

# CALENTAMIENTO EN AGUA DE LA MADERA DE ENCINOS COMO UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR SU PROCESO DE SECADO

David Zavala Zavala,<sup>1</sup> Salvador Bocanegra Ojeda,<sup>2</sup> Manuel González Jiménez<sup>3</sup>

## RESUMEN

Una de las limitantes en la utilización de los encinos ha sido el proceso de secado de la madera, debido a los tiempos y costos excesivos cuando se realiza en estufas convencionales y a los tiempos prolongados y desarrollo de defectos al secarse al aire libre. Con la finalidad de mejorar el proceso en cuanto a la reducción de defectos en la madera y los tiempos de secado, se han realizado tratamientos de vaporización, de cepillado, de prensado e incisión de la madera previamente al secado. Como otra alternativa tendiente a reducir el tiempo de secado, este trabajo evalúa el efecto del calentamiento en agua de la madera con la finalidad de aumentar su permeabilidad y plasticidad para acelerar el secado sin incrementar los defectos. Para este análisis se utilizó madera aserrada de 4/4" de espesor de tres especies de encinos: *Quercus candicans*, 372 pies tabla (pt); *Q. laurina*, 200 pt; y *Q. rugosa*, 316 pt. De la madera aserrada de estas tres especies, la mitad se calentó en agua en un tanque metálico durante siete horas a una temperatura de 70°C. Esta madera se combinó con la otra mitad sin tratamiento, para secarse al aire libre apilada en tonga y en estufa convencional. Previamente al proceso de secado se determinó la calidad de la madera y se cuantificaron los defectos de grietas, torceduras, acanalamiento, arqueamiento y encorvado; estos defectos se volvieron a evaluar al final del proceso para definir el efecto del secado. La velocidad de secado en general fue similar en la madera tratada y en la testigo en los dos sistemas de secado, al aire libre se requirieron 71 días y en estufa en 17 días. En el secado al aire libre la especie que mejor se comportó fue *Q. laurina*, indistintamente del tratamiento de calentamiento, el tratamiento fue favorable únicamente para *Q. candicans*. En el secado en estufa *Q. rugosa* fue la de mejor calidad y la madera testigo se comportó en forma similar a la tratada. Los defectos de mayor impacto fueron las grietas, siguiéndoles el acanalamiento y el encorvado, en los dos sistemas de secado.

**Palabras clave:** Industria forestal, calentamiento de la madera, secado, encinos.

## ABSTRACT

One of the limitations in the utilization of oaks has been the lumber drying process due to the excessive time and cost required when it is performed in conventional kilns and to the long time and defects developed in lumber when it is air dried. In order to improve the process in relation to the reduction of defects in lumber and the drying time, vaporization, planing, pressing and incising treatments previously to the drying process have been analyzed. As another alternative oriented to reduce the drying time, in this work the lumber heating effect in water has been evaluated in relation to the increment in permeability and plasticity to speed up the drying process without increasing the defects. For this analysis sawn lumber 4/4" thick of three oak species were used: *Quercus candicans*, 372 board feet (bf); *Q. laurina*, 200 bf; and *Q. rugosa*, 316 bf. Half of the lumber of these three species was heated up in water in a metallic container for 7 hours at 70 °C. This lumber was combined with the other half without treatment, and then air dried and conventional kiln dried. Previously to the drying process the quality of the lumber was determined and the splits, twist, cup, bow and crook were quantified; in order to define the drying effect, these parameters were evaluated again at the end of the process. In general, the drying rate of the lumber treated and untreated was similar in both drying systems, air drying was performed in 71 days and kiln dried in 17 days. In the air drying process, *Q. laurina* was the best regardless of the heating treatment. The treatment was helpful only to *Q. candicans*. In the kiln drying process *Q. rugosa* was the best in quality, and the behaviour of the untreated lumber was similar to the heated lumber. The most prominent defects were splits, cup and crook, in both drying systems.

**Key words:** forest industry, lumber heating, drying, oaks.

## INTRODUCCIÓN

Los encinos son considerados, después de las coníferas, como el segundo grupo de especies más importante de los bosques de clima templado. Sin embargo, no obstante su importancia en cuanto a existencias maderables, los volúmenes aprovechados son muy reducidos, en parte por la falta de

conocimientos tecnológicos de sus maderas y por la rentabilidad de los procesos industriales. Se consideran en general como especies subutilizadas, aprovechándose en cantidades reducidas en la elaboración de mangos de herramientas, implementos agrícolas, para duela, lambrín y parquet; todos estos productos con ventajas técnicas en comparación con otras especies. Una

<sup>1</sup> Investigador Titular del GENID-COMEF, Coyoacán INIFAP SAGAR correo-e. zavalad@inifap2.inifap.conacyt.mx

<sup>2</sup> Profesor de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)

<sup>3</sup> Egresado UMSNH

mayor proporción del volumen aprovechado de encino se destina para leña, carbón, astillas material celulósico y la producción de tableros aglomerados. Este tipo de aprovechamiento, aún cuando puede no ser el más adecuado desde el punto de vista técnico y económico, es más aceptable que la práctica de cinchamiento del arbolado, sin ningún aprovechamiento y que se aplica únicamente para eliminar o contrarrestar los volúmenes de encino con relación a los de pino. Esta subutilización contrasta con los productos de madera de encino de países europeos o de Estados Unidos de América, donde los productos derivados de estas especies tienen un alto valor en el mercado, como las barricas de añejamiento, muebles finos, chapa para triplay, etc. Para un aprovechamiento ideal de los encinos, se requiere definir el proceso más adecuado acorde a las características de la trocería, a las especies y a la rentabilidad de los procesos de industrialización.

Se considera que una limitante importante en el uso de encinos ha sido el secado de su madera, debido al tiempo y costo excesivo del proceso en estufas convencionales, y a los tiempos prolongados y defectos en la madera cuando se seca al aire libre, lo que repercute en pérdidas económicas. Bajo estas consideraciones, cualquier alternativa que contrarreste los problemas señalados, se reflejará en una mayor y mejor utilización de los encinos; por lo que se contempla como una opción el precalentamiento de la madera en agua para favorecer el proceso de secado al aumentar su permeabilidad y plastificar los elementos constitutivos por medio del calor en combinación con la humedad, que propicia movimiento del agua, acelera el secado y reduce los defectos de la madera (Simpson, 1995 y Harris *et al.*, 1989). Se determinó el efecto del calentamiento en agua de la madera de las especies de encinos, *Quercus candicans*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*, analizando las características del proceso de secado al aire libre y en estufa convencional, en función del tiempo de secado y de la calidad de la madera respecto a los defectos intrínsecos al proceso.

#### ANTECEDENTES

El proceso de secado de la madera aserrada de encinos es el principal factor que limita su aprovechamiento, por los tiempos excesivos

para obtener madera seca con buenas características tanto en estufa como al aire libre, lo que se refleja en altos costos del proceso o en la mala calidad de la madera, repercutiendo en pérdidas económicas. Se han utilizado, tanto experimental como comercialmente, diferentes procesos, destacando el secado en estufa convencional y al aire libre.

El secado en estufa convencional, generalmente se controla a través de secuelas o programas de secado. De los trabajos realizados en México para el secado en estufa, destacan las secuelas desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF) (Ahora INIFAP) las cuales dieron buenos resultados en cuanto a la calidad del secado pero con tiempos relativamente prolongados. A estas secuelas se les denominó especial I, II, y III, la primera para secar madera aserrada de encino de 4/4", la segunda para 6/4" y 8/4" y la tercera para 10/4" de espesor.

Bejar (1983), compara el secado de la madera de *Quercus crassifolia*, *Q. candicans*, *Q. obtusata*, *Q. laurina* y *Q. castanea*, utilizando tres métodos de secado: al aire libre, en estufa convencional y en estufa eléctrica, evaluando el tiempo de secado y los defectos de acanalado, torceduras y arqueamiento. El tiempo de secado al aire libre fue de tres meses ocho días para lograr un 16.75% y en estufa convencional en doce días el C.H. fue de 9.48%. El sistema de secado en estufa convencional presentó menos defectos de acanalado y torceduras en comparación con el secado por dehumidificación, y el arqueamiento no mostró diferencias entre sistemas de secado. En algunas especies de encinos nacionales Razo (1990) aplicó la secuela T2-C2, secándolas en 23 días a 6% de C.H. y evaluó los defectos de acanalamiento, torceduras y encorvado, sin reportar la eficiencia de la secuela en la calidad de la madera, recomienda secar por separado a los encinos blancos y a los rojos para mejorar el proceso de secado. Además, sugiere un tratamiento de vaporización o inmersión en agua en los encinos blancos, para eliminarles los extractivos y acelerar el secado. Zavala y Hernández (1995) en el secado al aire libre definen que *Quercus laurina* requiere el doble del tiempo que el pino y el aile, determinando un modelo de regresión para predecir el contenido de

humedad de la madera en diferentes intervalos de tiempo. Los principales defectos observados en encino fueron las torceduras, el arqueamiento y las rajaduras, en ese orden.

Con relación a trabajos realizados en otros países, Hildebran (1970) sugiere para los encinos blancos americanos (*Quercus alba*, *Q. prinus* y *Q. michauxii*) con densidad básica de  $0.71 \text{ g/cm}^3$ , la secuela de temperatura 2/3, del grupo de madera 6; para los encinos rojos americanos (*Q. rubra*) con densidad  $0.65$  y los encinos europeos (*Quercus robur* y *Q. petrae*) con densidad básica  $0.6 \text{ g/cm}^3$ , la secuela de temperatura 2/3, del grupo 5/6; para los encinos del mediterráneo (*Q. ilex*) con densidad básica de  $0.85 \text{ g/cm}^3$ , la secuela de temperatura 1, del grupo 7. Rietz y Page (1971), Boone *et al.* (1988), Wengert (1990) y Simpson (1991), han definido secuelas de secado por grupos de especies y por regiones de los Estados Unidos. Para encinos blancos y rojos de las partes bajas del sureste de  $4/4"$  y  $5/4"$ , la secuela T2-C1; para encinos rojos de las partes altas del noreste de  $4/4"$  y  $5/4"$ , la secuela T4-D2; para los de  $6/4"$  y  $8/4"$  la secuela T3-D1, y para los de  $10/4"$  y  $12/4"$  la T3-C1. Para encinos blancos de las partes altas del noreste, de  $4/4"$  y  $5/4"$ , la secuela T4-C2; para los de  $6/4"$  y  $8/4"$ , la secuela T3-C1; para los de  $10/4"$  y  $12/4"$  la secuela T3-B1. Para encinos del oeste de los Estados Unidos, California black (*Quercus kelloggii*), Oregon White (*Q. garryana*), canyon live (*Q. chrysolepis*) con espesores de  $4/4"$ ,  $5/4"$ ,  $6/4"$  y  $8/4"$ , la secuela T3-B1. Por su parte Pratt (1974) sugiere dos secuelas para *Quercus cerris* la Inglesa "B" y generaliza la aplicación de la secuela Inglesa "C" para las especies de encinos americanos, europeos y japoneses.

Un objetivo de las investigaciones del secado es reducir el tiempo del proceso sin afectar la calidad de la madera. Entre los métodos para aumentar la velocidad del secado se han analizado el cepillado, la pre-vaporización, el congelamiento, la compresión y tratamientos químicos a la madera aserrada. Entre los trabajos sobre el cepillado de la madera previamente al secado se tienen los de Rietz y Jenson (1966) McMillen (1969) Wengert y Baltes (1971), McMillen y Baltes (1972), Cuppett y Craft (1973), Simpson (1980) y Harris *et al.* (1989). En general, consideran que el

cepillado de ambas caras elimina los desgarramientos o grietas pequeñas en la superficie por efecto del aserrijo, generando superficies más resistentes a las fuerzas de tensión del secado. El cepillado reduce el desarrollo de rajaduras, el tiempo de secado, el consumo de energía y aumentar la capacidad de la estufa. La madera cepillada reduce su espesor en 8% secándose 12% más rápido, tiene 8% menos agua por remover, requiere 8% menos energía por secado, y se incrementa la capacidad de la estufa en 8%. Otra alternativa para reducir el tiempo de secado ha sido la vaporización de la madera previo al inicio del proceso de secado. A este respecto, Simpson (1974 y 1975) y Harris, *et al.* (1989) indican que la pre-vaporización es factible por no requerir equipo adicional, además de aumentar la permeabilidad de la madera al abrir su estructura, siendo mayor en el sentido longitudinal pero favoreciendo la transversal, que es más importante para el secado. Asimismo la permeabilidad, aumenta la difusión del vapor de agua, factor importante en la velocidad del secado.

La velocidad de secado de la madera aserrada de encino pre-vaporizada es alta en las primeras etapas, de verde a 30% de C.H., sin embargo en las 2/3 partes finales del proceso no hay diferencia en relación a madera sin tratar. El tiempo de secado se reduce de 20 a 30% por disminución del gradiente de humedad en el espesor de las tablas y por el aumento de la permeabilidad de la madera pre-vaporizada. Aparentemente no hay diferencia en el efecto de periodos de pre-vaporización de 2 a 4 hrs. (Simpson, 1974 y 1975). Simpson (1975), en encino rojo *Q. rubra* pre-vaporizado a  $185^\circ\text{F}$  por cuatro horas, en madera verde y en madera presecada al aire libre a 50% C.H., determinó que la pre-vaporización en la madera verde no afectó la calidad, pero la madera presecada al aire libre con rajaduras superficiales, se acentuaron drásticamente y provocó apanamiento. Respecto al secado al aire libre Wengert (1990) establece que con frecuencia la pérdida de madera por el desarrollo de defectos excede 10% de su valor, con un costo de degradación de \$ 0.30 Dls/día/millar de pies tabla. Incluyendo el costo de operación de secado al aire libre: apilado, maniobras e inventario, el secado al aire típico es el método más caro de secado de la madera de encino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y equipos utilizados los proporcionaron las empresas "San Juan Nuevo" y "Encinos Nacionales". La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y el INIFAP; interviniendo además, personal de apoyo en las distintas actividades realizadas en las diferentes fases del desarrollo del trabajo.

### Selección de especies y aserrió de la trocería

Una de las consideraciones del proyecto fue definir las especies más importantes de encinos, desde el punto de vista de abundancia y conformación del arbolado, adecuadas para la producción de madera aserrada y con potencial de industrialización. El INIFAP y la empresa San Juan Nuevo, intervinieron en el muestreo e identificación del material de herbario, la selección del arbolado, las operaciones de derribo, troceo, transporte y aserrió de 16 trozas, correspondientes a las especies de *Quercus candicans*, *Q. rugosa*, y *Q. laurina*.

La trocería se aserrió en la forma tradicional como se procesa el pino (combinación de cortes tangenciales y bastardos) en tablas de 4/4" de espesor, en anchos de 6" a 10" y en longitud de 8' 1/4". Después del aserrió cada tabla se trató por inmersión con una solución a base de pentaclorofenol para protegerla contra el manchado de hongos. Posteriormente se procedió a sellar las secciones transversales de cada tabla utilizando pintura de aceite para cada especie procesada. El volumen de madera aserrada que se generó de las trozas fue para *Q. candicans* 0.87839 m<sup>3</sup> (372.43 p.t.), *Q. rugosa* 0.74637 m<sup>3</sup> (316.4 p.t.), y *Q. laurina* 0.4718 m<sup>3</sup> (200.04 p.t.).

### Clasificación de la madera aserrada

Para evaluar el efecto del secado y cuantificar cada los tratamientos en las especies seleccionadas, se tomó como base la posible pérdida de volumen de madera y/o de calidad de cada tabla utilizada, por medio de su clasificación, con base en el Proyecto de Norma para Clasificar Madera Aserrada de Latifoliadas (DDI., 1991). Para la evaluación y cuantificación de los defectos de acanalamiento, arqueamiento, encorvado y torceduras de las tablas, se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-EE-95-1980 (DGN,

1980). La cuantificación de cada uno de estos defectos se expresó en porcentaje de la dimensión total de la tabla donde se midió cada defecto, i.e. el acanalamiento se midió en el ancho de la tabla, y se expresó como un porcentaje del ancho de la tabla evaluada.

Uno de los principios que utiliza el Proyecto de Norma para Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas es cuantificar el "Número de Unidades de Corte" y la superficie libre de defectos de cada tabla. Estos parámetros se determinaron por cada tabla seleccionada antes de iniciar el proceso de secado y después de su ejecución. Por la diferencia de los parámetros indicados, se determinó el efecto de cada tratamiento analizado, en el proceso de secado al aire libre y en estufa convencional, en cada especie utilizada.

### Pre calentamiento de la madera

Para realizar el pre calentamiento de la madera aserrada de las especies seleccionadas, se utilizó un tanque metálico de cuatro m de longitud, por 1.20 m de ancho y 0.70 m de alto, donde se colocó parte del volumen de la madera que representó a las tres especies, *Q. candicans* 0.34662 m<sup>3</sup> (146.79 p.t.), *Q. rugosa* 0.31417 m<sup>3</sup> (133.2 p.t.), y *Q. laurina* 0.1824 m<sup>3</sup> (77.33 p.t.). Las tablas se colocaron en el tanque en forma paralela a su longitud en "camas" y utilizando separadores de 3/4" de espesor entre camas. Para la determinación de la transferencia de calor de la madera se seleccionaron tres tablas a las cuales se les realizó en uno de sus cantos y a la mitad de la tabla, una perforación con una broca de 1/8" de diámetro a una profundidad de 61 mm. En las perforaciones se colocaron tres termopares tipo "K" (constantan y cobre), los cuales se conectaron a un potenciómetro (termómetro digital) para medir la temperatura de las tablas y del agua durante el proceso de calentamiento de la madera (Figura 1). El exterior de los orificios se selló con resina epóxica con la finalidad de evitar la penetración del agua que pudiese interferir con la temperatura real de la madera. La temperatura del agua se registró con otro termopar ubicado en la parte media del tanque. Después de colocar la madera en el tanque y los termopares en las tres tablas seleccionadas, se procedió a llenarlo con agua hasta cubrir totalmente todas las tablas.

El agua del tanque se calentó con fuego directo de madera de desperdicio por la parte inferior procurando una distribución uniforme del calor. El registro de temperaturas del agua y de la madera se realizó cada 15

minutos al inicio del proceso y posteriormente cuando se logró una estabilización de la temperatura en las tablas, las observaciones se realizaron cada 30 minutos.

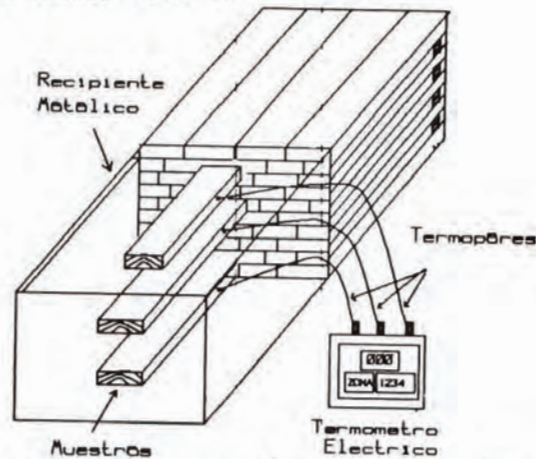


Figura 1. Colocación de los termopares y de las tablas en el tanque de calentamiento

### Secado de la madera

Para el seguimiento del secado de la madera, tanto al aire libre como en estufa, se seleccionaron tablas representativas de las tres especies, de la madera precalentada y

sin tratamiento, y utilizando el método de secciones de humedad y de una muestra de la parte media de la tabla, se determinó el contenido de humedad inicial y durante el secado, a través de las siguientes relaciones:

$$\% \text{CHs} = \frac{\text{Ph} - \text{Ps}}{\text{Ps}} \times 100, \quad \% \text{CHm} = \frac{\text{Pa} - \text{PSC}}{\text{PSC}} \times 100, \quad \text{PSC} = \frac{\text{Pi}}{100 + \% \text{CHs}} \times 100$$

- Donde: %CHs = Contenido de humedad de la sección (es) (%)  
 Ph = Peso húmedo de la sección (gr)  
 Ps = Peso seco de la sección (gr)  
 %CHm = Contenido de humedad actual de la muestra (%)  
 Pa = Peso actual de la muestra (kg)  
 PSC = Peso seco calculado de la muestra (kg)  
 Pi = Peso inicial de la muestra al momento de determinar el PSC (kg)

### Secado al aire libre

El volumen de madera utilizado para evaluar el proceso de secado al aire libre con precalentamiento fue para *Q. candicans* de 0.2148 m<sup>3</sup> (91.075 p.t.), para *Q. rugosa* de 0.15237 m<sup>3</sup> (64.604 p.t.), y para *Q. laurina* de 0.1153 m<sup>3</sup> (48.88 p.t.). El volumen de madera sin precalentamiento que se utilizó como testigo en el proceso de secado al aire libre fue *Q. candicans* 0.32857 m<sup>3</sup> (139.31 p.t.), *Q. rugosa* 0.15237 m<sup>3</sup> (64.604 p.t.), y *Q. laurina* 0.1153 m<sup>3</sup> (48.88 p.t.).

La madera se apiló en tonga, utilizando separadores de 3/4" entre camas, y el registro de la pérdida de humedad o de velocidad de secado de la madera, se determinó por dos muestras representativas de cada una de las tres especies estudiadas, ubicando la mitad de ellas en cada costado de la pila. La pila se orientó en sentido

perpendicular a los vientos dominantes y la última cama se cubrió con un techo de madera para protegerla de los rayos del sol. El proceso se realizó en el área de secado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia, Mich., en el periodo de Otoño e Invierno.

La determinación del contenido de humedad fue pesando las muestras periódicamente, al inicio del proceso diariamente, y después cada tercer día, por medio del procedimiento indicado en la sección anterior. Durante el desarrollo del secado, además del C.H. también se evaluaron los defectos que se presentaron por efecto de la pérdida de humedad de cada muestra. El proceso de secado se terminó cuando el contenido de humedad de la madera llegó a un 12%, momento en que se

procedió a reclasificar cada una de las tablas y a determinar nuevamente el área libre de defectos. Por diferencia de calidad y de volumen de cada tabla, se determinó el efecto del precalentamiento en las tres especies estudiadas.

**Secado de la madera aserrada en estufa convencional**

El análisis del efecto del precalentamiento de madera en el secado en estufa, utilizó para *Q. candicans* un volumen de 0.2036 m<sup>3</sup> (86.32 p.t.), *Q. rugosa* 0.1345 m<sup>3</sup> (57.028 p.t.), y *Q. laurina* 0.0853 m<sup>3</sup> (36.16 p.t.). El volumen de madera sin precalentamiento (testigo) en el secado en estufa fue: *Q. candicans* de 0.13142 m<sup>3</sup> (55.075 p.t.), *Q. rugosa* 0.1618 m<sup>3</sup> (68.60 p.t.), y *Q. laurina* 0.0671 m<sup>3</sup> (28.45 p.t.).

El proceso de secado se realizó en una estufa experimental marca Hildebrand, con capacidad de 2.025 m<sup>3</sup> de volumen real, y de secado de madera de 1.012 m<sup>3</sup>, provista de ventilación axial por medio de un ventilador con motor de 1.5 kwatts, con 1130 revoluciones por minuto y con control automático de la temperatura y la humedad relativa. La madera se apiló en la estufa utilizando separadores de 3/4" entre camas.

El proceso de secado se realizó a través de la "Secuela especial I" para encino de 4/4" de espesor, desarrollada en el INIFAP. El control del proceso y cambio de etapas de la secuela, utilizó dos muestras de cada especie, ubicadas la mitad de ellas en cada costado de la pila. La determinación del contenido de humedad de las muestras, requerido para definir los cambios de etapas de la secuela, se efectuó pesando las muestras periódicamente, por el procedimiento indicado anteriormente.

Durante el secado, además del C.H. se evaluaron los defectos de cada muestra por efecto de la pérdida de humedad. El proceso de secado se terminó cuando el contenido de humedad de las muestras alcanzó un 8%, después de aplicarle los tratamientos de igualamiento y acondicionamiento. Posteriormente se reclasificó cada una de las tablas determinando nuevamente el área libre de defectos. Por diferencia de calidades y de volúmenes de cada tabla analizada, se definió el efecto del precalentamiento de la madera secada en estufa en las tres especies estudiadas.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Se presentan los resultados de la transferencia de calor a la madera durante la etapa de calentamiento en agua y el desarrollo del proceso de secado de la madera al aire libre y en estufa. Adicionalmente, se evalúan los defectos de cada tabla utilizada al comparar el efecto del tratamiento de calentamiento de la madera en agua con la madera sin tratar en los dos procesos del secado, al aire libre y en estufa convencional.

**El calentamiento de la madera en agua**

El proceso se realizó a una temperatura promedio de 70°C. (Figura 2). La temperatura del agua al inicio del tratamiento fue superior a la madera, y después de cuatro horas, prácticamente coincide la temperatura del agua con la de las muestras de las tres especies de encinos: *Q. laurina*, *Q. candicans* y *Q. rugosa*. El tratamiento de calentamiento a la madera se aplicó durante siete hrs. 30 min., y en un periodo de cinco horas la temperatura se mantuvo a 70°C.

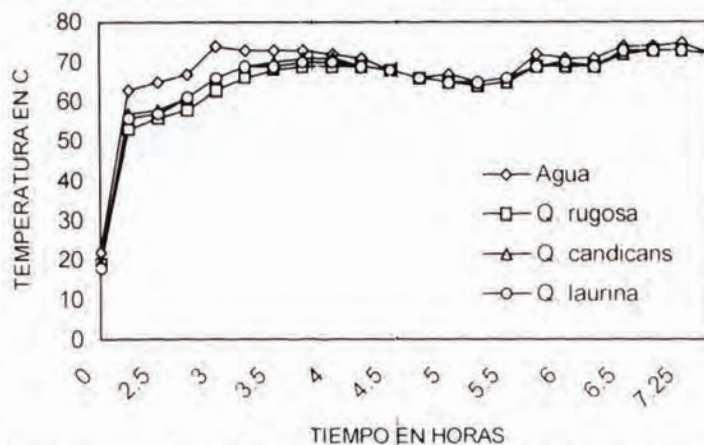


Figura 2. Transferencia de calor en la madera durante el calentamiento en agua

### Secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento en agua

El secado al aire libre se realizó de otoño a invierno, con fluctuaciones de temperatura de 27 a 7 °C, y de humedad relativa de 95 a 17%, en un periodo de 71 días, para lograr un CH de 12%. Como se muestra en el Cuadro 1 y en la Figura 3, al momento de iniciar el secado al aire libre, las muestras con el tratamiento de calentamiento presentaron una humedad mayor por la absorción de agua de la madera, que fue de 65% y en las muestras sin calentamiento el contenido de humedad resultó de 58%, promediando ambos valores se determinó el CH de 61.5%, en las tablas utilizadas para el secado al aire libre. Sin embargo, se considera que no hay diferencia en el tiempo total de secado entre la madera con tratamiento de calentamiento en agua y la madera sin tratamiento. A partir del octavo día y hasta el final del secado, existió una diferencia mínima en la velocidad de evaporación del agua entre la madera con tratamiento de calentamiento y sin tratar (de 1 a 2% de CH), y al final del proceso en el

periodo de 72 días el contenido de humedad fue idéntico de 13% para la madera con tratamiento de calentamiento y de 12% para la madera sin tratamiento (Cuadro 3).

El secado en estufa convencional se realizó en un periodo de 17 días, con la secuela que se indica en la Figura 4. El contenido de humedad previo al inicio del proceso, fue de 76% para la madera con tratamiento de calentamiento y de 61% para la madera testigo o sin tratamiento, con un promedio de 68.6% para todo el material (Cuadro 1). Como en el secado al aire libre, en el secado en estufa no se aprecia diferencia en la velocidad de secado entre la madera tratada con calentamiento y la testigo, lo cual se manifiesta en los contenidos de humedad en ambos tipos de madera que se mantienen proporcionales durante todo el secado, coincidiendo prácticamente hasta el final del proceso en el 17vo día (Cuadro 1, Figura 3).

### Evaluación del secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento

El efecto del tratamiento de calentamiento

Cuadro 1. Tiempo de secado y contenido de humedad de la madera secada al aire libre y en estufa, con y sin tratamiento de calentamiento

Tiempo y CH de secado al aire libre					Tiempo y CH de secado en estufa				
Días	C/Calent %CH	S/Calent %CH	Diferen. %CH	Promed. %CH	Días	C/Calent %CH	S/Calent %CH	Diferen. %CH	Promed. %CH
0	65	58	7	62	1	76	61	15	68
5	50	46	4	48	2	67	58	9	62
10	38	36	2	37	3	59	52	7	56
15	32	30	2	31	4	48	39	9	44
20	28	26	2	27	5	45	36	9	40
25	24	22	2	23	6	40	32	8	36
30	23	21	2	22	7	35	27	8	31
35	20	20	0	20	8	29	22	7	25
40	20	19	1	19	9	25	18	7	21
45	19	18	1	18	10	22	15	7	19
50	18	16	2	17	11	19	12	7	16
55	17	15	2	16	12	18	11	7	15
60	16	14	2	15	13	16	10	6	13
65	15	13	2	14	14	14	9	5	11
70	14	12	2	13	15	12	8	4	10
75	13	12	1	13	16	10	7	3	8
					17	8	6	2	7

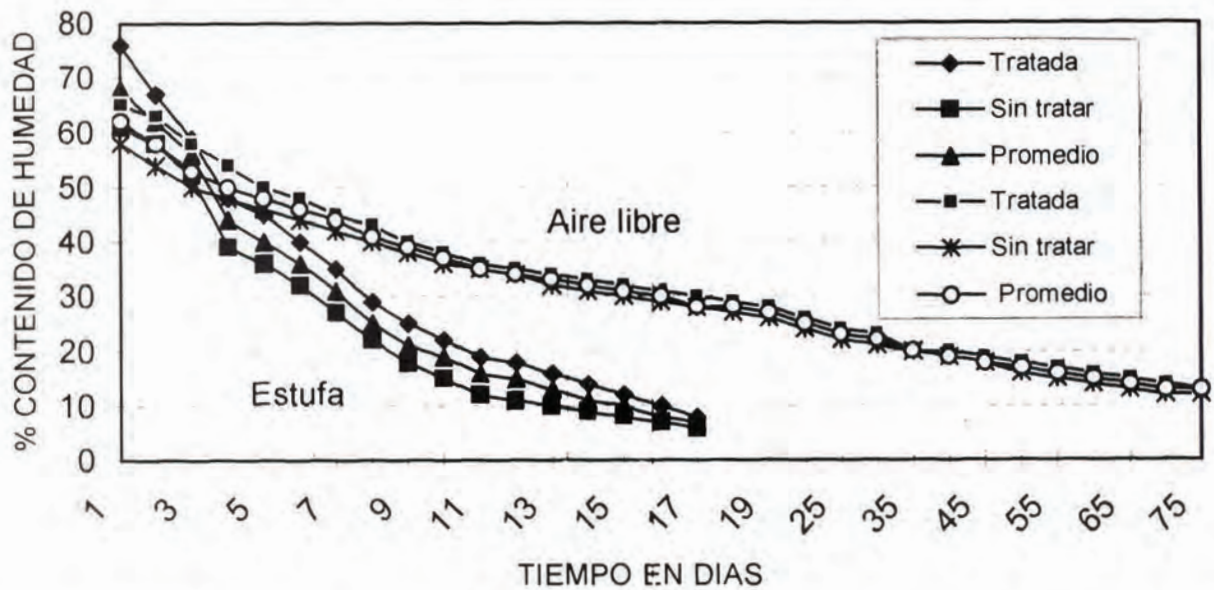


Figura 3. Secado al aire libre y en estufa de la madera con y sin tratamiento de calentamiento

fue diferente entre especies, como se aprecia en el Cuadro 2. En *Q. candicans*, la madera con tratamiento de calentamiento en agua secada al aire libre fue de mejor calidad que la que no se sometió a tratamiento, variando el porcentaje de volumen perdido de un 4.62% a un 7.17% respectivamente. Sin embargo, para esta misma especie secada en estufa, el comportamiento se invirtió, el porcentaje de madera con más defectos correspondió a la que se sometió a calentamiento, presentando una pérdida de volumen de 4.25%, en contraste con la madera que no se trató, cuyo porcentaje de pérdida de volumen fue de 3.25%. Para las otras dos especies estudiadas, *Q. rugosa* y *Q. laurina*, en los dos sistemas de secado, al aire libre y en estufa convencional, el porcentaje de pérdida de volumen de madera tratada con calentamiento fue mayor que el presentado en la madera sin tratamiento. El Cuadro 2 muestra que en estas dos especies la pérdida de volumen de madera con tratamiento de calentamiento fue alrededor de un 0.5% a un 2% mayor que la madera sin tratamiento, lo que representa un volumen económico poco significativo, por lo que se considera sin efecto en la calidad del secado el tratamiento de calentamiento en agua para estas dos especies. En *Q. candicans* y *Q. rugosa* la reducción del porcentaje de aprovechamiento se debió en gran parte al desarrollo de grietas durante el

secado, lo mismo que en *Q. laurina* (con calentamiento en agua). En *Q. laurina* sin tratamiento de calentamiento, se aprecia en algunas tablas una reducción en su aprovechamiento, sin embargo en el promedio general la tendencia se revierte.

La reducción del aprovechamiento, en *Q. candicans* y *Q. rugosa*, se debió en gran medida al desarrollo de grietas durante el secado, al igual que la madera con calentamiento en agua de *Q. laurina*, especie que sin tratamiento, en algunas tablas reduce su aprovechamiento, sin embargo en el promedio general la tendencia se revierte.

#### Desarrollo de defectos en la madera secada al aire libre y en estufa

El desarrollo de los defectos de la madera se evaluó de manera semejante a la determinación de su clasificación, al inicio y al final de los procesos de secado al aire libre y en estufa; considerando las grietas, las torceduras, el acanalamiento, el arqueamiento y el encorvado. Los promedios de la variación de la deformación de cada uno de los defectos analizados después del secado de la madera con tratamiento de calentamiento y sin tratamiento, se indican en el Cuadro 3. Como se aprecia, el "número de unidades de corte" en cada tabla aumentó después del secado, lo que indica que la calidad de la madera respecto a su clasificación disminuyó, lo cual significa que una tabla de 2da al aumentar el "número de



Cuadro 2. Porcentaje de volumen de madera aprovechable antes y después del secado al aire libre y en estufa convencional

Especie	Ensayo	Vol. antes del secado (%)	Vol. después de secado(%)	Pérdida de vol. (%)
SECADO AL AIRE LIBRE				
<i>Quercus candicans</i>	Con tratamiento	87.49	82.87	4.62
	Sin tratamiento	81.86	74.69	7.17
<i>Quercus rugosa</i>	Con tratamiento	55.47	49.91	5.56
	Sin tratamiento	68.83	64.47	4.36
<i>Quercus laurina</i>	Con tratamiento	70.90	68.90	2.00
	Sin tratamiento	61.38	62.00	0.62
SECADO EN ESTUFA				
<i>Quercus candicans</i>	Con tratamiento	76.15	71.42	4.73
	Sin tratamiento	76.32	73.07	3.25
<i>Quercus rugosa</i>	Con tratamiento	59.06	57.97	1.09
	Sin tratamiento	74.49	73.59	0.90
<i>Quercus laurina</i>	Con tratamiento	67.12	63.42	3.70
	Sin tratamiento	57.13	54.17	2.96

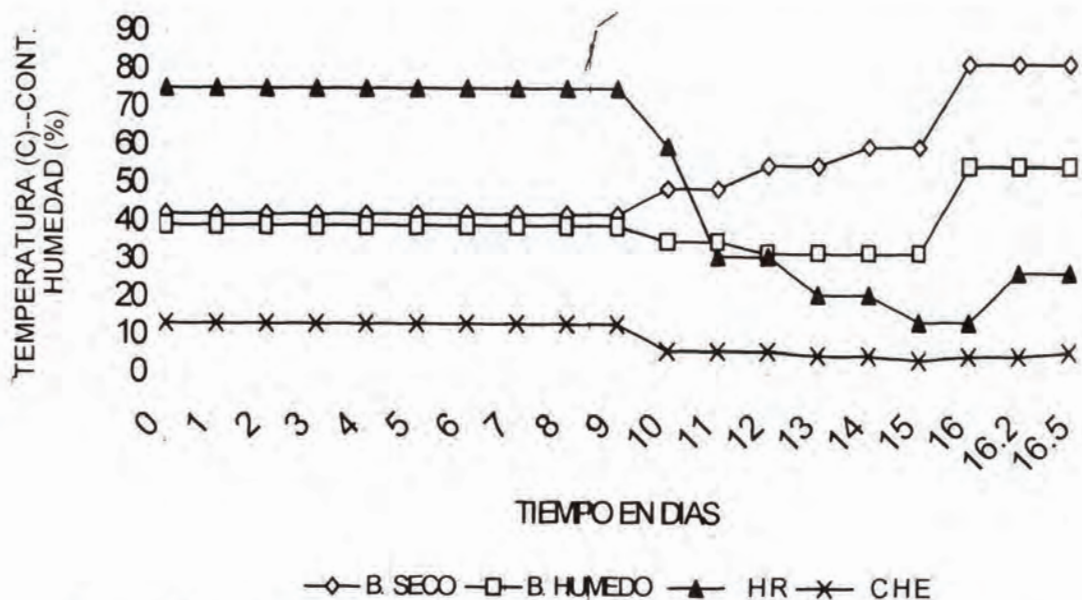


Figura 4. Secuela utilizada para el secado de la madera en estufa convencional

unidades de corte", conserva la misma superficie útil pero se clasificaría en 3ra.

El defecto que más se presentó en general y que repercutió significativamente en la pérdida de volumen, fueron las grietas, que en el secado al aire libre de la madera con y sin tratamiento de calentamiento, se acentuaron más en *Q. rugosa*, correspondiendo precisamente a la especie con mayor incremento en el número de unidades de corte. Otro defecto sobresaliente es el acanalamiento, siguiéndole en orden de importancia el encorvado. Respecto a la especie con mejor comportamiento en el proceso de secado al aire libre se considera que fue *Q. laurina*, por la menor proporción de defectos y de unidades de corte. Con

relación al efecto del calentamiento de la madera comparada con el testigo, se puede considerar de poca significancia por la reducida diferencia en la proporción de defectos que se presentaron en ambos tipos de madera, como se aprecia en la Figura 5. Para la madera secada en estufa, también el defecto de mayor impacto en la pérdida de volumen y de calidad fueron las grietas, en este caso acentuadas más en *Q. laurina*, indistintamente del tratamiento de calentamiento. El segundo defecto más obvio fue también el acanalamiento, siguiéndole el encorvado, y en relación a la especie menos afectada en contraste con el secado al aire libre fue *Q. rugosa*. Respecto al tratamiento de calentamiento, en general

Cuadro 3. Porcentaje de deformación de la madera de encinos en el secado al aire libre y en estufa convencional

ESPECIES	No. DE UNIDAD	ANTES DEL SECADO					No. DE UNIDAD	DESPUES DEL SECADO				
		DEFECTOS						DEFECTOS				
		CORTE	%	%	%	%		CORTE	%	%	%	%
	GRIETAS	TORC.	ACANAL	ARQ.	ENCORV		GRIETAS	TORC.	ACANAL	ARQ.	ENCORV	
SECADO AL AIRE LIBRE												
<i>Q. candicans</i>												
con/tra.	2.24	0.00	0.00	0.04	0.11	0.20	3.24	3.25	0.08	1.09	0.46	0.53
sin/tra.	3.13	0.00	0.00	0.05	0.04	0.16	4.13	3.78	0.05	2.40	0.20	0.33
<i>Q. rugosa</i>												
con/tra.	3.25	0.00	0.00	0.01	0.07	0.27	4.42	7.44	0.06	0.87	0.51	0.82
sin/tra.	2.68	0.00	0.00	0.00	0.09	0.26	3.89	6.25	0.05	0.88	0.29	1.01
<i>Q. laurina</i>												
con/tra.	2.44	0.00	0.00	0.00	0.04	0.18	3.56	2.02	0.00	0.85	0.14	0.58
sin/tra.	3.45	0.00	0.00	0.00	0.05	0.17	4.09	0.00	0.07	1.62	0.23	0.27
SECADO EN ESTUFA												
<i>Q. candicans</i>												
con/tra.	2.75	0.00	0.01	0.00	0.19	0.25	4.25	2.77	0.15	1.69	0.45	0.91
sin/tra.	3.64	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	5.27	3.50	0.00	4.11	0.32	0.56
<i>Q. rugosa</i>												
con/tra.	2.92	0.00	0.00	0.00	0.14	0.29	5.08	1.73	0.14	1.96	0.34	0.95
sin/tra.	3.23	0.00	0.00	0.00	0.02	0.27	4.62	0.58	0.10	1.76	0.40	0.48
<i>Q. laurina</i>												
con/tra.	3.14	0.00	0.00	0.00	0.13	0.19	3.43	3.63	0.32	2.16	0.38	0.53
sin/tra.	2.86	0.00	0.00	0.00	0.05	0.21	3.43	6.46	0.21	1.46	0.30	0.59

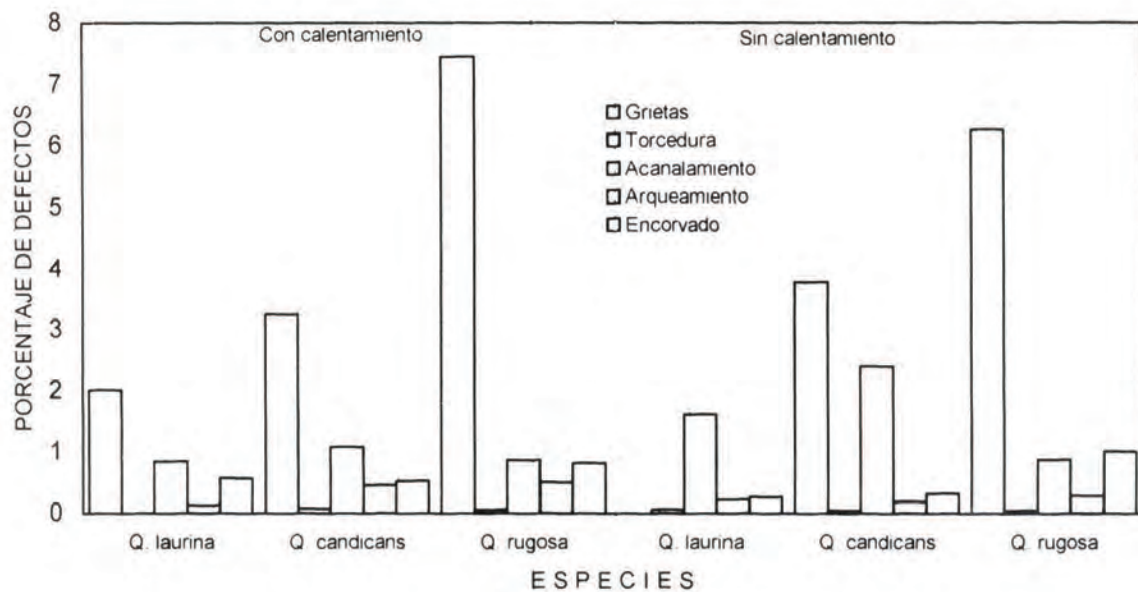


Figura 5. Desarrollo de defectos de la madera secada al aire libre con y sin tratamiento de calentamiento en agua

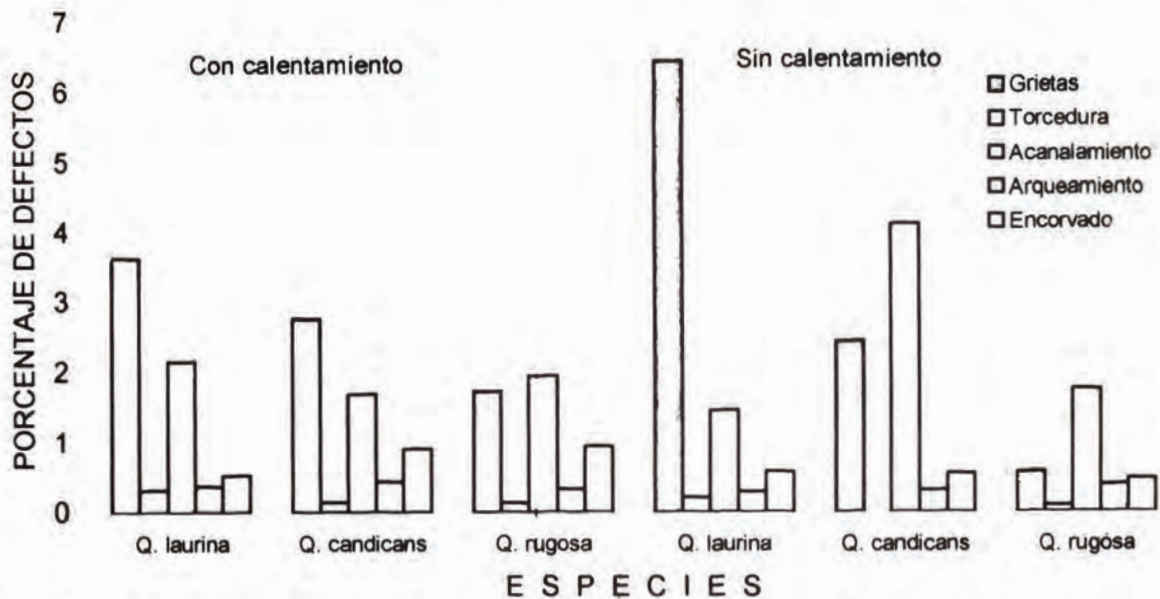


Figura 6. Desarrollo de defectos de la madera secada en estufa con y sin tratamiento de calentamiento en agua

se puede considera sin efecto, indistintamente al tipo de defectos que se presentaron en la madera tratada y la testigo de las tres especies estudiadas. (Figura 6).

Se considera que el acanalamiento se debe a las diferencias de contracción entre la madera de albura y la de duramen de las tablas, y por el tipo de corte bastardo que se genera por la forma de aserrío de las trozas. Los defectos de torceduras, arqueamiento y encorvado, se presentan por la diferencia de contracciones de la madera en el sentido longitudinal, ocasionadas en parte por madera de tensión en las trozas de las especies estudiadas.

El aumento de estas deformaciones se refleja en el incremento del "número de unidades de corte" relacionados con la calidad de la madera. Respecto al efecto del tratamiento de calentamiento en el desarrollo de defectos en la madera, no se observó un efecto definido en las especies ni en el tipo de defectos para ambos sistemas de secado, al aire libre y en estufa; en contraste con lo que reporta Andrade (1990) para madroño, indicando que el calentamiento en agua favoreció la calidad de la madera.

## CONCLUSIONES

El análisis de los resultados concluye que la transferencia de calor fue similar entre las tres especies, *Q. candicans*, *Q. rugosa* y *Q. laurina*. No se manifestó diferencia en el tiempo de secado al aire libre y en estufa, entre la madera tratada con calentamiento y la testigo. El lapso de secado al aire libre fue de 71 días para lograr un CH de 12%, y el secado en estufa convencional se efectuó durante 17 días, hasta lograr un 8% de CH promedio.

Durante el secado al aire libre *Q. laurina* generó mejores resultados, incluso la madera sin tratamiento se comportó mejor que la tratada. El tratamiento fue favorable únicamente para *Q. candicans*. En el secado en estufa, la especie con mejores resultados fue *Q. rugosa*, y la madera testigo se comportó mejor que la tratada en relación a la pérdida de volumen de madera por defectos del secado.

Los defectos que repercutieron en forma más significativa en la pérdida de volumen de madera fueron las grietas, que en el secado al aire libre se acentuaron más en *Q. rugosa* y en el secado en estufa la más afectada fue *Q. laurina*. La especie con mejor comportamiento en el secado en estufa resultó *Q. rugosa*.

REFERENCIAS

- Andrade, A. 1990. Anatomía y secado de la madera de dos especies de madroño (*Arbutus xalapensis* y *Arbutus glandulosa*). Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana. 64 p.
- Bejar, M.G. 1983. Secado de la madera aserrada de encino. *Ciencia Forestal*. 42(8):37-63.
- Boone, R. S., Kozlik, J.C., Bois J.P. and Wengert, M.E. 1988. Dry Kiln Schedules for Commercial Woods, Temperate and Tropical. USDA. Forest Service. FPL-GTR-57. 158 p.
- Cuppett, G.D. and Craft, E.P. 1973. Kiln-drying of presurfaced 4/4 Appalachian oak. *Forest Prod. J.* 22(6):36-41.
- Dirección de Desarrollo Industrial (DDI), 1991. Proyecto de Norma de Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas. Subsecretaría Forestal. SARH. México. 36 p.
- McMillen, M.J. and Baltés, C.R. 1972. New kiln schedule for presurface oak lumber. *Forest Prod. J.* 22(5):19-26.
- Dirección General de Normas (DGN), .NOM-EE-95-1980, Envase y Embalaje.-Madera.-Determinación de los defectos en maderas aserradas y cepilladas. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México. 20 p.
- Harris, A.R., Schroeder, G.J. and Addis, C.S. 1989. Steaming of red oak prior to kiln-drying: effects on moisture movement. *Forest Prod. J.* 39(11/12):70-72.
- Hildebrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber. Germany. 199 p.
- McMillen, M.J. 1969. Accelerated kiln drying of presurfaced 1- inch Northern red oak. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Paper FPL-122. 29 p.
- Pratt, G.H. 1974. Timber drying manual. Princes Risborough Laboratory. Dept. of the Environment. London. 152 p.
- Razo, R. 1990. Estudio del secado de varias especies de maderas nacionales mediante el sistema Moore. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana. 161 p.
- Rietz, C.R. and Jenson, A.J. 1966. Pressurfacing green oak lumber to reduce surface checking. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0146. 2 p.
- Rietz, C.R. and Page, R.H. 1971. Air drying of lumber. USDA Agric. Handbook No. 188. Washington. D.C. 110 p.
- Simpson, T.W. 1974. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. *Wood Science*. 7(3):247-255.
- Simpson, T.W. 1975. Effect of prestaming on moisture gradient of Northern red oak during drying. *Wood Science* 8(4):272-276.
- Simpson, T.W. 1975. Steaming northern red oak to reduce kiln-drying time. *Forest Prod. J.* 26(10):35-37.
- Simpson, T.W. 1980. Accelerating the kiln drying of oak. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Paper FPL-378. 9 p.
- Simpson, T.W. 1991. Dry kiln operator's manual. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Agriculture Handbook No. 188. 274 p.
- Simpson, T.W. and Baltés, R.C. 1972. Accelerating oak air drying by presurfacing. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0223. 12 p.
- Wengert, M. E. 1990. Drying oak lumber. University of Wisconsin-Madison. USA. 167 p.
- Wengert, M.E. and Baltés, C.B. 1971. Accelerating oak drying by pressurfacing, accelerated schedules, and kiln automation. USDA. Fort. Serv. F.P.L. Research Note FPL-0214. 10 p.
- Zavala, Z.D. y Hernández C. M.R. 1995. Análisis del secado al aire libre de la madera aserrada de pino, encino y aile. UMSNH. Ciencia y Tecnología de la Madera. No. 5. 15-23 p.