

***Eucalyptus nitens* en Chile: Procesos Industriales de la Madera**



0006291

INFORME TÉCNICO Nº 164



INFOR
Instituto Forestal



GOBIERNO DE CHILE
CORFO

Registro de propiedad intelectual N° 140.042
Santiago de Chile, 2004

Impreso en Imprenta Austral (063) 242229



INFOR

***Eucalyptus nitens* en Chile: Procesos Industriales de la Madera**

INFORME TÉCNICO N° 164

Responsable UACH e investigador:
Roberto Juacida P.

Director Proyecto INFOR:
Jorge Cabrera P.

Investigadores UACH:
Hernán Poblete W.
Alfredo Aguilera L.
Héctor Cuevas D.
Luis Inzunza D.

Responsable INFOR módulo tecnológico:
Gonzalo Hernández C.

Coordinador INFOR:
Juan Carlos Valencia B.

Editor INFOR:
José Antonio Prado D.

Ayudante edición INFOR:
Francisco Halabi L.



Valdivia. Junio, 2004



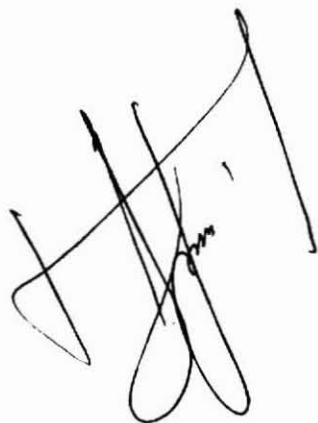
PRÓLOGO

El *Eucalyptus nitens* presenta una excelente adaptación y desarrollo en el país, demostrando ser la especie de más rápido crecimiento que se ha establecido en Chile. Esto llevó a propietarios forestales a realizar extensas plantaciones, que hoy sobrepasan las 140.000 ha especialmente en áreas donde otras de rápido crecimiento se ven limitadas por las bajas temperaturas. El objetivo de estas plantaciones es la producción de madera para pulpa en rotaciones cortas. Con el correr del tiempo, las condiciones de mercado indican que la plantación con este solo objetivo no resulta ser un negocio atractivo para el forestador. Ante esta situación y considerando el potencial de crecimiento que presenta la especie, se ha comenzado a estudiar la opción de obtención de madera de alto valor, lo que, de acuerdo a experiencias extranjeras y a los primeros estudios realizados es factible y aparentemente mucho más rentable.

Por esta razón, el Instituto de Investigación Forestal de Chile, INFOR, creó una nueva línea de investigación cuyo objetivo es aumentar las plantaciones destinadas a producir madera de alto valor como una forma de aprovechar el potencial económico, social y ambiental que ofrece esta especie. La primera investigación económica e industrial en esta línea se logró mediante el Proyecto "Desarrollo de Opciones Productivas de Mayor Valor para Plantaciones de *Eucalyptus nitens* en Chile", que fue financiado principalmente por FDI/CORFO con la colaboración de varias empresas, a partir del cual se origina la presente publicación.

Este Informe Técnico contiene el conjunto de resultados de ensayos sobre los procesos básicos de la elaboración de la madera, las propiedades y sus aplicaciones, para *E. nitens* de distintas edades. Las conclusiones de estos estudios ratifican que esta madera puede perfectamente aplicarse a productos de alto valor en condiciones tecnológicamente normales. El Instituto de Investigación Forestal de Chile, concreta, una vez más, a través de esta nueva publicación, un aporte al desarrollo y diversificación del sector forestal, esta vez recogiendo el conocimiento disponible de una especie relativamente nueva en nuestro medio, pero que tiene las condiciones para convertirse en uno de los pilares del desarrollo forestal en la IX y X Región.

La misión de plasmar los resultados de esta investigación en un Informe Técnico estuvo a cargo de los siguientes Ingenieros Forestales: la dirección y edición es de Jorge Cabrera M.Sc., Gonzalo Hernández, José Antonio Prado M.Sc. y Juan Carlos Valencia. Los autores de los capítulos están individualizados en el texto principal y corresponden a investigadores de la Universidad Austral de Chile. La secretaría técnica editorial para la coordinación y diseño final correspondió a Francisco Halabí. A todos ellos nuestro más profundo reconocimiento.



Dr. Roberto Ipinza
Director Ejecutivo de INFOR

INDICE

CAPITULO I.-		
MUESTREO Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL EXPERIMENTAL		1
CAPITULO II.-		
ASERRÍO DE LA MADERA		09
2.1	ANTECEDENTES GENERALES	09
2.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	09
2.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
2.3.1	Aprovechamiento según árboles, trozas y edades,	13
2.3.2	Calidad de madera	17
2.4	CONCLUSIONES	24
2.5	REFERENCIAS	25
CAPITULO III.-		
SECADO ARTIFICIAL A ESCALA DE LABORATORIO		27
3.1	ANTECEDENTES GENERALES	27
3.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	28
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.3.1	Secado N°1	31
3.3.2	Secado N°2	35
3.3.3	Secado N°3	38
3.3.4	Secado N°4	40
3.3.5	Secado N°5	42
3.3.6	Secado N°6	44
3.3.7	Secado N°7	46
3.3.8	Secado N°8	48
3.4	CONCLUSIONES	50
3.5	REFERENCIAS	52
CAPITULO IV.-		
VALIDACIÓN INDUSTRIAL DE LOS PROGRAMAS DE SECADO		53
4.1	ANTECEDENTES GENERALES	53
4.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	54
4.2.1	Variables del ensayo:	54
4.2.2	Dimensionamiento total de la muestra según variable	57
4.2.3	Características de la Cosecha, Trozado y Aserrío	60
4.2.4	Presecado de Madera Aserrada	61
4.2.5	Secado de la Madera Aserrada	63
4.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.3.1	1ª Validación industrial	66
4.3.2	2ª Validación industrial	68
4.3.3	Comparación entre la Primera y Segunda Validación Industrial	71
4.4	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	73
4.5	REFERENCIAS	74

CAPITULO V.-		
ENCOLABILIDAD DE LA MADERA		75
5.1	ANTECEDENTES GENERALES	75
5.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	76
5.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
5.4	CONCLUSIONES	85
5.5	REFERENCIAS	86
CAPITULO VI.-		
TRABAJABILIDAD DE LA MADERA		87
6.1	ANTECEDENTES GENERALES	87
6.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	87
6.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	95
6.3.1	Proceso Cepillado	95
6.3.2	Proceso Moldurado	97
6.3.3	Proceso Escopleado	99
6.3.4	Proceso Torneado	102
6.3.5	Proceso Taladrado	104
6.3.6	Proceso Lijado	105
6.4	CONCLUSIONES	106
6.5	REFERENCIAS	107
CAPITULO VII.-		
TABLEROS CONTRACHAPADOS		109
7.1	ANTECEDENTES GENERALES	109
7.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	110
7.2.1	Características de la muestra	110
7.2.2	Mediciones antes del macerado	111
7.2.3	Macerado	112
7.2.4	Debobinado	112
7.2.5	Secado	112
7.2.6	Fabricación y propiedades de los tableros	112
7.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	115
7.3.1	Recepción, observaciones y mediciones en cancha.	115
7.3.2	Observaciones y registros en el macerado	118
7.3.3	Mediciones durante y después del debobinado	119
7.3.4	Mediciones después del secado	123
7.3.5	Fabricación y control de los tableros	124
7.4	CONCLUSIONES	134
7.5	REFERENCIAS	135
CAPITULO VIII.-		
PROPIEDADES MECÁNICAS		137
8.1	ANTECEDENTES GENERALES	137
8.2	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	137
8.3	RESULTADOS	138
8.4	CONCLUSIONES	142

CAPITULO I

MUESTREO Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

Roberto Juacida Percáz *
rjuacida@uach.cl

Juan Carlos Valencia B. **
jvalenci@infor.cl

La especie *Eucalyptus nitens* es originaria de Australia. “Su rango nativo de distribución está en las regiones montañosas de Victoria Central y al Este de Nueva Gales del Sur” (Dutkowski et al., 2001). Pertenece a la clase Angiospermae, subclase Dicotyledoneae y familia Myrtaceae. Crece asociada en forma natural a otras especies de eucaliptos como *Eucalyptus regnans* y *Eucalyptus delegatensis*. El tronco es recto y la corteza es lisa, crece a alturas entre los 60-70 m, en buenos sitios. Puede alcanzar diámetros del tronco de 1,8 m (Nicholls y Pederick, 1979).

Para el estudio de aserrió y debobinado se recibieron 260 trozas, de las cuales 210 fueron utilizadas en el estudio de aserrió, 46 trozas en el estudio de debobinado y contrachapado, y otras 4 se rechazaron debido a la alta presencia de grietas y deformaciones.

De las 210 trozas empleadas en el aserrió, 92 provenían del predio Tres Montes perteneciente a Forestal Valdivia S.A. y 118 del Predio Los Copihues de Forestal Anchile, ubicados en la X Región, Provincia de Valdivia. En ambos casos los trozos correspondieron a 20 árboles de cada predio.

Los árboles de *Eucalyptus nitens* del predio Tres Montes tenían 12 años, con un DAP promedio de 40,1 cm y una altura de 35,8 metros.

Los árboles del Predio Los Copihues tenían 21 años, con un DAP promedio de 47,1 cm y una altura de 41,1 metros.

Los árboles se trozaron en largos de 2,8 metros, exceptuando la primera troza que fue a 2,9 m, obteniéndose en total 6 trozas por árbol de aquellos árboles de 12 años y 7 trozas de los árboles de 21 años.

Los volúmenes de las trozas, obtenidos de acuerdo a la fórmula de Smalian, se muestran en las Tablas 1 y 2.

*Ingeniero Forestal (1969) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1979) de Universität zu Hamburg (Alemania). *Especialidad:* Preservación y Secado de la madera

**Ingeniero Forestal, Instituto Forestal

TABLA 1
VOLUMEN EN m³ DE ÁRBOLES Y TROZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS
(PREDIO LOS COPIHUES)

Árboles	Trozos							Promedio	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6	7		
1	0,378	0,280	0,255	0,213	0,177	0,145	0,114	0,223	0,090
2	0,590	0,502	0,491	0,451	0,372	0,286	0,242	0,419	0,125
3	0,601	0,351	0,323	0,356	0,296	0,246	0,212	0,341	0,126
4	0,374	0,299	0,295	0,274	0,240	0,206	0,177	0,266	0,066
5	0,744	0,472	0,427	0,363	0,311	0,280	0,248	0,407	0,169
6	0,604	0,398	0,335	0,295	0,265	0,223	0,205	0,332	0,137
7	0,700	0,355	0,331	0,278	0,237	0,206	0,168	0,325	0,178
8	0,545	0,328	0,303	0,255	0,213	0,179	0,145	0,281	0,133
9	0,521	0,371	0,339	0,285	0,243	0,201	0,172	0,304	0,119
10	0,807	0,484	0,437	0,386	0,330	0,277	0,239	0,423	0,190
11	0,587	0,383	0,335	0,318	0,310	0,268	0,220	0,346	0,118
12	0,966	0,536	0,462	0,418	0,357	0,314	0,284	0,477	0,233
13	0,461	0,351	0,289	0,251	0,216	0,186	0,162	0,274	0,104
14	0,463	0,363	0,331	0,294	0,255	0,229	0,193	0,304	0,091
15	0,850	0,429	0,373	0,338	0,308	0,262	0,212	0,396	0,212
16	0,596	0,418	0,377	0,350	0,323	0,282	0,246	0,370	0,115
17	0,757	0,485	0,444	0,387	0,320	0,288	0,249	0,419	0,171
18	0,519	0,425	0,374	0,325	0,282	0,246	0,211	0,340	0,108
19	0,444	0,357	0,307	0,273	0,236	0,207	0,173	0,285	0,093
20	0,831	0,503	0,446	0,379	0,322	0,270	0,224	0,425	0,204
Promedio	0,617	0,405	0,364	0,324	0,281	0,240	0,205	0,348	
Desv. Est.	0,166	0,073	0,066	0,062	0,052	0,045	0,042		

TABLA 2
VOLUMEN EN m³ DE ÁRBOLES Y TROZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 12 AÑOS
(PREDIO TRES MONTES)

Árboles	Trozos						Promedio	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6		
1	0,333	0,265	0,249	0,224	0,183	0,141	0,232	0,067
2	0,430	0,299	0,263	0,238	0,195	0,145	0,262	0,098
3	0,390	0,304	0,280	0,245	0,206	0,166	0,265	0,079
4	0,339	0,258	0,248	0,224	0,186	0,149	0,234	0,066
5	0,280	0,229	0,197	0,172	0,150	0,127	0,192	0,056
6	0,316	0,260	0,243	0,213	0,185	0,152	0,228	0,058
7	0,325	0,238	0,213	0,179	0,152	0,128	0,206	0,071
8	0,265	0,211	0,196	0,168	0,143	0,115	0,183	0,053
9	0,338	0,289	0,244	0,200	0,169	0,139	0,230	0,075
10	0,252	0,218	0,206	0,187	0,161	0,131	0,193	0,043
11	0,279	0,210	0,193	0,179	0,174	0,153	0,198	0,044
12	0,318	0,245	0,231	0,210	0,181	0,144	0,221	0,060
13	0,372	0,276	0,234	0,204	0,185	0,161	0,239	0,077
14	0,332	0,267	0,227	0,195	0,177	0,147	0,224	0,067
15	0,335	0,251	0,226	0,205	0,168	0,131	0,219	0,071
16	0,369	0,294	0,260	0,229	0,191	0,160	0,250	0,075
17	0,339	0,277	0,247	0,224	0,198	0,168	0,242	0,061
18	0,366	0,307	0,288	0,259	0,219	0,183	0,270	0,065
19	0,337	0,238	0,192	0,164	0,136	0,108	0,196	0,082
20	0,394	0,319	0,291	0,254	0,217	0,178	0,276	0,077
Promedio	0,335	0,263	0,236	0,209	0,179	0,146	0,228	
Desv. Est.	0,045	0,033	0,031	0,029	0,023	0,020		

Las actividades realizadas durante la cosecha y preparación de trozas fueron las siguientes:

- Selección y marcaje de los árboles de acuerdo a los parámetros de sanidad y calidad de las trozas.
- Anillamiento de los árboles seleccionados, mediante la eliminación de una porción de corteza de 15 a 20 centímetros, en todo su perímetro.
- Los árboles anillados se dejaron reposar en pie entre 28 a 35 días.
- Volteo dirigido. La caída de los árboles se realizó lentamente (empleando un corte tipo bisagra).
- Los árboles volteados se dejaron en cancha para liberar tensiones, por un periodo entre 11 y 13 días.
- Madereo y Trozado (de preferencia en cancha, se privilegió el mínimo de movimientos).
- Aplicación de Mobilcer en los extremos.
- Traslado a la ciudad de Valdivia, lugar de ejecución de los ensayos.

En la Tabla 3 se presentan los indicadores de crecimiento de los árboles seleccionados para los distintos ensayos.

TABLA 3
CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRBOLES SELECCIONADOS

Indicador	Empresa	
	Forestal Valdivia S.A.	Forestal Anchile Ltda.
Predio	Tres Montes	Los Copihues
Año Plantación Rodal	1989	1981
Nº Árboles Anillados	20	20
DAP Medio Árboles Anillados (cm)	40,1	47,1
Desviación Estándar DAP (cm)	2,26	4,12
Altura Media Inicio Anillado (cm)	28,3	29,4
Altura Media Termino Anillado (cm)	55,1	59,2
Longitud Zona Anillada (cm)	26,8	29,8
Procedencia de la semilla	Sin información	5 árboles Anembo, 5 árboles Big Badga, 6 árboles Torongo Plateau y 4 árboles Alexandra

Selección, anillado y volteo de los árboles

El periodo comprendido entre el anillamiento y volteo de los árboles en los Predios Tres Montes y Los Copihues fue de 28 y 35 días, respectivamente. (Figura 1)

En ambos predios el volteo de los árboles se efectuó con motosierra, para luego proceder al desrame. Las zonas de corte con motosierra fueron selladas mediante la aplicación de Mobilcer (cera líquida emulsionada).



FIGURA 1
COSECHA DE ÁRBOLES DE *Eucalyptus nitens*

Periodo de reposo de los árboles volteados

Posterior al volteo, los árboles de los predios Tres Montes y Los Copihues fueron dejados en reposo por 13 y 11 días, respectivamente, hasta su trozado.

Trozado y Madereo de los árboles en el Predio Tres Montes

Durante el trozado de los árboles apareció una grieta radial en la sección transversal de las trozas. Sobre ella, con ayuda de la motosierra, se procedió a marcar una cruz. Se sellaron las caras de las trozas con Mobilcer. Posteriormente se midieron los diámetros de las trozas, se etiquetaron* y secuencialmente se efectuó el madereo mediante bueyes, arrumando la madera a orilla de camino en pilas que no superaban más de dos niveles, desagregando en dos tipos de productos: trozas aserrables y debobinables.

Por factores climáticos y de accesibilidad al predio, el transporte de la madera trozada debió posponerse hasta que las condiciones lo permitieron, lo que significó que las trozas permanecieron a orilla de camino por cerca de dos semanas. El carguío se realizó con camión autocargable.

Trozado y Madereo de los árboles en el Predio Los Copihues

Luego del periodo de reposo de los árboles, éstos fueron despuntados a la altura de utilización (+22,3 m) según el número de trozas a emplear, considerando una troza pulpable final adicional que sirviera

* El etiquetado de las trozas consideró identificar el predio, el árbol y la ubicación de la troza en el fuste.

para estrobar la troza larga durante el madereo, lo que evitó dañar a la madera del ensayo por este concepto.

De esta forma se procedió al madereo de troza larga con Skidder hasta la cancha de madereo a orilla de camino, lugar en que se procedió al trozado. Se efectuó el corte en cruz con motosierra en todas las caras de las trozas siguiendo el sentido de la rajadura incipiente, y luego se procedió al sellado de las caras de las trozas con parafina sólida.

Se midieron los diámetros de las trozas, se etiquetaron para su identificación (predio, árbol y sección) y fueron arrumadas a orilla de camino en pilas que no superaban más de dos niveles, desagregando en dos tipos de productos: aserrables y debobinables. De manera secuencial, se procedió al carguío de la madera en camiones mediante el trabajo con trineumático y un camión autocargable. (Figura 2)



FIGURA 2
TROZADO Y ACANCHADO DE TROZAS DE *Eucalyptus nitens*

TABLA 4
PRINCIPALES ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Actividad	Fecha
Tratamiento precosecha, Anillado	Mayo 2002
Volteo	30 mayo 2002
Trozado y traslado predio-plantas de proceso	5 junio 2002
Aserrio	Julio y Agosto 2002
Clasificación MAXAT	Agosto y Septiembre 2002
Preparación secados	Noviembre 2002
Secado experimental	Abril – Septiembre 2003
Trabajabilidad	Agosto – Septiembre 2003
Tableros encolados	Septiembre – Octubre 2003
Tableros contrachapados	Julio – Agosto 2002
Confección de prototipos	Agosto – Noviembre 2003
Validación industrial	Diciembre 2003

REFERENCIAS

Dutkowski, G.; Potts, B.; Williams, D.; Kube, P.; McArthur, C. 2001. Geographic Genetic Variation In Central Victorian *Eucalyptus nitens*. En: Actas Simposio Internacional IUFRO. Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Simposio Internacional IUFRO, Valdivia-Chile.

Nicholls, J. and Pederick, L. 1979. Variation in some wood characteristics in *Eucalyptus nitens*. Aus. For. Res. Vol 9: 304-321.

CAPITULO II

ASERRÍO DE LA MADERA

Roberto Juacida Percáz *
rjuacida@uach.cl

Alfredo Aguilera León **
aguilera@uach.cl

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

Las tensiones de crecimiento y su liberación en el proceso de aserrío han quedado en evidencia en estudios anteriores, donde se ha concluido que el corte radial presenta las mejores características de estabilidad dimensional. Sin embargo, utilizando el corte radial, se obtienen rendimientos algo menores que al realizar un corte tangencial.

Al efectuar el corte radial el defecto más común en la madera es la encorvadura, mientras que con el corte tangencial se acentúa la presencia de arqueadura.

Igualmente se ha observado que la distribución de tensiones dentro del trozo plantea esfuerzos de tracción máxima en la periferia y esfuerzos de compresión máxima en la zona cercana a la médula, los que provocan las deformaciones en forma de arqueadura o encorvadura según corresponda.

Como una forma de disminuir al máximo las tensiones de crecimiento y su aparición durante el proceso de aserrío, se realizó en los árboles en pie un tratamiento previo a la cosecha, tendiente a disminuir las tensiones internas del árbol.

A continuación se muestran los objetivos de esta etapa.

- Determinar aprovechamiento volumétrico de árboles de *Eucalyptus nitens* de 12 y 21 años, mediante un sistema de corte de la madera preferentemente radial, realizado en un aserradero huincha de corte fino.
- Determinar la calidad de la madera obtenida del aserrío mediante el método de máximo aprovechamiento teórico (MAXAT) de los árboles y trozas de 21 años.

2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Los trozos fueron aserrados preferentemente en sentido radial de acuerdo al siguiente esquema de corte (Figura 3), en donde se concentró, en una pieza interior, la zona de la médula y de los cuartos principales se obtuvo piezas radiales.

* Ingeniero Forestal (1969) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1979) de Universität zu Hamburg (Alemania). *Especialidad:* Preservación y Secado de la madera

** Ingeniero Forestal (1991) Universidad de Concepción, Magister (1996) Université Henri Poincaré Nancy 1 (Francia) y Doctor en Ciencias de la Madera (2000) Université Henri Poincaré Nancy 1 (Francia). *Especialidad:* Transformación primaria y secundaria de la madera.

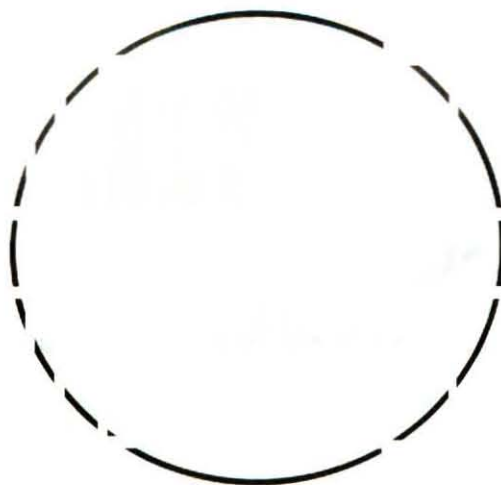


FIGURA 3
DIAGRAMA DE CORTE PREFERENTEMENTE RADIAL

La madera fue aserrada a espesores nominales de 34 y 54 mm y en anchos variables entre 4 y 6 pulgadas según el mejor aprovechamiento de la troza, relacionados con sus defectos y el diagrama de corte propuesto.

El cálculo del aprovechamiento se obtuvo de la relación volumétrica inicial (mediante Smalian) y el volumen de madera aserrada extraída, considerando la escuadría de cada pieza por un largo constante de 260 cm.

La calidad de la madera se midió en 9 árboles de 21 años de edad mediante el método MAXAT. Este consiste en relacionar el largo de la madera "clear" con el largo total de la pieza en estudio expresado como porcentaje. La Figura 4 muestra las dimensiones mínimas para los elementos clear y para los elementos rip* que condicionaron su clasificación.

Se entiende por elemento clear a la madera libre de todo defecto y elemento rip a la madera en que el defecto ocupó menos de la mitad de la pieza.

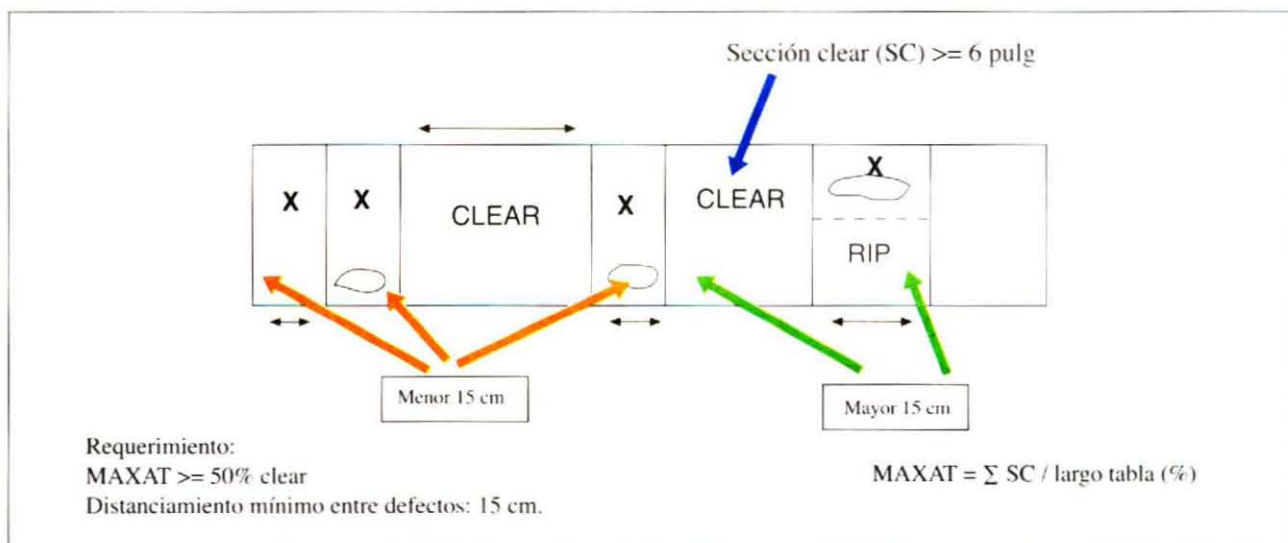


FIGURA 4
ESQUEMA EXPLICATIVO DEL SISTEMA MAXAT

* RIP: Madera lateral de ancho fijo, de uso industrial.

Los principales defectos considerados en la desclasificación de la madera aserrada corresponden a nudos con distintos tipos de cicatrizaciones y las exudaciones de resinas.

En las Figuras 5 y 6 se presenta la forma en que se desarrolla la marcación y delimitación de defectos.



FIGURA 5
MARCACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS

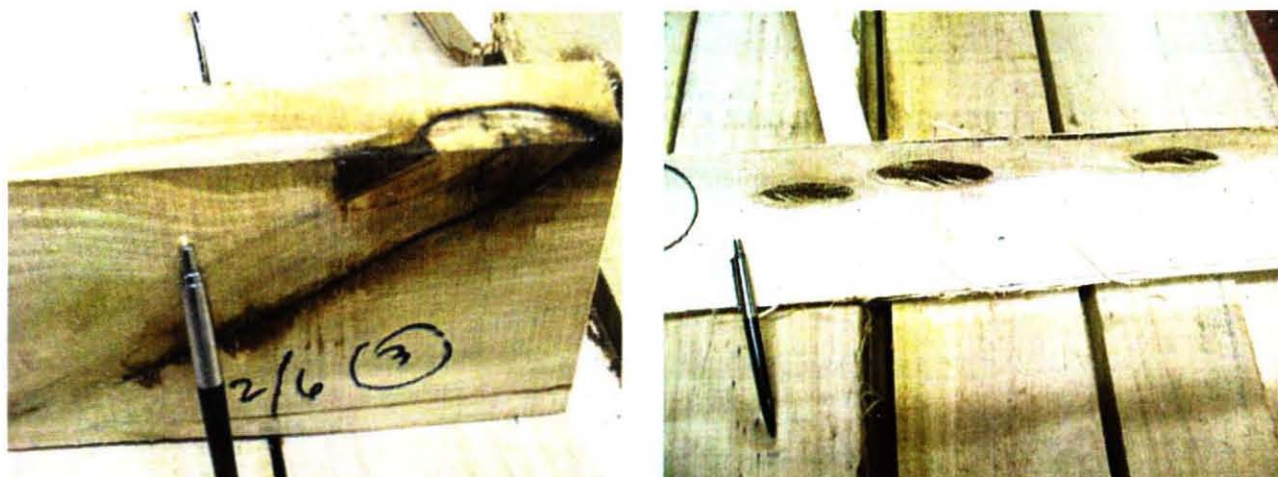


FIGURA 6
DEFECTOS CONSIDERADOS EN LA DESCLASIFICACIÓN

Las valores obtenidos de la medición MAXAT fueron ingresados a una planilla matriz para el cálculo de las proporciones de madera clear y sus respectivos largos. (Figura 7)

ÁRBOL	1				
TROZO	2				
Nº Pieza	1				
Largo (cm)	260				
			Volumen pieza	0,0143	m ³

Obs	Largo	Ancho Rerip		%	Volumen m ³
1	22		Aprovech. total	81,35	0,0116
2	45		Clear	76,92	0,0110
3	30 2		Rip	4,42	0,0006
4	53				
5	15				
6	35				
7	23	60			
8			Clase de largo (cm)	Aprovechamiento %	Volumen m ³
9			15 - 30	26,91	0,0031
10			30 - 45	29,15	0,0034
11			45 - 60	43,95	0,0051
12			60 - 75	0,00	0,0000
13			75 - 90	0,00	0,0000
14			90 - 105	0,00	0,0000
15			105 - 120	0,00	0,0000
16			TOTAL	100	0,0116
17					
18					
19					
20					

FIGURA 7
PLANILLA UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DEL MAXAT

En la Figura 8 se aprecia una pieza completamente clear y otra con defectos, tanto de nudos como de bolsa de resina.



FIGURA 8
PIEZA COMPLETAMENTE CLEAR Y PIEZA CON DEFECTOS

La madera aserrada fue identificada pieza a pieza de manera de poder asociar los rendimientos a árboles, trozas y edades.

Luego, la madera fue arrumada durante aproximadamente 10 días, para disminuir las tensiones de secado que se producen en los días posteriores al aserrio. Finalmente, fue clasificada y encastillada con separadores secos de pino insigne de 15 mm de espesor.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Aprovechamiento según árboles, trozas y edades.

El aprovechamiento de los árboles de 12 años provenientes del predio Tres Montes se presenta en forma individual, por trozas y promedios, en la Tabla 5.

De las 98 trozas recibidas, solamente fue posible aserrar 92 debido a que 4 presentaron grietas excesivas en sus extremos y 2, deformaciones demasiado pronunciadas.

TABLA 5
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO DE ÁRBOLES Y POR TROZAS (%)
DE *Eucalyptus nitens* DE 12 AÑOS (PREDIO TRES MONTES)

Árboles	Trozas						Promedio	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6		
1	51,74	61,28	58,72	55,52	59,33	67,78	59,06	5,43
2	*	*	57,34	68,17	**	56,02	60,51	6,66
3	50,92	*	*	57,65	58,67	54,23	55,37	3,52
4	*	63,58	*	62,57	61,77	60,51	62,11	1,30
5	54,32	66,12	61,09	58,47	46,77	*	57,35	7,30
6	44,32	61,31	59,35	56,15	65,67	57,77	57,43	7,22
7	47,14	66,35	60,13	67,78	53,25	53,03	57,95	8,19
8	57,79	61,87	58,53	65,58	50,63	57,57	58,66	4,99
9	*	*	59,51	60,06	42,10	48,71	52,60	8,73
10	63,03	62,90	53,26	61,44	51,20	48,71	56,76	6,43
11	50,81	35,30	49,87	56,96	45,12	**	47,61	8,07
12	49,23	55,40	69,36	**	*	50,36	56,09	9,25
13	65,50	*	*	56,20	64,86	57,00	60,89	4,97
14	53,55	60,79	54,34	63,06	65,38	53,34	58,41	5,32
15	*	*	62,80	63,28	63,54	58,76	62,10	2,25
16	*	*	52,51	60,05	54,05	60,80	56,85	4,19
17	53,81	*	**	63,72	56,77	65,10	59,85	5,43
18	*	52,58	*	55,57	53,68	52,15	53,49	1,53
19	50,84	*	*	55,26	58,29	*	54,80	3,75
20	*	69,12	*	69,07	56,37	62,97	64,38	6,07
Promedio	53,31	59,72	58,22	60,87	55,97	56,75	57,47	
Desv. Est.	5,92	8,92	5,02	4,58	7,03	5,53		

* Trozas entregadas para debobinado

**Trozas con grietas y deformaciones excesivas, eliminadas



En las Figuras 9 y 10 se muestran los gráficos de aprovechamiento por árbol y trozas. Se aprecia que el porcentaje de aprovechamiento en los árboles osciló entre 50 y 60%, aproximadamente.

Pocas trozas presentan un alto grado de desclasificación (bajo aprovechamiento) por la presencia de defectos asociados a incrustaciones de corteza en la madera, teniendo cierta similitud en la forma y frecuencia a las pecas en el Pino insignie. Una segunda fuente de desclasificación correspondió al ataque de insectos.

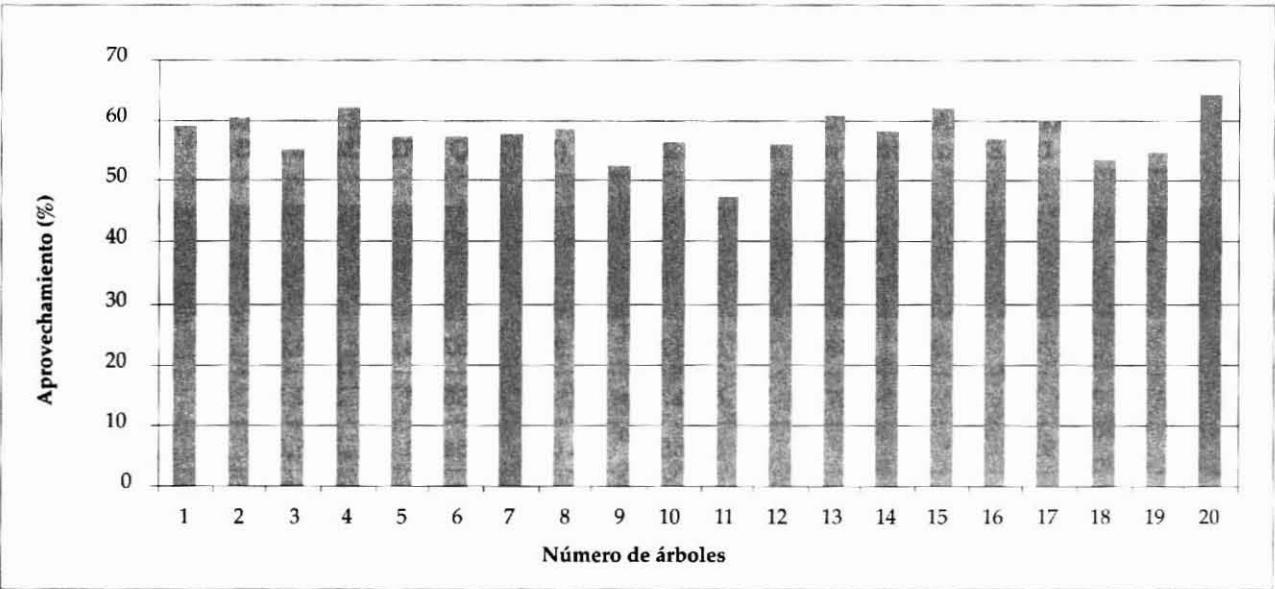


FIGURA 9
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO DE ÁRBOLES DE *Eucalyptus nitens* DE 12 AÑOS (%)

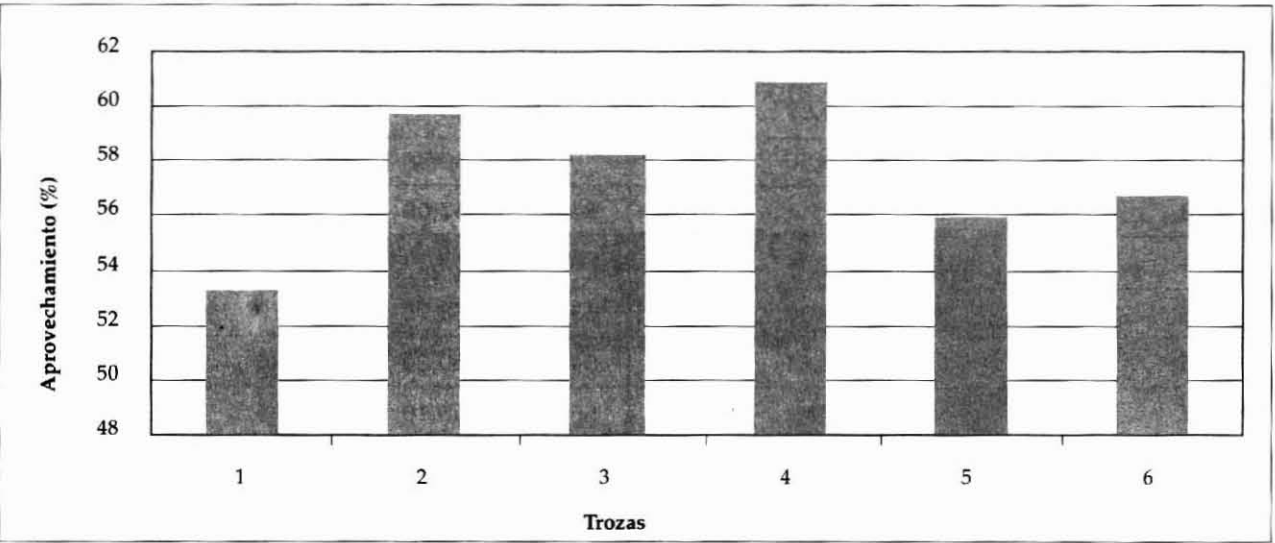


FIGURA 10
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO DE TROZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 12 AÑOS (%)

El aprovechamiento de los árboles de 21 años provenientes del predio Los Copihues se presenta en forma individual, por trozas con sus respectivos promedios (Tabla 6). La información también se presenta en forma gráfica (Figuras 11 y 12).

TABLA 6
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO DE ÁRBOLES Y TROZAS DE
***Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS (%) (PREDIO LOS COPIHUES)**

Árboles	Trozas							Promedio	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6	7		
1	58,98	60,90	52,04	44,21	53,73	58,21	55,97	54,68	5,81
2	*	58,97	*	52,91	54,10	55,99	56,64	55,49	2,35
3	*	*	49,17	47,68	47,14	51,95	56,96	48,99	4,03
4	53,14	53,26	53,46	22,13	51,08	51,30	54,67	47,39	12,58
5	58,94	*	*	69,42	57,88	51,68	57,52	59,48	7,43
6	*	58,86	*	56,66	59,86	57,18	56,43	58,14	1,50
7	55,11	67,93	61,16	53,93	47,54	50,16	59,87	55,97	7,62
8	60,77	55,05	59,12	55,98	55,93	46,82	62,38	55,61	5,21
9	54,34	55,52	60,16	51,67	50,74	41,76	51,12	52,36	6,10
10	54,00	*	*	57,92	57,68	61,34	60,91	57,74	1,93
11	54,18	63,82	64,89	60,44	52,13	52,29	55,23	57,96	5,69
12	*	*	64,92	60,27	61,20	57,72	58,45	61,03	2,83
13	44,15	56,78	58,00	67,47	60,32	52,05	46,25	56,46	7,23
14	*	61,40	*	58,14	55,00	43,07	52,76	54,40	6,96
15	*	*	59,61	58,44	65,06	60,03	52,49	60,79	4,49
16	64,21	*	*	62,98	55,14	53,81	52,73	59,03	4,65
17	50,06	*	*	44,73	51,42	44,26	44,32	47,62	3,50
18	39,68	58,75	62,02	56,44	54,95	53,44	54,71	54,21	3,17
19	57,13	60,79	59,24	57,01	55,96	48,38	54,29	56,42	4,37
20	*	*	52,87	49,28	61,02	54,50	50,67	54,42	4,57
Promedio	54,21	59,34	58,21	54,38	55,39	52,30	54,72	55,64	
Desv. Est.	6,64	4,04	4,93	10,06	4,68	5,45	4,48		

* Trozas entregadas para debobinado

Al igual que en árboles de 12 años, en algunos árboles de 21 años se obtuvo un bajo aprovechamiento (árbol 4, troza 4), debido principalmente al ataque de insectos en las cercanías de los nudos y en el cilindro central cercano a la médula.

FIGURA 11
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO (%) DE ÁRBOLES
DE *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS.

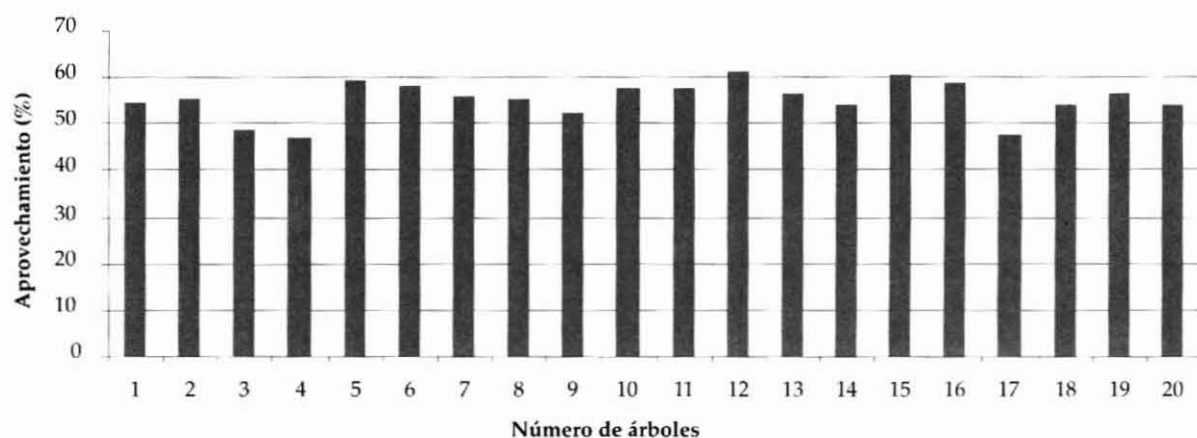
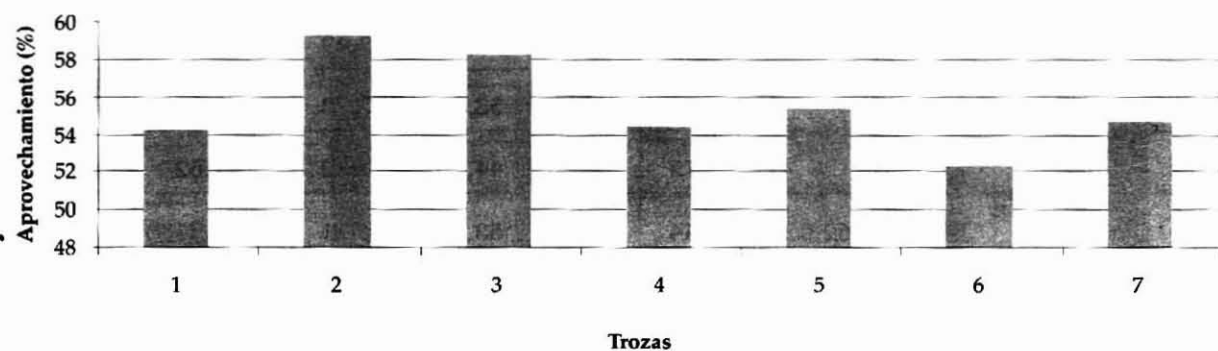


FIGURA 12
APROVECHAMIENTO EN ASERRÍO (%) DE TROZAS
DE *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS.



2.3.2 Calidad de madera

La calidad de la madera fue medida en 9 árboles de 21 años provenientes del predio Los Copihues. La madera aserrada y sus respectivas trozas, evaluadas según el criterio MAXAT, mostraron que un 81% de esta madera tenía más de un 50% de madera clear (Figura 13). La distribución de estos porcentajes por trozas se presenta en la Figura 14.

La proporción de las piezas que superan el 50% aprovechable no varía considerablemente respecto a la altura del árbol. Esto se debe a que los árboles no fueron podados.

Los nudos y bolsillos de resinas fueron las principales causas de desclasificación. Estos defectos se pueden apreciar a través de todo el árbol.

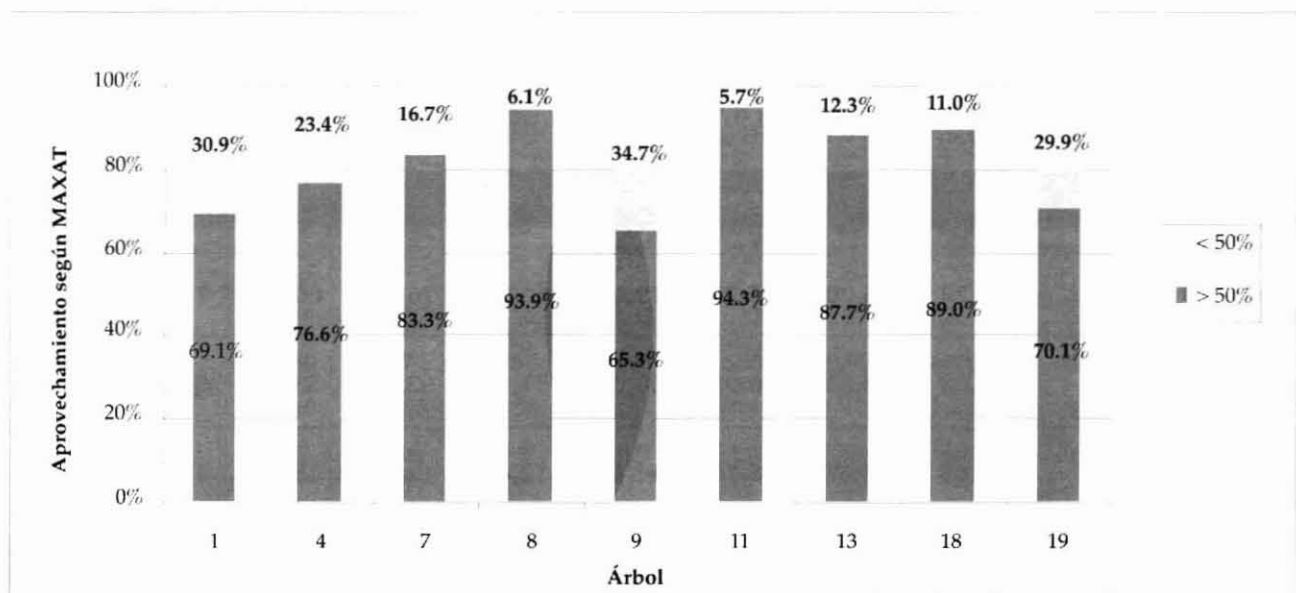


FIGURA 13
DISTRIBUCIÓN DE PIEZAS CON UN PORCENTAJE MENOR O MAYOR AL 50% DE APROVECHAMIENTO SEGÚN MAXAT.

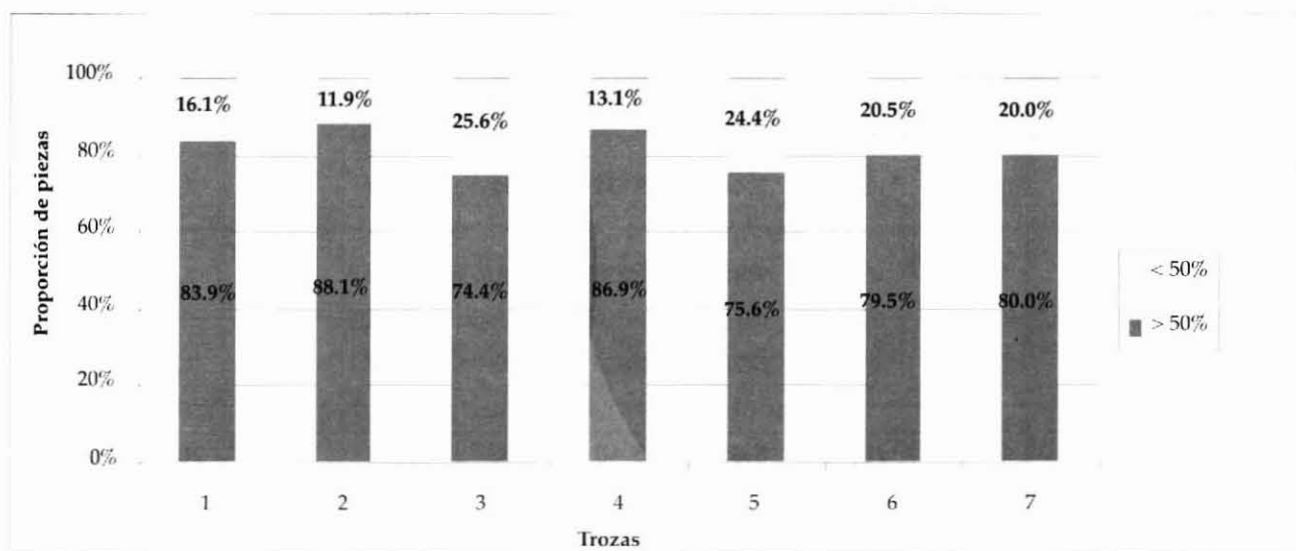


FIGURA 14
PROPORCIÓN DE PIEZAS POR TROZA CON UN PORCENTAJE MENOR Y MAYOR AL 50% DE APROVECHAMIENTO SEGÚN MAXAT.

El comportamiento de las piezas con más de un 50% de madera clear por árbol se presenta en la Tabla 7.

TABLA 7
VALORES DE MADERA CLEAR Y RIP, POR ÁRBOL
(SEGÚN CRITERIO MAXAT)

Árbol N°									
	1	4	7	8	9	11	13	18	19
Volumen (m³)									
Volumen árbol	1,93	0,73	0,97	0,95	1,27	0,90	0,91	0,86	0,89
Aprovechamiento (%)									
Total	64,73	66,00	65,75	72,13	63,99	76,17	69,01	70,90	70,30
Clear	52,08	48,33	50,05	60,95	51,10	63,29	53,18	55,53	54,40
Rip	12,65	17,67	15,70	11,18	12,89	12,88	15,83	15,37	15,91
Clase de largo (cm)	Aprovechamiento por largo (%)								
15 - 30	43,26	27,30	33,06	25,43	35,74	20,75	31,67	21,22	22,83
30 - 45	20,51	22,20	21,51	18,52	29,58	16,43	22,50	17,45	19,72
45 - 60	11,61	12,46	18,41	17,46	15,29	12,14	10,44	12,65	12,77
60 - 75	7,44	13,57	5,46	13,04	5,42	10,99	8,71	7,84	6,90
75 - 90	7,52	4,93	7,43	8,25	5,39	5,19	4,04	7,52	9,09
90 - 105	1,10	2,56	5,77	1,85	2,93	5,21	3,23	7,18	5,70
105 o más	8,55	16,98	8,35	15,45	5,65	29,28	19,41	26,13	22,98
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Un desglose de los valores evaluados en MAXAT se presenta por troza y por árbol en la Tabla 8.

TABLA 8
ANÁLISIS MAXAT POR TROZA Y ÁRBOL

	Árbol 1	Árbol 4	Árbol 7	Árbol 8	Árbol 9	Árbol 11	Árbol 13	Árbol 18	Árbol 19
Troza 1									
Total (%)	63,679	49,961	65,414	74,005	66,957	83,375	86,797	80,817	85,773
Clear (%)	56,364	19,767	47,438	60,522	53,513	74,806	78,484	59,495	77,678
Rip (%)	7,315	30,194	17,976	13,483	13,445	8,569	8,313	21,322	8,095
Volumen (m ³)	0,145	0,090	0,206	0,177	0,194	0,214	0,195	0,162	0,059
Troza 2									
Total (%)	72,437	73,283	50,209	80,212	76,642	81,155	72,772	81,240	74,396
Clear (%)	63,381	59,855	31,651	70,783	59,348	68,949	53,097	75,680	56,141
Rip (%)	9,056	13,429	18,557	9,430	17,294	12,206	19,675	5,560	18,255
Volumen (m ³)	0,151	0,138	0,095	0,117	0,137	0,214	0,155	0,162	0,204
Troza 3									
Total (%)	64,459	60,537	70,592	72,887	62,613	72,571	66,913	67,813	74,293
Clear (%)	52,339	42,174	56,056	65,067	52,638	58,044	53,606	48,647	60,890
Rip (%)	12,120	18,363	14,536	7,820	9,975	14,527	13,307	19,166	13,403
Volumen (m ³)	1,262	0,140	0,280	0,119	0,461	0,193	0,150	0,095	0,143
Troza 4									
Total (%)	61,139	43,462	71,281	61,586	64,628	43,462	62,330	73,263	64,656
Clear (%)	50,769	33,846	60,799	45,793	55,331	33,846	44,166	60,288	49,624
Rip (%)	10,370	9,615	10,482	15,793	9,297	9,615	18,163	12,975	15,032
Volumen (m ³)	0,095	0,011	0,134	0,117	0,227	0,011	0,145	0,094	0,131
Troza 5									
Total (%)	72,277	62,060	60,795	76,190	60,650	83,414	56,661	52,055	69,456
Clear (%)	53,076	46,172	36,605	67,467	41,464	78,679	37,195	29,477	52,139
Rip (%)	19,201	15,887	24,190	8,723	19,186	4,735	19,466	22,579	17,317
Volumen (m ³)	0,101	0,103	0,080	0,188	0,099	0,066	0,108	0,113	0,117
Troza 6									
Total (%)	50,178	85,628	73,596	68,665	49,227	67,456	60,032	61,346	71,061
Clear (%)	30,389	72,354	63,393	57,503	25,807	50,422	37,968	44,438	62,550
Rip (%)	19,789	13,274	10,204	11,162	23,420	17,034	22,063	16,907	8,511
Volumen (m ³)	0,113	0,153	0,093	0,154	0,080	0,117	0,088	0,091	0,117
Troza 7									
Total (%)	74,147	53,303	55,328	67,176	59,865	65,530	59,624	53,678	59,214
Clear (%)	49,234	32,190	38,163	54,303	47,134	43,539	44,316	29,530	36,055
Rip (%)	24,912	21,112	17,165	12,872	12,730	21,991	15,307	24,148	23,159
Volumen (m ³)	0,063	0,095	0,082	0,078	0,072	0,085	0,069	0,143	0,119

Calidad de madera por troza individual

En las Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22, se observa la calidad de la madera por trozas.

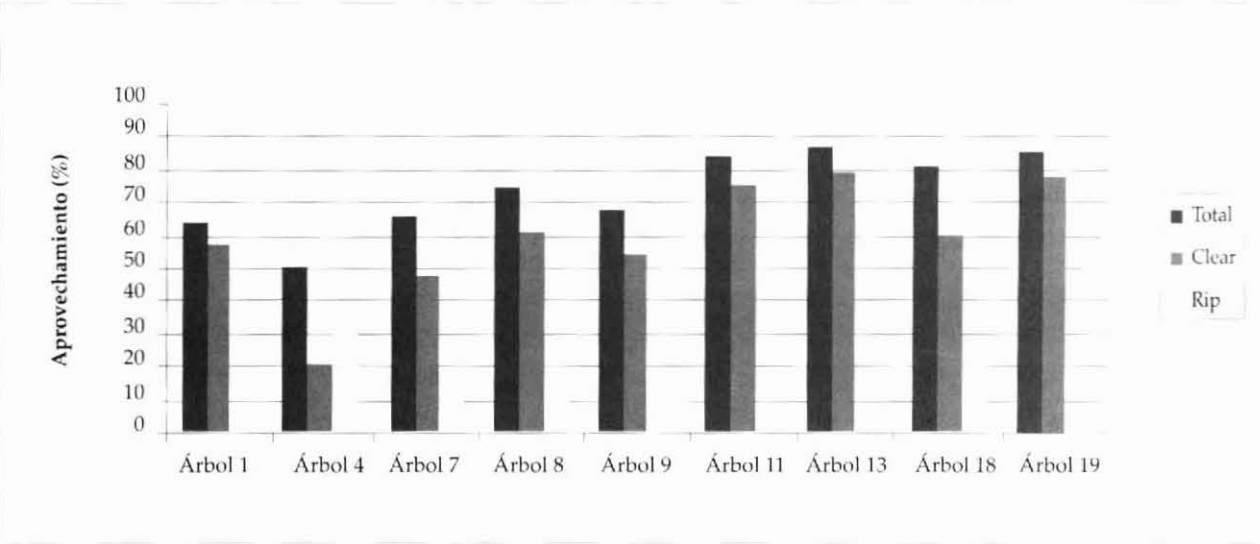


FIGURA 15
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 1 SEGÚN MAXAT, EN
***Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS**

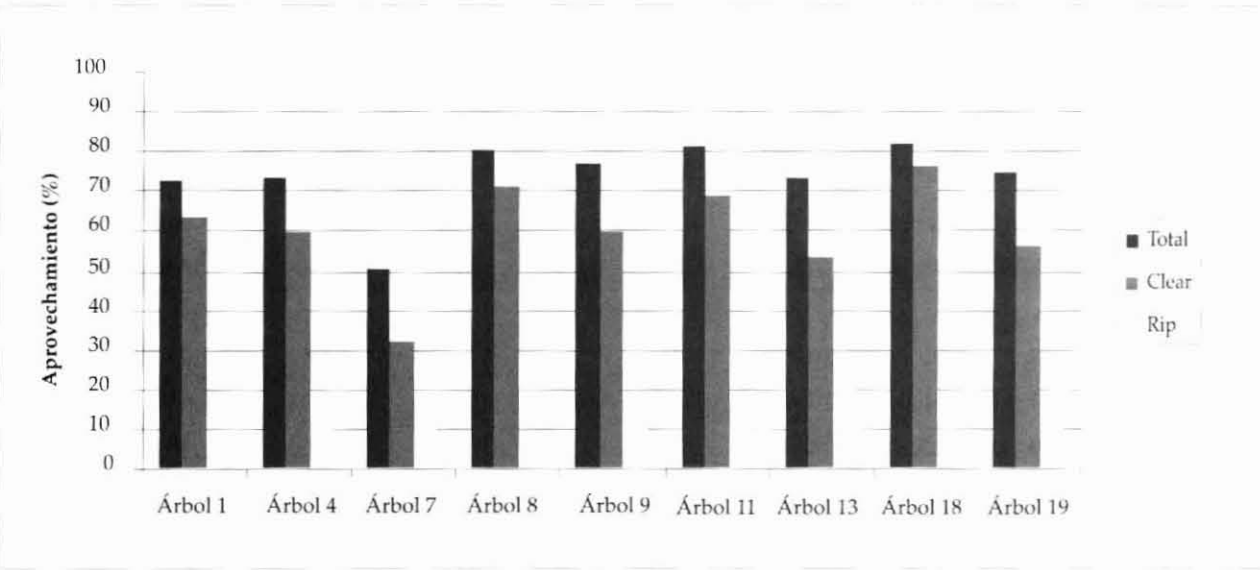


FIGURA 16
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 2 SEGÚN
MAXAT, EN *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS

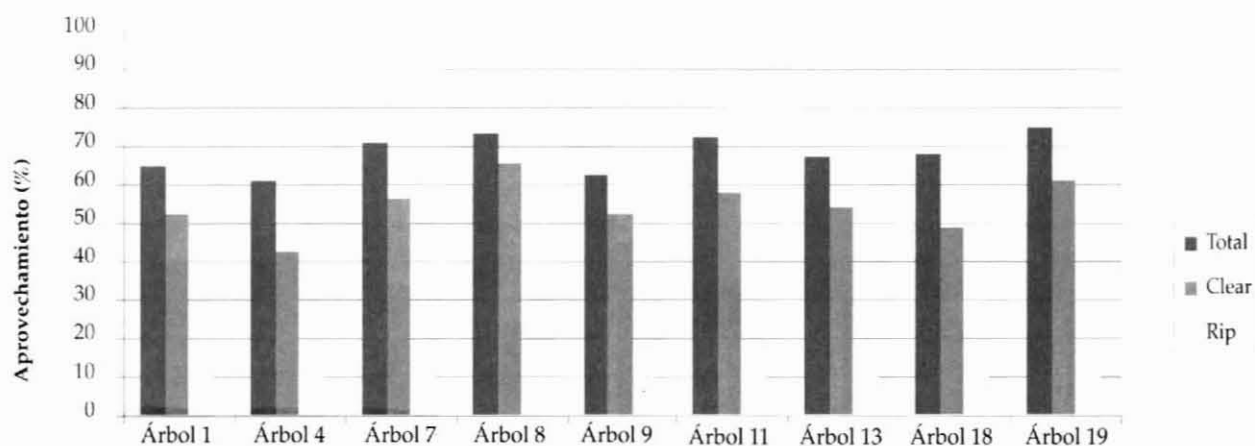


FIGURA 17
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 3 SEGÚN MAXAT, EN
***Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS**

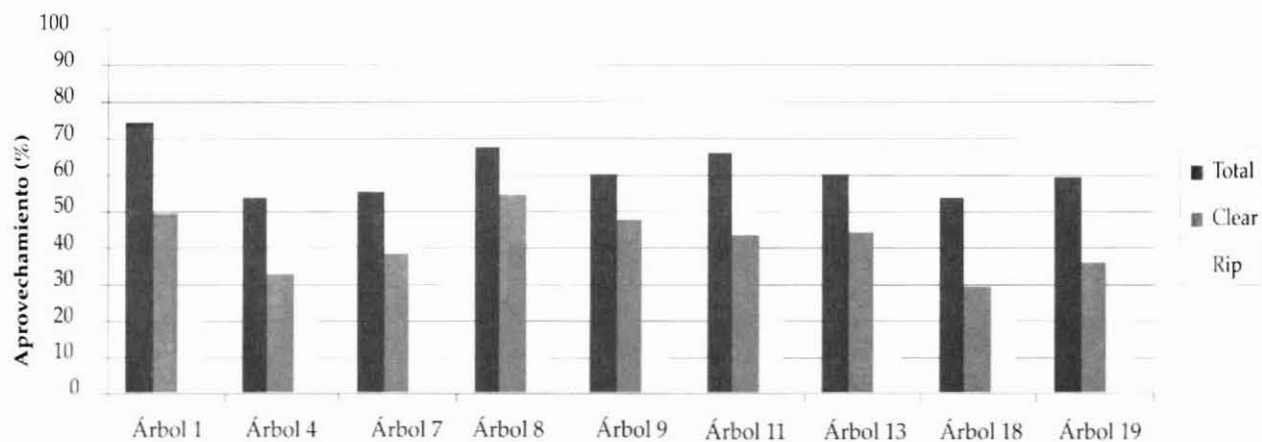


FIGURA 18
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 4 SEGÚN
MAXAT, EN *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS

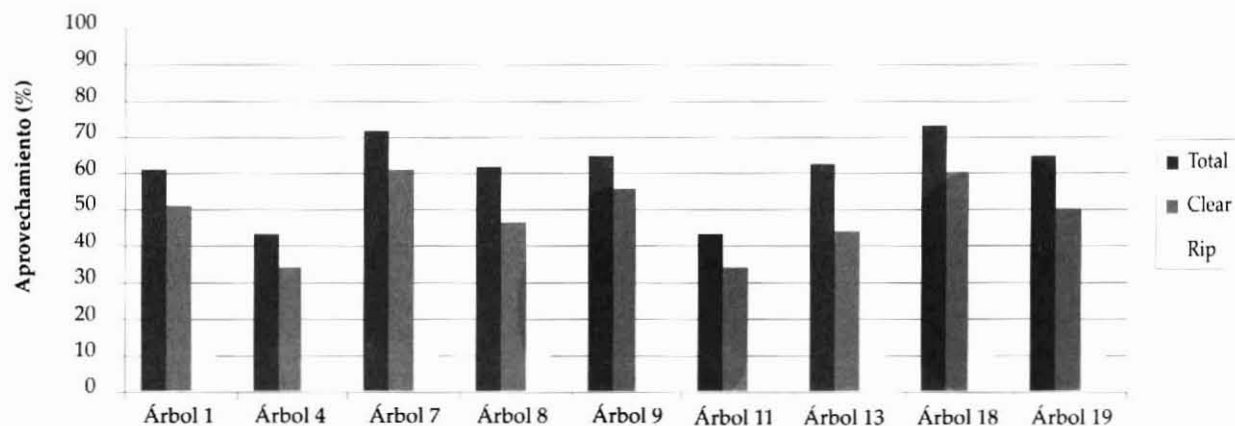


FIGURA 19
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 5 SEGÚN MAXAT,
EN *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS

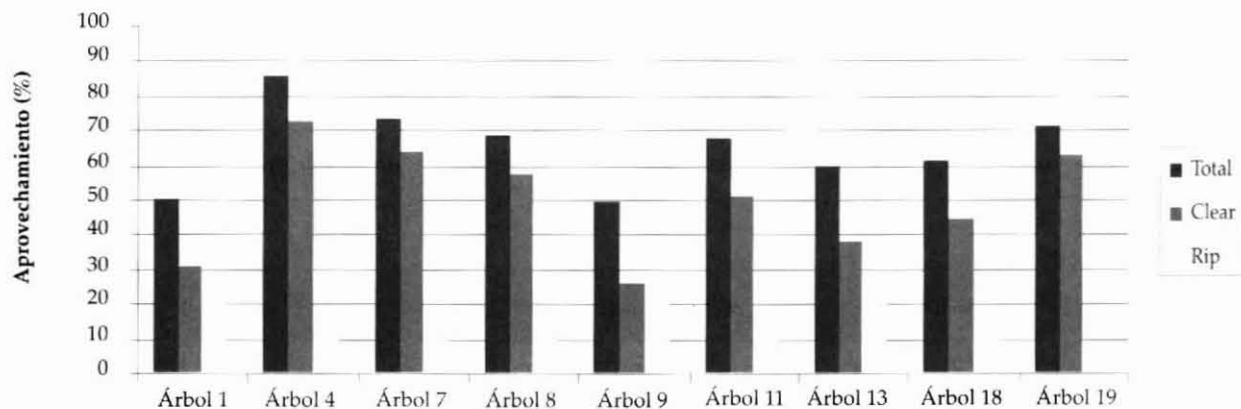


FIGURA 20
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 6 SEGÚN MAXAT,
EN *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS

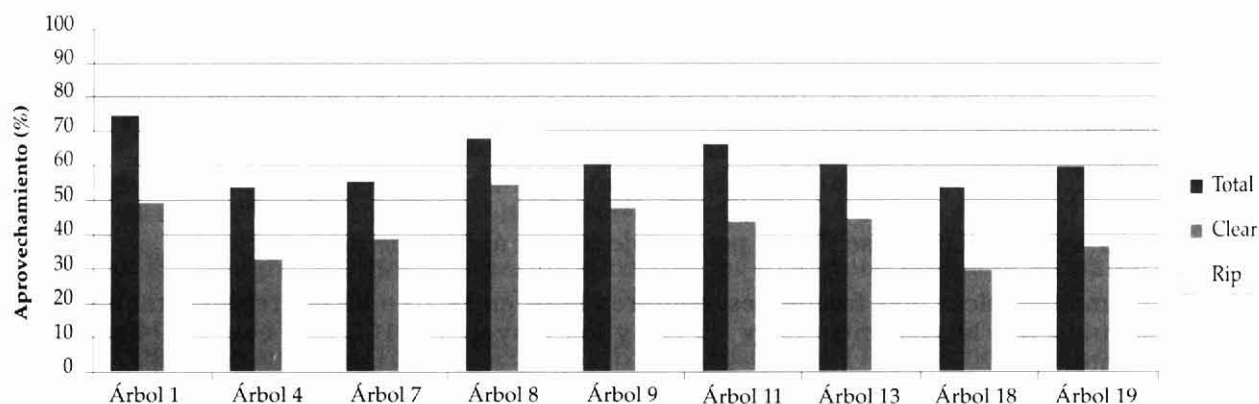


FIGURA 21
CALIDAD DE MADERA EN TROZAS 7 SEGÚN MAXAT,
EN *Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS

A continuación se presenta un desglose de la calidad de madera por árboles, que describe los porcentajes de madera libre de nudos por frecuencia de largos.

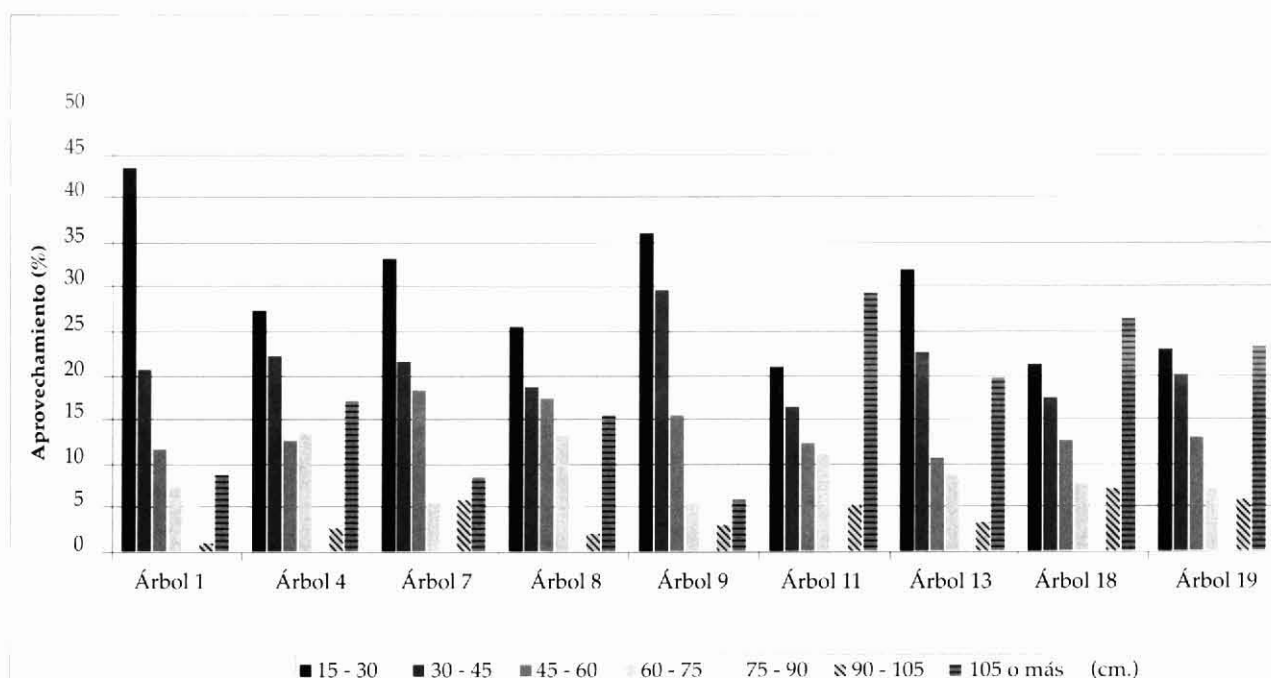


FIGURA 22
CALIDAD DE MADERA SEGÚN MAXAT, EN DISTINTOS LARGOS, EN
***Eucalyptus nitens* DE 21 AÑOS**

Se puede observar que independiente de los árboles que se evalúen, éstos mantienen la tendencia de mayor porcentaje de aprovechamiento en largos menores. En el caso de los largos mayores a 105 cm, no se observa una tendencia clara.

2.4 CONCLUSIONES

El aprovechamiento obtenido en el aserrio fue de 57,47 y 56,64% en árboles de 12 y 21 años, respectivamente.

Los valores de aprovechamiento por trozas y por árboles en altura no presentan una tendencia clara, debido probablemente a que fueron árboles no podados.

El análisis de la calidad de la madera aserrada, utilizando la metodología del Máximo Aprovechamiento Teórico (MAXAT), determinó que un 81% de esta madera tiene más de un 50% en madera clear y tan sólo un 19% de madera presenta un porcentaje menor al 50% de madera clear.

Los largos de madera clear más frecuentes, comprendidos entre 15 a 30 cm representan el 29,03% del total, seguido por largos entre 30 y 45 cm y los mayores a 105 cm, con 20,94 y 16,98%, respectivamente.

2.5 REFERENCIAS

- Forest Research Institute. 1996.** Ash *Eucalyptus* and *Eucalyptus nitens* EN: Properties and utilization of exotic specialty timbers grown in New Zealand. FRI Bulletin N° 119.
- McKimm, R.J.; Waugh, G; Northway, R.L. 1988.** Utilization potential of plantation-grown *Eucalyptus nitens*. Australian Forestry 51(1): 63-71
- Navarrete, P.J.; Vergara, C.A. 1999.** Estudio del uso industrial del *Eucalyptus nitens*. Tesis Ingeniero Civil en industrias Forestales. Universidad del Bío-Bío Chile.
- Northway, R.; Waugh, G. 1999.** Processing eucalypts for solid wood products. Actas XII Silvotecná, Concepción. Chile.
- Rozas, C. 2001.** Resultados Tecnológicos EN: "Diversificación del Aprovechamiento de Plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en su utilización en la industria del mueble" Proyecto FONDEF D9811018. Departamento de Ingeniería en Maderas, Facultad de Ingeniería. Universidad del Bio-Bio. pp 29-86
- Shelbourne, T.; Britton, B.; Kimberly, M.; McKenzie, H.; McKinley, R. 2001.** Evaluating *Eucalyptus nitens* for appearance-grade lumber and veneers, and predicting "sawnability" and timber quality from tree, disc and short-billet data. Sawmilling. Issue N° 30 November.
- Touza, M. 2001.** Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. MADERAS: Ciencia y tecnología 3: 1 y 2.



CAPITULO III

SECADO ARTIFICIAL A ESCALA DE LABORATORIO

Roberto Juacida Percáz *
rjuacida@uach.cl

Luis Inzunza Diez **
linzunza@uach.cl

3.1 ANTECEDENTES GENERALES

La conducción del proceso de secado de la madera de *Eucalyptus nitens* es mucho más compleja que para otros *Eucalyptus* spp., y debe ser planteada desde el momento mismo del aserrio de las trozas. El alto contenido de humedad de las tablas y la liberación de tensiones de crecimiento hace que la madera esté muy propensa a agrietarse y deformarse, luego del aserrio, por efecto de una rápida evaporación superficial. Por ello, para este tipo de especies es conveniente dejar la madera arrumada luego del aserrio por algunos días para disminuir ambos problemas.

Distintos autores; Rozas (2002), Navarrete y Vergara (1999), Galleti (1996), Innes (1995) concuerdan que en el secado de madera aserrada, los temas importantes son: el colapso, la temperatura de aplicación de los tratamientos, las contracciones, la edad y el tipo de corte, entre otros.

Concuerdan en que la madera de corte radial tiene un mejor comportamiento durante el secado, sea éste natural o artificial.

En relación al colapso de la madera de esta especie, que se produce normalmente sobre el punto de saturación de la fibra, es más frecuente encontrarlo en maderas menos densas que en aquellas más densas, existiendo además una correlación con las temperaturas de secado, las que siendo mayores lo intensifican y agravan.

Con temperaturas entre 40 y 50°C, aplicadas en la etapa bajo el punto de saturación de las fibras se consigue una disminución de los defectos en los procesos de secado artificial.

En relación a la contracción de la especie, se han determinado valores del orden del 7% en tablas de corte radial y cercanos al 15% en tablas con corte tangencial.

En consideración a estos antecedentes se propusieron los siguientes objetivos:

- Realizar por lo menos seis ensayos a escala de laboratorio, con piezas obtenidas preferentemente con corte radial de 28 mm (delgadas) y 48 mm (gruesas) nominales. Tres ensayos por espesor.
- Optimizar en las cargas sucesivas los programas de secado propuestos para ambos espesores.
- Evaluar los procesos en función del contenido de humedad y los defectos: alabeos, grietas, colapso, cambios de color, contracciones y tensiones, mediante un índice integrado de todas estas variables.

* Ingeniero Forestal (1969) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1979) de Universität zu Hamburg (Alemania). *Especialidad:* Preservación y Secado de la madera

** Técnico Forestal (1969) Universidad de Concepción. *Especialidad:* Secado de la madera y tableros.

3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La madera en trozas fue aserrada en su totalidad en dos meses, para evitar la aparición de grietas en los extremos. La madera aserrada fue arrumada durante quince días aproximadamente antes de ser llevada a proceso o encastillada en condiciones controladas. De los distintos grupos de madera aserrada se extrajeron muestras para cada una de las cargas de secado. Por ello algunos procesos se realizaron con madera absolutamente verde y otros con madera presecada bajo una condición controlada (20°C y 70% H.R. aproximadamente), efectuado en instalaciones de laboratorios o bajo galpones con protección de las lluvias y el exceso de calor.



FIGURA 23
PREPARACIÓN DE PIEZAS PARA SECADO ARTIFICIAL

Se extrajeron muestras aleatoriamente de los lotes de madera aserrada de ambas edades (12 y 21 años). Estas muestras fueron analizadas en relación al corte de las piezas, el que debía ser preferentemente radial. Las piezas seleccionadas fueron dimensionadas mediante el cepillado, para alcanzar un espesor uniforme de 52 y 46 mm, para las tablas gruesas y 30 y 32 mm, para las tablas delgadas. (Figura 23).

TABLA 9
CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA PARA LOS
PROCESOS EXPERIMENTALES DE SECADO

Secado N°	Caracterización	Espesor (mm)	Presecado	Edad (años)
1	Espesor delgado	32	Sin	21
2	Espesor grueso	52	Sin	21
3	Espesor delgado	32	Con	21
4	Espesor grueso	46	Con	21
5	Espesor grueso	46	Con	12
6	Espesor grueso	46	Con	12
7	Espesor delgado	30	Con	12
8	Espesor grueso	46	Con	12

Las piezas seleccionadas para el secado fueron selladas en sus extremos con una pintura a base de acetato de celulosa, para evitar grietas en los extremos. Se emplearon separadores de 20 mm de espesor y sobre la carga se colocaron sobrepesos equivalentes a 350 kg/m² aproximadamente.

La cámara de secado piloto en que se realizaron los ensayos, corresponde a un prototipo experimental marca Hildebrand, equipada con sistema de control electrónico, de capacidad 0,3 m³. Los controles instalados por la firma Müllbock manejan electrónicamente temperaturas, humedades relativas, contenidos de humedad de la madera, dispositivos de ventilación y generación de vapor. (Figura 24)

De la totalidad de la muestra y en el tiempo disponible se realizaron ocho secados a escala piloto. Cinco de ellos con espesores gruesos y 3 con espesores delgados.

En relación a la edad de la madera se realizaron cuatro procesos con madera de 21 años y cuatro con madera de 12 años. En el Tabla 9, se describen las principales características de la madera empleada en los procesos experimentales de secado.

Las principales variables del programa de secado base se definieron mediante revisión bibliográfica y antecedentes de otras investigaciones relacionadas.

El control del contenido de humedad inicial de todas las piezas se realizó según la Norma Chilena Oficial NCh 176/1 of-84. De cada carga se seleccionaron las 5 muestras más húmedas, que se emplearon como testigos en las etapas sucesivas del proceso.

Para la determinación de la contracción, las piezas fueron medidas en su espesor y ancho a 35 cm de los extremos (Figura 25).



FIGURA 24
CARGA DEL SECADOR CON MADERA
DE 32 mm DE ESPESOR



FIGURA 25
MEDICIÓN PARA DETERMINACIÓN
DE CONTRACCIÓN

Durante el proceso de secado de cada ensayo se midió el contenido de humedad, por medio de los sensores y por el método gravimétrico.

Después del secado se evaluaron: contracciones, contenido de humedad final promedio, alabeos, grietas, tensiones, cambios de color y colapso. (Figuras 26 y 27).



FIGURA 26
PROBETAS PARA MEDICIÓN
DE TENSIONES

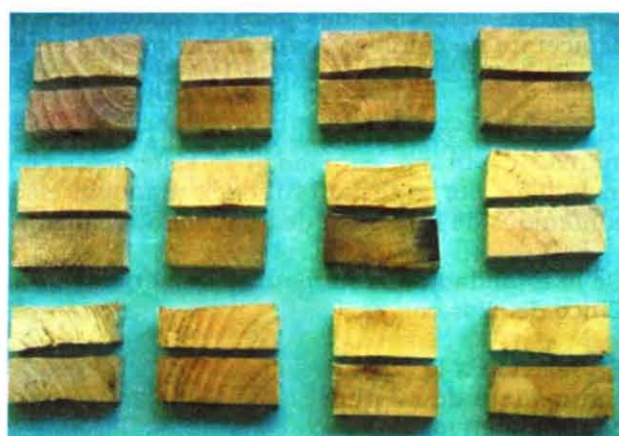


FIGURA 27
PROBETAS PARA MEDICIÓN
DE COLAPSO

La evaluación de la calidad de secado se realizó mediante el método propuesto por Peredo (1990), el que consiste en la determinación de un Índice Global Integrado que pondera cada uno de los defectos potenciales ocurridos en el secado.

Los defectos considerados para establecer la calidad de la madera seca fueron los alabeos, colapso y grietas, medidos según la Norma Chilena NCh 992/1 of-74.

Para la determinación de los **alabeos**, en la Tabla 10 se presentan los distintos niveles admisibles, donde se evalúa cada deformación considerando los máximos especificados por la Norma Chilena NCh 196 of-86.

TABLA 10
NIVELES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA ALABEOS

Alabeo	Unidad	Niveles de clasificación			
		A	B	C	D
Acanaladura	mm	0	2,6	5,2	7,8
Arqueadura	mm	0	4,0	7,0	12,0
Encorvadura	mm	0	1,0	1,5	2,0
Torcedura	mm	0	3,1	5,8	9,0

Valores ajustados a tablas 1,1 m de longitud por Guerrero e Inzunza (1980).

Cada valor obtenido en la deformación puede ser clasificado en alguno de los cuatro niveles por alabeo. Por ejemplo, si el valor de la acanaladura fue mayor que 0 y menor que 2,6 mm le corresponde un subíndice B, que significa un aporte al índice de secado de 0,5.

- (0) A = sin alabeo
- (0,5) B = alabeo leve
- (1,0) C = alabeo leve-fuerte
- (1,5) D = alabeo intenso

El **colapso** fue medido de acuerdo a la Norma Chilena NCh 196 of-86, en donde la madera sin colapso entrega un subíndice de secado = 0, en tanto que un colapso intenso un subíndice de 1,5 (Tabla 11):

TABLA 11
ÍNDICES COLAPSO

(0)	SC =	Sin colapso, la madera no presenta aplastamiento celular.
(0,5)	CL =	Colapso leve, la madera presenta aplastamiento celular en algunos sectores.
(1,5)	CI =	Colapso intenso, la madera está afectada por aplastamiento celular en más de un 50%.

Las **grietas** fueron evaluadas siguiendo la metodología recopilada por Peredo (1990) y adaptada para esta situación específica (Tabla 12).

TABLA 12
ÍNDICES GRIETAS

(0)	A =	Sin defecto, la madera no presenta grietas.
(0,5)	B =	Leve, grietas terminales leves. (longitudinales)
(1,0)	C =	Grietas superficiales.
(1,5)	D =	Grietas terminales severas.

Para determinar la **calidad total de la madera** sometida a un proceso de secado se realizó la sumatoria de las medias estadísticas de los defectos considerados. La escala de referencia se presenta en la Tabla 13.

TABLA 13
PAUTA DE EVALUACIÓN PARA LA CALIDAD DE SECADO

Calidad del Secado		Condiciones de Secado
Excelente	= 0,0	Adecuadas
Muy buena	= hasta 0,5	
Buena	= hasta 1,0	
Regular	= hasta 1,5	Poco adecuadas
Menos que regular	= hasta 2,0	
Defectuosa	= hasta 3,0	
Mala	= hasta 5,0	Inadecuadas
Muy mala	= más de 5,0	

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Secado N°1

Corresponde a un secado de madera aserrada verde de 32 mm de espesor. Se utilizó un programa de secado (Tabla 14) donde la temperatura de bulbo seco máxima fue de 40°C.

TABLA 14
PROGRAMA DE SECADO PARA MADERA DE
***Eucalyptus nitens* DE PIEZAS DE 32 mm DE ESPESOR**

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (°C)
60,0	30,0	1,9	16,0
50,0	30,0	1,9	15,5
30,0	30,0	2,1	14,5
25,0	32,0	2,0	12,2
20,0	35,0	2,0	10,0
15,0	38,0	2,0	7,5
10,0	40,0	2,0	5,0
7,0	40,0	2,0	3,5

Donde:

TBs: Temperatura de bulbo seco;

G.S.: Gradiente de secado;

H.eq.: Humedad de equilibrio

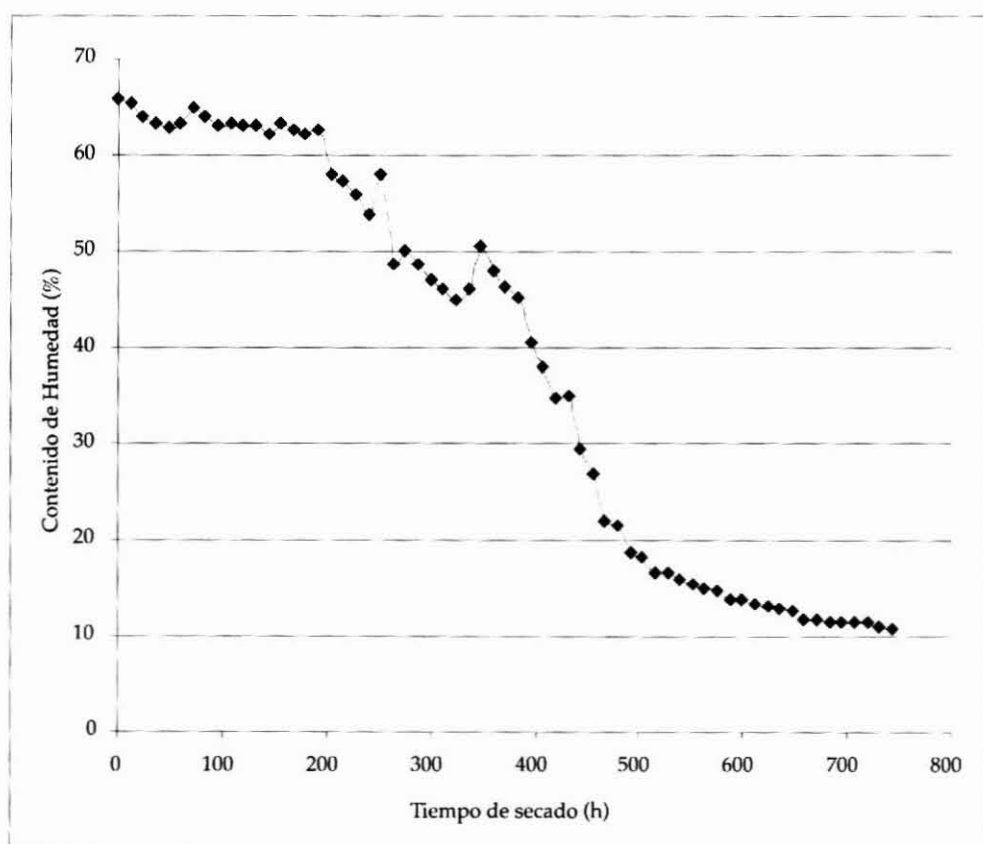


FIGURA 28
CURVA DEL PROGRAMA SECADO N°1 DE *Eucalyptus nitens* (32 mm)

La curva de secado (Figura 28), muestra que la madera alcanzó el 10% de contenido de humedad en 744 horas (31 días aproximadamente).

En la Tabla 15 se presentan los indicadores de las humedades inicial y final registradas en la madera.

TABLA 15
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°1

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	98,07	11,59
Valor máximo	114,45	13,48
Valor mínimo	71,40	9,88
Desv. Estándar	10,70	0,86

Las Figuras 29 y 30, muestran la distribución del contenido de humedad inicial y final de la madera.

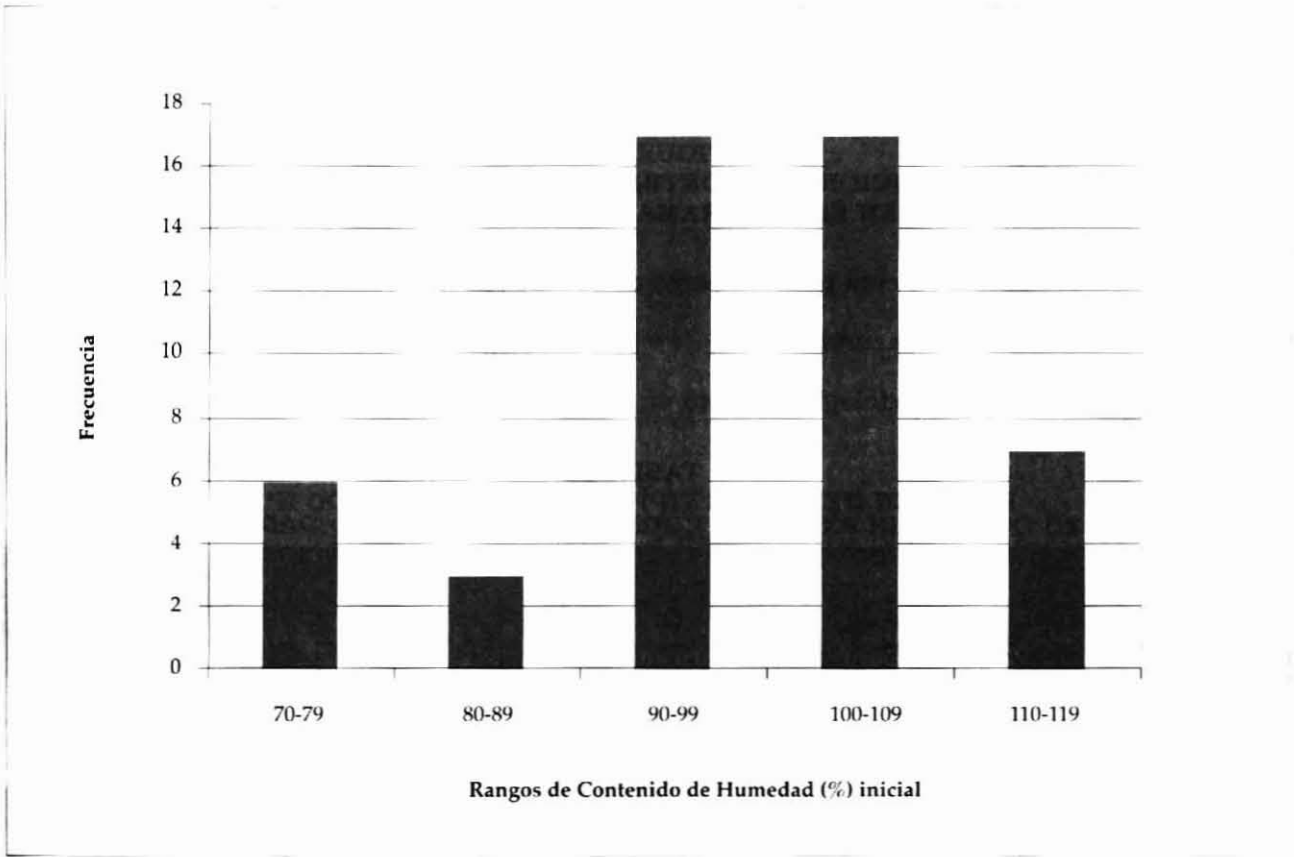


FIGURA 29
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD
INICIAL EN EL PROGRAMA DE SECADO N°1

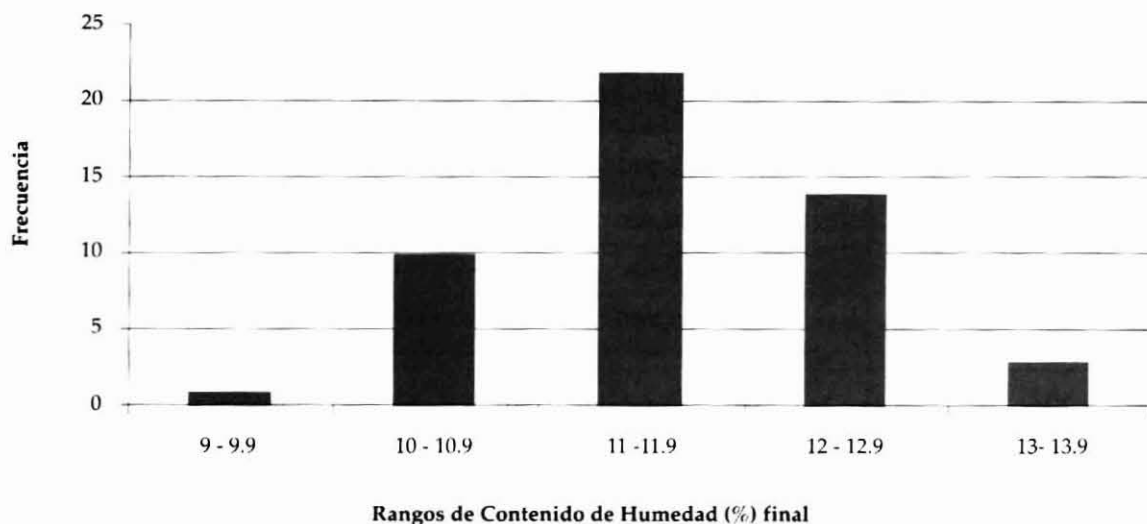


FIGURA 30
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL
EN EL PROGRAMA DE SECADO N°1

La contracción producida en esta primera carga de secado fue de 11,7%.

Evaluación de la calidad de la carga

Con la aplicación de la metodología descrita se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 16)

TABLA 16
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°1

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
3,2	0,8	3,2	1,2	2,9	0,6	2,8	0,5	0,0	0,3
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,6			

Esto significa que el secado fue de buena calidad, comprobando que las condiciones de secado propuestas en este programa son adecuadas.

Para obtener un valor promedio de la **densidad de la madera** que se utilizó en todos los ensayos de secado, se tomaron 41 muestras, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla 17. El promedio de la densidad básica fue de 0,48 gr/cm³.

TABLA 17
DENSIDAD DE LA MADERA DEL ESTUDIO DE SECADO

Valores	Densidad Anhidra (gr/cm ³)	Densidad Básica (gr/cm ³)
Promedio	0,6167	0,4758
Máximo	0,8158	0,5884
Minimo	0,4276	0,3656
Desv. Est.	0,0884	0,0525

Para este primer ensayo se hizo un análisis de la distribución de las piezas seleccionadas de manera de ver si la aleatoriedad se estaba dando en la selección de las piezas sometidas a secado artificial (Figura 31).

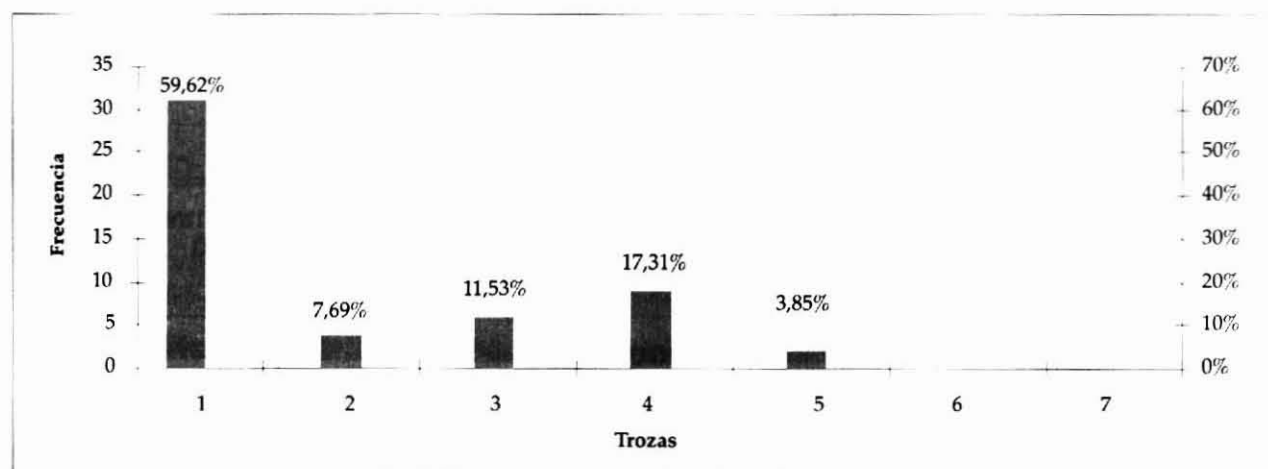


FIGURA 31
UBICACIÓN DE LAS PIEZAS SEGÚN TROZA EN EL SECADO DE
***Eucalyptus nitens* N°1**

3.3.2 Secado N°2

Corresponde al secado de madera aserrada verde de 52 mm de espesor. Se empleó un programa de secado (Tabla 18) donde la temperatura de bulbo seco máxima fue de 40°C.

TABLA 18
PROGRAMA DE SECADO PARA MADERA DE *Eucalyptus nitens*
DE 52 mm DE ESPESOR

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
60,0	25,0	2,0	15,0
50,0	30,0	2,1	14,3
40,0	35,0	2,2	13,6
30,0	38,0	2,2	13,6
20,0	40,0	2,2	9,1
15,0	40,0	2,2	6,8
10,0	40,0	2,2	4,5
7,0	40,0	2,2	3,2

La curva de secado (Figura 32), presenta una disminución en el contenido de humedad que alcanzó el 11,12% en 1.008 horas (42 días aprox.)

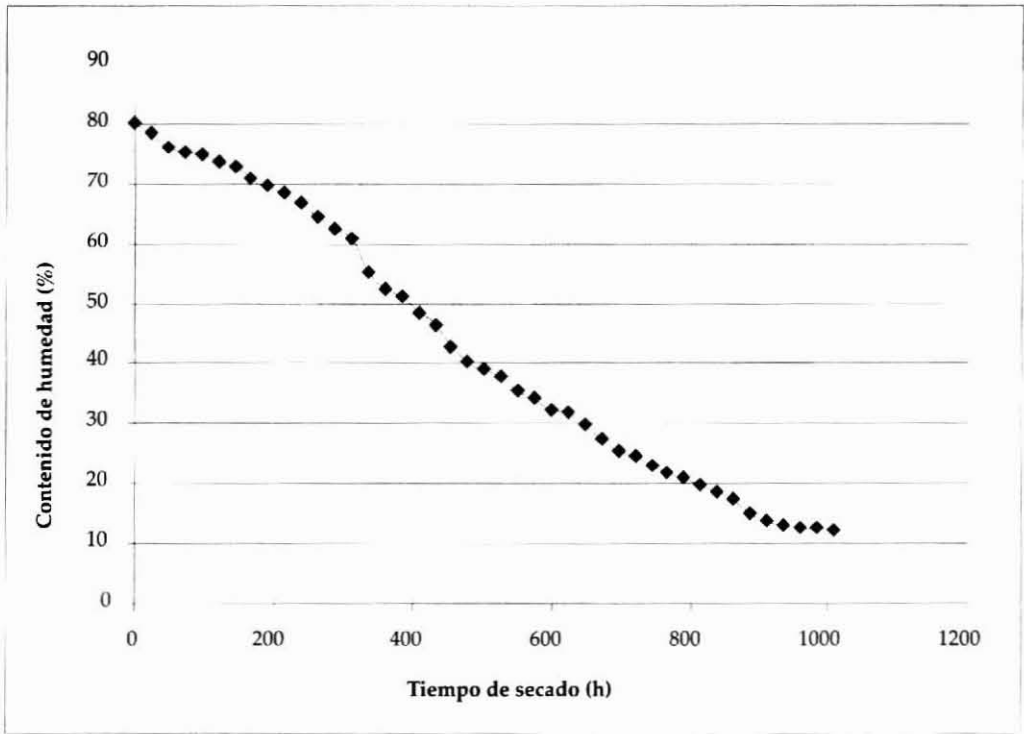


FIGURA 32
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°2 DE *Eucalyptus nitens* (52 mm)

En la Tabla 19 se presentan los indicadores de las humedades inicial y final registrados en el proceso de secado N°2.

TABLA 19
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°2

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	97,09	11,12
Valor máximo	125,29	16,79
Valor mínimo	70,67	6,97
Desv. Estándar	15,58	3,03

A continuación se incluye la frecuencia obtenida en el contenido de humedad inicial de la madera verde y final (Figuras 33 y 34)

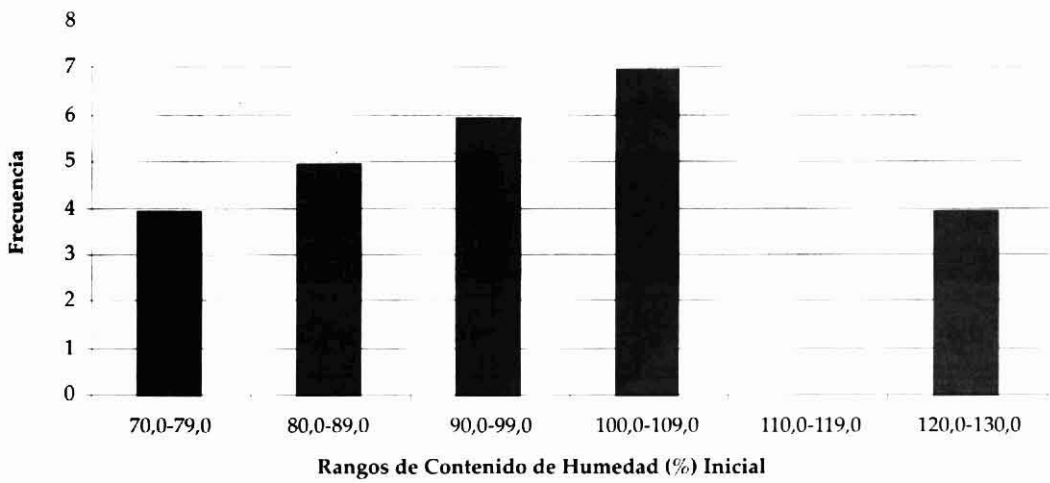


FIGURA 33
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL EN EL SECADO DE PIEZAS DE 52 mm SIN PRESECADO AL AIRE

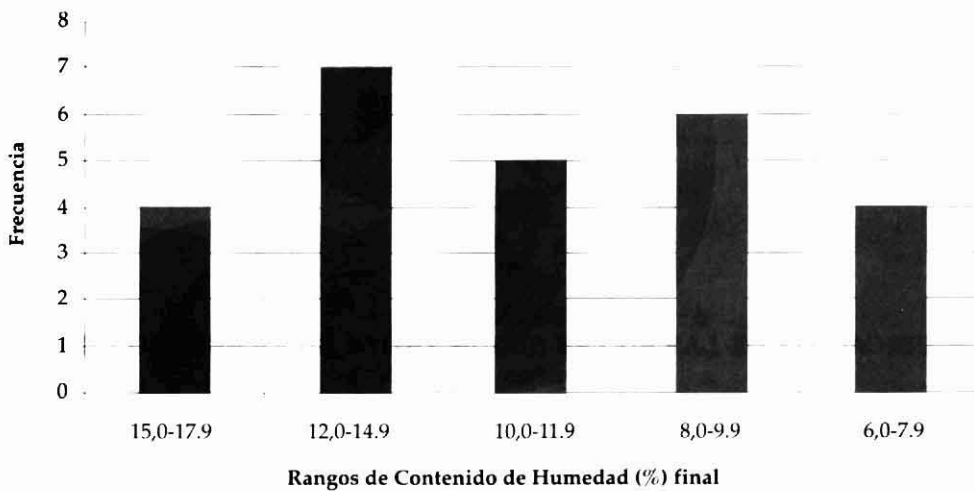


FIGURA 34
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL EN EL SECADO DE PIEZAS DE 52 mm SIN PRESECADO AL AIRE

La **contracción** producida durante el proceso de secado fue de 4,0%.

Evaluación de la calidad de la carga

Se aplicó la misma metodología aplicada para el secado de piezas de 32 mm, obteniéndose los siguientes resultados. (Tabla 20)

TABLA 20
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°2

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
2,9	0,6	2,4	0,7	2,7	0,5	1,2	0,2	0,5	0,5
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,5			

Este resultado indica un secado de muy buena calidad, por lo tanto las condiciones de secado son adecuadas.

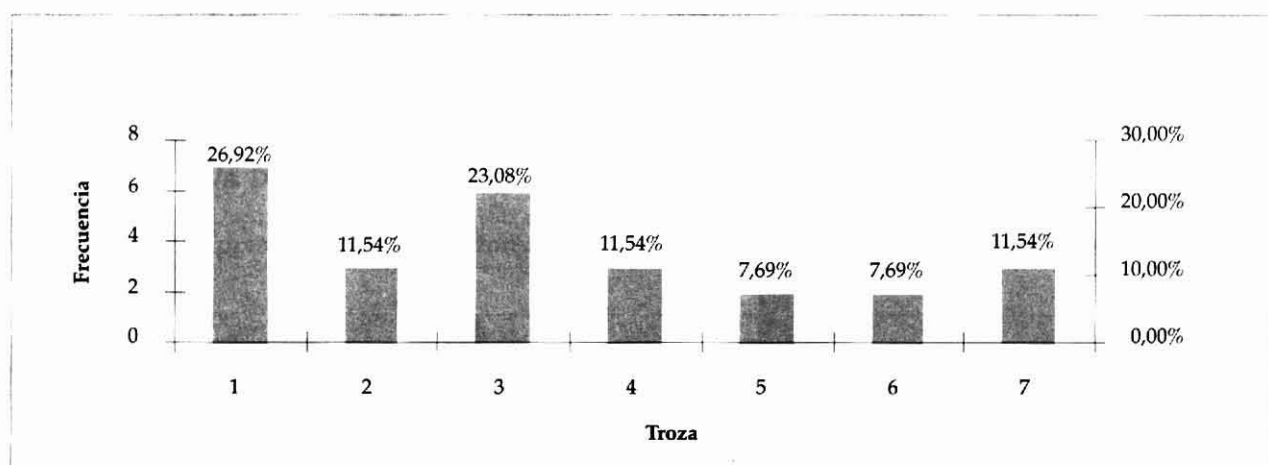


FIGURA 35
UBICACIÓN DE LAS PIEZAS SEGÚN TROZA EN EL SECADO DE
***Eucalyptus nitens* N°2**

La Figura 35 muestran la distribución de las piezas empleadas en el secado N°2 de acuerdo a la troza de origen.

3.3.3 Secado N°3

Corresponde al secado de madera aserrada verde de 32 mm de espesor, con presecado natural. Se usó un programa de secado (Tabla 21), donde la máxima temperatura de bulbo seco fue de 40°C.

TABLA 21
PROGRAMA DE SECADO PARA MADERA DE
***Eucalyptus nitens* DE 32 mm DE ESPESOR**

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
30,0	30,0	2,1	14,5
25,0	32,0	2,0	12,2
20,0	35,0	2,0	10,0
15,0	38,0	2,0	7,5
10,0	40,0	2,0	5,0
7,0	40,0	2,0	3,5

La curva de secado (Figura 36), muestra que la madera alcanzó el 10,21% de contenido de humedad en 192 horas (8 días aprox.)

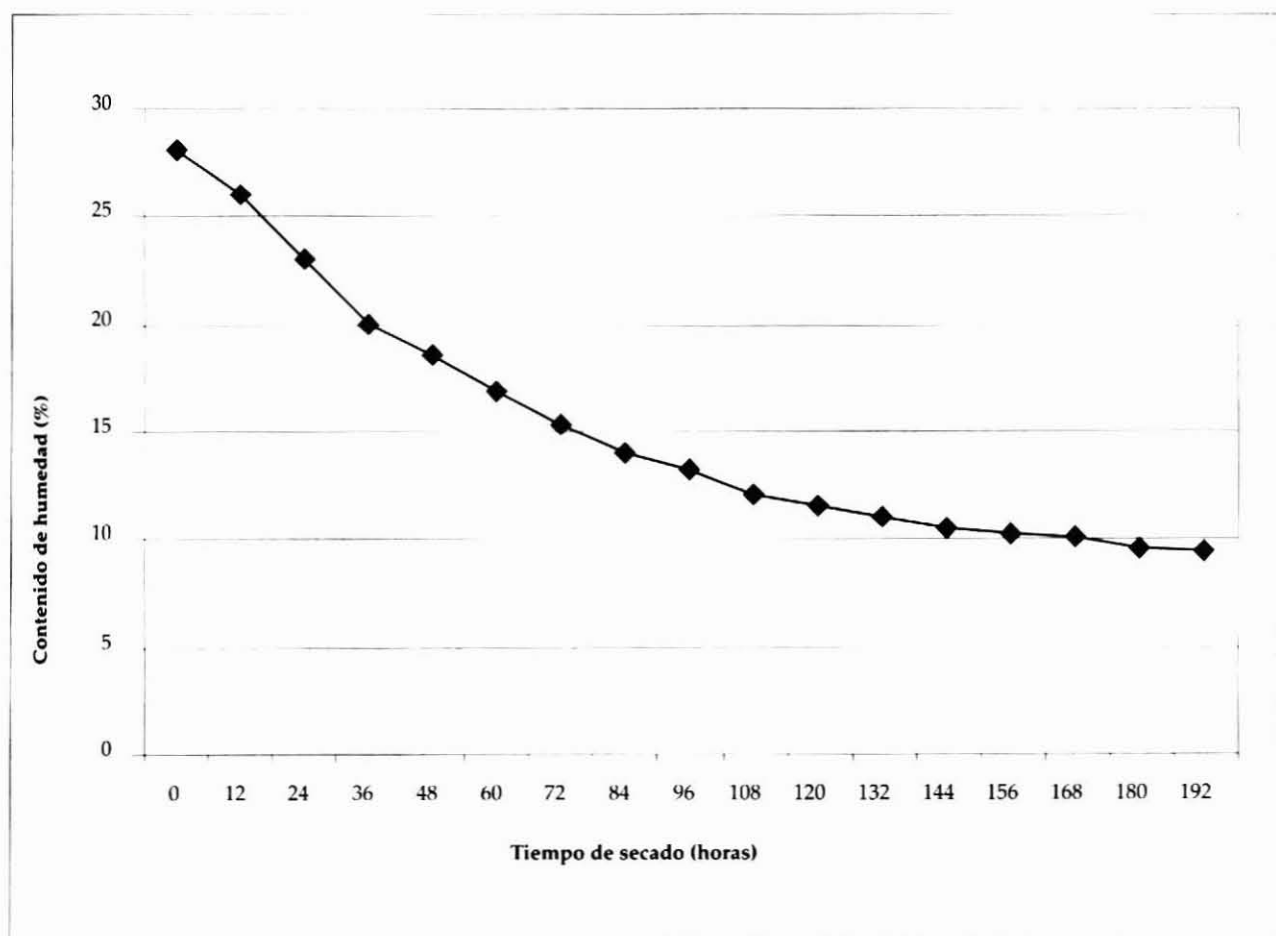


FIGURA 36
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°3 DE *Eucalyptus nitens* (32 mm)

En la Tabla 22 se presentan los contenidos de humedad inicial y final registrados en el proceso de secado N°3.

TABLA 22
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°3

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	18,89	10,21
Valor máximo	41,78	11,50
Valor mínimo	12,75	9,20
Desv. Estándar	8,66	0,98

La contracción producida durante el proceso de secado N°3 fue de 2,6%.

Evaluación de la calidad de la carga

Se aplicó la metodología expuesta anteriormente, obteniéndose los resultados de la Tabla 23.

TABLA 23
RESUMEN DE DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°3

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
2,3	0,7	1,7	0,5	1,5	0,3	1,0	0,2	0,3	0,2
Promedio ponderado de los Índices de Secado							0,4		

Este resultado significa que el secado fue de muy buena calidad, por lo tanto las condiciones de secado son adecuadas.

3.3.4 Secado N°4

Corresponde al secado de piezas de madera de 46 mm de espesor, con presecado natural. Se usó un programa de secado (Tabla 24) en donde la temperatura bulbo seco fue no superior a 40°C.

TABLA 24
PROGRAMA DE SECADO DE PIEZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 46 mm DE ESPESOR

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
30,0	38,0	2,2	13,6
20,0	40,0	2,2	9,1
15,0	40,0	2,2	6,8
10,0	40,0	2,2	4,5
7,0	40,0	2,2	3,2

La curva de secado (Figura 37), presenta una disminución en el contenido de humedad que alcanzó al 11,05% en 180 horas (7,5 días aprox.).

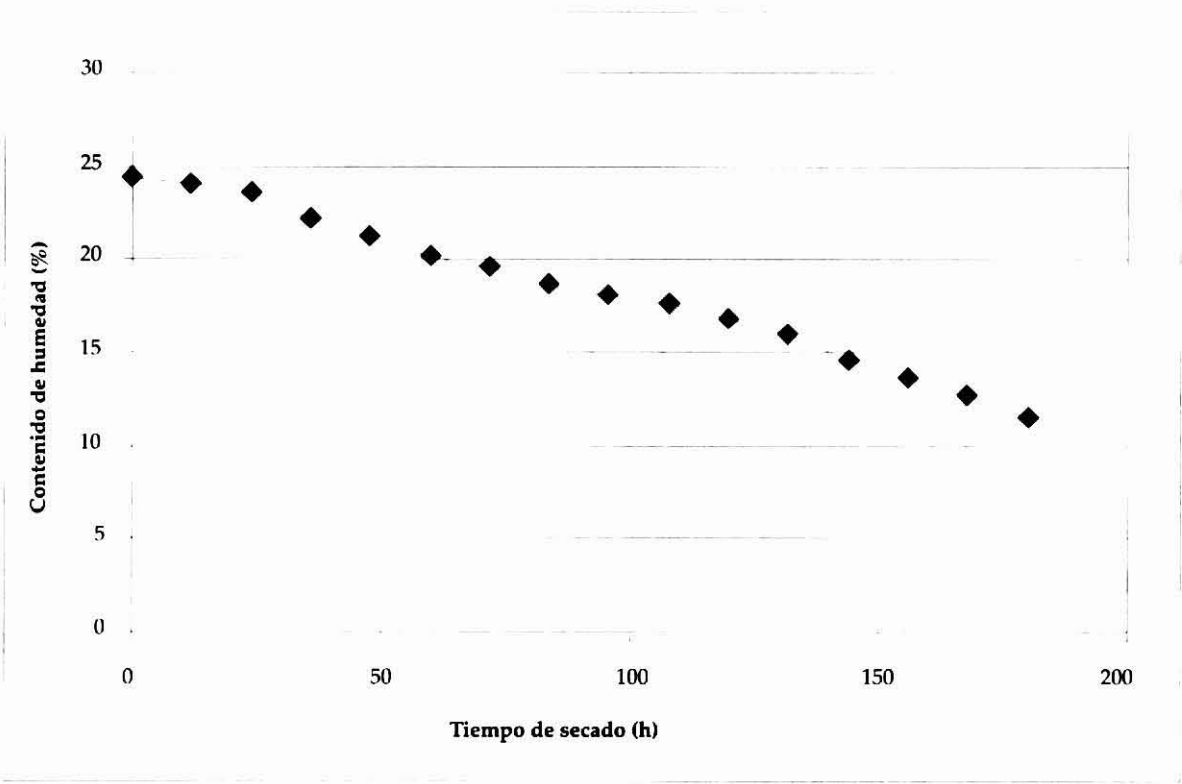


FIGURA 37
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°4 DE *Eucalyptus nitens* (46 mm)

En la Tabla 25 se presentan los contenidos de humedad registrados durante el programa de secado N°4.

TABLA 25
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°4

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	24,38	11,05
Valor máximo	30,00	12,80
Valor mínimo	19,80	9,60
Desv. Estándar	3,00	0,90

Las **contracción** producida durante el proceso de secado N°4 fue de un 1,50%.

Evaluación de la calidad de la carga

Para evaluar la calidad del secado (Tabla 26), se aplicó metodología explicada.

TABLA 26
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°4

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
1,3	0,4	2,3	1,1	1,8	0,4	1,6	0,3	0,0	0,2
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,4			

Según el promedio ponderado del Índice de Secado, la calidad de secado es muy buena, implicando que las condiciones de secado son adecuadas.

3.3.5 Secado N°5

Corresponde al secado de madera de 46 mm de espesor con presecado natural. Se empleó un programa de secado (Tabla 27) donde la temperatura de bulbo seco fue no superior a 40°C.

TABLA 27
PROGRAMA DE SECADO DE PIEZAS DE
***Eucalyptus nitens* DE 46 mm DE ESPESOR**

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
30,0	38,0	2,2	13,6
20,0	40,0	2,2	9,1
15,0	40,0	2,2	6,8
10,0	40,0	2,2	4,5
7,0	40,0	2,2	3,2

La curva de secado (Figura 38), muestra que la madera alcanzó el 10,99% de contenido de humedad en 168 horas (7 días aprox.)

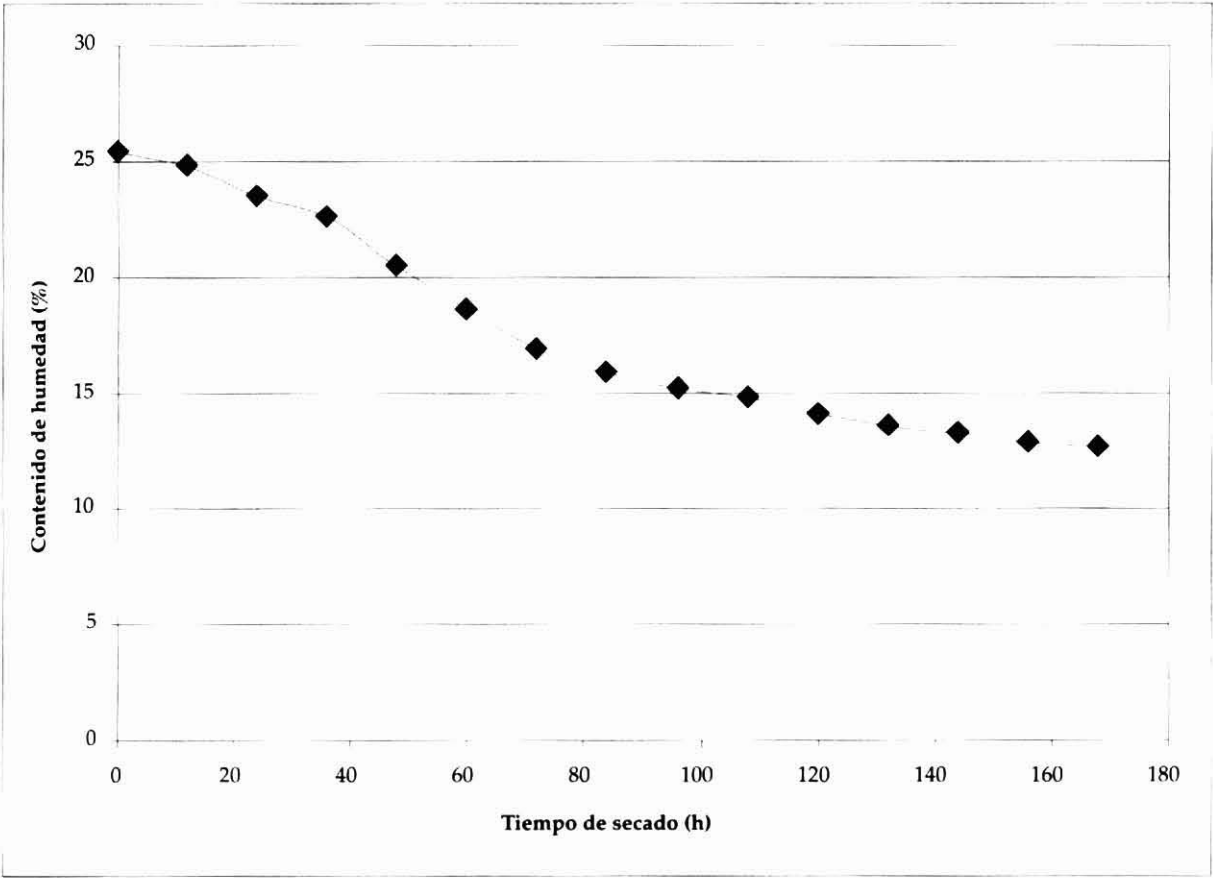


FIGURA 38
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°5 DE *Eucalyptus nitens* (46 mm)

En la Tabla 28 se presentan los indicadores de las humedades inicial y final registrados en la madera.

TABLA 28
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°5

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	25,38	10,99
Valor máximo	34,60	12,60
Valor mínimo	18,60	9,50
Desv. Estándar	4,49	0,76

Las **contracción** en este proceso de secado fue de 1,25%.

Para evaluar la calidad de secado (Tabla 29) se aplicó metodología explicada.

TABLA 29
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°5

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
1,4	0,4	2,5	1,2	1,7	0,4	1,8	0,3	0,0	0,2
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,4			

El valor resultante del Índice de Secado es 0,4 indicando una muy buena calidad de secado, siendo por lo tanto las condiciones de secado las adecuadas.

3.3.6 Secado N°6

Corresponde al secado de madera de 46 mm de espesor con presecado natural. Se utilizó un programa de secado (Tabla 30) donde la temperatura de bulbo seco fue no superior a 40°C.

TABLA 30
PROGRAMA DE SECADO DE PIEZAS DE
***Eucalyptus nitens* DE 46 mm DE ESPESOR**

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
30,0	38,0	2,2	13,6
20,0	40,0	2,2	9,1
15,0	40,0	2,2	6,8
10,0	40,0	2,2	4,5
7,0	40,0	2,2	3,2

La curva de secado (Figura 39), muestra que la madera alcanzó el 11,41% de contenido de humedad en 168 horas (7 días aprox.)

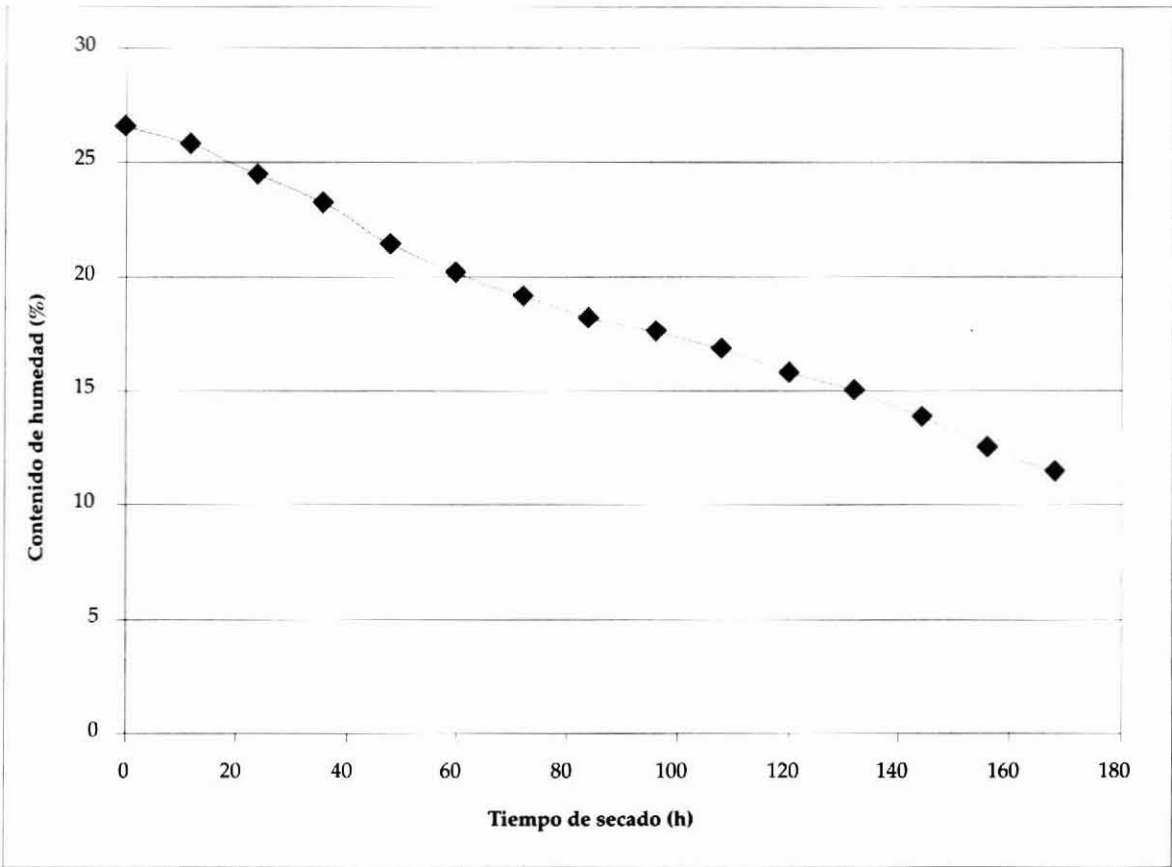


FIGURA 39
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°6 DE *Eucalyptus nitens* (46 mm)

En la Tabla 31 se presentan indicadores de las humedades inicial y final registrados en la madera.

TABLA 31
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°6

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	26,69	11,41
Valor máximo	34,10	13,20
Valor minimo	20,60	9,70
Desv. Estándar	4,09	0,97

En el secado de piezas de 46 mm de espesor con presecado al aire la **contracción** fue de 1,41%.

Los resultados de la aplicación de la metodología para la evaluación del secado se presentan en la Tabla 32.

TABLA 32
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°6

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
1,4	0,4	2,2	1,1	1,7	0,4	1,6	0,3	0,0	0,2
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,4			

El valor 0,4 como Índice de Secado da como resultado una calidad de secado muy buena, por lo que las condiciones de secado son adecuadas.

3.3.7 Secado N°7

Corresponde al secado de madera aserrada verde de 30 mm de espesor con presecado natural. Se empleó un programa de secado (Tabla 33) donde la temperatura de bulbo seco no superó los 40°C.

TABLA 33
PROGRAMA DE SECADO DE PIEZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 30 mm DE ESPESOR

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
20,0	35,0	2,0	10,0
15,0	38,0	2,0	7,5
10,0	40,0	2,0	5,0
7,0	40,0	2,0	3,5

La curva de secado (Figura 40), alcanzó el 12,35% de contenido de humedad en 48 horas (2 días aprox.)

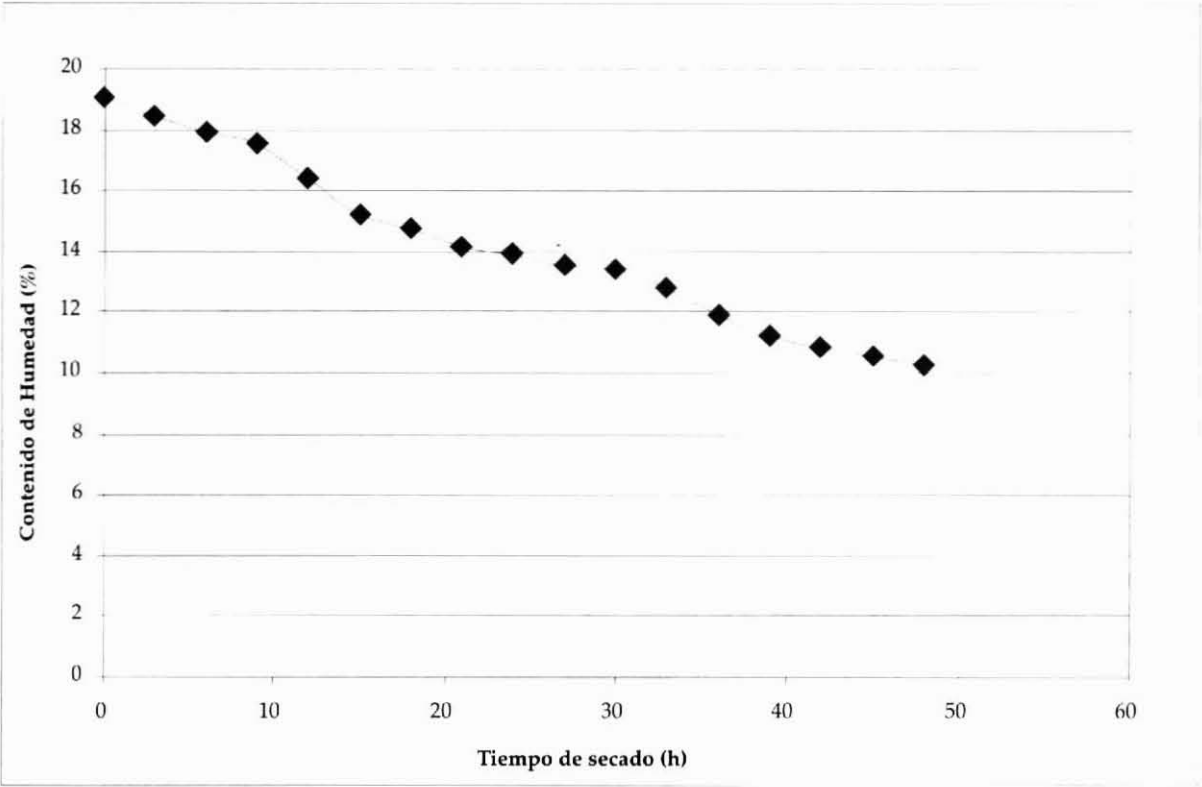


FIGURA 40
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°7 DE *Eucalyptus nitens* (30 mm)

En la Tabla 34 se presentan los indicadores de las humedades inicial y final registrados en la madera.

TABLA 34
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°7

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	20,35	12,35
Valor máximo	26,69	18,69
Valor mínimo	16,51	8,59
Desv. Estándar	1,81	1,81

La **contracción** durante el secado artificial N°7 de madera de *Eucalyptus nitens* fue de un 2,26%.

Los resultados de la evaluación del secado se presentan en la Tabla 35.

TABLA 35
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°7

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
2,0	0,5	1,6	0,5	1,4	0,3	0,9	0,2	0,02	0,03
Promedio ponderado de los Índices de Secado							0,2		

El valor 0,2 como Índice de Secado refleja una muy buena calidad de secado, por lo que las condiciones de secado son adecuadas.

3.3.8 Secado N°8

Corresponde al secado de madera de 46 mm de espesor con presecado natural. Se empleó un programa de secado (Tabla 36) donde la temperatura de bulbo seco no superó los 40°C.

TABLA 36
PROGRAMA DE SECADO DE PIEZAS DE *Eucalyptus nitens* DE 46 mm DE ESPESOR

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
30,0	38,0	2,2	13,6
20,0	40,0	2,2	9,1
15,0	40,0	2,2	6,8
10,0	40,0	2,2	4,5
7,0	40,0	2,2	3,2

La curva de secado (Figura 41), muestra que la madera alcanzó el 10,05% de contenido de humedad en 108 horas (4,5 días aprox.).

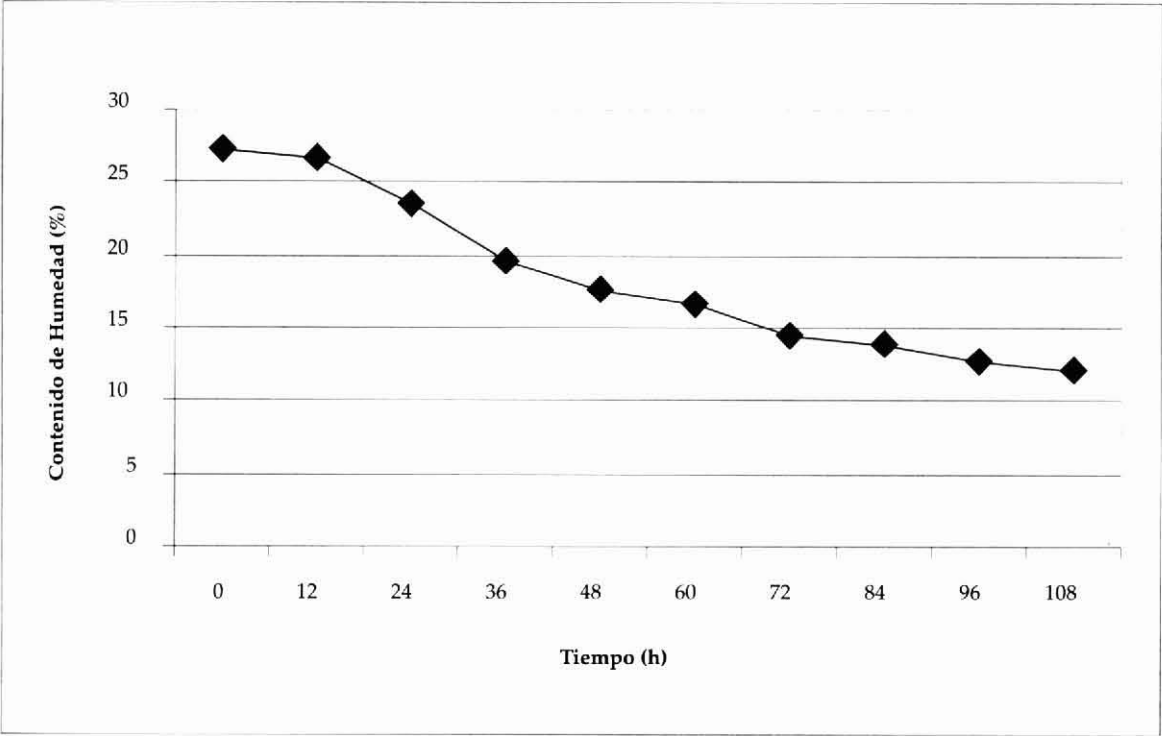


FIGURA 41
CURVA DEL PROGRAMA DE SECADO N°8 DE *Eucalyptus nitens* (46 mm)

En la Tabla 37 se presentan los indicadores de las humedades inicial y final registrados en la madera.

TABLA 37
CONTENIDOS DE HUMEDAD EN PROGRAMA DE SECADO N°8

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	23,50	10,50
Valor máximo	28,30	13,20
Valor mínimo	19,80	8,70
Desv. Estándar	2,12	1,44

En el secado artificial N°8 de la madera de *Eucalyptus nitens* la **contracción** fue de un 2,65%.

Se aplicó la metodología explicada para evaluar la calidad de secado (Tabla 38)

TABLA 38
RESUMEN DEFECTOS EN PROGRAMA DE SECADO N°7

Alabeos (mm)								Colapso	Grietas
Promedio acanaladura	I de S	Promedio encorvadura	I de S	Promedio torcedura	I de S	Promedio arqueadura	I de S		
0,2	0,1	1,9	0,9	0,5	0,2	0,4	0,1	0,0	0,04
Promedio ponderado de los Índices de Secado						0,2			

El valor 0,2 como Índice de Secado da como resultado una calidad de secado excelente, por lo que las condiciones de secado son adecuadas.

3.4 CONCLUSIONES

Al analizar el resumen de los ocho tratamientos de secado artificial realizados (Tabla 39), se aprecia que en general las técnicas de secado artificial empleadas van en la dirección correcta, proporcionando rangos de calidad entre buenos y muy buenos.

TABLA 39
COMPARACIÓN DE LOS OCHO PROGRAMAS DE SECADO ARTIFICIAL SEPARADOS POR ESPESOR, CONDICIÓN PREVIA AL SECADO, EDAD, CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL Y FINAL Y EL TIEMPO EMPLEADO

Secado N°	Espesor (mm)	Presecado	Edad (años)	Calidad del secado	Contenido de humedad Inicial-Final (%) de Secado	Tiempo (días)
1	Delgado 32	Sin	21	Buena	98,07 – 11,59	31
2	Grueso 52	Sin	21	Muy buena	97,09 – 11,12	42
3	Delgado 32	Con	21	Muy Buena	18,89 – 10,21	8
4	Grueso 46	Con	21	Muy buena	24,38 – 11,05	7,5
5	Grueso 46	Con	12	Muy Buena	25,38 – 10,99	7
6	Grueso 46	Con	12	Muy buena	26,99 – 11,41	7
7	Delgado 30	Con	12	Muy Buena	24,97 – 12,2	2
8	Grueso 46	Con	12	Muy Buena	23,6 – 10,8	4,5

Uno de los mayores defectos observados corresponde a las grietas especialmente en las caras, algunas internas y en los extremos.

A medida que la diferencia entre el contenido de humedad inicial y el contenido de humedad final decrece, el tiempo de secado es menor, manteniéndose una condición de secado muy buena.

Al comparar el secado de madera aserrada proveniente de árboles de 12 años con la de árboles de 21 años, no se observan mayores diferencias, manteniéndose en ambos casos muy buenas condiciones de secado.

En relación a los tiempos de secado sucede, que cuando la madera tiene un contenido de humedad inicial entre 20 y 25%, el tiempo de secado es consistentemente menor entre dos y siete días. Esta tendencia podría indicar que sería conveniente en la ruta tecnológica futura del secado, presecar bajo condiciones de temperatura y HR muy controladas.

El secado al aire, con un control acucioso de las condiciones de temperatura y humedad, sería una opción adecuada.

El uso de sobrepesos sobre la madera aserrada encastillada, es una práctica muy adecuada ya que en los castillos donde fue empleada el porcentaje de alabeos fue mínimo.

En relación a las temperaturas del bulbo seco, un valor cercano a los 40°C no deteriora en mayor forma la madera.

El tiempo de presecado necesario para lograr un contenido de humedad inicial cercano al 30% depende de la condición de la humedad relativa y de la temperatura seca. En las condiciones de mayor control, este contenido de humedad se logró a los cuatro meses aproximadamente. Se estima que es posible reducir aún más este periodo.

3.5 REFERENCIAS

- Galleti F. A. 1996.** Secado al vacío de *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* y *E. regnans* , Tesis Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío Bío. Concepción Chile
- Innes T.C. 1995.** Collapse free pre-drying of *Eucalyptus regnans* F. Muell. Holz als Roh-und Werkstoff 53(6): 403-403.
- Instituto Nacional de Normalización. (INN) 1974.** Madera- Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de clasificación . NCh 992 Of. 74.
- Instituto Nacional de Normalización. (INN) 1984.** Madera-Parte 1: determinación de Humedad. NCh 176-1 Of. 84.
- Instituto Nacional de Normalización. (INN) 1986.** Madera-Especies Latifoliadas y Alerce. Clasificación visual por especie o aprovechamiento. NCh 196 Of. 86.
- Navarrete, P.J.; Vergara, C.A. 1999.** Estudio del uso industrial del *Eucalyptus nitens*. Tesis Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío-Bío Chile.
- Northway, R.; Waugh, G. 1999.** Processing eucalypts for solid wood products. Actas XII Silvotecna, Concepción. Chile.
- Peredo, M. 1990.** Secado de la Madera. EN: Curso de Actualización en Tecnología de la Madera. Instituto de Tecnología de Productos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile. pp. 14-29.
- Rozas, C. 2002.** Resultados Tecnológicos EN: "Diversificación del Aprovechamiento de Plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en su utilización en la industria del mueble" Proyecto FONDEF D9811018. Departamento de Ingeniería en Maderas, Facultad de Ingeniería. Universidad del Bio-Bio. pp. 29-86.
- Rozas, C.; Sánchez, R.; Miranda, C. 2001.** Resultados preliminares del secado de *Eucalyptus nitens* de 11 años de edad. In: Simposio Internacional IUFRO. Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia. Chile, Septiembre. 95p.
- Vermaas, H.F., 1998.** Drying of eucalyptus with special reference to young, fast-grown plantation material. Proc. 1 st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology, 1 st Meeting on Adapted Technologies of Sawing, Drying and Use of the Wood of *Eucalyptus*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: pp. 107-118.

CAPITULO IV

VALIDACIÓN INDUSTRIAL DE LOS PROGRAMAS DE SECADO

Roberto Juacida Percáz *
rjuacida@uach.cl

4.1 ANTECEDENTES GENERALES

Los procesos de secado artificial que se realizan en instalaciones experimentales permiten definir con precisión las variables fundamentales involucradas en ellos.

Es así como ha sido posible para la madera de *Eucalyptus nitens* determinar, en forma experimental, temperaturas medias, cociente de secado, condiciones de recuperación de colapso, entre otros parámetros. Sin embargo, siempre se hace necesario validar estas condiciones en procesos industriales con cantidades significativas de madera.

Es conveniente seleccionar los sistemas y equipos industriales adecuados que permitan un desarrollo y control del proceso de secado en forma rigurosa, ya que se arriesgan valores altos en materia prima.

Igualmente, es conveniente conocer una caracterización completa de la madera sometida a secado, con toda la información relacionada a las acciones realizadas en la cadena productiva, previa al secado artificial.

En el presente estudio se analiza la validación industrial del proceso de secado artificial de madera aserrada de *Eucalyptus nitens*.

Los ensayos de validación industrial se llevaron a cabo en la empresa Novaland S.A., ubicada en Paillaco, X Región. La planta industrial posee modernas instalaciones para el secado artificial de la madera y una dilatada experiencia en el procesamiento de maderas nativas.

La madera de *Eucalyptus nitens* empleada en esta validación fue sometida, previo a su cosecha (árboles en pie) a un tratamiento de mejoramiento y liberación de tensiones de crecimiento (anillado y aplicación de biocidas). Los árboles, una vez trozados, se subdividieron en tres poblaciones equivalentes:

- La primera, trozas aserradas inmediatamente después de ser trozadas, las cuales fueron aserradas, arrumadas, empalilladas y secadas al aire y posteriormente secadas artificialmente.

*Ingeniero Forestal (1969) Universidad Austral de Chile y Doctor en Ciencias Forestales (1979) de Universität zu Hamburg (Alemania). Especialidad: Preservación y Secado de la madera

- La segunda, trozas que permanecieron en un lugar de acopio con riego por aspersión durante 2 meses, las que posteriormente fueron aserradas y siguieron el mismo tratamiento que la primera población.
- La tercera corresponde a trozas estacionadas en un lugar de acopio sin riego, donde permanecieron por dos meses. Luego fueron aserradas y siguieron el mismo tratamiento que las poblaciones 1ª y 2ª.

Los árboles seleccionados se extrajeron de rodales de dos clases de edad, 11 y 17 años.

Los objetivos de esta investigación, cuyos resultados se entregan en este capítulo son los siguientes:

- Relacionar al secado a escala industrial de madera aserrada de *E. nitens*, con tratamientos aplicados a los árboles en pie y con alternativas de acopio de trozas.
- Evaluar el proceso de secado, en términos de su contenido de humedad final, alabeos y grietas, integrados en un Índice de calidad de secado.

4.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.2.1 Variables del ensayo:

Para el 1º ensayo de validación de la madera aserrada de trozas sin tratamiento de acanche se consideró una muestra de madera aserrada de aproximadamente 15 m³ y para la 2ª validación una muestra de aproximadamente 30 m³, provenientes de árboles distribuidos en rodales con dos clases de edades: 11 y 17 años.

Aquellos de 17 años fueron extraídos del Predio Santa Luisa, en Collipulli y los de 11 años del Predio Santa Cristina, en las cercanías de Mulchén.

Las trozas obtenidas fueron distribuidas en 4 clases diamétricas, cuyos rangos se indican en la Tabla 40.

TABLA 40
CLASES DIAMÉTRICAS

Clase de diámetro (JAS)	Rango de diámetros comprendidos (cm)
22,0	20,0 - 23,9
26,0	24,0 - 27,9
30,0	28,0 - 31,9
34,0	32,0 - 35,9

Antes de proceder a cosechar los árboles elegidos para el estudio se les aplicó dos tratamientos en pie: anillado y aplicación de biocida con el objetivo de disminuir la actividad vital y de esta forma aminorar las tensiones internas propias de la especie. Igualmente se consideró una muestra de árboles testigos.

A continuación se explican los tratamientos aplicados a los árboles en pie.

4.2.1.1 Tratamiento de Árboles en Pie

Anillado: Consistió en la eliminación de una porción de corteza con un ancho de 3 a 4 pulgadas en la zona basal, más un corte del ancho de la cadena de la motosierra y de máximo 1 cm de profundidad circunscribiendo el perímetro descortezado. (Figura 42)

Este tratamiento tuvo como propósito disminuir la actividad vital de los árboles mediante la interrupción de su flujo cambial, provocando la muerte de éstos en forma lenta y por lo tanto, aminorando las tensiones internas de la madera, para evitar o al menos disminuir los defectos durante los procesos de aserrio y secado.



FIGURA 42
PROCEDIMIENTO DE ANILLADO DE ÁRBOLES EN PIE

Biocida: Se aplicó un biocida de acuerdo a las instrucciones del fabricante para generar detención de la actividad vital, con el mismo propósito señalado para el caso del tratamiento de anillado (Figura 43).



FIGURA 43
APLICACIÓN DE BIOCIDA EN ÁRBOLES EN PIE

Testigo: Como patrón de comparación se seleccionó una cantidad de árboles y trozas similar a los de los tratamientos de anillado y de biocida, de dos edades, los cuales constituyeron el tratamiento testigo.

Posterior a la realización del anillado y aplicación de biocida, los árboles permanecieron 60 días en pie antes de ser cosechados para su posterior proceso. El volteo de los trozos se realizó con motosierra, con el corte hacia el sector de menor dificultad para que no generaran grietas en su base.

Los árboles volteados permanecieron con ramas durante una semana. Una vez trozados e identificados los trozos, se les aplicó Mobilcer en sus extremos, con el objeto de evitar posibles agrietamientos.

Una parte de los trozos fue enviada directamente a la planta de aserrio. A estos trozos se les denominó sin acanche. El resto se almacenó en patios de acopio, una parte con riego artificial controlado y otra sin riego.

A continuación se describen las alternativas de los tratamientos relacionados con su condición de almacenaje.

4.2.1.2 Alternativas de Acopio o Acanche de Trozos:

Se evaluaron las siguientes condiciones:

Trozos sin acanche: Trozos enviados a la planta de aserrío directamente desde el bosque para su procesamiento, inmediatamente después de cortados.

Trozas con acanche con riego: Las trozas fueron trasladadas a la Planta Mulchén donde fueron sometidas a riego por aspersión, permaneciendo durante aproximadamente 80 días en las mismas condiciones que se aplican actualmente al pino insigne, es decir, con una precipitación de 9 y 13 mm de agua por m²/ hora, procurándose un riego homogéneo sin alteraciones por viento (Figura 44).



FIGURA 44
TROZAS BAJO RIEGO POR ASPERSIÓN

Trozos con acanche sin riego: Los trozos cortados en los predios que fueron sometidos a acanche, pero sin riego, se muestran en la Figura 45.



FIGURA 45
TROZAS ALMACENADAS SIN RIEGO ARTIFICIAL

4.2.2 Dimensionamiento total de la muestra según variable

Las trozas asignadas para el proceso de aserrío se segmentaron según tratamientos, tipo de acanche y clase diamétrica. Esto se realizó mediante una matriz que alternaba en forma sistemática la utilización de los trozos para procesos de aserrío y debobinado. (investigación paralela para otro proyecto).

Se consideraron 96 árboles de edad 17 (Santa Teresa) y 66 de edad 11 años, distribuidos en 1/3 para cada tratamiento de árboles en pie. Se muestra la forma de proceder con los treinta (30) árboles de 17 años, para el aserrío (A) y debobinado (D) seleccionados como testigos en el predio Santa Luisa (Tabla 41). Este procedimiento también fue empleado en el caso de los árboles de 11 años, procedentes del predio Santa Cristina.

TABLA 41
MATRIZ DE PROCEDIMIENTO PARA ASIGNACIÓN DE TROZAS SEGÚN TRATAMIENTO.

PREDIO: Santa Luisa

EDAD: 17 años

TRAT: Testigo

Nº ARB.: 30

Número de árboles	Troza 1			Troza 2			Troza 3			Troza 4			Troza 5			Troza 6		
	S/A	A/CR	A/SR	S/A	A/CR	A/SR	S/A	A/CR	A/SR	S/A	A/CR	A/SR	S/A	A/CR	A/SR	S/A	A/CR	A/SR
	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D	A
1	X				X			X			X			X			X	
2		X				X			X			X			X		X	
3			X				X				X		X				X	
4				X				X		X				X				X
5					X				X		X				X			X
6						X	X			X				X				X
7	X							X			X				X			X
8		X				X			X			X				X		
9			X					X				X					X	
10				X					X	X				X				X
11					X						X				X			X
12						X	X					X					X	
13	X							X			X					X		X
14		X				X			X			X				X		
15			X					X					X				X	
16				X					X	X				X				X
17					X			X			X				X			X
18						X	X					X				X		X
19	X							X				X					X	X
20		X				X			X				X			X		
21			X					X					X				X	
22				X					X	X				X				X
23					X			X			X				X			X
24						X	X					X					X	
25	X							X				X				X		X
26		X				X			X				X				X	
27			X					X						X		X		
28				X					X	X				X			X	
29					X		X				X				X			X
30					X			X			X			X				X

Donde: S/A = Tratamiento sin acanche
A/CR = Acanche con riego
A/SR = Acanche sin riego
D = Proceso de debobinado
A = Proceso de aserrado

Lo mismo se realizó para cada grupo de tratamiento y edades.

De la aplicación de este procedimiento resultó la selección de los árboles y trozas de 11 y 17 años de los predios Santa Cristina y Santa Luisa. El número de trozas por tratamiento y clase diamétrica se presentan en las Tablas 42 y 43.

TABLA 42
DISTRIBUCIÓN DE TROZAS POR TRATAMIENTO Y CLASE DIAMÉTRICA.
PREDIO SANTA CRISTINA (11 AÑOS)

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: SIN ACANCHE				
	Aserrio				
	20,0-23,0*	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	2	9	5	1	17
ANILLADO	7	6	5	1	19
TESTIGO	6	3	7	1	17
Totales	15	18	17	3	53

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: ACANCHE CON RIEGO				
	Aserrio				
	20,0-23,0	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	4	6	5	2	17
ANILLADO	4	9	5	0	18
TESTIGO	5	9	5	0	19
Totales	13	24	15	2	54

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: ACANCHE SIN RIEGO				
	Aserrio				
	20,0-23,0	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	3	7	5	0	15
ANILLADO	6	11	2	0	19
TESTIGO	5	11	2	0	18
Totales	14	29	9	0	52

* Clases diamétricas en cm.

TABLA 43
DISTRIBUCIÓN DE TROZAS POR TRATAMIENTO Y CLASE DIAMÉTRICA.
PREDIO SANTA LUISA (17 AÑOS)

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: SIN ACANCHE				
	Aserrió				
	20,0-23,0*	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	12	8	7	3	30
ANILLADO	8	13	4	7	32
TESTIGO	9	7	5	6	27
Totales	29	28	16	16	89

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: ACANCHE CON RIEGO				
	Aserrió				
	20,0-23,0	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	7	7	4	8	26
ANILLADO	7	9	9	5	30
TESTIGO	10	5	9	5	29
Totales	24	21	22	18	85

Tratamiento de árboles en pie	TRATAMIENTO: ACANCHE SIN RIEGO				
	Aserrió				
	20,0-23,0	23,1-27,0	27,1-31,0	31,1-35,0	sub total
BIOCIDA	9	7	8	3	27
ANILLADO	9	10	11	2	32
TESTIGO	5	10	10	2	27
Totales	23	27	29	7	86

* Clases diamétricas en cm.

En resumen se aserrearón 419 trozas, representativas de las dos edades (11 y 17 años), tres tratamientos de árboles en pie, tres alternativas de acanche de trozos y tres o cuatro clases diamétricas (según fueran de árboles de 11 o 17 años)

4.2.3 Características de la Cosecha, Trozado y Aserrio.

La interrelación entre la forma de cosecha, preparación de las trozas y proceso de aserrio es muy importante.

Transcurrido los 60 días del tratamiento en pie, los árboles fueron cosechados de tal forma que la caída de ellos fuese lo más suave posible, empleando el efecto bisagra en el lugar del corte.

Los árboles cosechados se dejaron con ramas durante 5 a 7 días, realizando el desrame y trozado una vez transcurrido este período. Las trozas aserrables se cortaron a 2,70 m.

En los extremos de las trozas (al momento del trozado), se realizó un corte con motosierra de 1 cm de profundidad, dispuesto en forma de cruz, con el fin de prevenir grietas o de detener las que se mostraron incipientes. Luego se cubrieron sus extremos con Mobilcer.

Cada trozo fue identificado y llevado en camión a su centro de destino, dependiendo del tratamiento de acanache a que fueron sometidos, según la matriz de distribución.

Las trozas destinadas al aserrio se almacenaron y procesaron en la Planta Novaland, ubicada en Pichirropulli, a 10 km al sur de Paillaco, provincia de Valdivia.

El aserrio se realizó en dos sierras huincha con carro, un banco huincha horizontal y una canteadora. Las trozas se aserraron sin descortezar y en un espesor constante de las tablas de 29 mm, con el diagrama de corte esquematizado en la Figura 46.

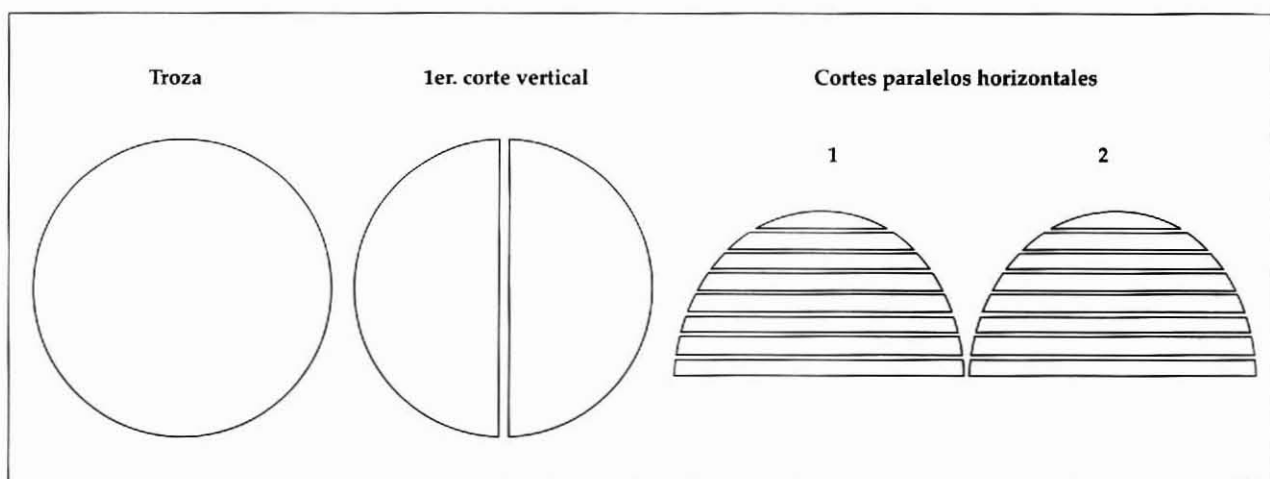


FIGURA 46
DIAGRAMA DE CORTE

Las trozas al momento de ser aserradas (Figura 47) se encontraban individualizadas; primeramente por un número el cual señalaba edad, clase diamétrica, tratamiento en cancha y tratamiento en pie.

Además, las trozas estaban individualizadas por diferentes colores (en los extremos) los cuales representaban la clase diamétrica a la cual pertenecían. Este sistema de individualización fue de gran ayuda al momento de diferenciar las piezas obtenidas durante el aserrio de un mismo conjunto de tratamientos.



**FIGURA 47
PROCESO DE ASERRÍO**

4.2.4 Presecado de Madera Aserrada.

4.2.4.1 Almacenamiento primario de la Madera Aserrada:

Las piezas de madera aserrada se arrumaron sin separadores inmediatamente después del aserrío, en paquetes homogéneos respecto a su tratamiento, clase diamétrica y edad.

Se situaron al aire libre, protegidos del sol y la lluvia con un techo individual para cada castillo, confeccionado con tapas de la misma especie. Este periodo se denominó almacenamiento primario y duró aproximadamente 60 días (Figura 48). El objetivo fue liberar parte de las tensiones de crecimiento remanentes.



**FIGURA 48
ALMACENAMIENTO PRIMARIO**

4.2.4.2 Almacenamiento secundario de la Madera Aserrada:

Posteriormente se procedió a encastillar la madera colocando separadores de 20 mm x 20 mm en los paquetes, manteniendo separada la madera por clase diamétrica, edad y tratamiento de acancho. De esta manera se prepararon los paquetes para el proceso de secado (Figura 49). El objetivo de esta forma de estacionamiento fue presecar, bajando el contenido de humedad hasta aproximadamente un 45%. Esto se logró en más o menos 45 días para la madera almacenada en primavera y 90 días, en el caso de la almacenada en invierno.

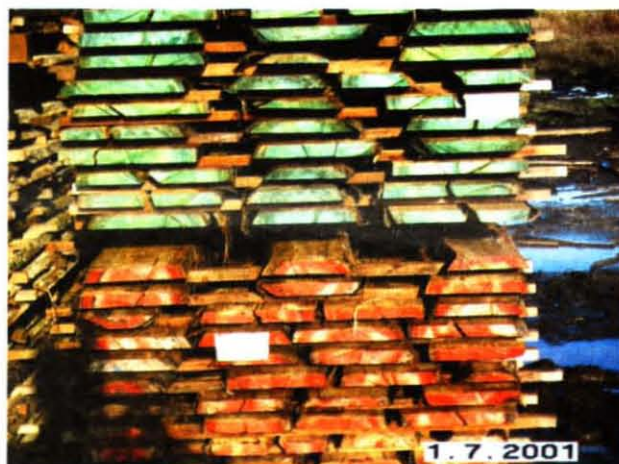


FIGURA 49
ALMACENAMIENTO SECUNDARIO

4.2.4.3 Medición previa al secado:

Durante el periodo de almacenamiento secundario se procedió a caracterizar la madera a secar, para lo cual se escogieron tres piezas por clase diamétrica, tratamientos y tipo de acancho.

El criterio de selección de las piezas de madera fue la mínima presencia de defectos, con el objetivo de relacionar el surgimiento de defectos generados por el proceso de secado. Los defectos evaluados fueron grietas superficiales, colapso, grietas en los extremos y alabeos (Figura 50).



FIGURA 50
MEDICIONES PREVIAS AL SECADO

4.2.5 Secado de la Madera Aserrada

4.2.5.1 Secado de la madera:

La madera aserrada con las mediciones descritas, se secó en base a un procedimiento que consideró variables de temperatura seca, humedad relativa y condiciones de secado ya probadas en ensayos realizados previamente. El equipamiento de secado consistió en 1 cámara de secado marca Bollman de 80 m³ de capacidad con controlador electrónico (Figura 51).

Igualmente, se consideraron antecedentes de temperaturas secas y diferencias psicrométricas obtenidas a través del desarrollo de proyectos relacionados con el secado de la madera de *Eucalyptus nitens* en el país.



FIGURA 51
SECADO EN CÁMARA

4.2.5.2 Mediciones posteriores al secado:

Después del periodo de enfriamiento de la madera en cámara, se realizaron las evaluaciones de las piezas evaluadas antes del secado, para constatar las diferencias producidas en el secado (Figura 52). Esta evaluación y su posterior análisis se realizaron de acuerdo a la metodología que a continuación se describe.

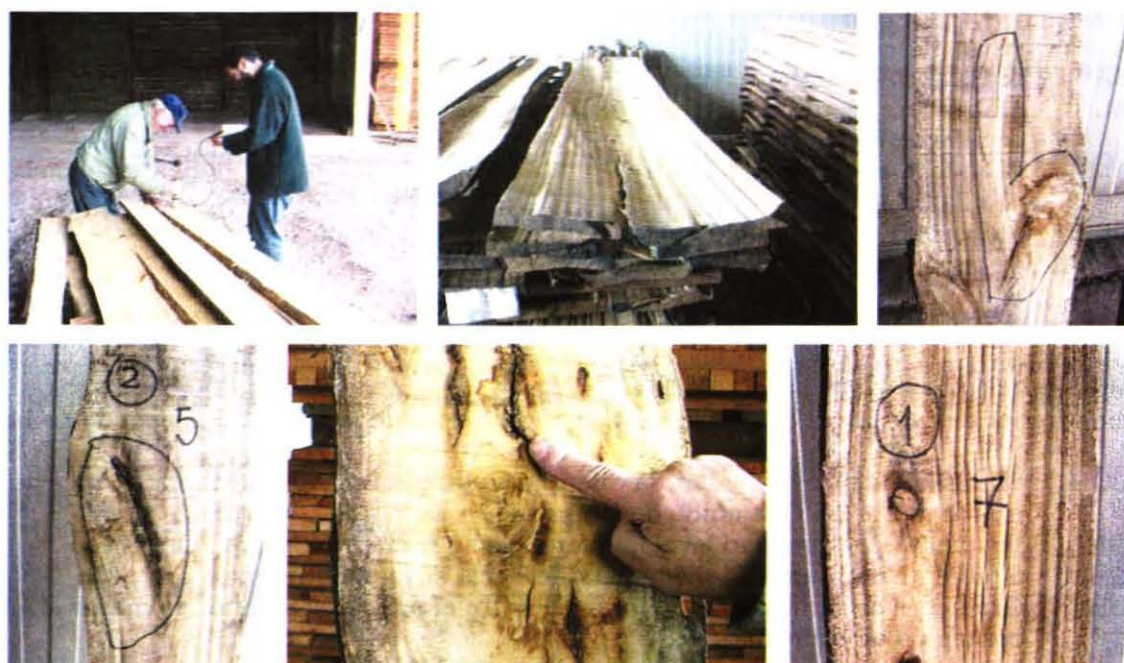


FIGURA 52
EVALUACIÓN DE DEFECTOS POSTERIORES AL SECADO

4.2.5.3 Evaluación de la calidad del secado

La evaluación de la calidad de secado se realizó mediante el método propuesto por Peredo (1990), y probado en varios ensayos en forma experimental e industrial. Este consiste en la determinación de un Índice global integrado por la evaluación específica de cada uno de los defectos potenciales ocurridos en el secado.

Los parámetros a evaluar con el fin de establecer la calidad del secado fueron: grietas superficiales, colapso, grietas en los extremos, alabeos y gradiente de humedad.

- *Grietas superficiales:*

- (0) SG : Sin grietas superficiales.
- (1) GL : Grietas superficiales leves, cuando están presentes en menos del 25% de la superficie de la cara más comprometida de la pieza.
- (2) GM : Grietas medias, están presentes, entre un 25 y 50% de la superficie de la cara más comprometida de la pieza.
- (3) GS : Grietas severas, la pieza presenta más de un 50% de la superficie de la cara más comprometida de la pieza.

- *Colapso*

- (0) SC : Sin colapso, la madera no presenta aplastamiento celular
- (1) CL : Colapso leve, la madera presenta aplastamiento celular en algunos sectores.
- (2) CM : Colapso medio, la pieza presenta aplastamiento celular entre un 25 y 50%.
- (3) CS : Colapso severo, la madera está afectada por aplastamiento celular en más de un 50%.

- *Grietas en los extremos*

- (0) SGe : Sin grieta en los extremos.
- (1) GeL : Grieta o grietas leves en los extremos de la pieza hasta una longitud de 10 cm.
- (2) GeM : Grieta o grietas media en los extremos de 10,1 cm hasta 20 cm de longitud.
- (3)GeS : Grietas o grietas severas de mas de 20,1 cm de longitud.

- *Alabeos*

- (0) SA : Sin alabeo en la pieza.
- (1) AL : Alabeo leve, perdida no mayor al 10% de las dimensiones de la pieza, al momento de cepillarse.
- (2) AM : Alabeo medio, pérdida entre 11 a un 40% de las dimensiones, al momento de cepillarse.
- (3) AS : Alabeo severo, pérdida de más de un 41% de las dimensiones de la pieza al momento de cepillarse.

- *Gradiente de humedad*

La gradiente de humedad corresponde a la variación del contenido de humedad entre el tercio medio interior de una pieza de madera y el tercio exterior de la misma respecto de su espesor.

- (0) SGH : Sin gradiente de humedad, la diferencia entre el interior y exterior de la pieza no es mayor al 2% del Contenido de Humedad.
- (1) GHL : Gradiente de humedad leve, la diferencia se encuentra entre 2,1 y 3%.
- (2) GHM : Gradiente de humedad media, la diferencia se encuentra entre 3,1 y 4%.
- (3) GHS : Gradiente de humedad, la diferencia entre el interior y exterior es mayor al 4,1% de contenido de humedad.

4.2.5.4 Determinación de la Calidad del Secado

Como base para determinar la calidad del secado se empleó la metodología aplicada en los ensayos a escala de laboratorio, pero ajustada a la realidad industrial. Esta metodología se basó en la suma de los valores por intensidad del defecto, los cuales se promediaron obteniéndose valores de acuerdo a la intensidad de ellos. La escala de referencia se presenta en la Tabla 44.

TABLA 44
PAUTA DE EVALUACIÓN PARA LA CALIDAD DE SECADO

Calidad del secado		Índice de secado
Muy buena	= 0	A
Buena	= hasta 0,5	B
Regular	= hasta 1,0	C
Muy mala	= más de 1,1	D

Por ejemplo, una pieza después del secado presentó defectos referidos a:

- **Grietas superficiales:** en un 35% de la superficie de la cara más comprometida de la pieza, lo que implica que está en la categoría GM, asignándosele 2 puntos.
- **Colapso:** no presentó este defecto, implicando categoría SC, asignándosele 0 punto.
- **Grietas en los extremos:** la pieza poseía una grieta de 50 cm de longitud, estando por tanto en la categoría GeS, asignándosele un puntaje de 3.
- **Alabeo:** la pieza no presentó alabeos, por tanto posee la categoría SA, asignándole un puntaje 0.
- **Gradiente de humedad:** existía en esta pieza una diferencia de 1,5% entre el interior y exterior respecto a su contenido de humedad, quedando por lo tanto en la categoría SGH, asignándosele 0 punto.

El promedio ponderado de todos los defectos considerados, es de 1 punto, implicando de esta forma que la calidad del secado es regular, obteniendo un índice de secado "C".

Este proceso se realizó con cada una de las piezas evaluadas en el proceso de secado, separados por los distintos tratamientos (Tabla 45).

Relacionando la calidad del secado con las clases diamétricas en los distintos tratamientos, se aprecia que va decreciendo la calidad del secado a medida que aumenta la clase diamétrica.

TABLA 45
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO Y EDAD DEL RODAL

	11 AÑOS	17 AÑOS
Biocida	B	B-C
Anillado	B	B
Testigo	B	B

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Primera Validación industrial: Aserrió de Trozas sin Acanche

Corresponde a la madera procedente de trozas que se aserraron inmediatamente llegadas a la Industria Novaland, **tratamiento sin acanche**. La madera aserrada permaneció un periodo de 30 días de almacenamiento primario (arregado) y un periodo de 60 días de almacenamiento secundario (secado al aire).

En el programa utilizado (Tabla 46) se emplearon temperaturas máximas de 60°C y mínimas de 30°C con diferencias psicrométricas de 2,5°C

TABLA 46
PROGRAMA DE SECADO

CH (%)	TBs (°C)	G.S. (°C)	H eq. (%)
60,0	30,0	1,9	16,0
40,0	30,0	1,9	15,5
30,0	35,0	2,1	14,4
35,0	40,0	2,0	12,5
20,0	45,0	2,0	10,0
15,0	50,0	2,0	7,5
10,0	55,0	2,0	5,0
8,0	60,0	2,0	4,5

El tiempo total empleado en el proceso de secado fue de 305 horas (12,5 días aproximadamente), más 25 horas de acondicionado hasta alcanzar 5,6% de contenido de humedad final.

En la Tabla 47 se presentan las condiciones iniciales de la madera, donde el **contenido de humedad** inicial promedio fue de 49,3% y final promedio de 5,6%.

TABLA 47
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL E INICIAL (%)

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	49,3	5,6
Valor máximo	82,8	10,6
Valor mínimo	26,5	3,3
Desv. Estándar	0,134	1,77

La **densidad** promedio de las muestras testigos fue de 0,498 gr/cm³ y en el Tabla 48 se presentan sus estadígrafos.

TABLA 48
DENSIDAD BÁSICA (gr/cm³)

Valores	Densidad Básica (gr/cm ³)
Promedio	0,498
Máximo	0,589
Mínimo	0,407
Desv. Est.	0,041

La contracción en la madera fue de 14,2% (en espesor). Los valores mínimos, máximos y desviación estándar se muestran en el Tabla 49.

TABLA 49
CONTRACCIÓN DE LA MADERA SECADA ARTIFICIALMENTE (%)

Valores	Contracción (%)
Promedio	14,2
Valor máximo	33,3
Valor mínimo	3,8
Desv. Estándar	6,5

Evaluación de la calidad del secado

Habiendo empleado la metodología descrita, se obtuvieron los siguientes resultados. En las Tablas 50 y 51 se observan los Índices de Secado obtenidos para cada clase diamétrica y tratamiento.

TABLA 50
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO,
EDAD DEL RODAL Y CLASE DIAMÉTRICA

Clase diamétrica (cm)	Biocida		Anillado		Testigo	
	11 años	17 años	11 años	17 años	11 años	17 años
20,0 - 23,9	A	C	B	B	B	D
24,0 - 27,9	B	B	B	C	B	D
28,0 - 31,9	B	C	D	C	C	B
32,0 - 35,9	B	B	C	D	*	D

*Dato no considerado en el análisis

En la Tabla 50, se aprecia que la mejor calidad del secado se presentó en las dos clases diamétricas inferiores, es decir de 20,0 a 27,9 cm obteniéndose una calidad Buena en el Índice de Secado. En tanto para los diámetros mayores (28,0 a 35,9 cm), se observó tan sólo una calidad regular.

TABLA 51
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO Y EDAD DEL RODAL

	11 AÑOS	17 AÑOS
Biocida	B	B-C
Anillado	B-C	C
Testigo	B	C-D

En la Tabla 51 se observa que independiente de los tratamientos aplicados, la madera de 11 años de edad obtuvo una calidad mejor que la madera obtenida en trozas de 17 años. El Índice de Secado para los 11 años fue Buena y para los 17 años fue Regular.

Si se compara los tratamientos aplicados con el testigo, (sin considerar la edad de las trozas), se observa que la calidad del secado es mejor en las piezas provenientes de trozas que fueron sometidas a tratamiento de anillo y biocida.

4.3.2 Segunda Validación industrial: Aserrió de Trozas con Acanche y con Riego y con Acanche y sin Riego.

Corresponde a la madera procedente de trozas con **tratamientos de acanache con y sin riego**. En ambos casos los trozos estuvieron acanchados junto a planta de aserrió de Mulchén, de CMPC Maderas, VIII Región, durante un período de 60 días aproximadamente, entre los meses de abril y junio.

Posterior al aserrió de las trozas, el período de almacenamiento primario de la madera aserrada (con canto muerto) duró 30 días aproximadamente, para seguir con el almacenamiento secundario (secado al aire) por otros 60 días, antes de ingresar a la cámara de secado.

El programa utilizado fue el mismo de la 1ª validación industrial, teniendo también como objetivo alcanzar un contenido de humedad final del 8%.

4.3.2.1 Tratamiento de acanchado con riego

Las condiciones de **contenido de humedad** inicial y final para la madera con tratamiento de acanchado y con riego se presentan en el Tabla 52.

TABLA 52
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL E INICIAL (%)

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	41,10	7,60
Valor máximo	101,20	13,10
Valor mínimo	19,70	4,80
Desv. Estándar	0,15	1,44

Las **densidades básicas** de la madera se exponen en la Tabla 53.

TABLA 53
DENSIDAD BÁSICA (gr/cm³)

Valores	Densidad Básica (gr/cm ³)
Promedio	0,483
Valor máximo	0,604
Valor mínimo	0,363
Desv. Estándar	0,055

La **contracción** media de la madera durante el secado fue de un 11,1%. Los valores mínimos, máximos y desviación estándar se muestran en la Tabla 54.

TABLA 54
CONTRACCIÓN DE LA MADERA SECADA ARTIFICIALMENTE (%)

Valores	Contracción (%)
Promedio	11,1
Valor máximo	25,0
Valor mínimo	3,6
Desv. Estándar	5,5

Evaluación del secado de la madera con acanche y con riego

En las Tablas 55 y 56 se observan los Índices de Secado obtenidos durante el secado de la madera.

TABLA 55
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO, EDAD DEL RODAL Y CLASE DIAMÉTRICA

Clase diamétrica (cm)	Biocida		Anillado		Testigo	
	11 años	17 años	11 años	17 años	11 años	17 años
20,0 - 23,9	B	B	B	B	B	B
24,0 - 27,9	B	B	B	B	A	B
28,0 - 31,9	D	A	C	C	B	B
32,0 - 35,9	B	B	*	B	*	B

*Diámetros no conseguidos en los árboles seleccionados.

Relacionando la calidad del secado con las clases diamétricas en los distintos tratamientos, se aprecia que, en todas, con excepción de la clase 28,0 cm a 31,9 cm, se dio una calidad de secado buena.

TABLA 56
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO Y EDAD DEL RODAL

	11 AÑOS	17 AÑOS
Biocida	B	B
Anillado	B	B
Testigo	B	B

Relacionando la calidad del secado y la edad de los árboles, se observa que independiente de los tratamientos aplicados, la calidad fue Buena.

4.3.2.2 Tratamiento de acanche sin riego

Los **contenidos de humedad** inicial y final de la madera se presentan en la Tabla 57.

TABLA 57
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL E INICIAL (%)

Valores	Contenido de humedad inicial (%)	Contenido de humedad final (%)
Promedio	35,9	7,6
Valor máximo	71,4	13,7
Valor mínimo	22,0	4,8
Desv. Estándar	0,104	1,2

Las **densidades básicas** de la madera, se muestran en la Tabla 58.

TABLA 58
DENSIDAD BÁSICA (gr/cm³)

Valores	Densidad Básica (gr/cm ³)
Promedio	0,493
Valor máximo	0,625
Valor mínimo	0,403
Desv. Estándar	0,050

Durante el secado, la madera se contrajo, en promedio, un 9,9%. Los valores mínimos, máximos y desviación estándar se muestran en la Tabla 59.

TABLA 59
CONTRACCIÓN DE LA MADERA SECADA ARTIFICIALMENTE (%)

Valores	Contracción (%)
Promedio	9,9
Valor máximo	20,0
Valor mínimo	3,2
Desv. Estándar	3,4

Evaluación de la calidad del secado de la madera con acanche y sin riego

En las Tablas 60 y 61 se observan los Índices de Secado obtenidos durante el secado de la madera.

TABLA 60
EVALUACIÓN DEL SECADO SEGÚN TRATAMIENTO,
EDAD DEL RODAL Y CLASE DIAMÉTRICA

Clase diamétrica (cm)	Biocida		Anillado		Testigo	
	11 años	17 años	11 años	17 años	11 años	17 años
20,0 - 23,9	B	B	A	B	A	B
24,0 - 27,9	A	B	C	C	B	B
28,0 - 31,9	D	C	B	B	C	B
32,0 - 35,9	*	C	*	B	*	B

*Diámetros no conseguidos en los árboles seleccionados.

Relacionando la calidad del secado con las clases diamétricas en los distintos tratamientos, se aprecia que va decreciendo la calidad del secado a medida que aumenta la clase diamétrica.

TABLA 61
EVALUACIÓN DEL SECADO POR TRATAMIENTO Y EDAD DEL RODAL

	11 AÑOS	17 AÑOS
Biocida	B	B-C
Anillado	B	B
Testigo	B	B

En la Tabla 61 se observa que independiente de los tratamientos aplicados y la edad de los árboles, el Índice de Secado promedio evidenció una buena calidad de secado.

4.3.3 Comparación entre la Primera y Segunda Validación Industrial.

Al comparar alternativas de acopio de trozos, se aprecia una diferencia de aproximadamente 2% en el contenido de humedad final (Tabla 62) entre la alternativa sin Acanche y las con Acanche (bajo riego y sin riego).

TABLA 62
COMPARACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD Y CONTRACCIÓN DE LA MADERA, ENTRE ALTERNATIVAS DE ACOPIO

	SIN ACANCHE		CON ACANCHE SIN RIEGO		CON ACANCHE CON RIEGO	
EDAD DEL RODAL (AÑOS)	11	17	11	17	11	17
CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL PROMEDIO (%)	5,3	5,9	7,6	7,6	7,5	7,6
CONTRACCIÓN PROMEDIO (%)	13,0	15,0	10,6	9,3	9,1	12,6

El tratamiento sin acanche significó una mayor contracción en la madera y un deterioro algo mayor en las tablas muestras. La madera secada en la 2ª validación (alternativas de acopio de trozos con Acanche, con Riego y sin Riego) presentó un mejoramiento de la calidad en relación a grietas y colapso.

Esta diferencia se produjo por un sobresecado de la madera en la etapa final del proceso de la alternativa sin Acanche, la cual es muy difícil revertir debido a la posible generación de grietas internas.

En la 2ª validación se tuvo especial precaución de no sobresecar la madera en la etapa final.

Observación General

Al observar los resultados asociados a todos los tratamientos considerados en esta validación industrial de secado de *E. nitens*, es posible observar alguna tendencia de la madera proveniente de los trozos de mayor diámetro, en la cual se presentan grietas de mayor tamaño y/o con mayor frecuencia. Esto podría tener su origen en las mayores tensiones de crecimiento localizadas en las zonas de mayor diámetro de los árboles, o también por efecto de un volteo del árbol demasiado violento.

Si se relaciona el peso de cada árbol y el mayor impacto de los más grandes al caer al suelo, se podría pensar que en madera proveniente de árboles de mayor tamaño, podrían generarse mayores microgrietas, las que se evidenciarían en mayor proporción durante el presecado al aire y también en su secado artificial en cámaras.

Esto es importante investigarlo más, ya que en la literatura relacionada al tema concuerda al señalar que las tensiones de crecimiento tienden a disminuir en la medida que los árboles crecen.

4.4 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

1. Al comparar ambas validaciones industriales en su programa y sus resultados en la calidad de la madera obtenida es posible comentar:

- Considerando la totalidad de los grupos de ensayo, que incluye todas las variables, se observa que la calidad de secado varía entre buena, en la mayoría de ellos, y regular en una pequeña minoría. Esto significa que aún en los peores escenarios de variables el secado artificial presenta resultados aceptables.

- En relación a los árboles ensayados, se observa un mejor comportamiento en las trozas obtenidas de árboles de 11 años respecto de las trozas de 17 años. Esta situación se hace más clara en el tratamiento sin acanche. En el tratamiento con acanche y riego, no existen grandes diferencias entre las edades y su comportamiento frente al secado.

2. En relación a la generación de defectos y la magnitud de ellos, se aprecia que los más significativos fueron grietas y colapso y en menor medida deformaciones.

- Las grietas, al igual que el colapso, se manifestaron en forma evidente durante el periodo de secado al aire. Estos defectos no se incrementaron significativamente con los procesos de secado artificial.

- Un secado al aire con condiciones de temperatura y humedad relativa con mayor control podría significar un mejoramiento en relación a ambos defectos desclasificatorios. El uso de sobrepesos en los castillos tanto en el secado al aire como en el secado artificial, podría ayudar significativamente a que no se produzcan deformaciones.

3. En relación al comportamiento de la madera de *Eucalyptus nitens* en el proceso completo, desde la corta, hasta su secado industrial, es posible destacar:

- Los tratamientos aplicados a los árboles en pie, de anillado y aplicación de biocida, muestran una tendencia en orden a disminuir las tensiones de crecimiento en la madera aserrada obtenida y mantienen esta relación durante el secado artificial de validación industrial.

- Se plantean algunas dudas respecto al efecto del tiempo de aplicación del tratamiento de los árboles en pie en el mejoramiento de la estabilidad de la madera. Quizás el mayor efecto estabilizador se podría alcanzar sobre los dos meses de aplicación para ambos tratamientos.

- Entre estos tratamientos no se presentan diferencias muy grandes entre sus promedios sin embargo árboles sometidos a anillado presentan valores más homogéneos que aquellos tratados con biocida. Es probable que el tiempo requerido para que actúe el biocida sea mayor que el tiempo que se necesita en el anillado para lograr una mejor estabilidad en la madera.

4.5 REFERENCIAS

- Galleti F. A. 1996.** Secado al vacío de *Eucalyptus globulus*, *E. nitens* y *E. regnans*. Tesis Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío Bío. Concepción Chile
- Innes T.C. 1995.** Collapse free pre-drying of *Eucalyptus regnans* F. Muell. Holz als Roh-und Werkstoff 53(6): 403-403.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1974.** Madera- Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de clasificación. NCh 992 Of. 74.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1984.** Madera-Parte 1: determinación de Humedad. NCh 176-1 Of. 84.
- Instituto Nacional de Normalización. (INN) 1986.** Madera-Especies Latifoliadas y Alerce. Clasificación visual por especie o aprovechamiento. NCh 196 Of. 86.
- Navarrete, P. J.; Vergara, C.A. 1999.** Estudio del uso industrial del *Eucalyptus nitens*. Tesis Ingeniero Civil en Industrias Forestales. Universidad del Bío-Bío Concepción Chile.
- Northway, R.; Waugh, G. 1999.** Processing eucalypts for solid wood products. Actas XII Silvotecnica, Concepción. Chile.
- Peredo, M. 1990.** Secado de la Madera. EN: Curso de Actualización en Tecnología de la Madera. Instituto de Tecnología de Productos Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. U. Austral de Chile, Valdivia-Chile. pp. 14-29
- Rozas, C. 2002.** Resultados Tecnológicos EN: "Diversificación del Aprovechamiento de Plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens* en su utilización en la industria del mueble" Proyecto FONDEF D9811018. Departamento de Ing. en Maderas, Fac. de Ingeniería. U. del Bio-Bio. pp 29-86
- Rozas, C.; Sánchez, R.; Miranda, C. 2001.** Resultados preliminares del secado de *Eucalyptus nitens* de 11 años de edad. In: Simposio Internacional IUFRO. Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia. Chile, Septiembre. 95p.
- Vermaas, H.F., 1998.** Drying of eucalypts with special reference to young, fast-grown plantation material. Proc. 1 st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology, 1 st Meeting on Adapted Technologies of Sawing, Drying and Use of the Wood of *Eucalyptus*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: pp. 107-118.