

SECADO BAJO VACIO Y POR PRESECADO A ESCALA INDUSTRIAL DE EUCALIPTO

Rubén A. Ananías (*)
Onofre Rivas (**)
Mario Novoa (***)
Magaly Garay (****)
H. Peter Steinhagen (*****)

RESUMEN

El secado bajo vacío con calentamiento en base de vapor sobrecalentado es una técnica que se intenta introducir en la industria maderera nacional. El presecado de madera es un método bien conocido en el país.

*En este trabajo se presentan los resultados de una experiencia exploratoria a escala industrial de secado bajo vacío, con calentamiento en base de vapor sobrecalentado, y los resultados de ensayos de presecado también a escala industrial, ambos sobre madera aserrada de 30 mm de espesor en eucalipto *Eucalyptus globulus* L.*

La madera es recogida a la salida de la mesa de clasificación en un aserradero de la ciudad de Lota, VIII Región, Chile. El ensayo de secado bajo vacío es ejecutado en una planta DWT Moldrup de 40 m³ de capacidad y sistema de control automático computarizado, localizada en la ciudad de Los Angeles, VIII Región, Chile. Los 3 ensayos de presecado son desarrollados en la misma planta en que se produce la madera aserrada en un secador convencional Hildebrand HD76 de 10 m³ de capacidad y sistema de control manual. Al final de cada uno de los ensayos son medidos: la contracción, el colapso, las tensiones y los defectos del secado.

Los resultados preliminares indican que bajo vacío la madera puede secar un 25 % más rápido que con una combinación de presecado y secado final hasta 10 % de contenido de humedad, pero con aproximadamente el doble de contracción total tangencial y una contracción total radial mayor en un 60 %. La calidad del secado bajo vacío es satisfactoria. El presecado con programa variable resulta adecuado para secar eucalipto radial de 30 mm de espesor y largo comercial.

Palabras clave: Secado bajo vacío, presecado, eucalipto.

(*) Profesor Asistente, Depto. Ing. Maderas, Facultad Ingeniería, Universidad del Bío-Bío.
(***) Ingeniero Ejecución Maderas. Industrias Colcura S.A.
(****) Ingeniero Civil Industrias Forestales.
(*****) Profesor Asociado. U. Idaho.

ABSTRACT

Vacuum drying with superheated steam is a wood drying method recently introduced in the Chilean wood industry. Predrying in simplified drying chambers has been well known for many years.

*This paper presents the results of an exploratory experience of vacuum drying in Chilean wood industries with superheated steam and predrying, using 30 mm thick sawn timber of **Eucalyptus globulus**.*

The sawnwood was collected at the outfeed of a grading conveyor line in the sawmill in Lota, VIII th Region, Chile. The vacuum drying was executed in a DWT Moldrup drier with a computerized automatic control system of 40 m³ capacity, located in Los Angeles, VIII th Region, Chile. The predrying was carried out in a conventional Hildebrand HD76 drier with manual control, of 10 m³ capacity. At the end of each of these experiments, the shrinkage, collapse, drying tension, deformations and checks were measured.

The preliminary results show that vacuum drying was 25 % quicker than the combination of predrying and final drying to 10 % moisture content in a kiln, but resulted in nearly twice as much total shrinkage tangentially and 60 % more radially. The general quality of the dried material under vacuum was acceptable. Predrying under a variable is adequate to dry radial eucalyptus of 30 mm thick and commercial length.

Keywords: *Vacuum drying, predrying, **Eucalyptus globulus**.*

INTRODUCCION

El secado de madera bajo vacío es bien conocido desde hace varios años. Una innovación reciente, introducida por un fabricante danés, Danish Wood Treating Co.(1987), permite establecer un programa de secado con temperaturas y humedades relativas que varían durante el proceso. Esto se consigue adoptando como medio de calentamiento vapor de agua sobrecalentado. Para cada temperatura de trabajo, la presión en el autoclave se reduce debajo de la presión de vapor saturado, a un nivel que corresponde a la humedad relativa fijada por el programa de secado. El sobrecalentamiento corresponde a la diferencia entre la temperatura de trabajo y la temperatura de saturación al nivel de la presión en el autoclave.

Entre las ventajas que se evidencian en este método de secado, Simpson (1987) indica una rápida velocidad del secado y Trübswetter y Weber (1992) muestran que puede tener un bajo consumo de energía. Además, Charrier et al. (1992)

encuentran que el color natural en la superficie de maderas valiosas estéticamente puede ser mantenido. Para Chile, esto puede ser de importancia si se desea secar especies nobles tales como las provenientes del género **Nothofagus** (coigue, roble, raulí o lenga), que tienen tendencia a cambiar de color por oxidación durante el proceso de secado convencional. Igualmente Harris y Taras (1984) observan una menor variación dimensional de la madera secada bajo vacío.

Como desventajas, Trofatter et al. (1986) indican cierta heterogeneidad en la distribución de humedad en la madera. Así como también Lee y Harris (1984) detectan pequeñas reducciones en la densidad y la resistencia en compresión de la madera secada bajo vacío.

En cambio el proceso de presecado es bien conocido por la industria maderera nacional, no obstante, no es muy utilizado.

Este método se recomienda como alternativa para acelerar el secado desde verde hasta alrededor de 25 % de humedad, lo que requiere una baja inversión y permite secar madera a costos atractivos para la industria.

En este trabajo se analiza a escala industrial la calidad del secado bajo vacío en comparación al proceso de presecado en madera aserrada radial de eucalipto de 30 mm de espesor y largo comercial.

METODOLOGIA

Secado Bajo Vacío.

Se ejecuta un ensayo de secado bajo vacío en un secador DWT Moldrup con sistema de control automático computarizado y de 40 m³ de capacidad. El secador es un autoclave de una vía que tiene un diámetro interno de 4 metros y un largo de 20,5 metros.

La madera aserrada es recogida al azar a la salida de la mesa de clasificación de un aserradero en Lota (Octava Región, Chile). Luego es trasladada a una planta industrial de Los Angeles (Octava Región, Chile).

Allí la madera es encastillada en el autoclave, formando una carga con 6 castillos de 4 lingas cada uno. Son usados 7 separadores de 25 mm de espesor por camada de madera.

Una linga compuesta por 170 piezas de 1"x4"x10' es utilizada para medir los defectos al empezar y terminar el proceso, esta linga se ubica al azar entre los castillos.

Se preparan 48 muestras de 76 cm de largo, extraídas de 48 piezas diferentes, para medir contenido de humedad inicial y final, gradiente de humedad, variación dimensional y tensiones al final del secado. Se distribuyen aleatoriamente 8 muestras en cada castillo de madera.

Se mide solo humedad inicial y final por método gravimétrico, en base a 2 probetas obtenidas de los extremos de cada muestra; se emplea norma chilena of 84 176/1. Se determina la densidad básica según norma chilena of 86 176/2. La contracción se mide en tres puntos en el centro de los cantos y en cuatro puntos en el centro de las caras; se utiliza norma chilena of 84 176/3. El colapso se mide en base a una estimación visual adaptada de la metodología propuesta por Kauman

(1966). Las tensiones de secado son medidas en base de la desviación de los dientes de probetas tipo tenedor y evaluadas según metodología propuesta por INFOR (1987). Los defectos del secado se miden según norma chilena of 74 992 y 993. La calidad del secado se estima en base a un índice ponderado de defectos propuesto por Kauman (1966).

Una falla en el sistema de retomo del condensado impide hacer uso del sistema de control automático computarizado del secador. La duración del secado es estimado por la cantidad de agua que puede extraerse del volumen de madera en proceso y el tiempo transcurrido en régimen para alcanzar la máxima cantidad de agua efectiva que registra el aparato.

Presecado y Secado al Aire

Se ejecutan tres ensayos de presecado y un ensayo de secado natural, incluyendo en todos un proceso de secado convencional final. En este caso la madera aserrada es recogida de la misma manera y en el mismo aserradero anterior (Lota, Octava Región, Chile).

Los ensayos de presecado son realizados en la misma planta, en un secador Hildebrand HD76 con sistema de control manual y de 10 m³ de capacidad, con una sola vía y 7,6 m de largo. La velocidad del aire promedio medida entre las piezas de madera es de 1,5 m/s.

Son encastilladas a mano en cada ensayo 994 piezas de 1" x 5" x 12'. Son usados 7 separadores de 25 mm por camada de madera. Se emplean 142 piezas de 1" x 5" x 12' para evaluar los defectos del secado al iniciar y terminar cada proceso. Se preparan 21 muestras para la conducción del presecado.

Además, se prepara un castillo de secado natural durante el verano de 1989 en el patio de secado de la planta industrial (Lota, Octava Región Chile).

En cada uno de estos ensayos de presecado y de secado al aire se concluye con un secado convencional final, en un secador Moore de 60 m³ de capacidad y velocidad del aire promedio de 1,2 m/s.

Las mediciones y evaluaciones de humedad, contracción, colapso, tensiones y calidad del secado son ejecutadas de la misma manera que se indica anteriormente para el ensayo de secado bajo vacío.

Los programas de secado se muestran en el Cuadro N° 1. El programa de secado bajo vacío es obtenido de Novoa y Rivas (1990), los programas de presecado se recogen de Garay (1991) y el programa de secado convencional proviene de Teuber (1990).

En el sistema de secado bajo vacío DWT Co. (1987), para una temperatura ambiente T , la presión en el autoclave p es una fracción de la presión de saturación que corresponde a la humedad relativa HR deseada. Se obtiene un efecto de programa de secado al cambiar la temperatura y la humedad relativa oportunamente.

El programa de secado bajo vacío incluye un tratamiento final para favorecer el alivio de tensiones de secado. El programa de presecado tiene condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa del mismo orden que el secado natural programa de verano. Este puede ser más rápido dada la circulación forzada del aire en las cámaras. El programa de presecado variable presenta la ventaja de mantener la temperatura del bulbo húmedo constante, lo que facilita su conducción. El secado convencional final, incluye tratamientos de acondicionamiento intermedio y acondicionamiento final a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ en ambiente saturado.

Cuadro N° 1

PROGRAMAS SECADO. EUCALIPTO 30 MM.

	CH (%)	T (°C)	HR (%)	CHE (%)	p (bar)
S.V.	verde	40	90	25,0	0,066
	50	42	84	22,0	0,068
	30	48	77	15,0	0,085
	20	51	70	12,0	0,090
	15	60	59	7,0	0,116
	10	68	59	5,0	0,166
Pre 1	verde-20	30	68	12,0	
Pre 2	verde	35	81	16,0	
	50	38	62	10,5	
	40	40	57	9,5	
	30	43	42	7,0	
	25	45	37	6,5	
S.N.	verde-20	20	70	15,0	
S.C.	20	42	88	19,5	
	a.i.	60	100	26,5	
	10	62	46	6,0	
	a.f.	62	100	26,5	

Donde,

- CH : contenido humedad.
 T : temperatura ambiente.
 HR : humedad relativa.
 CHE : contenido humedad equilibrio.
 p : presión en el autoclave.
 S.V. : secado bajo vacío.
 Pre 1 : presecado constante.
 Pre 2 : presecado variable.
 S.N. : secado natural.
 S.C. : secado convencional.
 a.i. : acondicionamiento intermedio.
 a.f. : acondicionamiento final.

RESULTADOS Y DISCUSION

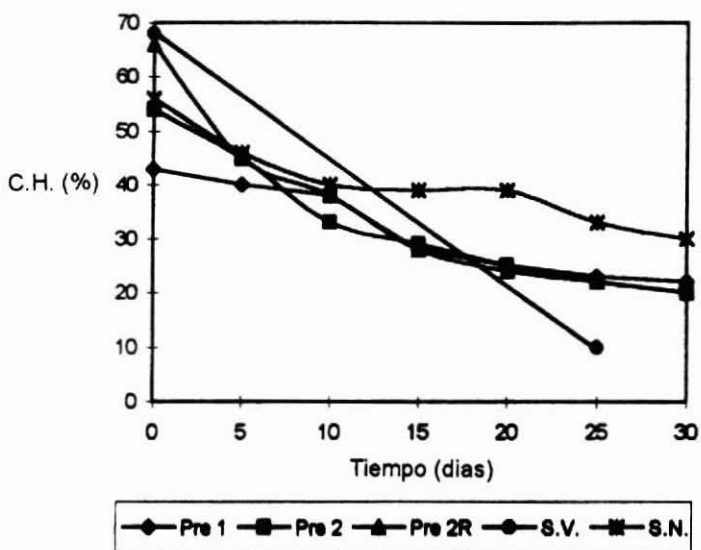


Figura N° 1. CURVAS DE SECADO.
EUCALIPTO RADIAL 30 mm

En la Figura N° 1 se observa la rápida velocidad del presecado variable que presenta el mismo orden de magnitud que el secado bajo vacío, especialmente al inicio del secado. No obstante, al considerar sólo los contenidos de humedad inicial y final en el ensayo de secado bajo vacío, las comparaciones son limitadas.

Como se menciona anteriormente, el programa de secado convencional, con el que finalizan todos los ensayos de presecado, incluye 8 horas de un acondicionamiento intermedio en ambiente saturado a 60 °C, para favorecer la recuperación del colapso, y un acondicionamiento final similar para el alivio de las tensiones de secado. No queda claramente establecido si estos tratamientos

favorecen además la velocidad del secado, debe seguir investigandose este aspecto.

Se observa en el Cuadro N° 2 una notable heterogeneidad en el contenido de humedad inicial de la madera secada bajo vacío, la cual es reducida al final. Esto pudo ser consecuencia del tratamiento de acondicionamiento final de 4 horas dado a la madera.

Cuadro N°2

DISTRIBUCION CONTENIDO HUMEDAD DURANTE SECADO.
EUCALIPTO RADIAL 30 MM.

Método	CHf (std) (%)	CHi (std) (%)
S.V.	10,1 (3,6)	68,3 (18,3)
Pre 1	21,6 (5,6)	41,5 (10,0)
Pre 1 + S.C.	11,3 (5,6)	21,6 (5,6)
Pre 2	18,0 (4,5)	54,2 (13,8)
Pre 2 + S.C.	10,1 (1,0)	18,0 (4,5)
Pre 2R	21,6 (5,6)	65,2 (20,1)
Pre 2R + S.C.	11,3 (5,6)	21,6 (5,6)
S.N.	21,8 (2,9)	56,3 (13,6)
S.N. + S.C.	13,0 (1,9)	21,8 (2,9)

CHf = Contenido humedad final, CHi=contenido humedad inicial,
std = Desviación standar.

Cuadro N° 3

CONTRACCION DEL SECADO. EUCALIPTO RADIAL 30 MM

Método	Tangencial (%)	Radial (%)
S.V.	14,5	8,2
Pre 1	10,0	4,6
Pre 1 + S.C.	11,7	5,3
Pre 2	7,9	4,0
Pre 2 + S.C.	7,8	5,2
Pre 2R	6,9	3,8
Pre 2R + S.C.	7,3	4,9
S.N.	8,1	3,3
S.N. + S.C.	11,8	5,5

En el Cuadro N° 3 se observa que la madera secada bajo vacío muestra la mayor variación dimensional, lo cual puede ser consecuencia de limitaciones del programa de secado empleado lo que induce la presencia de colapso más pronunciada en esta madera, tal como se indica en el Cuadro N° 4.

Por otra parte, las diferencias en el contenido de humedad inicial en cada uno de los procesos que se indican en el Cuadro N° 2, no parecen contribuir con el nivel del colapso observado en el ensayo de secado bajo vacío, ya que el contenido de humedad inicial en este proceso es de 68 % y la contracción tangencial y radial son casi el doble de la obtenida en los ensayos de presecado variable. El ensayo de presecado constante, que tiene un contenido de humedad inicial de 42 %, presenta una mayor contracción que los ensayos de presecado variable, que tienen más alto contenido de humedad inicial. Esto puede evidenciar cierto efecto del método de secado bajo vacío sobre el nivel del colapso mostrado en el Cuadro N° 4.

En el Cuadro N° 3 se observa que con el programa de presecado variable se obtiene la menor variación dimensional, incluso menor que en la madera secada naturalmente. La misma tendencia se observa después del secado convencional final. Las mínimas diferencias, entre la contracción al final de los ensayos de presecado en comparación a la contracción después del secado convencional, son debidas a la efectividad de los tratamientos de acondicionamiento intermedio en ambiente saturado para recuperar parte del colapso de la madera. En cambio este efecto no es notorio en la madera secada naturalmente.

Cuadro N° 4

COLAPSO DEL SECADO EN PORCENTAJE. EUCALIPTO RADIAL 30 MM.

Metodo	s/c	Leve	Medio	Intenso
S.V.	50	59	45	16
Pre 1	27	40	17	16
Pre 1 + S.C.	34	29	33	5
Pre 2	43	33	20	4
Pre 2 + S.C.	44	38	17	1
Pre 2R	72	20	8	0
Pre 2R + S.C.	71	18	10	1
S.N.	55	29	15	1
S.N. + S.C.	42	36	20	2

s/c = Sin colapso.

En el Cuadro N° 4 se observa que el colapso esta presente en todas las modalidades de secado del eucalipto, incluyendo el secado natural. En el ensayo en que se repite el programa variable se obtiene el colapso menos pronunciado, esto es del orden de un 70 % de piezas libres de colapso. Por lo anterior, durante el secado de eucalipto debe considerarse una cierta pérdida de volumen como consecuencia de su tendencia al colapso, la cual puede minimizarse con una buena práctica de secado, una adecuada selección de la madera y una mejor selección del método de secado.

Cuadro N° 5

Tensiones de secado en porcentaje. Eucalipto radial 30 mm.

Método	s/t	Leve	Medio	Intenso
S.V.	9	2	22	67
Pre 1	17	50	33	0
Pre 1 + S.C.	0	26	26	48
Pre 2	0	33	33	34
Pre 2 + S.C.	7	7	53	33
Pre 2R	20	40	0	40
Pre 2R + S.C.	12	35	41	12
S.N.	0	60	40	0
S.N. + S.C.	12	29	35	24

s/t = Sin tensión de secado.

En el Cuadro N° 5 se aprecia la intensidad de las tensiones durante el secado de eucalipto radial de 30 mm. Se observa que esta es de magnitud comparable en todos los métodos ensayados hasta una intensidad media, no obstante la proporción de madera con tensiones de secado en el secado bajo vacío es del orden de un 70 %. La magnitud de las tensiones en el secado bajo vacío se puede apreciar en la Figura N° 2. En cambio en el presecado esto no supera el 50 %. Se estima que esto puede ser mejorado introduciendo variaciones en el tratamiento de acondicionamiento final durante el secado por vacío, especialmente en la duración de este tratamiento.

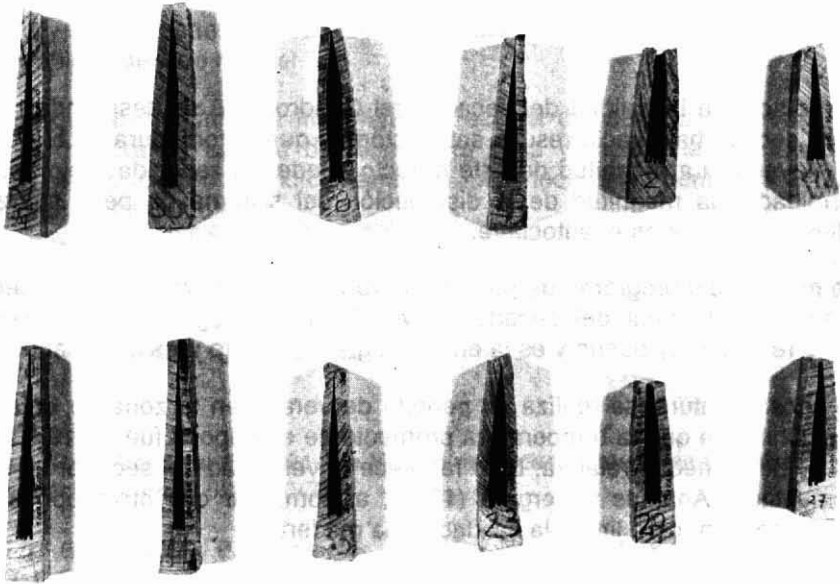


Figura Nº 2. FOTOGRAFÍAS PROBETAS TIPO TENEDOR
 FINAL SECADO BAJO VACÍO
 EUCALIPTO RADIAL 30 mm

Cuadro Nº 6

CALIDAD DEL SECADO. EUCALIPTO RADIAL 30 mm.

Método	Arque	Enco	Torce	Aca	Grie	Calidad
S.V.	0,03	0,12	0,82	0,00	0,17	1,14
Pre 1	0,25	0,29	0,02	0,15	0,34	1,03
Pre 1 + S.C.	0,15	0,13	0,05	0,22	0,29	0,84
Pre 2	0,09	0,23	0,04	0,02	0,08	0,46
Pre 2 + S.C.	0,12	0,23	0,04	0,02	0,04	0,45
Pre 2R	0,06	0,29	0,01	0,04	0,12	0,52
Pre 2R + S.C.	0,04	0,28	0,01	0,01	0,07	0,41
S.N.	0,16	0,21	0,06	0,05	0,31	0,79
S.N. + S.C.	0,25	0,29	0,03	0,15	0,40	1,12

donde,

arque= Arqueadura, enco = Encorvadura, torce = Torcedura,
 aca = Acanaladura, grie = Grietas.

En relación a la calidad del secado, del Cuadro N° 6 se desprende que la madera secada bajo vacío resulta satisfactoria y que la torcedura es el defecto más relevante. La magnitud de este defecto puede ser reducida mejorando la uniformidad y la magnitud de la distribución del sistema de peso sobre los castillos de madera en el autoclave.

La madera del programa de presecado variable resulta mejor que la secada naturalmente. Al final del secado convencional el programa de presecado variable resulta muy bueno y es la encorvadura el defecto más importante.

El secado natural se realiza en periodo de verano en la zona de Lota, VIII región, Chile, en que la temperatura promedio de esa época fue de 19 °C con un 64 % de humedad relativa. Esto favorece la velocidad del secado, tal como lo demuestran Ananías y Vergara (1991), al comparar con otras épocas del inicio del secado, pero limita la calidad de la madera.

CONCLUSIONES

De acuerdo a una experiencia preliminar a escala industrial, el secado bajo vacío con calentamiento a base de vapor sobrecalentado permite secar más rápidamente, pero con mayor colapso la madera aserrada en 30 mm de espesor de eucalipto radial, desde verde a 10 % de humedad final. Se requiere de un análisis técnico-económico para averiguar si la mayor velocidad del secado justifica el mayor costo y complejidad de una instalación de secado bajo vacío.

El presecado variable, desde verde a 20 % de humedad, en combinación con un secado convencional posterior hasta 10 % de humedad final, permite secar adecuadamente madera aserrada de eucalipto radial de 30 mm de espesor. Se minimiza el tiempo de secado y se logra una muy buena calidad de la madera seca.

El secado bajo vacío presenta una mayor variación dimensional, como consecuencia de la abundancia de colapso. La pérdida de dimensiones de la

madera y las tensiones del secado en la madera presecada son de magnitud comparable al secado natural.

Se requiere continuar la investigación acerca del secado bajo vacío para tratar de mejorar la calidad de la madera seca y reducir la abundancia de colapso, introduciendo acondicionamiento intermedio y aumentando el tiempo del acondicionamiento final.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ananías, R.A.; Vergara, F., 1991.** Un Modelo de Secado Natural de Eucalipto. Ciencia e Investigación Forestal 5(2):230-236
- Charrier, B.; Haluk, J.P.; Janin, G., 1992.** Prevention of Brown Discoloration in European Oakwood Occurring During Kiln Drying by a Vacuum Process: Colorimetric Comparative Study with a Traditional Process. Holz Roh-Werkstoff 50 (11): 433-437.
- Danish Wood Treating Co., 1987.** The DWT Moldrup Drying Process. Catálogo p. 10-15.
- Garay, M., 1991.** Presecado Industrial de Eucalipto. Proyecto Título, Depto. Ing. Maderas, Facultad Ingeniería, U. Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Harris, R.A.; Taras, M.A., 1984.** Comparison of Moisture Contents Distribution, Stress Distribution, and Shrinkage of Red Oak Lumber Dried by Radio Frecuency/Vacuum Drying Process and a Conventional Kiln. Forest Prod. J. 34 (1): 44-54.
- INFOR, 1987.** Secado por Deshumidificación de Especies Madereras de Interés Comercial. Informe Técnico N° 100.
- Kauman, W.G., 1966.** Ensayos de Secado en Coigue. Informe Técnico N° 25, Instituto Forestal, Santiago, Chile.
- Novoa, M.; Rivas, O., 1990.** Secado por Vacío: Una Experiencia con Eucalyptus globulus. Seminario Titulación, Depto. Ing. Maderas, Facultad Ingeniería, U. Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Simpson, W.T., 1987.** Vacuum Drying Northern Red Oak. Forest Prod. J. 37 (1): 35-38.

Teuber, P., 1990. Mejoramiento del Secado Industrial de Eucalipto. Proyecto Título, Depto. Ing. Maderas, Facultad Ingeniería, U. Bío-Bío, Concepción, Chile.

Trofatter, G.; Harris, R.A.; Schroeder, J.; Taras, M.A., 1986. Comparison of Moisture Contents Variation in Red Oak Lumber Dried by Radio Frequency/Vacuum Process and a Conventional Kiln. *Forest Prod. J.* 36 (5): 25-28.

Trübswetter, T.; Weber, M., 1992. Untersuchungen an Finer DWT Moldrup-Trockenanlage. *Holz Roh-Werkstoff* 50 (7/8): 286-290.