

CARACTERIZACIÓN DEL COLAPSO EN MADERA ASERRADA DE *Eucalyptus globulus* Labill.

Juan Quintanar Olguín¹

RESUMEN

Uno de los problemas principales para la utilización de la madera del género *Eucalyptus* en la elaboración de muebles, pisos, chapas y otros productos, es la dificultad que supone su secado, debido a su permeabilidad y alta propensión a la contracción anormal llamada "colapso". En el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile, se realizó un experimento para evaluar y caracterizar el proceso de secado de *Eucalyptus globulus*, con madera colectada en el norte de Valdivia, Chile. Se utilizaron 50 tablas de 30 x 120 x 1100 mm aserradas a 24 mm, que fueron sometidas a secado convencional en estufa Hildebrand de construcción metálica con capacidad de 0.1888 m³, a una temperatura inicial de 50°C. El colapso se presentó como una contracción por arriba del 30% de contenido de humedad de la madera (punto de saturación de la fibra) y representó el 60.1% del valor total de la contracción volumétrica; esto se manifestó como un hundimiento en las paredes celulares de las fibras en el plano radial, lo que dio origen a pequeñas depresiones y a una superficie corrugada. Se concluyó que no existe una relación entre el índice del colapso con el contenido de humedad inicial y la densidad básica.

Palabras clave: Chile, colapso, estructura anatómica, estufa convencional, *Eucalyptus globulus*, secado de madera.

ABSTRACT

The drying of *Eucalyptus* wood is one of the main problems to use it for furniture, floors, veneer and other products, because of its permeability and high tendency to attain abnormal shrinkage known as "collapse". In order to assess and describe the drying process of *Eucalyptus globulus* wood, an experiment was conducted at the Instituto de Tecnología de Productos Forestales of the Universidad Austral de Chile. Wood samples of *E. globulus* were collected from

Fecha de recepción: 12 de mayo de 1999.

Fecha de aceptación 29 de agosto de 2002.

¹ INIFAP, CIR-Centro, Campo Experimental San Martinito, Km. 56.5 carretera federal México-Puebla, C.P. 74100, Sta. Rita Tlahuapan, Pue. Correo-e: cesmar@compuredes.net.mx

trees planted in Northern Valdivia, Chile. Fifty boards of 30 x 120 x 1100 mm were sawn at 24 mm, and were submitted to conventional drying in a metallic Hildebrand kiln of 0.1888 m³ capacity, at an initial temperature of 50°C. During the drying process a collapse in the wood was observed, representing it more than 30% of wood moisture content. This value is considered the saturation point of the fiber and represents 60.1% of the total value of volumetric shrinkage. The collapse in *Eucalyptus* wood was observed as a depletion of the fiber cell walls in the radial face, which produced few depressions and a corrugated surface. It was concluded that there is not clear relationship between the collapse index with the initial moisture content and basic density.

Key words: Chile, collapse, anatomic structure, conventional kiln, *Eucalyptus globulus*, wood drying.

INTRODUCCIÓN

El género *Eucalyptus* por su rápido crecimiento y poder de regeneración, así como por su dureza y durabilidad, se ha convertido en la fuente más abundante de maderas duras en el mundo. Aún cuando su utilización primaria estuvo destinada para combustible, en la actualidad, se utiliza en construcción de productos de alto valor agregado: muebles y chapas, además de tableros y producción de pulpa y papel (Hillis, 1978).

En algunos países como Chile, cada vez es mayor la tendencia a considerar las posibilidades de cambiar o diversificar la actividad forestal a la utilización de otras especies, siendo el eucalipto el género con mayores posibilidades de desarrollarse en un futuro inmediato por su alto rendimiento, que en casos experimentales ha alcanzado hasta 60 m³/ha/año. En cuanto a su utilización, a pesar de las reducidas plantaciones disponibles, fundamentalmente de *Eucalyptus globulus* Labill. existe un intenso comercio de madera de este género para diferentes usos, entre los que destacan las chapas decorativas, pisos (parquet), muebles, pulpa, astillas, leña y carbón (Prado y Barros, 1989).

Uno de los problemas principales para el uso de la madera aserrada de eucalipto, está en la dificultad que presenta para secarse, debido a su baja permeabilidad y la alta propensión al colapso. Durante el secado de la madera y en las primeras etapas (desde verde hasta el punto de saturación de la fibra (PSF), se presenta una contracción anormal conocida como "colapso". Este fenómeno consiste básicamente en un aplastamiento de la pared celular, debido a las tensiones hidroestáticas generadas durante el secado inicial cuando el lumen está totalmente saturado.

El objetivo de este trabajo fue evaluar y caracterizar el colapso de madera de *E. globulus* en el proceso de secado convencional en estufa metálica Hildebrand.

Influencia de la densidad en el colapso

Los principales factores que influyen en la aparición o desarrollo del colapso en la madera son la densidad y el contenido de humedad (Siau, 1984).

Según Pendfold y Willis (1961) y Kininmonth *et al.*, (1974), las especies de eucalipto con densidades menores a 0.460 gr/cm^3 , son las que presentan los mayores problemas de colapso y grietas internas en el secado.

Campbell y Hartley (1978) señalaron que las muestras de duramen de eucaliptos con densidades cercanas a 0.650 gr/cm^3 , tienen un aumento muy marcado de colapso al iniciarse el secado. La madera con densidades mayores se seca sin colapso. Sin embargo, en madera de tensión con alta densidad (mayor a 0.650 gr/cm^3) se presenta un alto grado de colapso en las fibras.

Los estudios realizados por Chafe (1985; 1986) han mostrado que en *Eucalyptus regnans* F. Muell., existe una relación inversa entre la aparición e intensidad del colapso con la densidad.

Contenido de humedad y colapso

Chafe (1985) encontró que la aparición del colapso se da por arriba del punto de saturación de la fibra, presentando una variación inicial y una intensidad que está en relación directa con el contenido de humedad inicial de la madera y con la especie.

En la mayoría de las especies forestales maderables, el colapso alcanza su máxima intensidad cuando el contenido de humedad se encuentra entre 40 y 60% y cesa al llegar al punto de saturación de la fibra (Rozende y Castillo, 1973). En el caso de *E. regnans*, el colapso se inicia en contenidos de humedad entre 100 a 120% (Kauman, 1964); aunque también se puede presentar a contenidos de humedad iniciales menores a 80%. En madera de balsa, el colapso se presenta en contenidos de humedad mayores a 600% (Chafe, 1985).

Temperatura y colapso

Pankevicius (1961) encontró que existe una relación directa entre temperatura de secado e intensidad de colapso, y recomendó una temperatura de secado menor a 60°C hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras.

Para Kauman (1961) el colapso ocurre cuando la madera es calentada por períodos prolongados a temperaturas entre 60° y 80°C. Si este calentamiento excede de un día a 82°C se presenta una degradación térmica de la madera, la cual causa un aumento del colapso, de la contracción total y una disminución del colapso recuperable mediante reacondicionamiento.

A temperaturas altas de secado, se presenta un mayor porcentaje de colapso, pero la cantidad recuperable también es mayor, que cuando se seca a temperaturas menores (Pankevicius, 1961).

Stamm (1964) y Siau (1984) señalaron que una de las principales causas de la aparición del defecto de colapso en maderas refractarias, es la aplicación de temperaturas superiores a los 50°C, durante las primeras etapas del proceso de secado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y preparación de la madera

Los árboles de eucalipto usados para los ensayos, se colectaron en el área norte de la provincia de Valdivia, Chile. En total se tomaron seis árboles, de cada uno de ellos se extrajo al azar una troza de 3,8 m de largo. Debido a la falta de permiso para usar el aserradero, las trozas estuvieron en los patios de trocería del aserradero, en la ciudad de Valdivia, durante 10 días.

El aserrió se realizó con una sierra banda, en corte radial y espesores de 32 mm y de cada troza se seleccionaron ocho tablas de duramen.

Secado

El secado de la madera se realizó en un secador o estufa de secado convencional Hildebrand de construcción metálica con capacidad de 0.1888 m³, del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile.

El desarrollo del colapso se observó en el proceso de secado de una carga, compuesta por 50 tablas, con dimensiones de 30 x 120 x 1100 mm. Las piezas fueron cepilladas en sus cuatro caras para eliminar cualquier rugosidad o marca de la sierra que pudiese ser confundida con la aparición de colapso.

Al momento de realizar el dimensionado final de las tablas, se extrajeron tres probetas de cada tabla para la determinación del contenido de humedad inicial

(INN, 1986a) y 14 probetas por troza para las determinaciones de la densidad básica (INN, 1986b) y la contracción volumétrica, radial y tangencial (INN, 1986c). Del total de tablas que conformaron la carga, se seleccionaron cinco tablas que sirvieron de muestra en la conducción del secado.

Para evitar una pérdida excesiva de humedad en el sentido longitudinal, ambos extremos de las tablas se sellaron con pintura vinílica. En todas las piezas de la carga se realizó una inspección de los posibles defectos presentes en las piezas antes de iniciar su secado.

En el apilado se utilizaron tres separadores de 19 x 25 x 580 mm por camada de tablas, ubicados uno en cada extremo y uno al centro de la longitud total de las tablas. Se utilizó un sobre peso de 150 kg sobre la pila de secado.

En el programa de secado se consideró el seguimiento por contenido de humedad, utilizando temperaturas sobre 50° C (Cuadro 1). Durante el proceso de secado, dicho control, se realizó mediante el método de pesadas sucesivas de las piezas.

Al obtener el contenido de humedad final deseado (12%), durante dos horas se aplicó una condición de temperatura de bulbo seco de 67°C y contenido de humedad de equilibrio de 14%, con el fin de liberar tensiones de secado.

Cuadro 1. Programa de secado utilizado en la madera de *E. globulus*.

C.H. Madera (%)	Temperaturas	
	Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)
> a 60	50	47
60 a 40	50	46
40 a 30	52	45
30 a 25	56	45
25 a 20	60	45
20 a 15	65	46
15 a final	67	46

En la determinación del índice de colapso, se aplicó la metodología propuesta por Jankowsky y Cavalcante (1992), mediante el uso de la fórmula:

$$Ic = \frac{Mb - Md}{Mv} \times 100$$

Donde:

- Ic = Índice de colapso (%)
- Mb = Medida del borde o zona de mayor espesor en una pieza colapsada (mm)
- Md = Medida de la zona más hundida o de menor espesor en la pieza de madera colapsada (mm)
- Mv = Medición en verde de la pieza (mm)

La localización de los puntos de medición para determinar el índice de colapso, se presentan en la Figura 1.

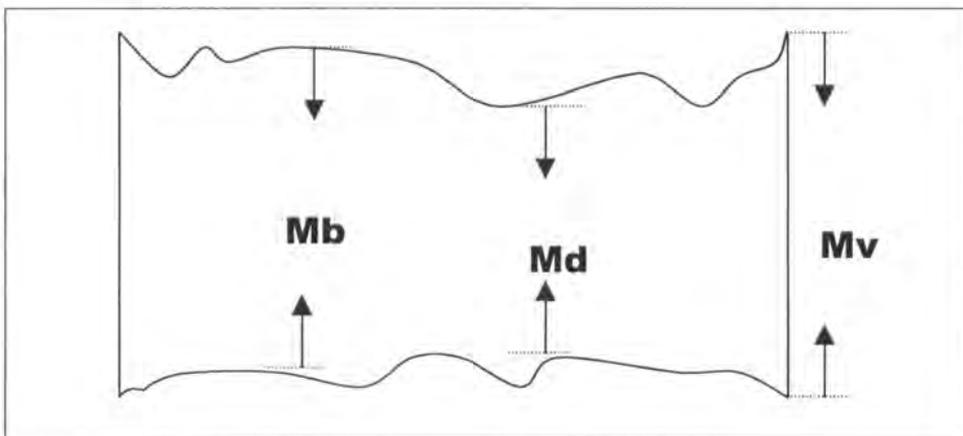


Figura. 1. Localización de las mediciones para índice del colapso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Definido el colapso como la contracción que se desarrolla por arriba del punto de saturación de la fibra se empezó a notar este en todas las tablas de la carga cuando habían perdido un 5% de contenido de humedad inicial (Cuadro 2). Al

Cuadro 2. Efecto del contenido de humedad sobre los valores y porcentaje de contracción, en madera de *E. globulus*.

C. H. (%)	Contracción			Porcentaje de contracción		
	Radial	Tangencial	Volumétrica	Radial	Tangencial	Volumétrica
CH > PSF						
128.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
111.4	0.1	0.4	0.5	1.2	2.0	1.2
84.1	1.0	3.8	4.8	11.6	19.5	17.1
61.0	2.1	9.1	11.2	24.4	46.6	39.8
39.4	3.2	12.5	15.7	37.2	64.1	55.9
30.0	3.4	13.5	16.9	39.5	69.2	60.1
CH < PSF						
18.9	4.5	15.0	19.5	52.3	76.9	69.4
10.6	5.9	16.5	22.4	68.6	84.6	79.7
5.0	7.3	17.8	25.1	84.9	89.9	89.3
0.0	8.6	19.5	28.1	100	100	100

llegar la humedad de la madera en promedio al punto de saturación de la fibra, se había desarrollado el 60.1% del valor total de la contracción volumétrica.

Los altos valores de contracción sobre el punto de saturación de la fibra (que representan al colapso), determinados en el estudio fueron mayores en un 13% para contracción radial, 27% para contracción tangencial y 24% para la contracción volumétrica, que los valores determinados por Hunt y Ortiz (1961). Además, fueron superiores en un 32% en contracción radial, en un 66% para contracción tangencial y en un 54% para contracción volumétrica, respecto a los valores reportados por Pérez (1982).

Los índices de colapso para las cinco trozas consideradas se presentan en el Cuadro 3. Estos resultados son diferentes a los presentados por Jankowsky y

Cuadro 3. Índice de colapso y densidad básica por troza

Troza	Densidad básica gr/cm ³	Índice de colapso (%)
1	0.484	14.5
2	0.508	15.6
4	0.489	8.5
5	0.713	5.3
6	0.539	6.3

Cavalcante (1992), quienes reportaron un índice de colapso máximo de 4.19 en *E. saligna*, empleando una temperatura inicial de secado de 60°C. Además, las trozas 1 y 2 presentaron un comportamiento diferente, al desarrollar un índice de colapso muy superior al de las otras tres trozas, bajo las mismas condiciones de secado y con densidades básicas muy semejantes.

Al analizar el efecto de la densidad básica sobre el índice de colapso, no se observa correlación entre ambos parámetros. Las tablas que presentaron el índice de colapso más alto fueron aquellas con densidad básica cercana a 500 kg/m³, exceptuando la troza 4 cuya densidad básica es de 489 kg/m³ y presentó un índice de colapso bajo. Sin embargo, autores como Pendfol y Willis (1961) Kininmonth *et al.*, (1974) y Chafe (1985; 1986) mencionaron que a menor densidad básica se presentan intensidades de colapso más altas.

Al relacionar los valores promedio del contenido de humedad inicial de la madera, índice de colapso, contenido de humedad de inicio del colapso y desarrollo de grietas internas no se aprecia una clara tendencia, debido a que su correlación es muy baja (Cuadro 4). El colapso se inició en forma similar en la madera con contenido de humedad inicial de 132.2% y en la madera con 73.4%. Kauman (1961) y Chafe (1985) señalaron que el colapso inicia su desarrollo a cualquier contenido de humedad que tenga la madera, siempre y cuando esté por arriba del punto de saturación de las fibras.

En la troza tres, se desarrolló endurecimiento superficial desde el inicio del secado. Además, se originaron grietas internas que abarcaban hasta un 10% del ancho de las tablas. Estas grietas iniciaron su desarrollo en las

Cuadro 4. Promedios de contenido de humedad inicial, contenido de humedad de inicio del colapso, índice de colapso y presencia de grietas internas por troza.

Troza	C.H inicial (%)	Índice de colapso	C.H. de inicio del colapso	Desarrollo de grietas
1	136,5	14,5	119	No
2	129,2	15,6	112	No
3	131,9	*N.M.	116	Si
4	132,2	8,5	115	No
5	73,4	5,3	68	No
6	109,5	6,3	94	No

* N.M. = No medible.

zonas correspondientes a la madera temprana de los anillos de crecimiento y siguieron una orientación radial. Lo que coincide con lo descrito por Bariska (1992) y Chafe *et al.*, (1985) para el desarrollo de grietas internas.

De acuerdo con Miller y Simpson (1992), la relación que existe entre grietas internas y colapso está determinada por la temperatura de secado y el espesor de las mismas. Además, Chafe *et al.* (1993), mencionaron que las tablas aserradas en cuartos (corte radial) son menos susceptibles a desarrollar grietas internas. Sin embargo, en el presente estudio la temperatura de secado y el espesor de las tablas fue igual para toda la muestra, además de que, todas provenían de una misma troza aserrada en corte radial; por lo tanto, el agrietamiento de la troza tres no se puede atribuir a la temperatura, al espesor de las piezas o al tipo de corte, sino a los esfuerzos desarrollados con el endurecimiento superficial.

Cortes transversales observados a través del microscopio, muestran que el colapso se manifiesta en cortes transversales como una deformación en las fibras, las cuales presentan un hundimiento de la pared celular del plano radial. Dependiendo de la intensidad del colapso, se presentaron diferentes grados de deformaciones en las fibras (Figura 2). Al incrementarse la intensidad del colapso, otro tipo de células como las parenquimatosas de los radios o los vasos se ven influenciadas por los esfuerzos asociados con el "hundimiento" de las fibras colapsadas. Lo anterior coincide con lo reportado por Wilkes y Wilkins (1987), Bariska (1992) y Chafe *et al.*, (1993).

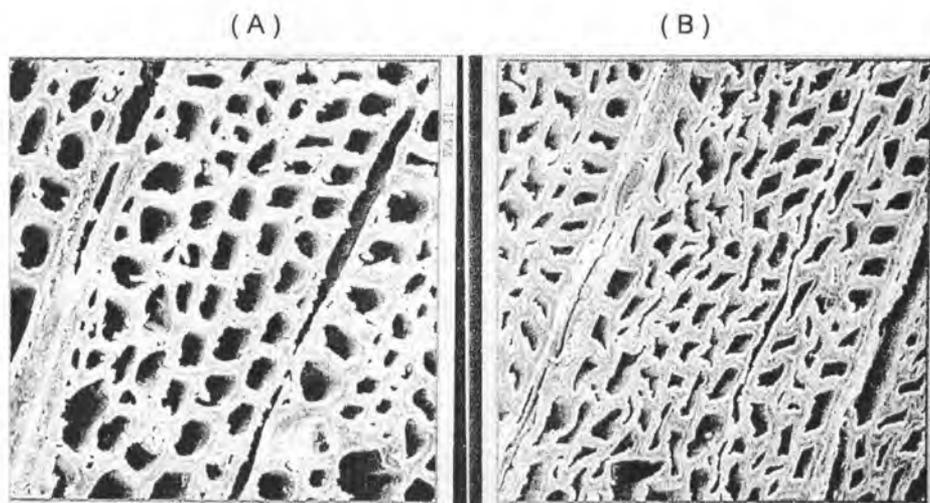


Figura 2. Deformación de la estructura anatómica en función de la intensidad de colapso. A. Madera con baja intensidad de colapso. B. Madera con alta intensidad de colapso. (Vista transversal a través del microscopio electrónico).

CONCLUSIONES

El colapso se presentó como una contracción por arriba del 30% de contenido de humedad de la madera (punto de saturación de la fibra) y representó el 60.1% del valor total de la contracción volumétrica.

No existe una tendencia definida en la relación densidad básica-índice de colapso. Se presentó con diferente intensidad en los distintos valores de densidad.

El colapso se desarrolló con intensidades diferentes a distintos contenidos de humedad inicial, no existiendo tendencia definida.

El índice de colapso presenta una relación positiva con la temperatura inicial de secado, siendo mayor la intensidad del colapso si la temperatura inicial de secado es más alta.

El colapso se observó como un hundimiento de las paredes celulares de las fibras en el plano radial, dando origen a pequeñas depresiones y a una superficie corrugada en la cara radial de la tabla.

REFERENCIAS

- Bariska, M. 1992. Collapse phenomena in eucalypts. *Wood Science Technol.* 26: 165-179.
- Campbell, G. and J. Hartley. 1978. Drying and dried wood. *In: W. E. Hillis and A. G. Brown (Eds.). Eucalypts for wood production.* CSIRO. Australia. 434 p.
- Chafe, S. 1985. The distribution and relationship of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in trees of *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Sci. and Technol.* 19: 329-345.
- Chafe, S. 1986. Radial variation of collapse, volumetric shrinkage, moisture content and density in *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Wood Sci. Technol.* 20: 253-262.
- Chafe, S., J. E. Barnacle, A. J. Hunter, J. Ilic, R. L. Northway and A. N. Rozsa. 1993. Collapse: an introduction. CSIRO-Division of Forest Products. Australia. 9 p.
- Hillis, W. and Brown A. (Eds.). 1978. *Eucalypts for wood production.* CSIRO. Australia. 434 p.
- Hunt, S. y M. Ortiz. 1961. Reseña sobre tecnología del eucalipto en Chile. *In: Informe y documentos de la 2a. Conferencia Mundial del Eucalipto.* Vol. II. Sao Paulo, Brasil. pp. 1267-1276.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. 1986a. Madera. Determinación de humedad. NCh 176/1 of 84. 8 p.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. 1986b. Madera. Determinación de densidad. NCh 176/2 of 84. 11 p.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. 1986c. Madera. Determinación de contracción radial y tangencial. NCh 176/3 of 84.
- Jankowsky, I. P. and A. Cavalcante. 1992. Collapse prevention in the drying of eucalypt wood. *In: M. Vanek (Eds.). 3rd. IUFRO International Wood Drying Conference.* Vienna, Austria. pp. 357-361.
- Kauman, W. 1960. Contribution to the theory of cell collapse in wood: Investigations with *Eucalyptus regnans*. *Australian Journal of Applied Science.* 2 (1): 122-145 p.
- Kauman, W. 1961. Effect of thermal degradation on shrinkage and collapse of wood from 3 Australian species. *Forest Products Journal.* 11 (9): 445-452.
- Kauman, W. 1964. Cell collapse in wood. Part 1: Process variables and collapse recovery. *Holz Roh-Werkstoff* 22: 183-196.
- Kininmonth, J. A., D. Revell and D. H. Williams. 1974. Utilization of New Zealand grown eucalypts for sawn timber and venner. *N.Z.J.F.* 19 (2): 246-63.
- Miller, W. and I. Simpson. 1992. Collapse associated internal checking in radiate pine. *In: M. Vanek (Eds.). 3rd. IUFRO International Wood Drying Conference.* Vienna, Austria. pp. 298-308.

- Pankevicius, E. 1961. Influence of position in tree on recoverable collapse in wood. *Forest Products Journal* 12 (3): 131-132.
- Pendfold, A. and J. Willis. 1961. *The eucalypts. Botany, cultivation, chemistry and utilization.* Leonard Hill Ltd. London, U.K. 550 p.
- Pérez V. 1982. Características físico-mecánicas de diez especies de *Eucalyptus* crecidas en Chile. Informe Técnico No. 84. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 124 p.
- Prado, J. y A. Barros 1989. *Eucalyptus. Principios de Silvicultura y Manejo.* INFOR-COFOPRO-AF-89/06. Santiago, Chile. 199 p.
- Rosende, R. y H. Castillo. 1973. Contracción, colapso y juego de maderas chilenas. Boletín Informativo No. 27. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 39 p.
- Siau, J. 1984. *Flow in wood.* Syracuse University Press. New York. 131 p.
- Stamm, A. 1964. *Wood and cellulose science.* The Ronald Press. New York. 549 p.
- Wilkes, J. and A. Wilkins. 1987. Anatomy of collapse in *Eucalyptus* species. *IAWA Bulletin* 8 (3): 291-295.