



# Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

---

---

## Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

Efecto de la inmersión en agua caliente  
sobre la velocidad y calidad del secado de madera aserrada  
en tres especies de encino

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
“INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA”

PRESENTA:

**Manuel González Jiménez**

ASESOR

**M.C. Marco Antonio Herrera Ferreyra**



Morelia Michoacán, Febrero 2017

## ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
1. ANTECEDENTES.....	3
2. OBJETIVOS.....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. Obtención de la madera de encino.....	9
3.2. Clasificación y determinación de la magnitud de los defectos de la madera antes del calentamiento y del secado en estufa convencional.....	9
3.3. Etapa de calentamiento de la madera en agua.....	10
3.4. Secado en estufa convencional.....	11
3.5. Preparación de las probetas de control para el secado en estufa convencional.....	12
3.6. Clasificación y determinación de la magnitud de los defectos de la madera, después del calentamiento y del secado en estufa convencional.....	15
4. RESULTADOS.....	16
4.1. Clasificación de la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa.....	16
4.2. Tamaño y tipo de deformación presente en la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa.....	17
4.3. Comportamiento de la madera durante la etapa del calentamiento en agua.....	19
4.4. Peso de la madera antes y después del calentamiento en agua... ..	22
4.5. Tiempo de secado de la madera con y sin calentamiento en agua.....	22
4.6. Clasificación de la madera después del secado en estufa.....	24

4.7.	Tamaño y tipo de deformación presente en la madera después del secado en estufa.....	26
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
5.1.	Clasificación y deformación de la madera antes y después del secado.....	31
5.2.	Etapas del calentamiento de la madera en agua.....	35
5.3.	Pérdida de humedad durante el secado de la madera con calentamiento en agua y sin este tratamiento.....	37
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
	BIBLIOGRAFÍA.....	41
	ANEXOS.....	44

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1. Distribución en volumen de la madera para el secado en estufa convencional.....	12
4.1. Cantidad de tablas(F), proporción(%), promedio de cortes y porcentaje promedio de aprovechamiento en la clasificación de la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa.....	16
4.2. Área total libre de defectos y volumen comercial total aprovechable antes del secado.....	17
4.3. Cantidad de tablas con registro de deformación.....	18
4.4. Valores descriptivos del tamaño del defecto antes del secado y del calentamiento en agua.....	18
4.5. Registro de temperaturas durante la etapa de calentamiento.....	20
4.6. Resumen de medidas descriptivas en el aumento en el peso después del calentamiento en agua.....	22
4.7. Cantidad de tablas(F), proporción(%), promedio de cortes por grado y porcentaje promedio de aprovechameinto en la clasificación de la madera después del calentamiento en agua y del secado en estufa.....	25
4.8. Área total libre de defectos y volumen comercial total aprovechable después del secado.....	26
4.9. Cantidad de tablas con registro de deformación después del secado.....	26
4.10. Valores descriptivos del tamaño del defecto después del secado.....	28
5.1. Diferencia en el área por especie con y sin tratamiento de calentamiento en agua .....	31
5.2. Cantidad de tablas(F), porporción(%), cortes totales y cortes adicionales en la clasificación de la madera.....	32
5.3. Diferencia en el volumen comercial por especie con y sin tratamiento de calentamiento en agua.....	33
5.4. Comparativo en el promedio general de unidades de corte de la madera de encino y especies de alta y baja densidad.....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
3.1. Ubicación de las muestras y acomodo de la madera durante el calentamiento en agua.....	11
3.2. Obtención de las probetas de control.....	13
4.1. Temperatura del agua y temperatura promedio de la madera durante la etapa de calentamiento.....	21
4.2. Registro de la temperatura en las tres especies de encino durante el calentamiento.....	21
4.3. Tiempo de secado para la especie <i>Quercus candicans</i> .....	23
4.4. Tiempo de secado para la especie <i>Quercus laurina</i> .....	23
4.5. Tiempo de secado para la especie <i>Quercus rugosa</i> .....	24
4.6. Diagrama de caja para el defecto de torcedura.....	29
4.7. Diagrama de caja para el defecto de abarquillado.....	29
4.8. Diagrama de caja para el defecto de combado.....	30
4.9. Diagrama de caja para el defecto de encorvado.....	30
5.1. Relación del aumento en el peso y la relación entre superficie/volumen de cada pieza después del calentamiento en agua.....	36
5.2. Promedio general de las probetas de control.....	37
5.3. Fracción de humedad promedio eliminada (E) por tratamiento.....	38

## RESUMEN

La madera aserrada de encino, sigue utilizándose en México y tiene diferencias notorias en cuanto al tiempo de secado en estufa convencional en comparación con otras especies. En este trabajo, se realiza un secado en estufa convencional en tres especies de madera aserrada de encino (*Quercus candicans*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*), a madera de cada especie, se le somete a una inmersión en agua caliente con una temperatura promedio de 60°C y posteriormente se mezcla con madera sin tratar para un proceso de secado en estufa convencional, al término del proceso, se evalúan las diferencias de las muestras de control y se incluye antes y después del secado, una evaluación del área aprovechable de la madera y de algunos de los defectos que se desarrollaron. En general, no se observan diferencias notorias en cuanto a los tiempos de secado para la madera calentada en agua, pero por otro lado, si es apreciable una menor presencia de grietas superficiales en las especies de encinos rojos en comparación con la madera sin este tratamiento.

## ABSTRACT

Sawn oak, still used in Mexico and have noticeable differences in drying time compared to conventional stove other species In this work, a drying is carried out in conventional kiln in three species of sawn oak (*Quercus candicans*, *Quercus laurina* and *Quercus rugosa*), wood of every kind, is subjected to an immersion in hot water with an average temperature of 60°C and subsequently mixed with untreated wood to a drying process in conventional kiln, the end of the process, differences of the control samples are evaluated and included before and after drying, an evaluation of the usable area of the timber and some of the defects that were developed. Overall, no notable differences were observed for the drying times for wood heated in water, but on the other hand, If it is appreciable a lesser presence of surface cracks in the species of red oaks in comparison with this untreated wood.

Palabras clave: Secado, Encino, Calentamiento en agua, Defectos, Aprovechamiento.

## INTRODUCCIÓN

En México, la madera de encino continúa utilizándose en gran medida para escuadría y es además, la segunda especie aprovechable a nivel nacional (Anuario Estadístico de la Producción Forestal, 2014), es por esto que no deja de ser menor su importancia con respecto a la madera de pino. El proceso de transformación en que se ve inmersa la madera involucra una gran variedad de etapas, una de ellas es el secado y en la que se ha observado para esta especie, mayores diferencias con respecto a otras, rangos de humedad muy dispersos, alta sensibilidad a los cambios en las condiciones del ambiente que le rodea y tiempos de secado más prolongados. Esto último, se presenta como un elemento relevante en el proceso de su transformación, por eso se intenta y se ha intentado acortar los periodos de secado.

Calentar la madera en agua es un proceso que se utiliza en la elaboración de chapa (Zavala & Lara, 1998), que permite un ablandamiento de la madera y facilita su corte, al incluir esta etapa previa a un secado, se intentaría disminuir el esfuerzo en la eliminación del agua o aumentar su permeabilidad y aprovechar el incremento de su temperatura en el proceso de secado. En este trabajo, se busca experimentar y observar los resultados de tratar en agua caliente antes del secado a la madera de encino utilizando tres especies: *Quercus candicans*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*. Se presentan algunas de las diferencias con la madera sin la inmersión en agua caliente y se evalúan algunos defectos antes y después del secado. Se pretende también, transmitir la experiencia que se ha tenido, que pueda generar la realización de trabajos complementarios y que permitan proporcionar resultados más concretos. Se ha procurado realizar un ensayo similar a lo que podría presentarse en un secado en estufa convencional y que tendría lugar en cualquier empresa, industria o taller que procese la madera de encino.

El trabajo comprende, después de haber sido cortada la madera en tablas, la clasificación de cada una de las piezas que se utilizaron y la evaluación de los defectos de alabeo. Después de la etapa anterior, se seleccionó un número de

tablas de cada especie para la etapa de calentamiento, una porción de la madera calentada en agua de las tres especies, se mezcla con otra porción de madera sin tratar también de las tres especies y se realiza un secado en estufa convencional, al término del secado se vuelve hacer una clasificación y evaluación de los defectos, comparando las diferencias encontradas.

## 1.- ANTECEDENTES

Entre los documentos que registran procesos de secado en hornos convencionales, encontramos el de Elías (1983), que realiza el secado en cinco especies de encino (*Quercus rugosa*, *Quercus castanea*, *Quercus candicans*, *Quercus crassifolia* y *Quercus sideroxylla*) los tiempos de secado registrados oscilan desde los 12 a los 12 ½ días, con contenidos de humedad finales entre el 5 y 10%, realiza la evaluación de defectos en algunas piezas concluyendo, que las especies de encinos rojos presentan un menor aumento en la magnitud de sus defectos. Razo (1990), realiza un secado de madera de encino del estado de Michoacán y de otras especies, la madera de encino la agrupa por región aunque esta sea de diferente especie. El tiempo de secado que reportó fue de 23 días, evalúa los defectos de abarquillado, torcedura y encorvado, la madera de encino comparada con las otras especies, presenta menor magnitud en el defecto de abarquillado, valores similares en el defecto de la torcedura y valores mayores en el defecto del encorvado.

Una de las formas para disminuir el tiempo de secado en hornos convencionales, es el modificar las condiciones de los programas que se utilizan (Fernández, 1962) y en relación con esto, tenemos trabajos como el de McMillen (1969), que aplica cuatro programas para el secado de la madera de encino (*Quercus rubra* L.) previamente cepillada, tres de estos programas se utilizan en horno convencional, los clasifica como programa base, intermedio y acelerado. El programa base lo inicia con una temperatura de 43°C y humedad relativa de 87%, el programa intermedio con 46°C y una humedad de 88%, por último el programa acelerado con una temperatura inicial de 49°C y una humedad de 85%. Al aplicar estos programas obtiene tiempos de secado de 17 días en el programa básico, 14 días y seis horas con el programa intermedio y de 10 días y dieciocho horas con el programa acelerado. En cuanto a los resultados en el desarrollo de grietas internas (apanalamiento) y superficiales, la aplicación del programa acelerado ofreció los resultados más pobres.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de cepillado en la madera de encino antes del secado, es otro de los medios al que se le atribuye una reducción en el tiempo comparándola con la madera recién aserrada (Baltes y Simpson, 1972). El principio de la aplicación del cepillado en la madera, ha sido para eliminar en mayor medida, las grietas superficiales que puedan generarse durante el secado por fracturas provocadas en la superficie durante el corte de las tablas (Mc Millen, 1969).

Otra de las formas para disminuir el tiempo de secado del encino en hornos convencionales y que también se ha utilizado para esterilizar la madera, es el vaporizado (Kollman y Côté, 1968). Simpson (1975), experimenta el vaporizado con diferentes periodos de tiempo aplicándolo a varias especies, entre ellas, con algunas especies de encino (*Quercus rubra* L. y *Quercus falcata* var. *pagodacfolia* Ell.). Las especies de encino con una etapa previa de vaporizado, presentaron velocidades de secado menores hasta en un 30% y 40% en piezas desde una condición húmeda hasta alcanzar el 25% en su contenido de humedad, mientras que de una condición húmeda y hasta un 15% en su contenido de humedad, la velocidad de secado se redujo en un 50%. El análisis en los periodos de tiempo que duro la aplicación del vaporizado, no arrojaron diferencias significativas.

Simpson (1976), realiza nuevamente el vaporizado, haciéndolo dentro de un horno convencional y secando madera de encino (*Quercus rubra* L.) de 2.54 cm de espesor. Elevó la temperatura dentro de la cámara hasta 85° C, manteniendo esta temperatura durante dos horas con humedad relativa de un 96 % y 94 %. La disminución en el tiempo de secado de la madera con un vaporizado, fue de 2.4 a 3.7 días en relación con la madera sin vaporizar. Estos resultados no fueron tan satisfactorios para la madera que se secó al aire libre y antes de su vaporización. La calidad de la madera que fue vaporizada después de ser cortada, no sufrió un deterioro considerable. Resultados similares se han presentado en especies del mismo género pero en latitudes diferentes. En México, Ávila (1991), aplica en madera de encino (*Quercus acutifolia*), un vaporizado durante seis y cuatro horas

de duración a 82° C y 77° C de temperatura. Obtiene una disminución (de 38%) en el tiempo de secado de la madera que fue vaporizada al compararla con la madera sin vaporizar, la calidad de la madera después del secado la califica como aceptable.

El aumento gradual en la temperatura en los programas de secado con respecto al tiempo, es otra forma de reducirlo (Bachrich, 1980). Simpson (1980), realiza la aplicación de programas de secado aumentando la temperatura gradualmente en madera de encino de 2.54 cm de espesor. Esta variante en la forma de secar fue combinada con procesos de cepillado y vaporizado en la madera y en algunos casos, se experimentó con un aumento mayor de la temperatura al inicio del secado (46°C) y en las etapas finales, cuando la madera alcanzaba entre el 20% y 17% en su contenido de humedad (64°/74°C y 110°C). Los tiempos de secado se redujeron a la mitad de los que se presentan con la aplicación de un programa de secado común. En cuanto a la calidad, no reporta resultados definitivos, menciona que para algunas pruebas, las comparaciones no mostraron diferencias considerables, en otras se observó de forma contraria. Algunas especies de encinos aparentemente fueron más tolerantes que otras al acelerar el proceso de secado. Indica que aunque el porcentaje de tablas con defectos después del secado (grietas internas y superficiales) no fue alta, es necesario tener mayor precaución al aplicar estos procedimientos.

Otro de los trabajos que muestra la experiencia sobre tiempos de secado y medición de los defectos en la madera, ha sido el de Béjar (1983), que compara el secado en estufa convencional, por medio de un deshumidificador y al aire libre de madera de encino, la madera la separa en dos grupos, encinos rojos y encinos blancos. El aserrado fue de manera que predominaran dos tipos de corte, corte tangencial y radial. En el secado en estufa convencional, se utilizó un programa de secado con una temperatura inicial de 40°C y humedad relativa de 87%. El tiempo de secado promedio fue de 12 días y la madera alcanzó un contenido de humedad final de 9.48 %. El procedimiento para determinar la calidad de la madera, fue

midiendo la deformación de los defectos de abarquillado, torcedura y arqueamiento. Concluye que los tipos de corte no reflejan diferencia alguna en el desarrollo de los defectos mientras que, en el sistema de secado convencional fueron menores en comparación con los otros dos.

La presencia en la madera de elementos solubles en agua, ha originado en algunos casos, la posibilidad de su uso y en otros, la experimentación en la búsqueda de su eliminación y con esto su aplicación en el proceso de secado. Razo (1990), menciona que es posible acelerar el secado de encino blanco, aplicando no sólo un tratamiento de vaporización sino además una inmersión en agua de la madera y eliminar las sustancias extraíbles.

Andrade (1990) muestra las posibilidades que tiene el madroño (*Arbutus xalapensis* y *Arbutus glandulosa*), al someterlo a un calentamiento en agua y después del secado en un horno convencional. La madera con mayores tiempos de calentamiento en agua (150 minutos entre los 80° C y 100° C), tuvo menor proporción de defectos después del secado. Señala la necesidad de determinar la cantidad y composición de las sustancias extraíbles en el agua. Escobedo (2005) al realizar un estudio sobre las propiedades físicas del madroño (*Arbutus xalapensis*), aplica a piezas de esta especie un secado en estufa convencional, la duración de la etapa de acondicionamiento tiene una duración de siete meses y se hace con una temperatura baja y una humedad alta con el fin de evitar el desarrollo de defectos, el tiempo de secado efectivo es de 201 días, corrobora la necesidad de un calentamiento en agua (desflemado) y con esto, eliminar las sustancia extraíbles para disminuir el tiempo.

Herrera (1996) realiza tratamientos con temperaturas y tiempos diferentes en agua a madera de albura y duramen de *Nothofagus dombeyi* (coigüe) y de *Aetoxicon punctatum* R.(olivillo). Observó una reducción en la permeabilidad de la madera de albura en ambas especies; en la madera del duramen de olivillo, no aprecia significativamente un aumento en su permeabilidad, pero por otro lado en

el duramen de la madera de coigüe, si observa un aumento de su permeabilidad, registrando además los mayores incrementos en la permeabilidad, a los tratamientos con menores tiempos y temperaturas de inmersión.

Vásquez (1999) aplica tratamientos con hervido, vaporizado y energía de sonido en madera de madroño del pacífico (*Arbutus menziessi*) con el fin de evaluar su efecto en la permeabilidad radial y longitudinal. El tratamiento de hervido en agua lo realiza en un periodo de 30 minutos; en los tres tratamientos, obtiene un aumento en la permeabilidad radial de las muestras tratadas y encuentra una diferencia más significativa en los tratamientos de hervido y de vaporizado; en cuanto a la permeabilidad longitudinal no obtiene diferencias significativas entre muestras ni tratamientos. En el tratamiento de hervido en agua, observa un aumento en el contenido de humedad y una reducción en la densidad de la madera a causa de los extraíbles eliminados por este procedimiento.

## 2.- OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto sobre la velocidad y la calidad del secado, del tratamiento de inmersión en agua caliente, en la madera de tres especies de encino.

### OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Realizar un calentamiento en agua de madera de encino y comparar el tiempo de secado en estufa convencional con madera de encino sin este tratamiento.
- 2.- Valorar la calidad de la madera de encino antes y después de su secado.
- 3.- Evaluar la deformación de la madera de encino antes y después de su secado.
- 4.- Comparar el peso de la madera de encino antes y después del calentamiento en agua.

### 3.- MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1.- Obtención de la madera de encino.

Las especies que se emplearon en este estudio fueron *Quercus candicans*, *Quercus laurina* y *Quercus rugosa*. El material utilizado en el secado en estufa se obtuvo de 16 troncos que fueron procesados en un aserradero banda, realizando los cortes de manera tradicional como se hace con la madera de pino (mezcla de cortes bastardos y tangenciales). Las tablas se obtuvieron de 2.54 cm (1") de espesor, en anchos de 10.16 cm a 30.48 cm (4" a 12") y de una longitud de 2.51 m (8'1/4"). Después de que cada tabla terminaba de ser cortada, ésta pasaba a una inmersión en una solución preservante para protección contra el manchado de hongos. El volumen que se obtuvo de la especie *Quercus candicans* fue de 0.88 m<sup>3</sup> (373.12 p.t.), de la especie *Quercus laurina* 0.38 m<sup>3</sup> (161.12 p.t.) y de la especie *Quercus rugosa* 0.76 m<sup>3</sup> (322.24 p.t.). Las tablas se sellaron en su sección transversal con pintura para evitar una mayor evaporación del agua.

#### 3.2.- Clasificación y determinación de la magnitud de los defectos de la madera antes del calentamiento y del secado en estufa convencional.

La estimación en el aprovechamiento de la madera, se hizo en base al anteproyecto de Norma de Clasificación de madera aserrada de latifoliadas (1992) de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (Anexo 1). En la determinación de la magnitud de los defectos se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-EE-1980 (Anexo 2). Las tablas se clasificaron antes del calentamiento y del proceso de secado y también se evaluaron los defectos de abarquillado, combado, encorvadura y torcedura. Después se seleccionó de cada especie, un cierto número de tablas para el calentamiento en agua, esto último se realizó, eligiéndolas de manera aproximada y proporcional a la clasificación que se obtuvo de todas las tablas por especie y ajustándose al volumen del recipiente donde se realizaría el calentamiento.

### 3.3.- Etapa del calentamiento de la madera en agua.

La cantidad de madera destinada al calentamiento en agua fue de 0.33 m<sup>3</sup> (139.92 p.t) para la especie *Quercus candicans*, de 0.18 m<sup>3</sup> (76.32 p.t.) para la especie de *Quercus laurina* y de 0.32 m<sup>3</sup> (15.68 p.t.) para la especie *Quercus rugosa*. Antes de colocar las tablas en el recipiente se pesaron, utilizando una báscula con capacidad de 50 kg y una precisión de 50 gr, las tablas se colocaron en un recipiente metálico de 0.70 m de alto, 1.20 m de ancho y de 4.0 m de longitud, su acomodo se hizo por camas, colocando entre cama y cama tres separadores de 1.9 cm (3/4") de espesor, al terminar de colocar todas las tablas, el recipiente se llenó con agua hasta cubrir la última cama.

La medición de la temperatura de la madera y del agua se realizó con un termómetro digital, con una capacidad de cuatro zonas de medición y una tensión de alimentación de 110 VCA, utilizando además cuatro termopares tipo K como sensores. La ubicación de los termopares en la madera, se realizó en las piezas con el ancho más representativo del conjunto de tablas y con una mayor presencia de duramen, un termopar se colocó en una tabla de la especie *Quercus candicans*, otro en una tabla de la especie *Quercus laurina* y otro más en una tabla de la especie *Quercus rugosa*, el termopar adicional se utilizó para medir la temperatura del agua. La colocación de cada uno de los termopares, se hizo perforando con una broca de 3.17 mm (1/8") de diámetro cada tabla por el canto y a la mitad de su longitud, alcanzando una profundidad de 61 mm. Al terminar de colocar el termopar, la perforación se selló con resina epóxica para evitar la penetración del agua. La colocación y posición de las tablas en el recipiente, puede observarse en la figura 3.1.

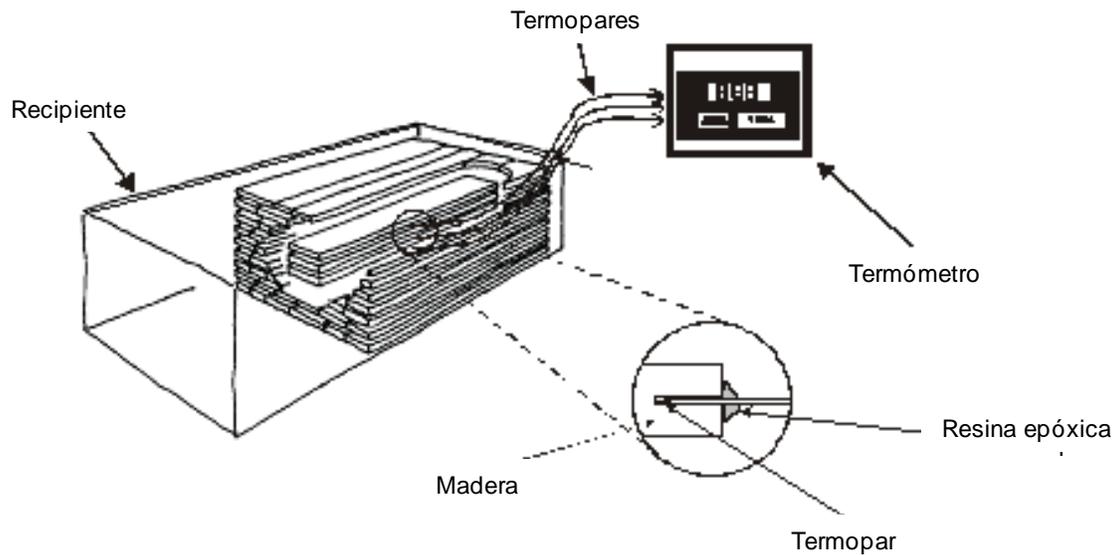


Figura 3.1. Ubicación de las muestras y acomodo de la madera durante el calentamiento en agua

El calentamiento se obtuvo quemando desechos de madera por la parte inferior del recipiente. El registro de las temperaturas se realizó cada 15 minutos después de que la temperatura del agua alcanzó los 60°C (aproximadamente 2 horas después). Al día siguiente se dio por terminado el calentamiento y se volvieron a pesar todas las tablas.

### 3.4.- Secado en estufa convencional.

El volumen de madera utilizada en medidas comerciales destinado al secado en estufa convencional, fue de 0.262 m<sup>3</sup> (111.08 p.t.) para la especie *Quercus candicans*, de la especie *Quercus laurina* 0.130 m<sup>3</sup> (55.11 p.t.), y para la especie *Quercus rugosa* 0.257 m<sup>3</sup> (108.96 p.t.). La distribución del volumen por especie y tratamiento puede verse en el Cuadro 3.1. Las tablas fueron seleccionadas de forma aleatoria, tanto del material con calentamiento en agua como sin este tratamiento.

El secado se realizó en una estufa experimental con capacidad de 1 m<sup>3</sup> de madera, sistema de ventilación axial con control automático de temperatura y humedad relativa. El acomodo de la madera se hizo en camas utilizando cinco separadores de 1.9 cm (3/4") de espesor entre cama y cama.

Cuadro 3.1. Distribución en volumen de la madera para el secado en estufa convencional

Especie	Volumen de madera por tratamiento m <sup>3</sup> (p.t.)	
	Sin calentamiento	Con calentamiento
Quercus candicans	0.170 (72.08)	0.092 (39.00)
Quercus laurina	0.068 (28.83)	0.062 (26.28)
Quercus rugosa	0.122 (51.72)	0.135 (57.24)
<b>TOTALES</b>	<b>0.360 (152.63)</b>	<b>0.289 (122.52)</b>

El programa de secado que se empleó, fue una modificación sobre el programa Especial I, desarrollado en el Ex Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (Anexo 3 y 4), y que se utiliza para madera de encino de 2.54 cm (1") de espesor. El proceso se dio por terminado, hasta que el promedio en el contenido de humedad de todas las probetas de control, alcanzaron alrededor de un 8% y después de aplicar un tratamiento de acondicionamiento durante 4 horas.

### **3.5.- Preparación de las probetas de control para el secado en estufa convencional.**

La preparación de las probetas de control para el secado en estufa se hizo tomando cuatro tablas por cada especie, dos con tratamiento de calentamiento en agua y dos sin este tratamiento, se seleccionaron de acuerdo a su ancho más representativo y con mayor presencia de duramen. De cada tabla se cortó una pieza de la parte media con una longitud de 76.2 cm (30"). Posteriormente se cortaron dos piezas o secciones de humedad, una de cada extremo de la probeta de 2.54 cm (1") de ancho (Figura 3.2), las secciones se utilizaron para determinar el contenido de humedad inicial de la probeta para el control durante el secado.

La determinación del contenido de humedad de las secciones, se realizó registrando su peso inicial y su peso final o en estado anhidro, el peso final se obtuvo colocando las piezas en un horno de desecación a una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , las piezas permanecieron en el horno, hasta adquirir un peso constante y considerarlo como peso final.



Figura 3.2. Obtención de las probetas de control

El registro del peso inicial y final se hizo en una balanza con una capacidad de 600 gr y una precisión de 0.01 gr. El cálculo para obtener la humedad de cada sección, se realizó con la siguiente relación (Rasmussen, 1980).

$$\% \text{ C.H.} = [ (P_i - P_f) / P_f ] \times 100$$

Donde:

% C.H.: Contenido de humedad de la sección.

Pi: Peso inicial de la sección.

Pf: Peso final o anhidro de la sección.

De la humedad de las dos secciones por muestra se obtuvo un promedio, esta humedad promedio se consideró para calcular el peso seco (teórico) de la probeta de control del secado y se utilizó en la siguiente fórmula (Rasmussen, 1980).

$$Ps = (Pim/100 + \% C.H.) \times 100$$

Donde:

Ps: Peso seco de la probeta de control del secado.

Pim: Peso inicial de la probeta de control del secado.

% C.H.: Contenido de humedad calculado para la probeta de control del secado.

Los cambios en el contenido de humedad de la probeta de control, se establecieron a partir de la pérdida del peso durante el secado mediante la siguiente relación (Rasmussen, 1980).

$$\% C.H.a. = [ Pa/Ps - 1 ] \times 100$$

Donde:

% C.H.a.: Contenido de humedad actual de la probeta de control del secado.

Pa: Peso actual de la probeta de control del secado.

Ps: Peso seco calculado de la probeta de control del secado.

El registro del peso de las probetas de control durante el secado, se hizo utilizando una báscula con capacidad de 120 kg y precisión de 5 gr.

### **3.6.- Clasificación y determinación de la magnitud de los defectos de la madera, después del calentamiento y del secado en estufa convencional.**

Después de concluir el secado, en todas las tablas se volvió a aplicar una clasificación y a determinar la magnitud de los defectos que fueron observados, se utilizó el anteproyecto de norma de clasificación de madera aserrada y la norma para la medición de defectos en madera aserrada mencionadas en el punto número 3.2. En las tablas en las que por la magnitud de su deformación no era posible obtener piezas uniformes en su grosor, se aplicó un corte adicional para disponer de superficies simétricas y reducir el tamaño de la deformación que por causa del defecto se viera afectada el área aprovechable.

## 4.- RESULTADOS

### 4.1.- Clasificación de la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa.

Los resultados en la clasificación de la madera antes del calentamiento en agua y del secado, pueden observarse en el Cuadro 4.1., se registra el número de piezas por tipo de clasificación y su correspondiente proporción con respecto al total de tablas por especie, se agrega el porcentaje de aprovechamiento y el número de cortes promedio. Estos elementos son definidos en el anteproyecto de norma de la clasificación de la madera y que dependen de las áreas limpias de la tabla. El total de piezas que se utilizaron para el secado en estufa fue de 61, 22 piezas correspondientes a la especie *Quercus candicans*, 14 a la especie *Quercus laurina* y 25 a la especie *Quercus rugosa*.

Cuadro 4.1. Cantidad de tablas (F), proporción (%), promedio de cortes y porcentaje promedio de aprovechamiento en la clasificación de la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa

CLASIFICACIÓN	Total				Especie					
					<i>Quercus candicans</i>		<i>Quercus laurina</i>		<i>Quercus rugosa</i>	
	% promedio de aprovechamiento	Promedio en el número de cortes	F	%	F	%	F	%	F	%
SELECTA	96.88	1.33	9	14.75	5	22.73	0	0.00	4	16.00
PRIMERA	87.56	3.16	6	9.84	4	18.18	0	0.00	2	8.00
SEGUNDA	75.48	2.85	14	22.95	3	13.64	4	28.57	7	28.00
TERCERA	54.37	3.75	16	26.23	5	22.73	7	50.00	4	16.00
REHAZO	34.99	3.50	16	26.23	5	22.73	3	21.43	8	32.00

En el Cuadro 4.2, se registra el área total libre de defectos por grado de clasificación y por especie, se añaden los datos sobre el volumen comercial estimado y que corresponden solo al área que puede ser aprovechable.

Cuadro 4.2. Área total libre de defectos y volumen comercial total aprovechable antes del secado

CLASIFICACIÓN	Área total libre de defectos (m <sup>2</sup> )				Volumen comercial total aprovechable (p.t.)			
	Total	Quercus candicans	Quercus laurina	Quercus rugosa	Total	Quercus candicans	Quercus laurina	Quercus rugosa
SELECTA	3.77	1.85	0.00	1.92	29.5	14.5	0.0	15.0
PRIMERA	2.46	1.86	0.00	0.60	19.4	14.6	0.0	4.8
SEGUNDA	4.58	1.23	1.09	2.26	35.9	9.6	8.5	17.8
TERCERA	3.50	1.29	1.22	0.99	27.5	10.1	9.6	7.8
RECHAZO	2.41	0.96	0.38	1.07	18.9	7.5	3.0	8.4
<b>TOTALES</b>	<b>16.72</b>	<b>7.19</b>	<b>2.69</b>	<b>6.84</b>	<b>131.2</b>	<b>56.3</b>	<b>21.1</b>	<b>53.8</b>

#### 4.2.- Tamaño y tipo de deformación presente en la madera antes del calentamiento en agua y del secado en estufa.

En todas las tablas se observó algún tipo de deformación, en el 98.3% se registró el defecto de encorvado, en el 60.6% el defecto de combado y en el 1.6% el defecto de torcedura, en ninguna tabla se apreció el defecto de abarquillado. En el Cuadro 4.3, pueden distinguirse el número de tablas y el tipo de defecto por especie y en el Cuadro 4.4, se exponen en conjunto y también por especie, algunas medidas descriptivas de los valores que fueron registrados, los valores corresponden únicamente a las tablas en las que se observó la deformación.

Cuadro 4.3. Cantidad de tablas con registro de deformación

DEFECTO	Totales	Especie		
		<i>Quercus candicans</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Quercus rugosa</i>
Torcedura	1	1	0	0
Abarquillado	0	0	0	0
Combado	37	13	10	14
Encorvado	60	22	14	24

Cuadro 4.4. Valores descriptivos del tamaño del defecto antes del secado y del calentamiento en agua

Especie	Defecto			
	Torcedura	Abarquillado	Combado	Encorvado
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Datos generales				
Valor máximo	2	n/r	13	13
Valor mínimo	n/r	n/r	2	2
Mediana	n/r	n/r	4	6
Promedio	n/r	n/r	4.5	6.5
Desviación estándar	n/r	n/r	2.82	2.78
Coefficiente de variación	n/r	n/r	62.96	42.83
<i>Quercus candicans</i>				
Valor máximo	2	n/r	12	12
Valor mínimo	n/r	n/r	2	2
Mediana	n/r	n/r	5	5
Promedio	n/r	n/r	5.5	5.4
Desviación estándar	n/r	n/r	3.36	2.70
Coefficiente de variación	n/r	n/r	60.61	49.95
<i>Quercus laurina</i>				
Valor máximo	n/r	n/r	6	10
Valor mínimo	n/r	n/r	2	3
Mediana	n/r	n/r	3.5	5.5
Promedio	n/r	n/r	3.6	6.4
Desviación estándar	n/r	n/r	1.26	2.76
Coefficiente de variación	n/r	n/r	35.14	43.46
<i>Quercus rugosa</i>				
Valor máximo	n/r	n/r	13	13
Valor mínimo	n/r	n/r	2	3
Mediana	n/r	n/r	3	7
Promedio	n/r	n/r	4.1	7.5
Desviación estándar	n/r	n/r	2.96	2.55
Coefficiente de variación	n/r	n/r	71.39	33.86

n/r.- no registrado.

Entre especies los valores mínimos se encuentran entre los dos y tres milímetros, los valores máximos entre los seis y trece milímetros; el menor registro en el defecto de combado se observa en la especie *Quercus laurina*, se aprecia además para esta misma especie, la menor dispersión en los valores. En el defecto de encorvado la menor dispersión se registró en la especie *Quercus rugosa*.

#### **4.3.- Comportamiento de la madera durante la etapa del calentamiento en agua.**

Los registros de la temperatura del agua y de la madera se muestran en el Cuadro 4.5, el tiempo total que la madera permaneció en el agua fue de 17 horas con 44 minutos aproximadamente. El último registro fue el día posterior al inicio de esta etapa y en el que se observa una lectura de la temperatura igual en todos los sensores.

En la figura 4.1 se grafica el comportamiento de la temperatura del agua y la temperatura promedio en la madera, es evidente que por las diferencias en las propiedades térmicas del agua y de la madera, ésta última tarde en alcanzar la temperatura del agua. La Figura 4.2 registra la temperatura durante el calentamiento en las tres especies de forma individual; durante el periodo en los registros hechos con mayor frecuencia (2-7 horas), la diferencia más alta registrada de temperaturas entre especies, fue de cuatro grados Celsius y la mayor frecuencia en la diferencia de temperaturas entre especies fue de un grado Celsius.

Cuadro 4.5. Registro de temperaturas durante la etapa de calentamiento

Tiempo transcurrido	Hora de lectura	Temperatura en °C			
		Agua	<i>Quercus candicans</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Quercus rugosa</i>
0:00	01:32 p.m.	22	19	18	19
2:01	03:33 p.m.	63	57	56	53
2:29	04:00 p.m.	65	58	57	55
2:44	04:15 p.m.	67	61	61	58
2:59	04:30 p.m.	74	66	66	63
3:16	04:47 p.m.	73	69	69	66
3:28	05:00 p.m.	73	70	69	68
3:44	05:15 p.m.	73	71	70	69
3:59	05:30 p.m.	72	71	70	69
4:14	05:45 p.m.	71	69	69	68
4:28	06:00 p.m.	68	68	68	67
4:29	06:25 p.m.	66	66	66	66
4:40	06:35 p.m.	67	65	65	65
4:55	06:50 p.m.	65	64	65	64
5:09	07:05 p.m.	66	65	66	65
5:22	07:17 p.m.	72	69	69	68
5:37	07:32 p.m.	71	69	70	68
5:49	07:45 p.m.	71	69	69	68
6:09	08:05 p.m.	74	72	73	72
6:39	08:35 p.m.	74	73	73	72
6:51	08:47 p.m.	75	73	73	72
7:09	09:05 p.m.	72	72	72	72
17:44	07:40 a.m.	45	45	45	45
<b>PROMEDIO</b>		<b>66.91</b>	<b>64.39</b>	<b>64.30</b>	<b>63.13</b>

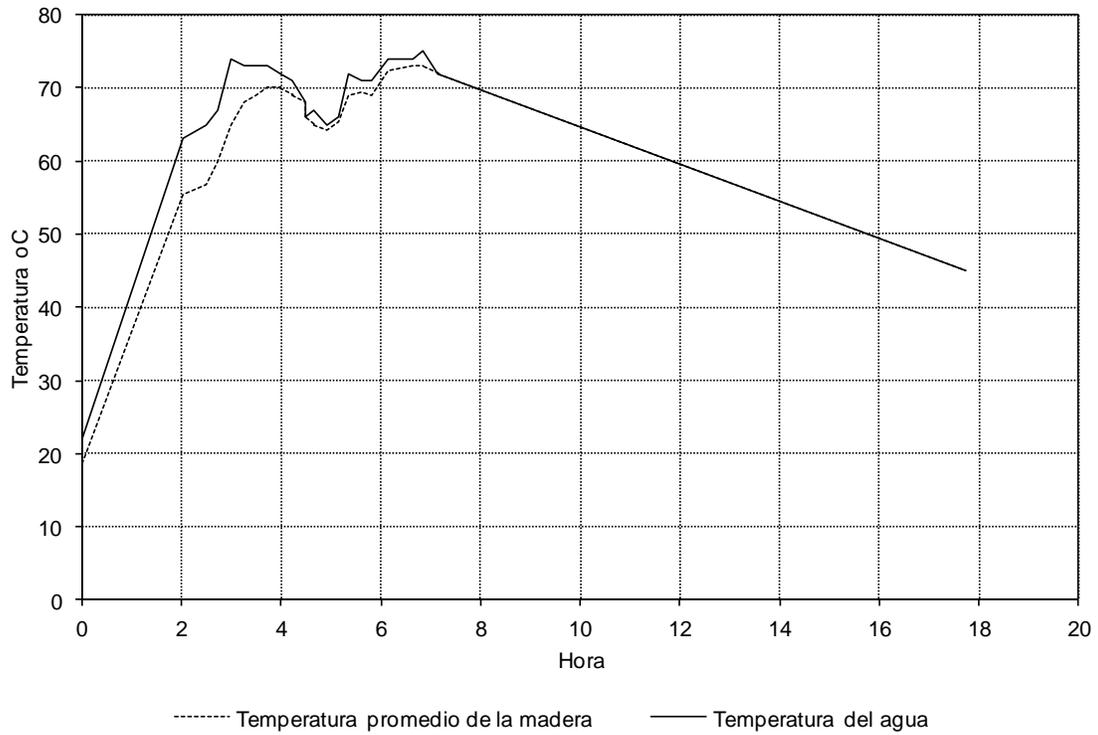


Figura 4.1. Temperatura del agua y temperatura promedio de la madera durante la etapa del calentamiento

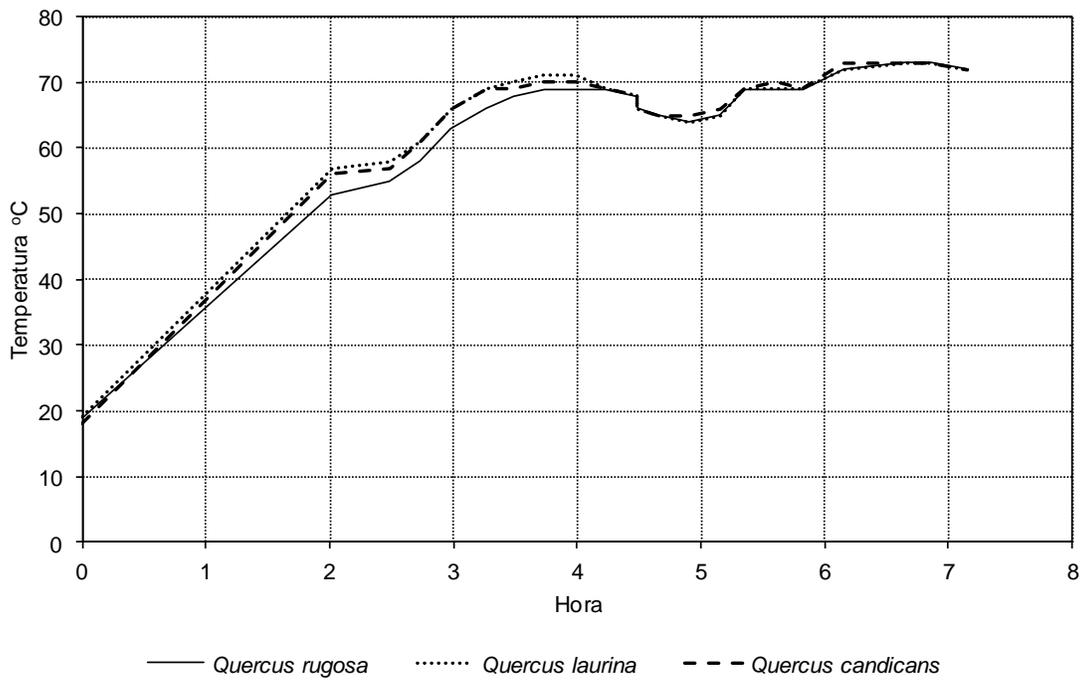


Figura 4.2. Registro de la temperatura en las tres especies de encino durante el calentamiento

#### 4.4.- Peso de la madera antes y después del calentamiento en agua.

En cuanto a la variación en el peso de la madera después de la etapa de calentamiento, este presentó un aumento, en el Cuadro 4.6 se resumen algunos valores que se observaron en las diferencias en el peso. Una menor cantidad de agua promedio absorbida puede apreciarse para la especie *Quercus rugosa* y el mayor promedio se observa en la especie *Quercus candicans*, también se puede observar en ambas especies, una relación proporcional en el aumento promedio y en el aumento máximo en el peso.

Cuadro 4.6. Resumen de medidas descriptivas en el aumento en el peso después del calentamiento en agua.

	<i>Quercus candicans</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Quercus rugosa</i>
Promedio en el aumento de peso (gr)	786.36	521.43	380.77
Mínimo aumento en el peso (gr)	100	250	150
Máximo aumento en el peso (gr)	1,250	950	650
Desviación estándar	352.20	254.72	195.30
Coefficiente de variación (%)	44.79	48.85	51.29

#### 4.5.- Tiempo de secado de la madera con y sin calentamiento en agua.

El programa de secado comenzó con una temperatura inicial que puede considerarse como moderada o media y con una humedad relativa baja, sin considerar el promedio en el contenido de humedad de las muestras de control, provocando con esto acelerar el secado. El tiempo de secado para las distintas especies se pueden ver en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5; como podrá distinguirse y en las muestras con un calentamiento en agua, se presentaron mayores contenidos de humedad, el promedio general de todas las muestras con un calentamiento fue de 75.72% y en el material sin este tratamiento el promedio fue de 61.44%.

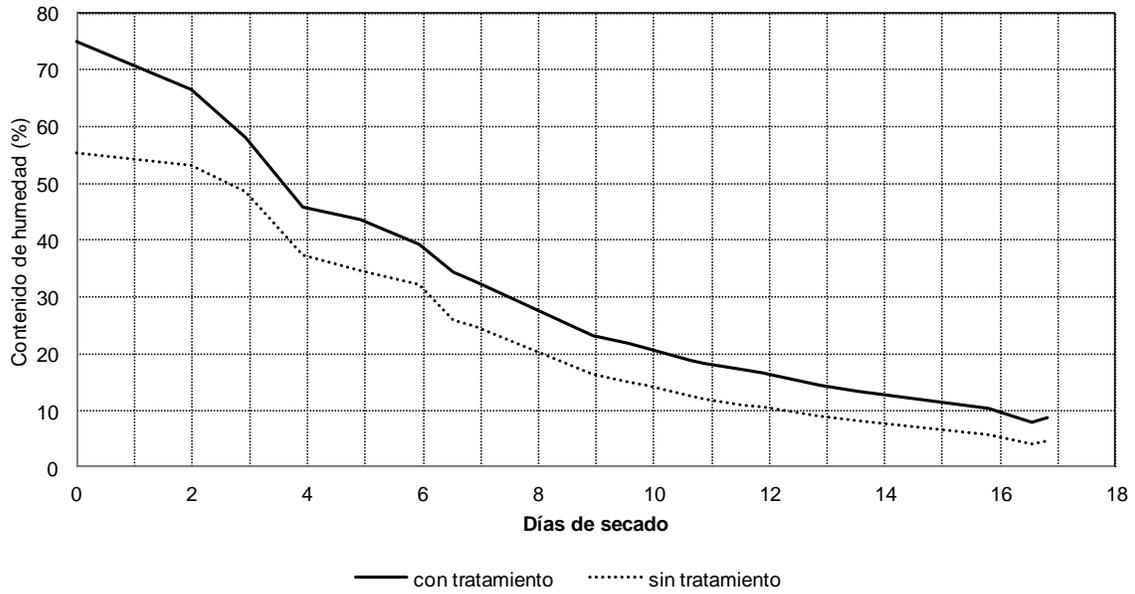


Figura 4.3. Tiempo de secado para la especie *Quercus candicans*

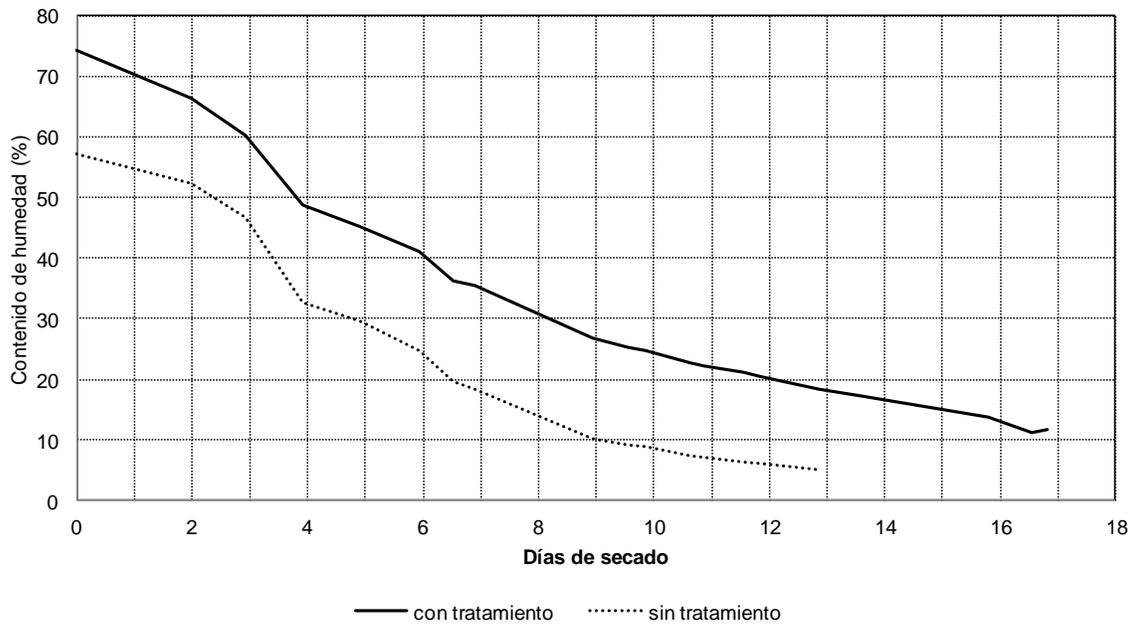


Figura 4.4. Tiempo de secado para la especie *Quercus laurina*

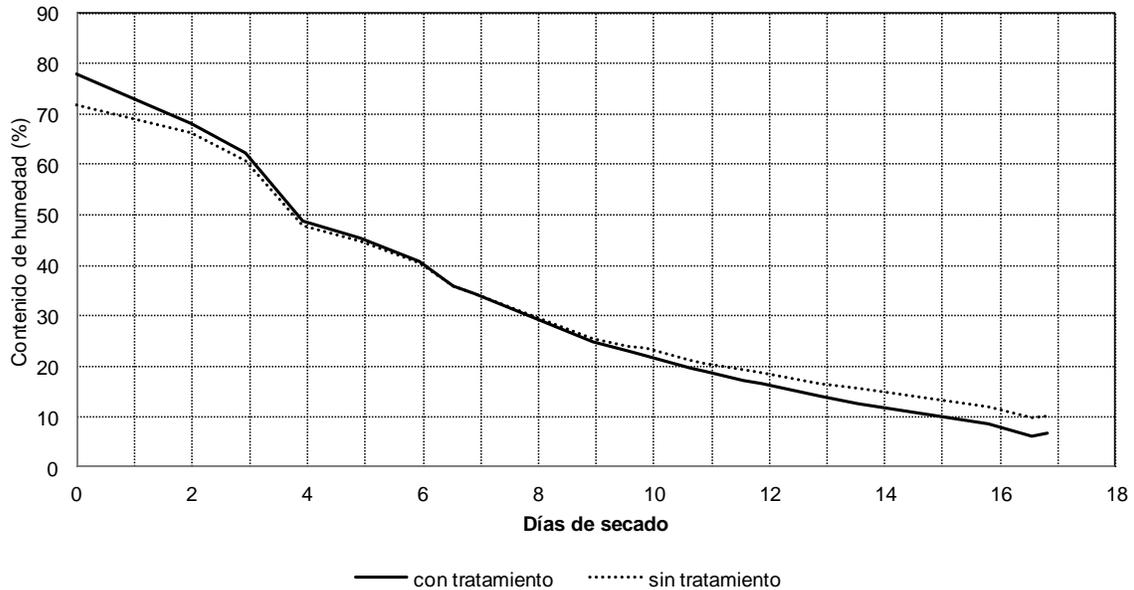


Figura 4.5. Tiempo de secado para la especie *Quercus rugosa*

Al definirse una humedad final de un 10%, los tiempos de secado oscilarían entre los 9 y más de 16 días en la madera sin calentamiento en agua, en el caso de la madera con calentamiento, los días de secado fluctuarían entre los 15 y poco más de los 16 días. De las tres especies, la especie *Quercus rugosa* es la que muestra ligeramente un menor tiempo de secado en el material con calentamiento en agua. El contenido de humedad de referencia que se utilizó para el programa de secado, correspondió al promedio calculado de todas las muestras sin hacer diferencia en el tratamiento; el promedio final en el contenido de humedad de la madera con calentamiento en agua, fue de 8.63% y de la madera sin este tratamiento fue de 4.69%.

#### 4.6.- Clasificación de la madera después del secado en estufa.

Las diferencias en la clasificación de la madera después del secado pueden observarse en el Cuadro 4.7, la proporción en la clasificación de Selecta y Primera para la especie *Quercus candicans*, se reduce en un 18.18%, esta disminución se

ve reflejada en el aumento en el número de tablas de Segunda, Tercera y de Rechazo. *Quercus laurina*, también muestra una reducción en las tablas con clasificación de Segunda y Tercera, provocando un aumento en las tablas con una clasificación de Rechazo. En la especie *Quercus rugosa*, se registró una disminución en las piezas con una clasificación de Selecta y Segunda, un aumento en las de Primera y Tercera, y en las tablas con una clasificación de Rechazo, se observó la misma cantidad que se tenían antes del secado.

En el Cuadro 4.8, se exponen el área total libre de defectos y se agrega el volumen comercial total por especie que puede ser aprovechado después del secado.

Cuadro 4.7. Cantidad de tablas (F), proporción (%), promedio de cortes por grado y porcentaje promedio de aprovechamiento en la clasificación de la madera después del calentamiento en agua y del secado en estufa

CLASIFICACIÓN	Total				Especie					
					<i>Quercus candicans</i>		<i>Quercus laurina</i>		<i>Quercus rugosa</i>	
	% promedio de aprovechamiento	Promedio en el número de cortes	F	%	F	%	F	%	F	%
SELECTA	98.31	1.60	5	8.20	3	13.64	0	0.00	2	8.00
PRIMERA	91.52	2.50	6	9.84	2	9.09	0	0.00	4	16.00
SEGUNDA	75.77	3.42	14	22.95	5	22.73	3	21.43	6	24.00
TERCERA	56.84	3.68	16	26.23	6	27.27	5	35.71	5	20.00
RECHAZO	39.01	3.75	20	32.78	6	27.27	6	42.86	8	32.00

Cuadro 4.8. Área total libre de defectos y volumen comercial total aprovechable después del secado

CLASIFICACIÓN	Área total libre de defectos (m <sup>2</sup> )				Volumen comercial total aprovechable (p.t.)			
	Total	Quercus candicans	Quercus laurina	Quercus rugosa	Total	Quercus candicans	Quercus laurina	Quercus rugosa
SELECTA	1.52	0.84	0.00	0.68	11.9	6.6	0.0	5.3
PRIMERA	2.35	0.80	0.00	1.55	18.5	6.3	0.0	12.2
SEGUNDA	4.11	1.77	0.72	1.62	32.5	14.0	5.7	12.8
TERCERA	3.30	1.46	0.87	0.97	25.9	11.5	6.8	7.6
RECHAZO	3.25	1.14	0.87	1.24	25.5	8.9	6.8	9.8
<b>TOTALES</b>	<b>14.53</b>	<b>6.01</b>	<b>2.46</b>	<b>6.06</b>	<b>114.3</b>	<b>47.3</b>	<b>19.3</b>	<b>47.7</b>

#### 4.7.- Tamaño y tipo de deformación presente en la madera después del secado en estufa.

Los defectos evaluados en la madera después del secado, se registran en el Cuadro 4.9, el porcentaje de tablas en las que se observó el defecto de encorvado fue de 98.36%, en el 78.33% el defecto de combado, en un 70.49% el defecto de abarquillado y en un 23% el defecto de torcedura.

Cuadro 4.9. Cantidad de tablas con registro de deformación después del secado

DEFECTO	Totales	Especie		
		<i>Quercus candicans</i>	<i>Quercus laurina</i>	<i>Quercus rugosa</i>
Torcedura	23	13	7	3
Abarquillado	43	18	8	17
Combado	47	17	10	20
Encorvado	60	21	14	25

Algunos de los valores descriptivos del tamaño de los defectos se muestran en el Cuadro 4.10, los valores al igual que los mostrados antes del secado, sólo son de las piezas en las que se observaron los defectos. Como podrá distinguirse la deformación aumenta después del secado, no sólo en la magnitud sino también en la cantidad de piezas; en general el defecto con una mayor lectura y rango de variación, fue el defecto de encorvado, por especie y en relación también al defecto de encorvado, las observaciones son similares a las anteriores en *Quercus candicans* y *Quercus rugosa*. En dos de las tres especies encontramos que el defecto de torcedura después del encorvado, presenta los mayores valores promedio en el tamaño de la deformación, sin embargo se habrá de notar que en la especie *Quercus rugosa*, se observan las menores diferencias con respecto a la media. En la especie *Quercus laurina* se distingue el menor promedio en los defectos de torcedura, combado y encorvado.

En cuanto a la deformación por tratamiento, las figuras 4.6, 4.7, 4.8, y 4.9, muestran el centro, la dispersión, la desviación de la simetría y en algunos casos las observaciones que se alejan del resto de los datos. En general, no se aprecia una diferencia amplia entre tratamientos sin embargo, las lecturas con los menores valores se observan para el material con calentamiento en agua, la distribución con una mayor simetría se registra en el defecto de combado y en el material con un tratamiento de calentamiento. El defecto de encorvado y de torcedura, presentan una menor variación en el material sin calentamiento y en el defecto de abarquillado, esta menor variación se observa en el material con calentamiento en agua.

Cuadro 4.10. Valores descriptivos del tamaño del defecto después del secado

Especie	Defecto			
	Torcedura	Abarquillado	Combado	Encorvado
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
<b>Datos generales</b>				
Valor máximo	28	26	27	82
Valor mínimo	6	2	3	2
Promedio	14.8	5.7	10.2	18.8
Mediana	9	5	9	15
Desviación estándar	7.20	3.93	5.76	17.00
Coefficiente de variación	48.48	68.50	56.20	90.57
<i>Quercus candicans</i>				
Valor máximo	25	26	27	82
Valor mínimo	9	2	3	3
Promedio	14.7	7.4	11.9	19.4
Mediana	10	5	9	11
Desviación estándar	8.96	5.48	7.92	18.38
Coefficiente de variación	61.11	74.15	66.67	94.82
<i>Quercus laurina</i>				
Valor máximo	28	7	13	28
Valor mínimo	6	2	3	2
Promedio	13.3	4.8	7.8	14.1
Mediana	11	5	7	16
Desviación estándar	7.28	1.67	3.66	7.83
Coefficiente de variación	59.22	35.14	46.77	55.39
<i>Quercus rugosa</i>				
Valor máximo	23	7	18	80
Valor mínimo	16	2	3	5
Promedio	18.7	4.5	10.3	20.8
Mediana	17	4	10	15
Desviación estándar	3.79	1.5	4.39	19.45
Coefficiente de variación	20.28	33.66	42.62	93.33

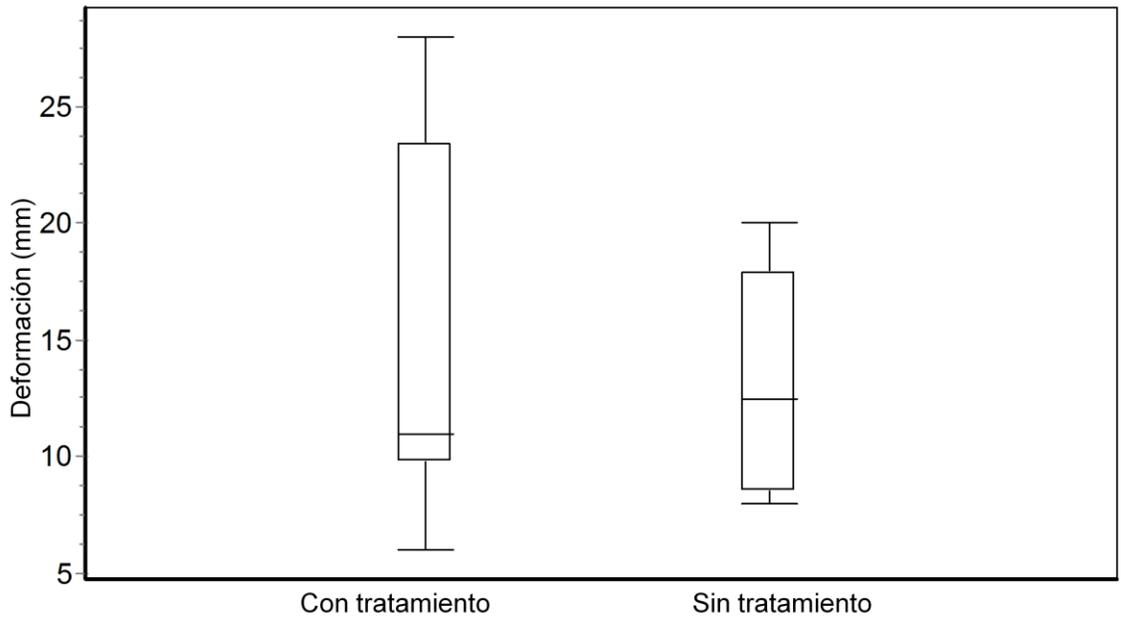


Figura 4.6. Diagrama de caja para el defecto de torcedura

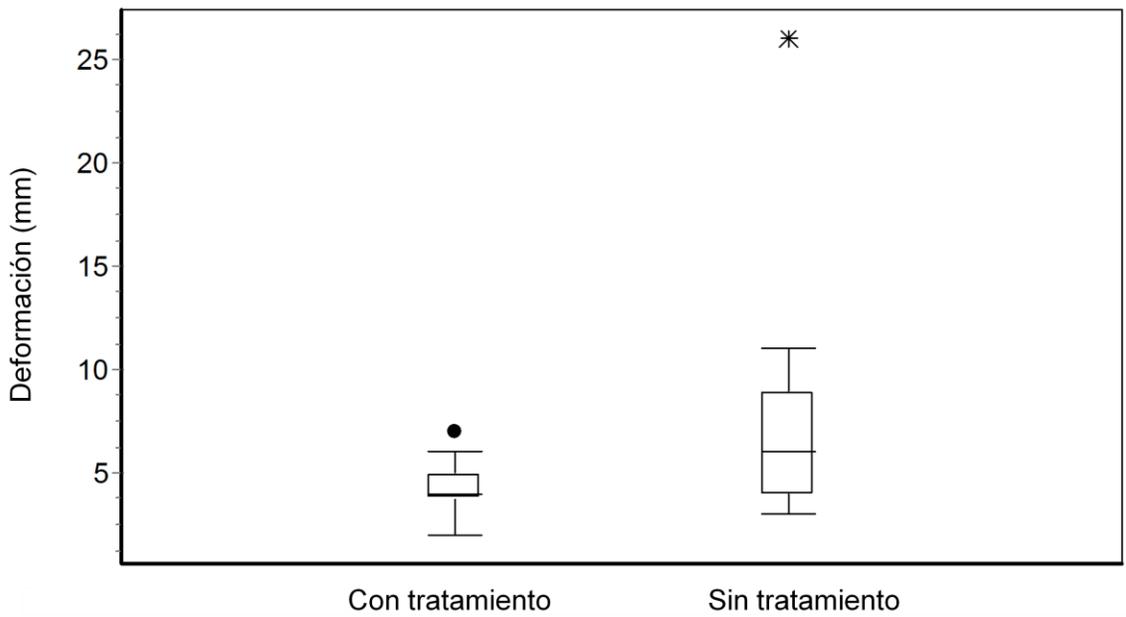


Figura 4.7. Diagrama de caja para el defecto de abarquillado

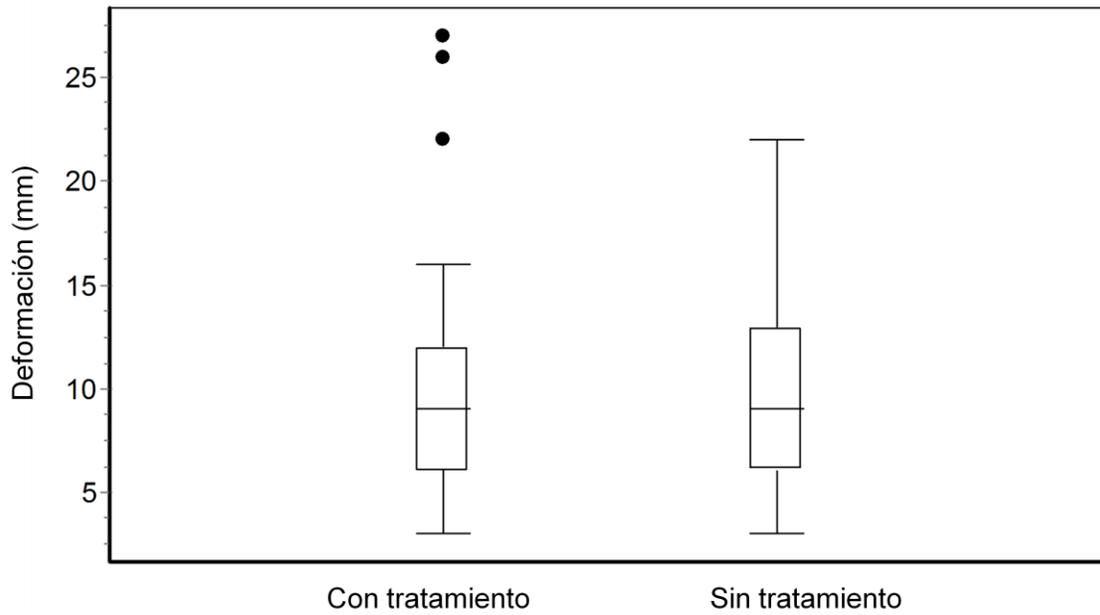


Figura 4.8. Diagrama de caja para el defecto de combado

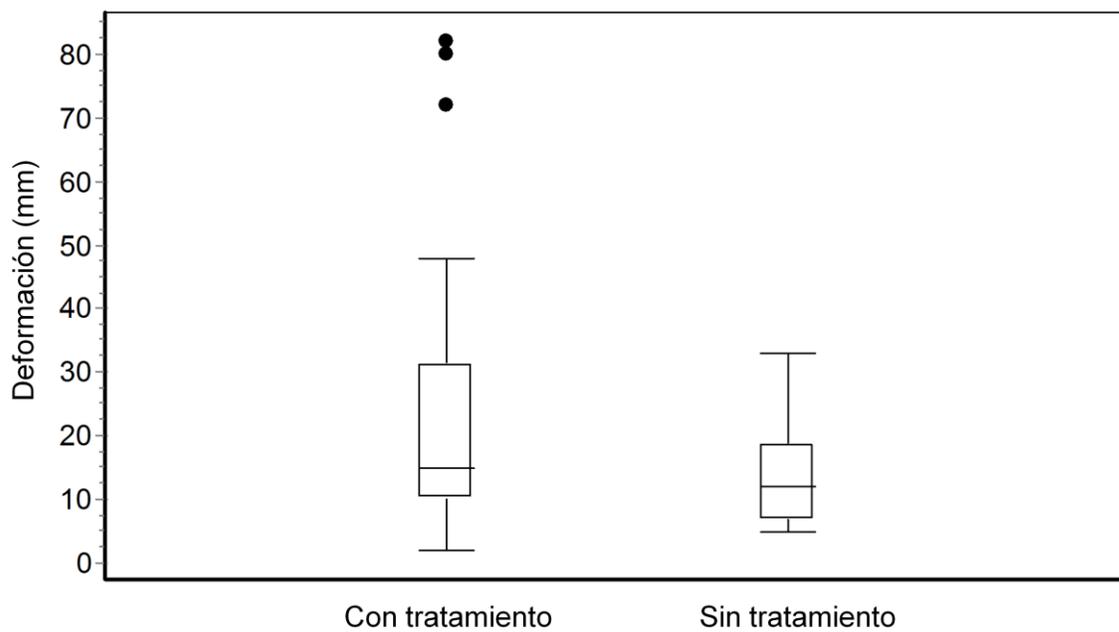


Figura 4.9. Diagrama de caja para el defecto de encorvado

## 5.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1.- Clasificación y deformación de la madera antes y después del secado.

La clasificación inicial de la madera destinada al secado, en su mayoría fueron tablas de Segunda, Tercera y Rechazo (75.41%). Por especie, *Quercus candicans* y *Quercus rugosa*, además de tener clasificaciones de Segunda, Tercera y Rechazo, mostraron registros de tablas de Selecta y Primera. En la especie *Quercus laurina*, sólo se tuvieron clasificaciones de Segunda, Tercera y Rechazo. La clasificación de la tablas cambió después del secado (Cuadro 4.7 y 4.8), causada por la modificación del área de aprovechamiento. La clasificación de la madera, es producto de la normativa que se ha utilizado y que condiciona su aprovechamiento, al área de la cara más pobre que se observe en la pieza, además de la cantidad de cortes que habrán de realizarse para obtener piezas limpias y libres de defectos. Los defectos comúnmente observados antes del secado fueron nudos y grietas superficiales, las grietas que se presentaron son defectos que se desarrollaron durante el tiempo en el que las tablas eran evaluadas después de haber sido cortadas. Este tipo de defecto es frecuente después de que la madera ha sido recién aserrada (Rasmussen, 1980; Dening *et al.*, 2000; Wengert, 2006), las grietas superficiales no fueron eliminadas completamente y otras por el contrario pudieron cerrarse durante el transcurso del secado. En el Cuadro 5.1, se resume la diferencia en el área entre el material con calentamiento agua y sin este tratamiento después de su secado.

Cuadro 5.1. Diferencia en al área por especie con y sin tratamiento de calentamiento en agua

Especie	Diferencia en el área en (m <sup>2</sup> )		
	General	material sin calentamiento	material con calentamiento
<i>Quercus candicans</i>	1.18	0.85	0.33
<i>Quercus laurina</i>	0.23	0.20	0.03
<i>Quercus rugosa</i>	0.79	0.21	0.58
<b>TOTALES</b>	<b>2.20</b>	<b>1.26</b>	<b>0.94</b>

Como ya se ha mencionado, la evaluación en la clasificación de la madera después del secado, puede volverse a modificar al aumentar las unidades de corte y aún más, cuando la deformación no permite la obtención de piezas con un grosor uniforme para un trabajo posterior; para complementar la consecuencia que puede generar la deformación en la tabla, se realizó una tercera evaluación y con esto, se modificó nuevamente la clasificación que se obtuvo después del secado al aumentar el número de cortes. En el Cuadro 5.2, se registran los resultados finales de la madera después de aplicar los cortes adicionales generados por la deformación, puede observarse nuevamente en las especies *Quercus candicans* y *Quercus rugosa*, una reducción en la cantidad de tablas con clasificaciones de Selecta, Primera y Segunda, por otra parte *Quercus laurina*, no muestra cambios en la clasificación que se tuvo después del secado y sí una diferencia notoria, en cuanto al menor aumento en el número de cortes por su deformación con respecto a las otras dos especies.

Cuadro 5.2 Cantidad de tablas (F), proporción (%), cortes totales y cortes adicionales en la clasificación de la madera

CLASIFICACIÓN	Total		Especie					
			<i>Quercus candicans</i>		<i>Quercus laurina</i>		<i>Quercus rugosa</i>	
	F	%	F	%	F	%	F	%
SELECTA	3	4.92	2	9.09	0	0.00	1	4.00
PRIMERA	1	1.64	0	0.00	0	0.00	1	4.00
SEGUNDA	12	19.67	4	18.18	3	21.43	5	20.00
TERCERA	23	37.70	9	40.91	5	37.71	9	36.00
RECHAZO	22	36.07	7	31.82	6	42.86	9	36.00
Cortes totales después del secado.	205		71		50		84	
Cortes totales adicionales por deformación.	73		33		4		36	

La evaluación en algunos trabajos en cuanto a la clasificación de la madera, se han hecho por la proporción en el volumen que puede aprovecharse después del secado y el volumen de la madera recién aserrada. Ward y Groom (1983), obtuvieron rendimientos de un 72.2% y 64.5% en madera de encino rojo que fue

secada en un horno convencional con un programa medio y uno acelerado respectivamente. Los resultados obtenidos por Dennis *et al.*(1986), presentaron un 87% para madera clasificada como Selecta y de 92% para madera clasificada como No. 1 en especies de encinos rojos. En las especies de encinos blancos, los resultados fueron de un 96% para madera clasificada como Selecta y de 97% para madera clasificada como No. 1. Ward y Simpson (1987), encontraron también en una prueba de comparación con madera de encino rojo del noreste, diferencias en el volumen de sólo un 0.5% (99.5%) en tablas con una clasificación de Selecta y de 0.6% (99.4%), en tablas con clasificación de No. 1, aunque en este caso se utilizó un programa de secado con temperaturas iniciales de 32°C. En este trabajo en el Cuadro 5.3, se muestra las diferencias en el volumen después del secado.

Cuadro 5.3. Diferencia en el volumen comercial por especie con y sin tratamiento de calentamiento en agua

Especie	Diferencia en proporción(%) del volumen de la madera seca entre el volumen de madera verde					
	General (p.t)	%	material con calentamiento (p.t)	%	material sin calentamiento (p.t.)	%
<i>Quercus candicans</i>	7.0	87	1.4	93	5.6	84
<i>Quercus laurina</i>	1.1	95	0.1	99	1.0	91
<i>Quercus rugosa</i>	5.3	90	4.3	86	1.0	96
<b>TOTALES</b>	<b>13.4</b>	<b>90<sup>a</sup></b>	<b>5.8</b>	<b>90<sup>a</sup></b>	<b>7.6</b>	<b>89<sup>a</sup></b>

a.- Valores correspondientes al total del volumen de madera

La comparación de los resultados del Cuadro 5.3 con los mencionados anteriormente, muestran valores cercanos y se ubican en el rango de variación con excepción de los de Ward *et al.* (1987), esta diferencia puede comprenderse por las condiciones de secado que en su prueba se utilizaron.

En cuanto a la deformación de la madera y por el modo en el que fue realizado el aserrado (cortes tangenciales), existe una mayor tendencia a las deformaciones (Simpson, 1991), también hay la influencia por la presencia de madera de tensión (Kollman y Côte, 1968) y madera juvenil del centro del árbol que pueden generar una mayor presencia de defectos de combado, encorvado y

torcedura (Dening *et al.*, 2000). Antes del secado las deformaciones fueron pequeñas apenas perceptibles y en general desestimables, por el contrario después del secado, la magnitud en las deformaciones, aumenta considerablemente tanto para el material con calentamiento en agua como para el material sin este tratamiento. En relación con los resultados que se han obtenido, los valores promedio en las deformaciones comparados con los de Béjar (1983), muestran para la especie *Quercus laurina*, valores tres veces mayores en los defectos de torcedura y abarquillado; mientras que en el defecto de encorvado, la diferencia entre el promedio es mayor en 0.25 mm; en la especie *Quercus candicans*, los valores promedio también tienen lecturas mayores, de 11 mm en el defecto de torcedura, de 6.4 mm en el defecto de abarquillado y de 4.78 mm en el defecto de encorvado. Por otro lado, Razo (1990) obtuvo un promedio general para las diferentes especies de encino y su comparación del promedio general con estos resultados, registra un valor menor de 0.41 mm en el defecto de torcedura, en el defecto abarquillado y encorvado, obtiene también valores menores de 0.69 mm y de 8.53 mm respectivamente. Es claro que en esta prueba en general y considerando los datos disponibles, la deformación promedio es mayor con los datos comparados y puede atribuirse en gran medida a las diferencias en los programas de secado que se ha utilizado, de forma particular por las condiciones de las primeras etapas en los programas.

Las unidades promedio de corte por clasificación (Cuadros 4.1 y 4.7) son modificadas por los cortes adicionales por deformación (Cuadro 5.2) y permiten dimensionar el tamaño en la deformación de la madera; en el Cuadro 5.4, se muestra un comparativo en el promedio de unidades de corte de este trabajo con el de Zavala (1999). Los datos disponibles, dejan ver un aumento mayor en el promedio en las unidades de corte después del secado en las especies de alta y baja densidad (16.78% y 11.63%), mientras que para la madera de encino los valores promedio son menores en dos de las tres especies, esto puede sugerir una mayor proporción de tablas con una clasificación más alta, el menor aumento en la proporción en el promedio de unidades de corte después del secado, fue en

en la especie *Quercus candicans* con un 2.87%, *Quercus rugosa* presentó el 10.52% y la especie *Quercus laurina* un 19.00%.

Cuadro 5.4. Comparativo en el promedio general de unidades de corte de la madera de encino y especies de alta y baja densidad

<b>Especie</b>	<b><i>Quercus candicans</i></b>	<b><i>Quercus laurina</i></b>	<b><i>Quercus rugosa</i></b>	<b>Especies de densidad alta</b>	<b>Especies de densidad baja</b>
Promedio de unidades de corte antes del secado.	3.13	3.00	3.04	2.74	2.75
Promedio de unidades de corte después del secado.	3.22	3.57	3.36	3.20	3.07
Promedio de unidades de corte después de la evaluación por deformación.	4.72	3.85	4.80	S/D	S/D

S/D : sin datos

## 5.2.- Etapa del calentamiento de la madera en agua.

Los resultados mostrados en los gráficos de la etapa de calentamiento, permiten comparar el comportamiento de la temperatura entre el agua y la madera, se confirma su baja conductividad térmica, que es causada por la escasez de electrones libres y de su porosidad (Kollman *et al.*, 1968). En el comportamiento de la temperatura entre especies, se observan diferencias durante el transcurso del calentamiento, estas diferencias pueden atribuirse también a la desigualdad en la densidad entre el género, la especie, además de las diferencias en la tabla misma, a2 la proporción de albura y duramen y a la influencia de la ubicación de las tablas en el recipiente.

La propiedad que tiene la madera al mantenerse en el agua o en soluciones líquidas durante un periodo de tiempo, provoca el fenómeno de adsorción capilar (Rodríguez, 1998), provocando un hinchamiento en la madera y llenando nuevamente las cavidades celulares que habrían quedado vacías (Kollman *et al.*,

1968) y por consiguiente aumentando la humedad de las tablas. El aumento de humedad o de agua en la madera, generó el aumento en su peso; ésta diferencia en el peso de las piezas, se considera que está sujeta a la pérdida de humedad que tuvo cada pieza antes del calentamiento, además de la proporción de albura y duramen, de la densidad por el tipo de especie y en la misma pieza y de las diferencias en su estructura anatómica. Los elementos expuestos anteriormente, reflejan también esta poca concordancia en el aumento en el peso y en la relación del área de la pieza con respecto a su volumen (Figura 5.1).

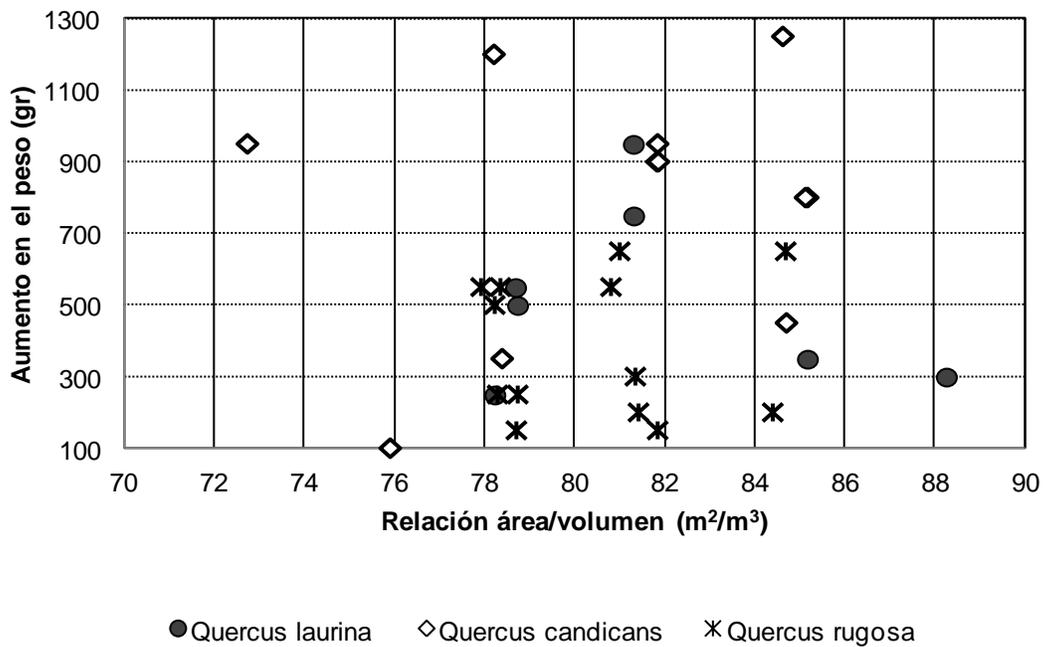


Figura 5.1. Relación del aumento en el peso y la relación entre superficie/volumen de cada pieza después del calentamiento en agua

### 5.3.- Pérdida de humedad durante el secado de la madera con calentamiento en agua y sin este tratamiento.

La disminución en el promedio del contenido de humedad en el tiempo, no muestra diferencias relevantes para las probetas con calentamiento en agua (Figura 5.2), aún a pesar de la diferencia que se ha presentado en la especie *Quercus rugosa*. La disparidad, puede atribuirse a los mayores contenidos de humedad para las probetas con calentamiento, a una mayor proporción del duramen o mayor ancho que provoca una menor velocidad en el secado y al tipo de corte que habría de predominar en las probetas (Simpson, 1991), además del comportamiento de las condiciones de la cámara durante el secado. Una comparación en la disminución del contenido de humedad durante el secado, puede realizarse utilizando la proporción del cambio parcial en el contenido de humedad y el cambio total que se haya presentado en la probeta (Simpson y Baltes, 1972).

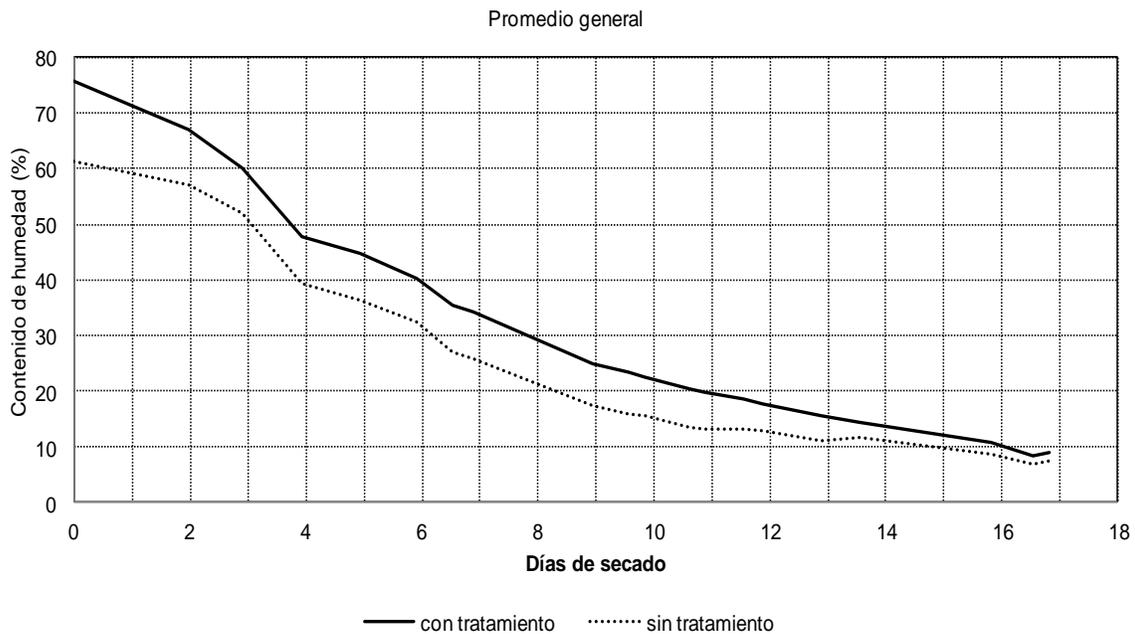


Figura 5.2. Promedio general de las probetas de control

El cambio parcial en el contenido de humedad puede observarse en la figura 5.3. y en la que puede apreciarse en las primeras etapas del secado, una mayor proporción en la disminución del contenido de humedad para el material con calentamiento, se destaca también una menor diferencia entre ambos promedios durante la parte inicial y final de todo el periodo, en el caso de la parte inicial, la disminución en el cambio parcial puede acusarse a irregularidades en el funcionamiento de la estufa durante el secado. Al considerar que pueda existir una mayor proporción de duramen en las probetas con calentamiento en agua, es posible que se vea favorecido el secado con este tratamiento, además de las características anatómicas que el género tiene y que afectan su permeabilidad (De la Paz Pérez y Aguilar, 1978). Por otro lado, el tiempo de traslado de la madera calentada en agua y de su preparación para el secado, habrían provocado una disminución en su temperatura, alcanzando una temperatura similar a la madera sin calentamiento en agua, condición que no permitiría tener un mayor efecto del calentamiento durante el secado.

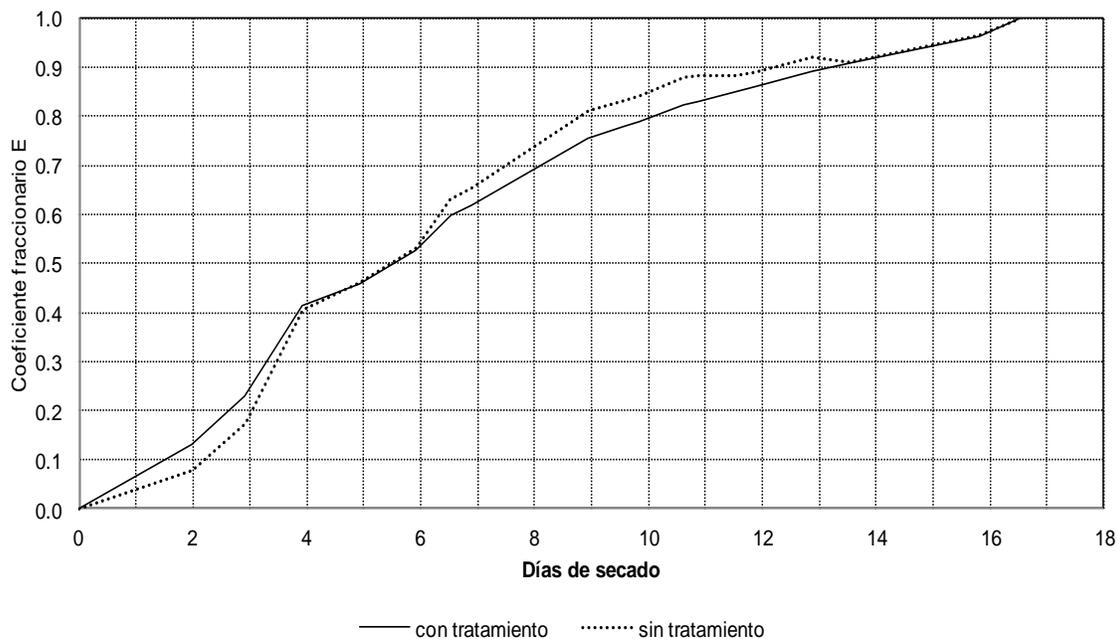


Figura 5.3.- Fracción de humedad promedio eliminada (E) por tratamiento

Aunque no se presente de una forma clara una reducción en el tiempo de secado para el material con calentamiento, en la comparación en la modificación de las áreas con posibilidad de aprovecharse, sí se registra una mayor superficie de aprovechamiento para el material con este tratamiento (Cuadro 5.3), al menos en dos de las tres especies(encinos rojos), por lo que puede inferirse una disminución en el gradiente de secado en las tablas, provocando con esto un menor desarrollo de las grietas superficiales.

En un proceso tradicional de corte en la obtención de la madera aserrada de encino, en gran medida es inevitable la presencia de duramen en la mayoría de las tablas, producto de una mayor proporción en los troncos con mejor posibilidad de ser aprovechados, al presentarse estas condiciones resulta útil prever la realización de pruebas adicionales con un calentamiento y un proceso de secado artificial con madera de duramen. La reducción del tiempo entre el término del calentamiento y el inicio del secado, toma importancia para aprovechar la temperatura que pueda tener la madera al iniciar el secado en estufa (Zavala *et al.*, 1998); el secado en estufa convencional, puede permitir modificar las condiciones de la cámara, igualmente hacerlo separando el material con calentamiento y realizarlo únicamente del material con este tratamiento, también efectuar un calentamiento en madera con menores contenidos de humedad y observar sus efectos o bien realizar trabajos en probetas de menores dimensiones (Herrera, 1996).

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La madera que fue destinada a un calentamiento en agua, presentó un aumento en el peso y por consiguiente en su contenido de humedad.

Bajo las condiciones expuestas y realizadas en este trabajo, de forma general, no es apreciable o considerable, una reducción en el tiempo total del secado en la madera de encino con un calentamiento en agua.

Con relación a la clasificación, la madera con un calentamiento en agua presentó una menor disminución en el área de aprovechamiento, es claro también, que resulta conveniente realizar una clasificación antes y después de su secado, el periodo o frecuencia queda sujeto a las circunstancias particulares del lugar y condiciones del proceso; puede inferirse además, que será más adecuado secar en estufa convencional madera con una clasificación más alta.

En cuanto a la etapa de calentamiento, la variación en los periodos de tiempo y de temperatura, permitirán definir hasta dónde son de utilidad en su aplicación. El complemento para esta etapa, es la modificación o adaptación de los programas de secado, por lo que en posteriores trabajos además de lo anterior, sería útil incluir las diferentes técnicas de secar la madera de forma artificial.

No se observa de una forma clara una diferencia en la magnitud de los defectos entre la madera sin calentamiento y con este tratamiento, sin embargo, la alta deformación que se presenta, ofrece la oportunidad de experimentar con elementos adicionales y poder intentar disminuirla, de forma particular con la madera tratada en agua caliente.

La disponibilidad del material que pueda limitar la realización de réplicas, puede subsanarse con la experimentación de material con dimensiones más pequeñas.

## BIBLIOGRAFÍA

Andrade, A.(1990). Anatomía y secado de la madera de dos especies de madroño (*Arbutus xalapensis* y *Arbutus glandulosa*) del municipio de Morelia. Morelia, Michoacán: Tesis profesional, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la madera.

Anuario Estadístico de la Producción Forestal.(2014). México, D.F.: SEMARNAT.

Ávila Suárez, C.G.(1991). Secado en estufa de la madera aserrada de 2.54 cm de espesor de *Quercus acutifolia*. Revista de Ciencias Forestales en México. Vol. 16. Num. 69. pp.93-106.

Baltes, R.C., Simpson, W.T.(1972). Accelerating Oak air drying by presurfacing. Forest Products Laboratory. Research note FPL-0223. 12 p.

Banchrich, J.L. (1980). Dry Kiln Handbook. Vancouver. Canada. H.A. Simons (International) Ltd.

Béjar Maldonado, G.(1983). Secado de la Madera aserrada de Encino. Ciencia Forestal. Vol.3. No.42. pp. 37-63.

De La Paz Pérez, C. y Aguilar, Ma. de L. (1978). Diferencias morfológicas externas y anatómicas de la madera de los encinos blancos y rojos. México: Bol. Téc. Inst. Nac. Invest. For. No. 59.

Dening, J., Wengert, E. y Simpson, W. (2000). Drying Hardwood Lumber. Madison, WI., US: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Dennis, K., Blankenhorn, P., Labosky, P., Rishel, L. (1986). A Drying Study of 4/4 Lumber from gypsy moth-killed Red and White Oak. Forest Products Journal. Vol.36. No.10. pp.41-46.

Dirección de Desarrollo Industrial. (1991). Proyecto de Norma de Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas. Subsecretaría Forestal. SARH. México.

Dirección General de Normas. NOM-EE-95-1980, Envase y Embalaje .-Madera.- Determinación de los defectos en maderas aserradas y cepilladas. México.

Elías Sosa, L. (1983). Evaluación del secado de madera de cinco especies de encino del Estado de Michoacán. Morelia, Michoacán: Tesis profesional, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Escobedo Torres S.M.(2005). Propiedades Físico Mecánicas y Proceso de Secado de *Arbutus xalapensis* (madroño). Morelia, Michoacán: Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Fernández Flores, G. (1962). El Estufado de la Madera. México D.F.: Talleres de Unión Gráfica.

Herrera Ferreyra, M.A. (1996). Efecto de la inmersión de la madera en agua sobre su permeabilidad. Valdivia, Chile: Tesis Profesional, Universidad Austral de Chile.

Kollmann, F.F. y Côte, W.A. (1968). Principles of Wood Science and Technology. (vols. 1-3). Berlin, Alemania. Springer-Verlang.

McMillen, J. (1969). Accelerated Kiln Drying o Presurfaced 1-inch Northern Red Oak. US: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Razo Herrera, R. (1990). Estudio de secado de varias especies nacionales mediante el sistema MOORE. Morelia, Michoacán: Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Rodríguez Barreal, J.A. (1998). Patología de la Madera. Madrid, España:Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundi-Prensa.

Rasmussen, F.E.(1980). Dry Kiln Operator's Manual. Madison, WI:U.S. Department of Agriculture. Forest Service.

Simpson William, T. (1975). Effect of Steaming on the Drying Rate of Several Species of Wood. Wood since, Vol.7 No.3,pp. 247-254.

Simpson William, T.(1976). Steaming Northern Red Oak to Reduce Kiln-Drying Time. Forest Products Journal. Vol.26. No.10. pp. 35-37.

Simpson William, T. (1980). Accelerating the Kiln Drying of Oak. Forest Products Laboratory. Research paper. FPL 378. 9p.

Simpson William, T. (1991). Dry Kil Operator's Manual. Madison, WI., US: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Vásquez, S.M. (1999). Tratamientos de sonido, hervido y vaporizado de la Madera, parte 1: Efecto en permeabilidad. Maderas: Ciencia y Tecnología.Vol.1. No.2. pp. 15-21.

Ward, J., William, S. (1987). Comparison of Four Methods for Drying Bacterially Infected and Normal Thick Red Oak. Forest Products Journal. Vol.37. No.11/12.pp.15-22.

Ward, J., Groom, D. (1983). Bacterial Oak: Drying problems. Forest Products Journal. Vol.33. No.10. pp.57-65.

Wengert, E. (2006). Principles and practices of Drying Lumber. Blacksburg, U.S.: Lignomat USA Ltd.

Zavala Zavala, D.(1998), Bocanegra Ojeda, S., González Jiménez, M., Análisis del efecto del precalentamiento en agua en el proceso de secado de la Madera de encinos. Ciencia y Tecnología de la Madera. Vol.1. Epoca 2. pp.10-25.

Zavala Zavala, D., Lara Rubio, M.(1998), Análisis del proceso de ablandamiento de trocería de encinos para la producción de chapa para Madera contrachapada (triplay). Madera y Bosques. Volumen 4. No.1. pp.53-64.

Zavala Zavala, D.(2000), Secado de maderas tropicales en estufas convencionales. Madera y Bosques. Volumen 6. No.1. pp.41-54.

## ANEXO 1

Extracto del anteproyecto de norma de clasificación de madera aserrada de latifoliadas (1992).

## **6. ESPECIFICACIONES PARA MADERA DE LARGAS DIMENSIONES**

La clasificación de la madera aserrada de latifoliadas se basa en el porcentaje de superficie sin defectos en la cara limpia, correspondiendo una mayor calidad a las tablas de dimensiones más grandes y con menos defectos.

La calidad de una tabla se determinará en la cara más pobre o con más defectos, con base en los siguientes criterios para cada una de las clases establecidas:

### **6.1. Tablas y Tablones de Clase Selecta**

6.1.1. Ancho: 20 cm y más

6.1.2. Largo: 2.44 m y más

6.1.3. Rendimiento:

El porcentaje de la cara de la tabla que se clasifica debe generar un 91.66% de superficie libre de defectos, como se indica a continuación:

De 0.49 m<sup>2</sup> a 0.84 m<sup>2</sup>, admite un corte.

De 0.93 m<sup>2</sup> a 1.30 m<sup>2</sup>, admite dos cortes.

De 1.39 m<sup>2</sup> y más, admite tres cortes.

Las dimensiones de los cortes deben ser de 10 cm x 1.50 m ó de 7.5 cm x 2.14 m (4" x 5' y 3" x 7' respectivamente).

### **6.2. Tablas y Tablones de Primera**

6.2.1. Ancho: 15 cm y más

6.2.2. Largo: 1.83 m y más

6.2.3. Rendimiento:

El porcentaje de la cara de la tabla que se clasifica debe generar 83.33% ó 91.66% de superficie libre de defectos, en función del número de cortes permitidos, como se indica a continuación:

De 0.28 m<sup>2</sup> a 0.46 m<sup>2</sup>, admite un corte para generar 83.33%.

De 0.56 m<sup>2</sup> a 0.65 m<sup>2</sup>, admite un corte para generar 83.33%.

De 0.74 m<sup>2</sup> a 1.02 m<sup>2</sup>, admite dos cortes para generar 83.33%.

De 1.12 m<sup>2</sup> a 1.39 m<sup>2</sup>, admite tres cortes para generar 83.33%.

De 1.49 m<sup>2</sup> y más, admite cuatro cortes para generar 83.33%.

Las tablas con 0.56 m<sup>2</sup> a 1.49 m<sup>2</sup> ó más, admiten otro corte adicional al indicado, para generar un 91.66% de cara limpia.

Las dimensiones de los cortes deben ser de 10 cm x 1.50 m ó de 7.5 cm x 2.14 m.(4" x 5' y 3" x 7').

### **6.3. Tablas y Tablones de Segunda**

6.3.1. Ancho: 10 cm y más

6.3.2. Largo: 1.83 m y más

6.3.3. Rendimiento:

El porcentaje de la superficie de la cara que se clasifica debe ser de 66.66% o de 75%, como se indica a continuación:

De 0.19 m<sup>2</sup> la superficie debe estar limpia.

De 0.28 m<sup>2</sup> y 0.37 m<sup>2</sup>, admite un corte para generar 66.66%.

De 0.47 m<sup>2</sup> a 0.65 m<sup>2</sup>, admite dos cortes para generar 66.66%.

De 0.74 m<sup>2</sup> a 0.93 m<sup>2</sup>, admite tres cortes para generar 66.66%.

De 1.02 m<sup>2</sup> a 1.21 m<sup>2</sup>, admite cuatro cortes para generar 66.66%.

De 1.30 m<sup>2</sup> y más, admite cinco cortes para generar 66.66%.

Las tablas de 0.28 m<sup>2</sup> a 0.65 m<sup>2</sup>, admiten un corte adicional al indicado para generar un 75% de superficie limpia.

Las dimensiones de los cortes deben ser de 10 cm x 0.60 m, ó de 7.5 cm x 0.9 m. (4" x 2' y 3" x 3').

### **6.4. Tablas y Tablones de Tercera**

6.4.1. Ancho: 7.5 cm y más

6.4.2. Largo: 1.83 m y más

6.4.3. Rendimiento:

El porcentaje de la superficie de la cara que se clasifica debe ser de 50% y de 66.66%, como se indica a continuación:

De 0.14 m<sup>2</sup> y 0.28 m<sup>2</sup>, admite un corte para generar 50%.

De 0.37 m<sup>2</sup> y 0.46 m<sup>2</sup>, admite dos cortes para generar 50%.

De 0.56 m<sup>2</sup> a 0.65 m<sup>2</sup>, admite tres cortes para generar 50%.

De 0.74 m<sup>2</sup> a 0.84 m<sup>2</sup>, admite cuatro cortes para generar 50%.

De 0.93 m<sup>2</sup> a 1.02 m<sup>2</sup>, admite cinco cortes para generar 50%.

De 1.12 m<sup>2</sup> a 1.21 m<sup>2</sup>, admite seis cortes para generar 50%.

De 1.30 m<sup>2</sup> y más, admite siete cortes para generar 66.66%.

Las tablas de 0.14 m<sup>2</sup> a 0.65 m<sup>2</sup>, admiten otro corte adicional al indicado para generar un 66.66% de cara limpia.

Las dimensiones de los cortes deben ser de 7.5 cm x 0.60 m.(3" x 2').

## **6.5. Tablas y Tablones de Rechazo**

6.4.1. Ancho: 5 cm y más

6.4.2. Largo: 1.83 m y más

6.4.3. Rendimiento:

El porcentaje de la superficie de la cara que se clasifica debe ser de 33%, como se indica a continuación:

De 0.09 m<sup>2</sup> y más, sin límite de cortes.

## MÉTODO PARA CLASIFICAR MADERA ASERRADA DE LATIFOLIADAS

- 1.- Determinar la especie.
- 2.- Determinar la medida de superficie (M.S.)de la tabla, multiplicando el ancho por el largo cuyo resultado será en metros cuadrados.
- 3.- Identificar la cara más pobre de la tabla (con más defectos), la clase será determinada por dicha cara.
- 4.- Definir tentativamente la clase de la tabla, identificando el porcentaje mínimo requerido de superficie de cara limpia.
- 5.- Determinar el número de cortes limpios de la tabla y corroborar si está dentro del número de cortes permitidos según la clase propuesta inicialmente.
- 6.- Comprobar si se cumple con el tamaño mínimo de los cortes limpios que se indican para cada clase (ver parte inferior descuadro resumen).
- 7.- Determinar el área de cada uno de los cortes limpios en la tabla según la clase previamente establecida y sumarlas.
- 8.- Determinar si la suma de las áreas de cortes limpios de la tabla, cumple con el porcentaje mínimo requerido de cara limpia de la clase inicialmente establecida.

## ANEXO 2

EXTRACTO DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-EE-95-1980

ENVASE Y EMALAJE.-MADERA.-DETERMINACIÓN DE LOS DEFECTOS EN  
MADERAS ASERRADAS Y CEPILLADAS.

4.3 Medición de los defectos originados en el aserrado y por deficiencia en el secado.

4.3.1. Alabeo.-Se mide de acuerdo con los procedimientos siguientes:

4.3.1.1. Abarquillado.- Se mide la desviación máxima, en milímetros, que presenta una cara con respecto a una línea recta trazada por sus aristas (véase figura 12).

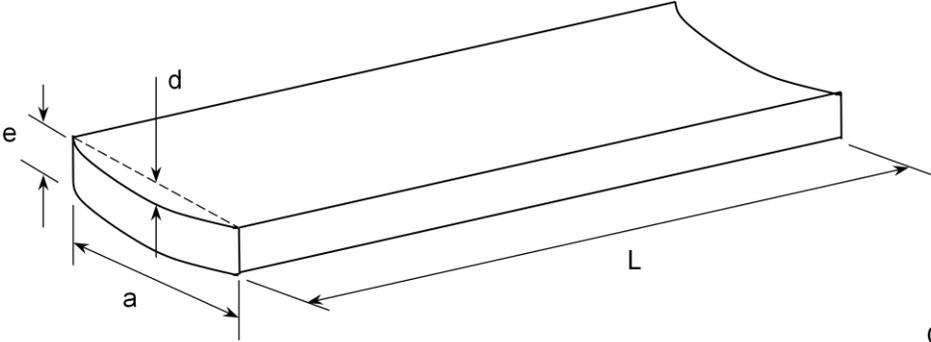
4.3.1.2. Combado.- Se mide la desviación máxima, en milímetros, que presenta una cara con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de las piezas (véase figura 13).

4.3.1.3. Encorvadura.- Se mide la desviación máxima, en milímetros, que presenta una cara con respecto a una línea recta trazada por las cabezas de las piezas (véase figura 14).

4.3.1.4. Torcedura.- Se mide la distancia, en milímetros, de una esquina de la pieza a una superficie plana sobre la cual están apoyadas las otras tres esquinas (véase figura 15).

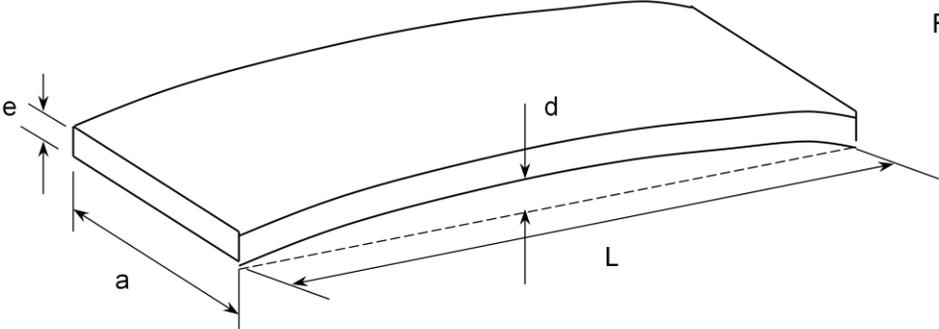
Abarquillado

Figura 12



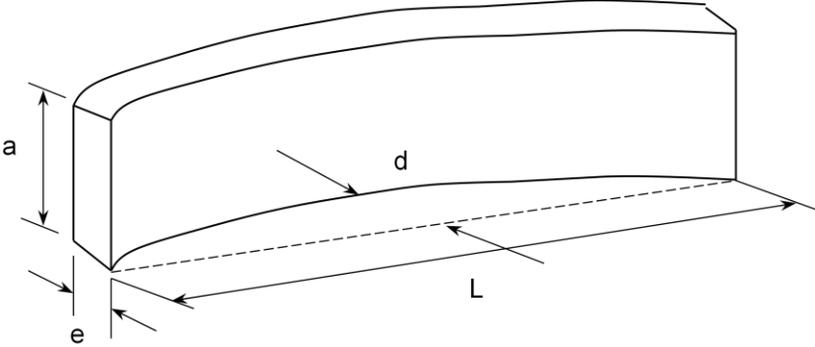
Combado

Figura 13



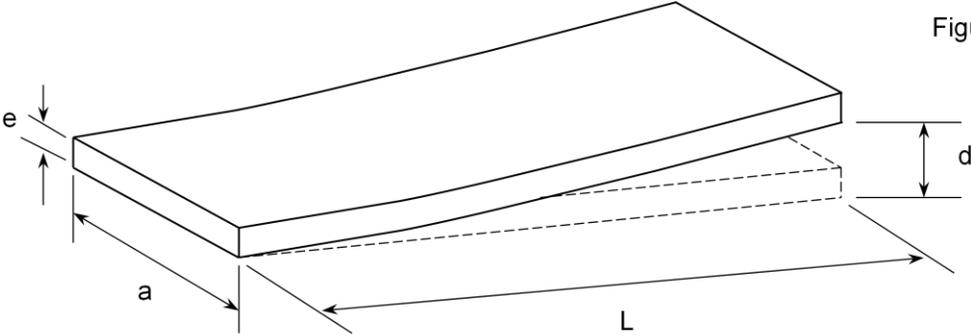
Encorvadura

Figura 14



Torcedura

Figura 15



## ANEXO 3

Programa de secado base para el secado en estufa convencional.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES

SECCIÓN SECADO DE LA MADERA

Programa: Especial Modificado

Objetivo: Secar madera aserrada de encino de hasta 1”

Secado: A-80-2

Contenido de humedad inicial: 60 a 70%

Contenido de humedad final: 10%

Etapa	Contenido de humedad %	Temperatura		Contenido de humedad en equilibrio %	Humeda relativa %	Tiempo estimado (horas)
		Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)			
Calentamiento		76.6	75.5	19.4	95	5
1	> 50	43.3	41.1	17.5	87	42
2	50 a 40	43.3	40.5	16.2	84	50
3	40 a 35	43.3	38.8	13.3	75	50
4	35 a 30	43.3	35.5	9.3	60	24
5	30 a 25	48.8	32.2	5.4	31	24
6	25 a 20	54.4	32.2	3.8	21	28
7	20 a 15	60.0	32.2	2.6	14	42
8	15 a final	82.2	54.4	3.3	26	48
Igualamiento		82.2	65.5	6.5	54	
Acondicionamiento		82.2	76.6	11.3	79	

## ANEXO 4

Programa utilizado para el secado en estufa convencional.

Etapa	Contenido de humedad %	Temperatura		Contenido de humedad en equilibrio %	Humeda relativa %
		Bulbo seco (°C)	Bulbo húmedo (°C)		
Calentamiento		76.6	75.5	19.4	95
1	> 50	43.3	38.8	13.3	75
2	50 a 40	43.3	38.8	13.3	75
3	40 a 35	43.3	38.8	13.3	75
4	35 a 30	43.3	35.5	9.3	60
5	30 a 25	48.8	32.2	5.4	31
6	25 a 20	54.4	32.2	3.8	21
7	20 a 15	60.0	32.2	2.6	14
8	15 a final	82.2	54.4	3.3	26
Igualamiento					
Acondicionamiento		82.2	76.6	11.3	79