

NOTA TECNICA No. 6

SECADO SOLAR DE EUCALIPTO COLORADO 40 mm DE ESPESOR

Ing. Quím. Andrés Ono (*aono@latu.org.uy*)

Ing. Agr. OF Alejandro Venturino (*aleventu@latu.org.uy*)

Introducción

En esta nota técnica se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el secado solar de 2 metros cúbicos de tablas de 40 mm de espesor de *Eucalyptus tereticornis* Sm. (eucalipto colorado de densidad aparente básica promedio 0.73 g/cm³) proveniente del paraje Guaviyú en San Gregorio de Polanco (Dpto. de Tacuarembó). Las tablas fueron suministradas por el Grupo Forestal San Gregorio.

Materiales y métodos

Tabla 1- Datos sobre la plantación

Edad	60 años	
Densidad	300 árboles/ha	monte de abrigo originalmente plantado en un marco de 4 X 4.
Altura total	25 m	
Altura comercial	4-6 m	a 20 cm de diámetro con corteza, para tablas
Diámetro punta gruesa c/c	57 cm	promedios para todas las trozas
Diámetro punta fina c/c	45 cm	

Se secaron 140 tablas (40 mm x 125 mm x 3100 mm) provenientes de 21 trozas (14 basales o primeras y 7 segundas trozas) extraídas de 16 árboles que integraban un monte de abrigo. El secado se llevó a cabo en el secador solar instalado en el predio del LATU y que se describió en la Nota Técnica N° 5.

En el armado de la estiba se limpió el aserrín de cada tabla y se seleccionaron 7 tablas testigo. Se identificaron todas las tablas y se midió el peso, ancho, espesor y largo. Además se evaluaron los defectos (combado, encorvadura y abarquillado, grietas y rajaduras). Se colocó sobre la estiba un peso total de 1800 kg (663 kg/m²).

Se utilizaron sensores/registradores de temperatura y humedad (TANDD Thermo Recorder TR-72S) a dos alturas dentro de la estiba para registrar las condiciones dentro del horno. Se midió la velocidad y la distribución del viento para diferentes frecuencias de los ventiladores (Kanomax Climomaster 6511 y TESTO SA-440).



Fig. 1.- Vista de la estiba dentro del secador solar

La pesada de testigos para el seguimiento del contenido de humedad de la madera se hizo semanalmente.

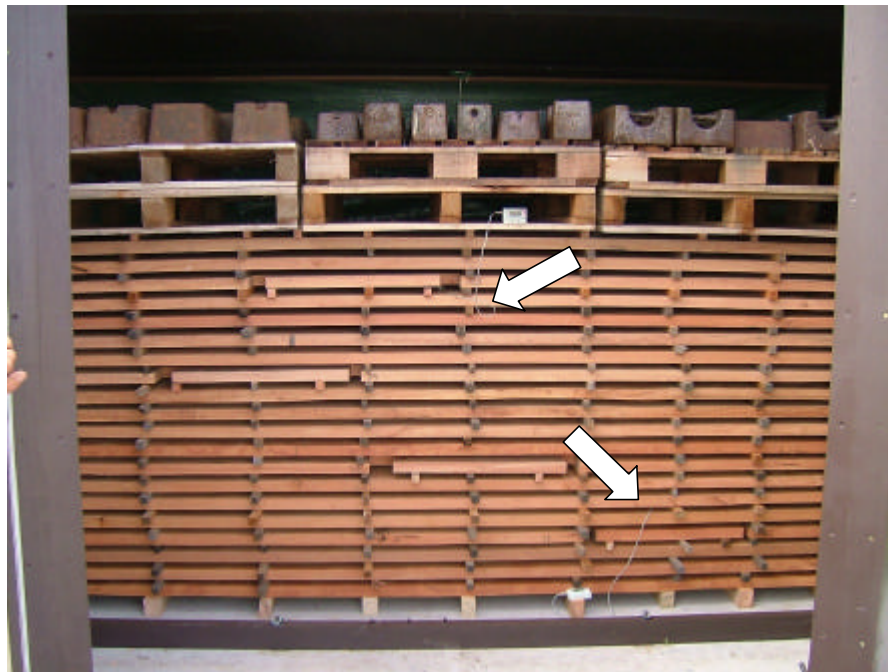


Fig. 2.- Vista de la estiba con la ubicación de los sensores de T y HR

Clasificación de las tablas

Luego de secas las tablas, se realizó una clasificación visual a grandes rasgos basada en el % de superficie libre de defectos y en el número de piezas que se obtendrían, adaptada de la norma JAS (Japanese Agricultural Standard), en la cual se clasificaron las tablas en 4

categorías: Especial (mínimo de 9/10 de superficie libre de defectos en una única pieza), grado 1 (mínimo de 2/3 de la superficie libre de defectos con un máximo de 2 piezas), grado 2 (mínimo de 1/2 de la superficie libre de defectos) y grado 3 que incluye a las tablas que no pueden ser clasificadas como grado 2 (este grado no existe en la clasificación JAS original).

Resultados del secado solar

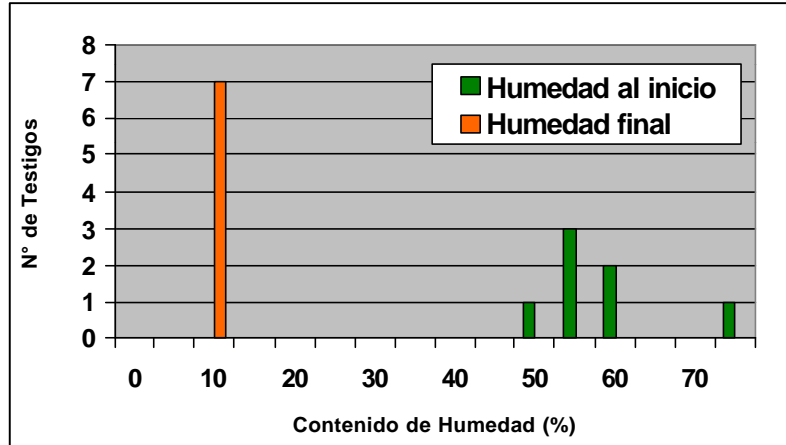
Tabla 2.- Contenido de humedad de madera (CHM), peso específico aparente básico (PEAB) y peso específico aparente corriente (PEAC) de las tablas testigo

	CHM verde	PEAB	CHM seco	PEAC
Identificación	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)
1-(22)	56.6	0.72	9.5	0.83
2-(42)	62.7	0.68	9.8	0.92
3-(50)	57.4	0.73	10	0.81
4-(70)	57.4	0.77	9	0.92
5-(85)	51.3	0.83	10.2	0.85
6-(119)	74.2	0.63	9.7	0.89
7-(120)	61.7	0.75	10.6	0.89
Promedio	60.2	0.73	9.9	0.87
Desv. Est.	7.2	0.07	0.5	0.04
C.V. (%)	12	8.85	5.2	4.98
n	7	7	7	7

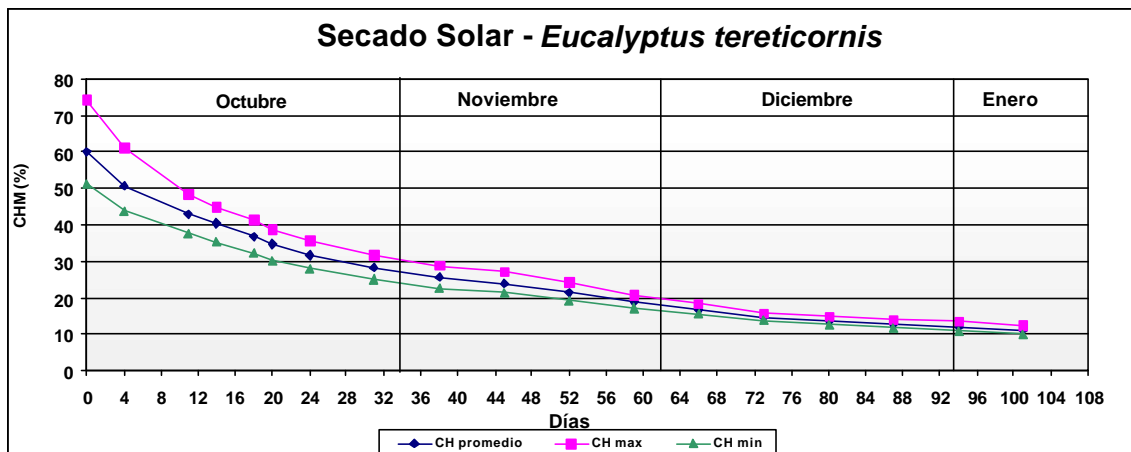
El peso total de la estiba de madera al comienzo fue de 2357 kg y el peso total de agua extraída fue de 693 kg.

Tabla 3.- Dimensiones de tablas

	Largo	Ancho	Espesor	Peso
	(cm)	(mm)	(mm)	(Kg)
Datos de la estiba al inicio del secado				
Promedio	309.8	126.6	39.7	17.7
Máximo	320.0	133.1	44.1	19.6
Mínimo	304.2	121.7	36.4	16.1
Desv. Est.	2.1	2.1	1.1	0.7
CV (%)	0.7	1.6	2.8	4.2
n	133	133	133	133
Datos de la estiba a 10 % CHM				
Promedio	309.2	116.1	36.9	12.5
Máximo	313.4	121.8	42.6	14.6
Mínimo	303.9	106.4	32.6	10.0
Desv. Est.	1.8	3.2	1.5	0.8
CV (%)	0.6	2.7	4.2	6.8
n	133	133	133	133



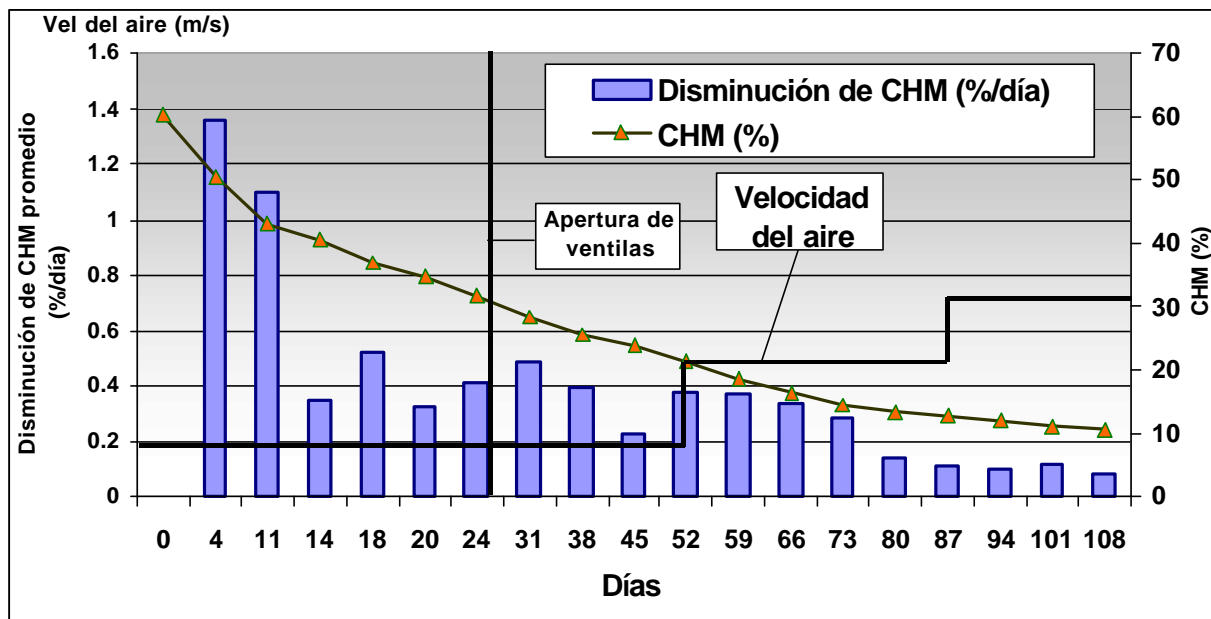
Gráfica 1.- Distribución del contenido de humedad en testigos



Gráfica 2.- Evolución del contenido de humedad de la madera durante el secado

Tabla 4.- Días de secado solar requeridos para diferentes CHM (aproximadamente)

CH promedio	Días de secado solar
20 %	55
15 %	70
12 %	90



Gráfica 3.- Evolución del secado

El secado se continuó luego de llegar a un CH promedio de 12% con el objetivo de evaluar hasta qué nivel es posible secar y con qué velocidad. Se puede observar que luego de llegar al 12 % (día 94) la velocidad de secado fue disminuyendo hasta valores inferiores a 0.1%/d. Esto indica que se requieren lapsos de tiempo prolongados, aún en verano, para obtener valores de CH final menores a 10-12%. El CH promedio final fue de 10% a los 108 días, sin embargo, es de destacar que algunas tablas testigo presentaban un CH final menor con un mínimo de 9.0%.

Distribución de Humedad interna y Tensiones residuales

Luego de finalizado el secado se evaluaron las tensiones residuales y se midieron los gradientes internos de contenido de humedad en las tablas que se utilizaron como testigos de seguimiento. Las probetas para la evaluación del gradiente interno de CH se muestran en la figura 3. Se detectaron tensiones residuales debido al secado y en la figura 4 se muestran las probetas utilizadas para la evaluación de las tensiones residuales y la liberación de dichas tensiones por estacionamiento.

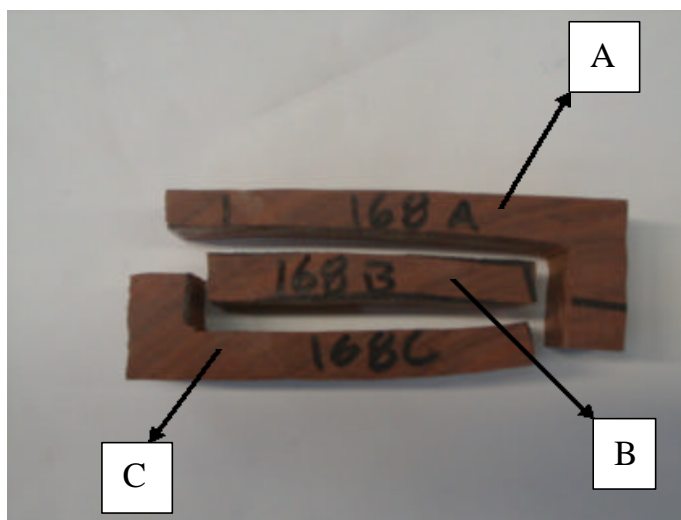
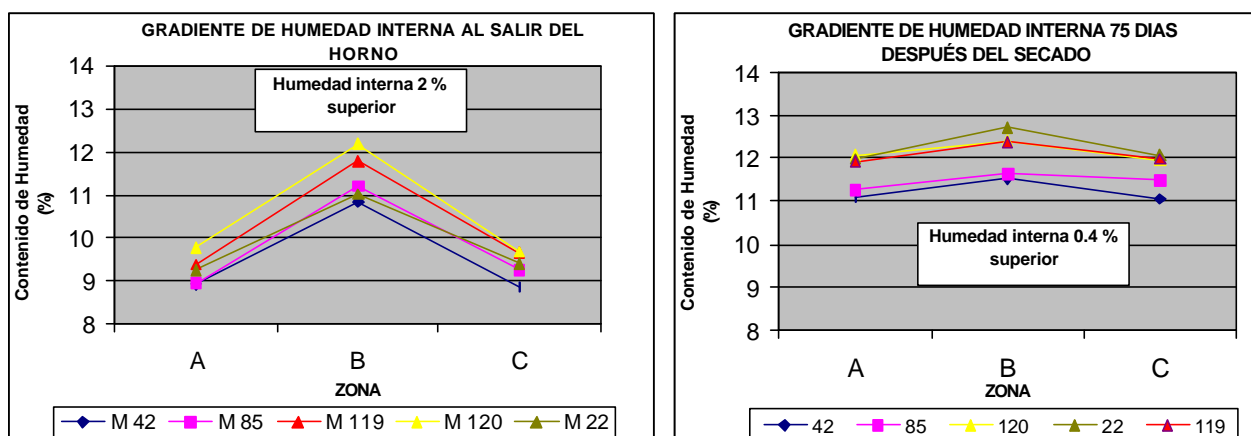


Figura 3.- Probetas de distribución de humedad interna



Gráficas 4 y 5.- Gradiente interno de humedad

A efectos de liberar las tensiones de secado se dejó la madera en depósito. Se observa que luego de un período de 75 días se redujeron las tensiones residuales y el gradiente de CH. A la vez que el gradiente interno de CH disminuyó, el contenido de humedad de la madera en promedio pasó de 9.9 % (cuando salió del horno) a 11.8 % (Gráficas 4 y 5).



Fig. 4.- Peines para la evaluación de tensiones de secado

La fig. 4 muestra la forma en que el estacionamiento durante un tiempo prolongado en un depósito a temperatura ambiente logra liberar las tensiones de secado. Similares resultados fueron obtenidos con el resto de las tablas evaluadas.

Test de Fuller

Una forma de cuantificar las tensiones residuales de secado es a través del parámetro PR que se describe en la figura 5. A la izquierda se muestra una probeta antes de cortar el peine (W es la distancia inicial entre los brazos) y a la derecha se muestra el peine luego de cortado, en donde los brazos se curvan como resultado de la tensión de secado y W' es la distancia final entre los brazos. Una probeta sin tensiones de secado tendría un valor de PR de 0.

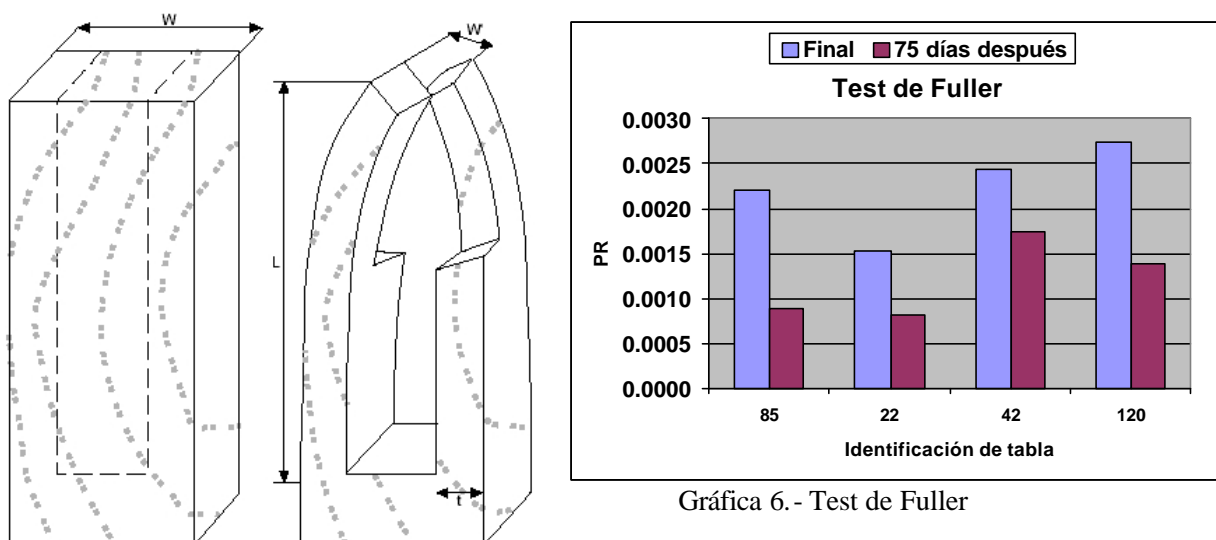


Fig. 5.- Cálculo del factor PR para el Test de Fuller

$$PR = (W - W')/L^2$$

Donde: W = espesor de la probeta antes de hacer el peine

W' = distancia entre extremos del peine

L = largo del peine (a partir del corte)

El gráfico 6 muestra la reducción de las tensiones 75 días después de finalizado el secado.

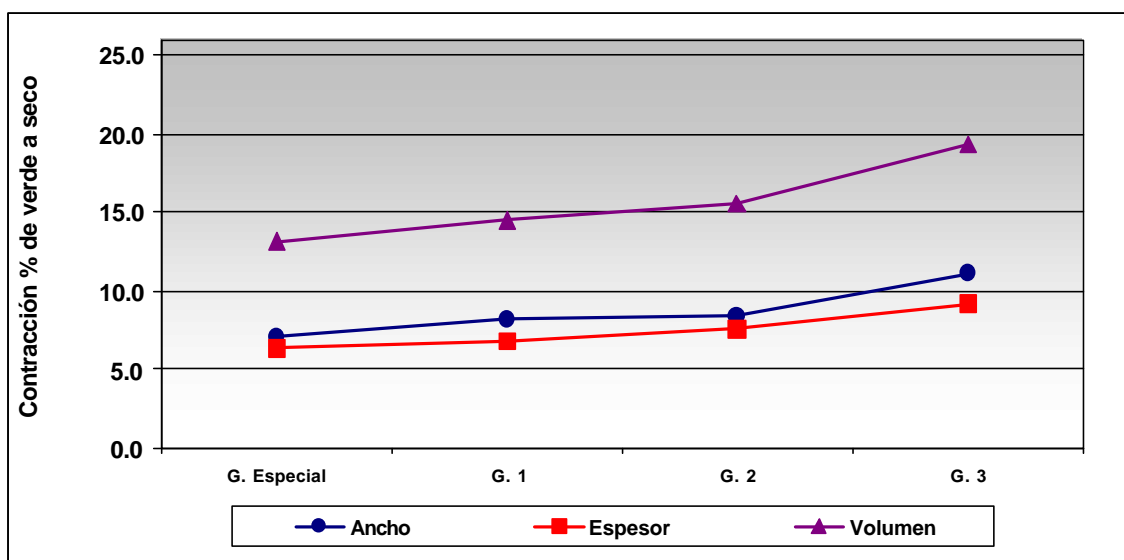
Luego de aproximadamente 5 meses de finalizado el secado solar, las tensiones residuales fueron liberadas casi completamente.

A nivel industrial sería interesante considerar el secado solar como un “presecado” y finalizar el proceso en un horno convencional, con sus etapas finales de acondicionamiento e igualación. De esta forma la madera quedará seca y en condiciones de seguir las etapas siguientes de procesamiento.

Cambios en dimensiones

Tabla 6.- Promedio de contracciones

	Contracción %		
	Espesor	Ancho	Volumen
Promedio	7.2	8.3	15.1
Max	17.0	16.2	28.4
Min	2.4	4.4	6.9
Desv. Est.	2.8	2.7	4.1
CV (%)	38.7	32.3	27.3



Gráfica 7.- Cambios en dimensiones según categoría

Tabla 7.- Contracción según categoría

CATEGORIA	Contracción % según categoría de tablas			
	Espesor	Ancho	Volumen	Número
G. Especial	6.4	7.1	13.2	32
G. 1	6.8	8.2	14.5	49
G. 2	7.6	8.4	15.6	35
G. 3	9.2	11.1	19.4	16

Defectos evaluados luego del secado

La tabla 8 resume los defectos evaluados en el total de tablas secadas. Los defectos medidos se explican esquemáticamente en la figura 6.

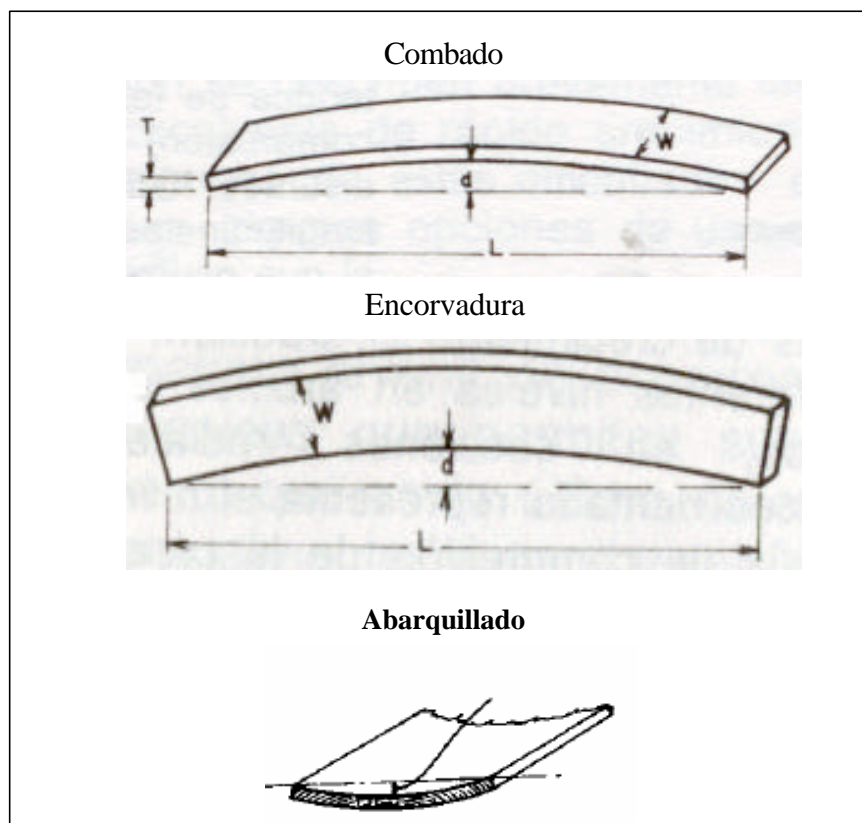
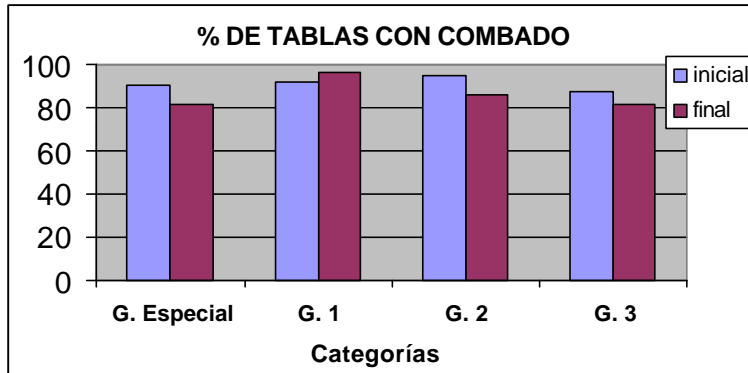


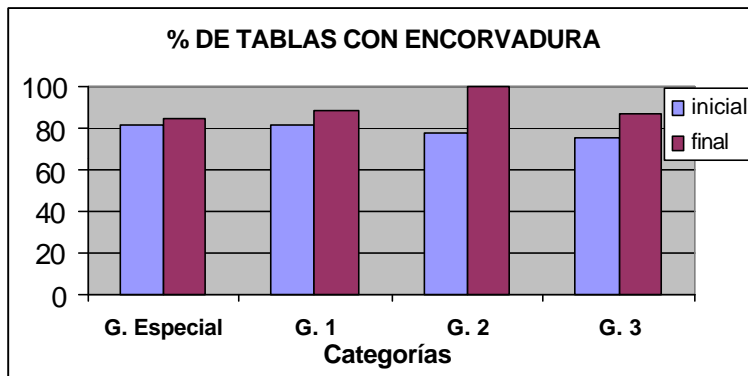
Fig. 6.- Defectos del secado

Tabla 8.- Promedio de defectos

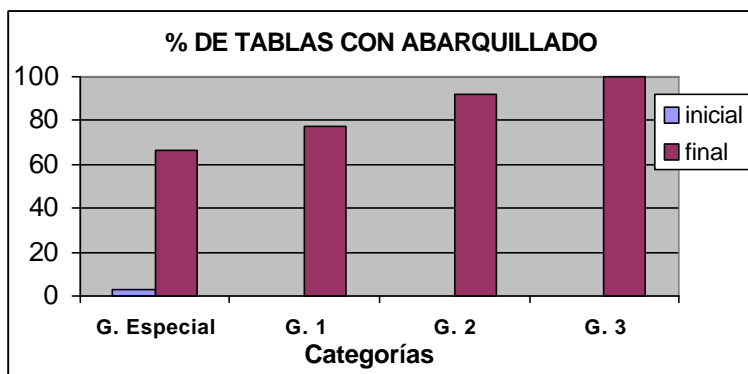
Defecto	Promedio para todas las tablas (mm)	
	Inicial	Seco
Combado	7.5	5.1
Encorvadura	4.3	6.0
Abarquillado	0.0	1.4
Torcedura	no se midió	2.7



Gráfica 8.- Tablas con combado según cada categoría



Gráfica 9.- Tablas con encorvadura según cada categoría



Gráfica 10.- Tablas con abarquillado según cada categoría

Conclusiones y comentarios

- El secado solar dio resultados aceptables para esta especie, *E. tereticornis*, considerando que es conocida como una madera difícil de secar. Se llegaron a valores de CH final de entre 10 y 12%, encontrándose un límite práctico impuesto por el tiempo requerido para llegar a valores aún más bajos. El nivel de defectos fue bajo y el costo de secado fue sensiblemente menor comparado con métodos de secado convencionales.
- Una de las desventajas del secado solar es el tiempo requerido para llegar a valores de CH de 10-12%. El ensayo de secado que se presenta en este informe fue realizado durante los meses de octubre a enero considerándose una época óptima para las condiciones que se requieren en este tipo de secado. Es de esperar que un secado en otros meses del año requieran más tiempo.
- Se observaron tensiones residuales y gradientes internos de CH a pesar de la baja velocidad de secado. Esto implica la necesidad de un acondicionamiento final o un estacionamiento a efectos de liberar las tensiones residuales. Un acondicionamiento final en horno convencional sería más rápido que un estacionamiento en depósito, pero a costos mayores.
- La evaluación de las tablas luego del secado dio resultados positivos, obteniéndose valores de contracción volumétrica promedio de 18% y un nivel de defectos moderado.
- La velocidad del viento se mantuvo en niveles bajos durante todo el proceso. El valor máximo fue de 0.7 m/s en las etapas finales. El cambio semanal del sentido de circulación fue beneficioso para la homogeneización de la distribución del aire a través de las tablas.
- La clasificación de las tablas aserradas antes del secado es muy importante ya que permite optimizar el procesamiento de la madera, pues el secado es una de las etapas limitantes en cuanto a capacidad y costo. Los defectos de secado fueron menores en las tablas clasificadas como grado especial, con lo cual el agregado de valor es relativamente mayor cuando se realiza la clasificación previa.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ing. Agr. Alfredo Clement y al Grupo Forestal San Gregorio por el suministro de las tablas utilizadas en este estudio.