1521		30,4210

Fuente: Inventario realizado en Octubre de 1998.