

COMPORTAMIENTO EN EL SECADO ARTIFICIAL DE LA MADERA DE DISTINTOS ORIGENES DE *Pinus taeda*

BEHAVIOR IN THE ARTIFICIAL DRYING OF *Pinus taeda* WOOD FROM DIFFERENT ORIGINS

Fecha de recepción: 08/03/2015//Fecha de aceptación: 22/12/2015

Estela Pan

MSc. Profesor Asociado e Investigador del Instituto de Tecnología de la Madera - FCF - UNSE. Av. Belgrano Sur 1912, Cp 4200, Santiago del Estero, Argentina. E-mail epan@unse.edu.ar

Maximiliano Umlandt

Ing. Ayudante de Primera del Instituto de Tecnología de la Madera - FCF - UNSE. Av. Belgrano Sur 1912, Cp 4200, Santiago del Estero, Argentina. E-mail maximiliano.umlandt@gmail.com

Néstor Lencina

Ing. Profesor Adjunto e Investigador - FCEyT - UNSE. Av. Belgrano Sur 1912, Cp 4200, Santiago del Estero, Argentina. E-mail nlencina@unse.edu.ar

Luis Palmas

Ing. Profesor Adjunto e Investigador - FCEyT - UNSE. Av. Belgrano Sur 1912, Cp 4200, Santiago del Estero, Argentina. E-mail lpalmas@unse.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de madera proveniente de orígenes de *Pinus taeda*, durante el proceso de secado técnico, lo que estaría indicando su calidad. El material utilizado consistió en muestras de madera procedentes del ensayo "Orígenes de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*", instalado en la propiedad del Ingenio "La Fronterita", Departamento Famaillá, Tucumán, Argentina; y fue seleccionado con base en la altura, porte, diámetro altura de pecho (DAP), densidad y estado sanitario. Se empleó un programa de secado, desarrollado a partir de un protocolo guía elaborado para *Pinus taeda* y se realizaron dos ensayos de secado resultantes de la combinación de temperatura por humedad relativa. Los resultados muestran que el mejor programa fue el obtenido de la combinación T2xHR1 mientras que el origen B presentó las mejores respuestas ante los alabeos y las rajaduras.

Palabras claves: calidad de madera, orígenes, *Pinus taeda*, programas de secado.

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the behavior of wood from *Pinus taeda* sources, during artificial drying, which would indicate its quality. The material used was wood samples from the trail "Origins of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*", installed on the premises: Ingenio "La Fronterita", Department Famaillá, Tucumán, Argentina; and this material was selected based on the height, size, diameter at breast height (DBH), density and health status. A drying program was used, developed from a guide protocol developed for *Pinus taeda* and two drying tests resulting from the combination of temperature by relative humidity were performed. The results show that the best program was obtained by combining T2xHR1 while the origin B presented the best responses to warping and cracking.

Key words: quality of wood, origins, *Pinus taeda*, drying programs.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la madera es considerada como un material básico para la industria de construcción y mueblería, presentando las coníferas una importancia fundamental como madera aserrada para la construcción, dada sus características de alta estabilidad estructural y resistencia a la rajadura al ser clavada (FORNES y PAN, 2003)

La madera madura de *Pinus taeda* es ampliamente conocida en el mercado nacional, regional e internacional, siendo la característica más relevantes, su densidad entre 400 a 450 Kg/m³, ubicándose dentro del grupo de los “medianamente livianos”, presentando una variación de densidad entre los anillos de crecimiento localizados cerca de la médula y los próximos a la corteza. Esta variabilidad de densidad hace a la madera susceptible de alabeos (combadado de canto, combado de cara, abarquillado y revirado) durante el secado, pudiendo ser mejorada mediante la aplicación de programas de secado adecuados (FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al. 1996; ALVAREZ NOVES. 1999; PAN. 1995; GERRERO et al. 1980; INZUNZA, 1991; PAN et al. 2009) Debido a que *Pinus taeda* no presenta tensiones internas de crecimiento tan comunes en otras especies de rápido crecimiento, tiene la particularidad de no presentar problemas de contracciones, lo que favorece la industrialización de sus productos (TINTO, 1978; CENTRO DE AYUDA TÉCNICA, 1965; PAN et al. 1995; FORNES et al. 2003). Sin embargo, ROSENDE et al. 1984; SANCHEZ ACOSTA, 1995 y FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al. 1996, reportan, que los problemas más frecuentes en el secado de *Pinus taeda* son los relacionados con las deformaciones producidas por nudosidades en la madera y la presencia de orificios dada la existencia de nudos saltadizos y los alabeos ocasionados por la abundante madera juvenil en algunas de las caras de las piezas. TINTO, 1978, JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1989 y FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al, 1996; aconsejan que el secado de *Pinus taeda* proveniente de plantaciones no presenta mayores problemas físicos, aunque es muy sensible al ataque de hongos productores de manchas. Realizaron experiencias de un secado rápido mediante estibas muy ventiladas con tratamiento antimoho o por medio de un presecado acelerado. FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al. 1996 y ALVAREZ NOVES et al. 2001; reportan que el secado artificial en cámara se ha incrementado en los últimos años siendo la tecnología de secado predominante la tradicional con programas de secado que no superan los 70° a 80° C, con tiempos que no superan los 10 días para gruesos de 55mm. FORNES y PAN 2003; aplicaron en madera joven de *Pinus taeda* un programa de secado desarrollado a partir de un protocolo guía elaborado para esta madera por el Manual de Estacionamiento de Maderas Misioneras

Se empleó un programa de secado, desarrollado a partir de un protocolo guía elaborado para *Pinus taeda* por el Manual para el secado artificial de las maderas

(TINTO, 1980) y modificado en base a una serie de ensayos realizados por los autores, con temperaturas que varían entre 80° a 93.5°C para tablas de 1 pulgada de espesor, obteniendo tiempos óptimos con buena calidad de madera. HILDEBRAND, 1964; FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al, 1996; PAN et al, 2014; reportan que es recomendable para disminuir las deformaciones la aplicación de cargas (1000 Kg/m³) en lo alto de las pilas; si bien este método es eficaz en secado a alta temperatura su empleo resulta útil en el secado convencional.

Por eso, considerando el uso de esta especie, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la madera proveniente de diferentes orígenes de *Pinus taeda* durante los procesos de secado técnicos.

MATERIAL Y METODO

Material

Como material genético se utilizaron muestras de madera provenientes del ensayo “Orígenes de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*” instalado en el año 1981, en la propiedad del Ingenio “La Fronterita”, Departamento Famaillá, Tucumán, Argentina. Del total del lote de individuos se eligieron 4 ejemplares pertenecientes a dos orígenes de *Pinus taeda* (A y B). Dichos orígenes fueron Livingston-Louisiana (A) y Charleston-South Carolina (B), seleccionados tomando en cuenta la diferencia existente entre la densidad promedio externa y la densidad promedio interna (FORNES y PAN, 2003); reservándose para los ensayos de secado la primera troza ubicada a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP) hacia arriba 2,40 m (PAN et al 2009).

Método

Secado de madera de *Pinus taeda* Preparación de las probetas

Del rollo seleccionado se escogió una troza, para la elaboración de los programas de secado. Cada carga estuvo compuesta por los 2 (dos) orígenes de *Pinus taeda*, completando un metro cúbico de madera.

Procedimiento empleado

En cada tabla se identificó el individuo, tipo de corte y troza de la cual provino. Se procedió al encastillado dentro del horno que contó con 50 tablas repartidas en 10 corridas de 5 tablillas cada una, ubicándose tres listones separadores de madera de 25 mm x 35 mm en los extremos y uno en el centro distantes 50 mm entre ellos. En lo alto de la pila se aplicaron cargas de 1000 Kg/m² para disminuir las deformaciones (PAN et al; 2014; FERNANDEZ-GOLFIN SECO et al., 1996). Misioneras y modificado sobre la base de pruebas realizadas por FORNES y PAN, 2003 (tabla 1)

- Programa de calentamiento: se aumentó la temperatura durante ocho horas, hasta llegar a la temperatura de inicio establecida en el período de secado efectivo. (FORNES y PAN, 2003)

- Programa de acondicionado: de acuerdo al espesor de las tablas se aplicó igual tiempo de acondicionado que durante la etapa de calentamiento. (INZUNZA 1991).

Control de calidad del secado

Para evaluar la calidad del secado se utilizó el criterio de clasificación reportado por PAN, 1995 y PAN et al; 2014, que considera los defectos de la madera sometida a un proceso de secado de acuerdo con el destino final para el cual fue seleccionada. En este trabajo se considera como uso final la madera destinada a la construcción (estructurales) siendo las variables analizadas los alabeos y rajaduras, no considerándose el colapso dado que esta madera no presentó este defecto en pruebas realizadas con antelación.

- Contenido de humedad inicial y final: De acuerdo a lo prescrito por Norma IRAM N° 9532.
- Rajaduras y Alabeos: De acuerdo al Criterio de clasificación reportado por PAN, 1995.

Diseño Experimental

El diseño experimental correspondió a un arreglo factorial (2x2) totalmente Aleatorizado, en el que los niveles de variación son temperatura y humedad relativa. Los tratamientos se llevaron a cabo en la etapa de secado efectivo, manteniendo constantes los períodos de calentamiento y acondicionado. El modelo asumido para el análisis es:

$$Y_{klj} = \mu + \tau_k + \delta_l + (\tau\delta)_{kl} + \epsilon_{klj}$$

Y_{klj} = valor observado

μ = media poblacional del ensayo

τ_k = efecto temperatura

δ_l = efecto humedad relativa

$\tau\delta$ = combinación temperatura – humedad relativa

Los tratamientos de temperatura y humedad relativa se determinaron estableciendo intervalos entre valores iniciales y finales; teniendo como base el protocolo testigo elaborado para *Pinus taeda* (ver tabla 3)

Tabla 1 Programa de secado artificial para madera de *Pinus taeda* de 1 pulgada de espesor.

Tabla 1: Artificial drying program of *Pinus taeda* wood 1 inch thick.

Contenido de Humedad	Temperatura Bulbo Seco	Temperatura Bulbo Húmedo	Diferencia Psicrométrica	Humedad Relativa	Duración (horas)
CH Verde	TBS 80,0	TBH 76,0	DP 4	HR 83	T 33
40-30	90,0	81,0	9	67,5	8
30-20	93,5	77,5	16	52	12
20-15	93,5	71,5	22	40	9
15-10	93,5	71,5	22	40	11

Tabla 2: Clasificación de los defectos e intensidad en madera destinada a la construcción.

Tabla 2: Classification of defects and intensity of wood for construction.

Clasificación de alabeos, rajaduras y colapsos					
DEFECTO	INTENSIDAD				
Alabeos	NA	L	L-I	I	M-I
Rajaduras	NA	P	M	G	M-G

NA: no acepta defecto, L: leve P: pequeña, L-I: leve intensa, I: intensa, M-I: muy intensa, G: grande, M-G: muy grande, M: mediana

Tabla 3: Tratamientos de temperatura y humedad relativa.

Tabla 3: Treatments of temperature and relative humidity.

Tratamientos	Temperatura1 (T 1)	Temperatura2(T 2)
Humedadrelativa1 (H R 1)	T 1 x H R 1	T 2 x H R 1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Programa de secado convencional

Variables del proceso

Los procesos de secado se desarrollaron en cuatro etapas; calentamiento, secado efectivo, vaporizado y acondicionado. Se aplicaron ocho horas de calentamiento (FORNES y PAN, 2003) y ocho horas de acondicionado (INZUNZA, 1991). El primer ensayo de secado fue resultado de la combinación de las variables temperatura 1 (80°C- 93.5°C) por humedad relativa 1 (83%- 40%; ver tabla 4).

Si bien las variables del secado aplicadas fueron drásticas (TBS, HR y DP) el cociente de secado se inició a partir del punto de saturación de las fibras con un valor de 3,50 llegando al final a 2,50; lo que estaría indicando que dentro de la severidad del programa propuesto, se desarrolló una secuela de secado en un tiempo total de 85 horas (cuatro días) con un tiempo de secado efectivo de 69 horas; considerándose de moderado a rápido.

El segundo ensayo de secado fue el resultado de la combinación de temperatura 2 (70°C-90°C) por humedad relativa 1 (83%- 40%). Los resultados del segundo programa muestran que los cocientes de secado obtenidos (3,68 a 2,50) presentan prácticamente la misma variación que en el caso anterior; sin embargo los tiempos alcanzados en cada etapa de secado efectivo fueron de mayor duración que en el primer ensayo. El tiempo total de secado fue de 145 horas (seis días) superando ampliamente al ensayo anterior, lo que estaría mostrando características de un programa moderado apto para este tipo de maderas.

Tabla 4: Programas de secado artificial.

Tabla 4: Artificial drying programs.

Programas	Tiempo total de secado	Cociente de secado
1 - (T1 X HR1) (80° - 93,5° X 83% - 40%)	85 HS	3,50 – 2,50
2 - (T2 X HR1) (70° - 90° X 83% - 40%)	145HS	3,68 – 2,50

Calidad de la madera secada

Se realizó la evaluación de los alabeos (combado de cara, combado de canto, abarquillado) y rajaduras teniendo en cuenta el uso de madera destinada a la construcción.

En el primer programa la calidad del secado fue regular, en lo relativo a la presencia de rajaduras superficiales (10%) y al porcentaje de deformaciones (35%) que se consideran moderadas teniendo en cuenta la elevada nudosidad de la madera, los orificios producidos por la existencia de nudos saltadizos y por la presencia de madera juvenil en algunas caras de la pieza. Cabe destacar que el valor de la humedad final alcanzada (10%) coincidió con la propuesta.

De las 50 tablas ensayadas, un 10 % presentó rajaduras,, siendo un 6% medianas y un 4% grandes situándose con mayor frecuencia sobre los cantos de las tablillas. De los alabeos, el que se presentó con mayor frecuencia e intensidad fue el combado de cara afectando a un 15 %, de las tablas y en orden decreciente el combado de canto (10%) y el abarquillado (10%) con intensidades entre leve y leve-intenso (ver tabla 5)

Los orígenes de *Pinus taeda* jóvenes presentaron una tendencia marcada al combado de cara siendo el alabeo que afecta en mayor intensidad y frecuencia el secado de esta madera, mientras que los resultados muestran un porcentaje moderado del combado de canto (10%) el cuál es considerado como un defecto descalificador para su posterior uso de esta madera.

La calidad del segundo programa de secado fue muy buena, dado el valor de la humedad final alcanzada (10%), el menor porcentaje de alabeos (12%) y un decrecimiento en el porcentaje de rajaduras (5%). Los resultados del segundo ensayo muestran, que la presencia de los alabeos mas destacados (combado de cara y canto) descienden a un 9%, sin exhibir el defecto de revirado; mientras que las rajaduras se reducen desde una 10% a un 5%, observándose un decrecimiento en la intensidad de grandes y medianas a pequeñas.

Los resultados del primer programa muestran que al origen A le corresponden un 25% de tablillas afectadas con combado de canto y cara siguiendo el origen B con un 10%. El mayor porcentaje de rajaduras fue asignado al origen A con un 7% continuando el origen B con un 3% (tabla 5).

En el segundo programa los mejores resultados producto de la menor presencia de los alabeos mas descalificadores (combado de cara y abarquillado) se dieron en el origen B seguido por el origen A. En relación a las rajaduras el origen A presentó el máximo número de tablas afectadas (5%) mientras que el origen B no acusó este problema (tabla 5).

Tabla 5: Calidad de madera secada.
 Tabla 5: Dried wood quality.

Programas	Alabeos			Rajaduras	
1	35%	15% (a)	10% L	10%	-
			5% L-I		
			0% I		
		10% (b)	7% L		6% M
			3% L-I		
			0% I		
		10% (c)	5% - L		4% G
			5% L-I		
			0% I		
		0% (d)	0% L		0% M-G
			0% L-I		
			0% I		
2	12%	6% (a)	6% L	5%	5% P
			0% L-I		
			0% I		
		1% (b)	1% L		0% M
			0% L-I		
			0% I		
		5% (c)	5% L		0% G
			0% L-I		
			0% I		
		0% (d)	0% L		0% M-G
			0% L		
		(a) Combado de cara, (b) combado de canto, (c) abarquillado, (d) revirado			

Tabla 6: Calidad de madera: orígenes.
 Tabla 6: Wood quality: origins.

	Programas	Alabeos	Rajaduras
1	Buen comportamiento ante el defecto		B
	Regular comportamiento ante el defecto	B, A	A
	Mal Comportamiento ante el defecto		
2	Buen comportamiento ante el defecto	B, A	B
	Regular comportamiento ante el defecto		A
	Mal Comportamiento ante el defecto		

CONCLUSIONES

El programa obtenido de la combinación T2xHR1, presentó el menor porcentaje de alabeos (12%), rajaduras (5%) en un tiempo de seis días.

Los alabeos mas descalificadores fueron combado de cara y abarquillado, seguidos por el combado de canto y rajaduras.

El origen B fue el que presentó las mejores respuestas ante los alabeos y rajaduras, seguido del origen A.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ NOVES, H.; FERNÁNDEZ-GOLFIN SECO, J. I. 2001. Secado de la madera aserrada de *Eucalyptus globulus* al vacío continuo con vapor sobrecalentado. Comparación con el secado tradicional en cámara. AITIM N° 181. Madrid, España.

ALVAREZ NOVES, H. 1999. Secado de la madera de pino del país vasco. Centro Técnico de la Madera del País Vasco, pp 30.

CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA, 1965. Secado de la madera. Manual de operaciones para el programa de cooperación. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), México, pp159.

- FERNÁNDEZ – GOLFIN SECO, J.; EIZMUNDI, J.; PEREA, E. 1996. Manual del Usuario *Pino Insignis* del País Vasco. Centro Técnico de la Madera del País Vasco, ZTB, pp 73.
- FORNES, L.; PAN, E. 2003. Estabilidad dimensional, densidad básica y productividad en orígenes de *Pinus elliottii* Var. *Elliottii* y *Pinus taeda*. Proyecto forestal de desarrollo, 1996-2004 SAGPyA/BIRF. ISBN 987-9184-42-4.
- GUERRERO, R.; INZUNZA, L. 1980. Comportamiento de tablas de *Eucalyptus globulus* (Labill), creciendo en Colcura, sometidas a un programa de secado australiano. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile. Serie técnica. Informe de convenio. N° 25, pp 16.
- HILDEBRAND, R. 1964. El secado de madera aserrada. Comercial Sagre, S. A. Sabadell (España).
- INZUNZA, L. 1991. Ensayos de secado artificial de madera de Olivillio (*Aextoxicon punctatum* R. Et Pav.) de 1” de espesor. Actas VII Reunión sobre Investigación y Desarrollo de Productos Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, pp 275-287.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, MANUAL DEL GRUPO ANDINO PARA EL SECADO DE MADERAS. 1989. Proyecto Subregional de Promoción Industrial de la Madera Para Construcción, pp124.
- PAN, E.; MEDINA, J. C.; UMLANDT, M.; BARRIONUEVO, S.; RUIZ, A. 2014. Comportamiento en el secado artificial de orígenes de *Eucalyptus camaldulensis* para su utilización como madera sólida. Ingeniería Solidaria, V 10 N° 17. Santiago del Estero, Argentina, pp 11-18.
- PAN, E.; RUIZ, A.; RUIZ, E. 2009. Propiedades tecnológicas de la madera–1a parte. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Editorial Lucrecia. Santiago del Estero, Argentina, pp 184.
- PAN, E. 1995. “Secado artificial en madera de renovales de Raulí (*Nothofagus nervosa*)”, Tesis de Magíster. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile, pp 200.
- PAN, E.; FORNES, L.; 1995. Secado artificial convencional en madera de *Eucalyptus grandis* que crece en Tucumán. Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales. UNSE. Trabajo inédito, pp 8.
- ROSENDE, R.; CASTILLO, H. 1984. “Contracción, colapso, y juego de maderas chilenas”. Boletín informativo N° 27. Instituto Forestal. Santiago, Chile, pp 23.
- SÁNCHEZ ACOSTA, M. 1995. “Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto”, Seminario Internacional de Utilizaçao Da Madeira de Eucalipto para Serraria. IPT – IUFRO. Sao Paulo, Brasil, pp 9.
- TINTO, J. 1980. Manual para el Estacionamiento de Maderas Misioneras. Consejo Federal de Inversiones. Argentina, pp 122.
- TINTO, J. 1978. Aportes del sector forestal a la construcción de viviendas. Folleto Técnico Forestal N° 44. Segunda Edición. Argentina, pp 142.