

# SECADO DE MADERAS TROPICALES EN ESTUFAS CONVENCIONALES

David Zavala Zavala<sup>1</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de agrupar especies de maderas tropicales que se pudiesen secar con una misma secuela para hacer más práctico el uso de estufas convencionales. Para este estudio se utilizó la madera aserrada de 34 especies tropicales en dos grupos con base en su densidad, 17 especies de 300 a 600 kg/m<sup>3</sup>, y 17 de 600 a 900 kg/m<sup>3</sup>. A cada uno de los grupos se le formuló una secuela de secado, que se evaluó en una estufa convencional, analizando los defectos de cada tabla, antes y después del secado (rajaduras, torceduras, acanalamiento, arqueamiento y encorvado). Las dos secuelas aplicadas generaron resultados favorables al no presentarse defectos significativos debidos al proceso de secado. En el grupo de especies de densidad menor de 600 kg/m<sup>3</sup>, 10 se secaron más rápido que las otras siete, por lo que se podrían subagrupar para optimizar las estufas aplicándoles otra secuela más rápida; siete de las especies con densidad mayor de 600 kg/m<sup>3</sup> se secaron en aproximadamente la mitad del tiempo (10-14 días) en relación a las otras 10, siendo posible subagruparlas también para optimizar las estufas. De no ser factible reagrupar a las especies en cada categoría se sugiere que coincidan los contenidos de humedad y las dimensiones de la madera en cada uno de los dos grupos de especies analizados para lograr un proceso lo más uniforme posible.

**Palabras clave:** Defectos, especies tropicales, estufas convencionales, industria forestal, secado, secuelas.

## ABSTRACT

In order to make feasible the drying process in conventional kilns of tropical wood species, this study was performed with the goal to integrate groups that could be dried with the same schedule. The sawn lumber of 34 tropical species were

Fecha de recepción: 22 de febrero de 1999.

Fecha de aceptación: 4 de diciembre de 2001

<sup>1</sup> INIFAP CENID-COMEF, Av. Progreso No. 5 Viveros de Coyoacán, C.P. 04110 México, D.F.  
Correo-e: zavalad@inifap2.inifap.conacyt.mx

integrated in two groups according to their density. 17 species with density of 300 to 600 kg/m<sup>3</sup>, and 17 with 600 to 900 kg/m<sup>3</sup>. A drying schedule was formulated for each group that was evaluated in a conventional kiln, analyzing the defects of each board before and after the drying process (checks, twist, cup, bow and crook). In general, the two schedules applied to the two groups of species were adequate since no significant defects due to the drying process were observed. In the group of species with density below 600 kg/m<sup>3</sup>, 10 of them dried faster than the other 7, which suggest the possibility of subgrouping them to optimize the use of the dry kilns applying to them a faster schedule. The species with density higher than 600 kg/m<sup>3</sup>, 7 of them dried at approximately half of the time (10 - 14 days) than the other 10, which could also be subgrouping to optimize the use of the dry kilns. If it is not possible to regroup the species within each category, to achieve a uniform process it is suggested to integrate the lumber with similar moisture content and dimensions in each one of the two groups analyzed in this study.

**Key words:** Defects, tropical species, conventional kilns, forest industries, drying, schedules.

## INTRODUCCIÓN

La madera que se obtiene a través del aserrijo de las trozas generalmente contiene gran cantidad de agua que requiere eliminarse antes de ser procesada para la elaboración de la mayoría de los productos. Los procedimientos para eliminar el exceso de agua son muy variados, que incluyen desde la condición secante del medio (secado al aire libre), las estufas de secado en sus diferentes modalidades, estufas convencionales, solares, dehumidificadores, de vacío, hasta los que utilizan micro-ondas u ondas de alta frecuencia. Se considera que la forma tradicional y más recomendable de realizar el secado de la madera en estufas es formando cargas uniformes de una misma especie, con dimensiones y contenido de humedad similares; sin embargo, en las maderas tropicales no siempre es factible adoptar este principio. Algunos problemas del secado en estufa de las maderas tropicales son el gran número de especies con características tecnológicas diferentes; la dificultad de contar con volúmenes adecuados de una misma especie, que permitan adaptar los procesos de secado (secuelas) a una madera específica; el alto costo del proceso que determina la capacidad rentable de las estufas y limita su utilización a volúmenes pequeños. Una alternativa para contrarrestar estas limitantes es formar grupos de especies con características tecnológicas semejantes, para integrar volúmenes acordes a las capacidades de las estufas, a los que se les puedan aplicar las mismas secuelas de secado. Algunas propiedades tecnológicas de la madera que pueden utilizarse como indicadores para agrupar estas especies son las características físico-anatómicas, como la densidad, el contenido de humedad, la permeabilidad,

las contracciones (anisotropía), el tamaño y distribución de los vasos, la orientación del hilo, etc. Las especies que integren cada grupo se podrán secar bajo condiciones similares, esperándose también un comportamiento semejante en cuanto a la calidad del secado o al desarrollo de posibles defectos ocasionados por el proceso, como rajaduras, torceduras, acanalamiento, apanamiento, etc. En este trabajo se determinaron secuelas de secado aplicables a grupos de especies tropicales mexicanas, considerando la afinidad de algunas de sus características tecnológicas.

Se considera que la forma tradicional y más recomendable de realizar el secado de la madera en estufas, es formando cargas de una misma especie con dimensiones y contenido de humedad similares. Siguiendo ésta práctica y con base en los trabajos de Bramhall (1975), Bramhall y Wellwood (1976), Pratt (1974), Rasmussen (1968) y Simpson (1991) en el laboratorio de secado de la madera del INIFAP se determinaron secuelas para distintas especies tropicales mexicanas (Cuadro 1).

Algunas secuelas desarrolladas en otros países para especies tropicales coinciden con las que vegetan en México o con algunas de sus características tecnológicas del género o de la especie (Cuadro 2) (Boone, *et al.*, 1988 y Hildebrand, 1970).

Como se señaló anteriormente, lo más recomendable para secar en estufa maderas tropicales es agrupar especies con características afines. La adopción de este principio en México se considera que ha limitado aprovechamiento de especies tropicales por la dificultad de completar los volúmenes requeridos para las capacidades de las estufas comerciales de secado (generalmente mayores de 20 mil pies tabla). Otros países agrupan especies para secarlas en forma conjunta. La selección o integración de los grupos se basa en características tecnológicas, considerando el peso específico, el contenido de humedad, la permeabilidad, la anisotropía (proporción de contracciones longitudinal, tangencial y radial), la configuración del grano o hilo de la madera, la proporción de albura y duramen, el contenido de extractivos y el tamaño de los vasos y rayos. Simpson (1989) desarrolló un modelo para agrupar especies tropicales con el fin de secarlas en cierto intervalo de tiempo y con el mínimo de defectos, utilizando el peso específico, el contenido de humedad (CH) inicial, y los tiempos de secado de cada especie, determinados previamente. En su reporte, cita a Bello (1966) sobre el secado de 23 especies filipinas agrupadas en tres clases, que se basó en el grado de dificultad del secado. Casin *et. al* (1980) trabajaron sobre el secado de 60 especies filipinas integradas en cuatro grupos por las características de secado de cada especie (densidad, orientación del grano y

Cuadro 1. Secuelas para especies tropicales desarrolladas por el INIFAP

Nombre científico	Nombre común	Espesor	Secuela
<i>Bombax ellipticum</i> HBK.	Amapola cedreada	4/4"	Inglesa H
<i>Brosimum alicastrum</i> SW.	Ramón	4/4"	T7 - B3
<i>Bucida buceras</i> L.	Pukté	4/4"	Inglesa C
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Chacáh	4/4"	Inglesa D
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambage	Barí	4/4"	T3 - D4
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro rojo	4/4"	Inglesa F
<i>Cordia dodecandra</i> DC.	Siricote	6/4"	Inglesa C
<i>Cordia eleagnoides</i> DC.	Bocote	6/4"	Inglesa C
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.	Guanacaste	4/4"	T8 - F4
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	Machiche	6/4"	Inglesa G
<i>Manilkara zapota</i> (L.) Van Royen	Chicozapote	4/4"	Inglesa E
<i>Metopium brownie</i> (Jacq.) Urb.	Chechem negro	4/4"	Inglesa C
<i>Metopium brownie</i> (Jacq.) Urb.	Chechem negro	4/4"	T3 - D3
<i>Piscidia communis</i> Blake	Jabín	4/4"	Inglesa E
<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	Granadillo	4/4"	Inglesa C
<i>Schizolobium parahybum</i> (Vell.) S.F. Blake	Guanacaste	4/4"	T5 - F4
<i>Simarouba glauca</i> DC.	Pasa'ak	4/4"	Inglesa D
<i>Simarouba glauca</i> DC.	Pasa'ak	4/4"	T9 - A3
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	4/4"	T8 - D5
<i>Terminalia amazonia</i> (Gmel.) Exell.	Tepezúchil	3/4"	T2 - C3

contracciones). Ma (1972) desarrolló cinco secuelas de tiempo para mezcla de 80 maderas de latifoliadas de Taiwan, considerando velocidad de secado, uniformidad del CH final, contracciones y defectos. Por su parte Keenan y Tejeda (1984) probaron tres secuelas para un grupo de 105 especies sudamericanas, fundamentados en el comportamiento de la madera expuesta al aire libre para derivar las secuelas de secado en estufa, con base en el tipo y severidad de los defectos de la madera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la madera de 34 especies que se integraron en dos grupos, con base

Cuadro 2. Secuelas de especies tropicales coincidentes con especies mexicanas

Nombre científico	Nombre común	Espesor	Secuela
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambage	Santa María	4/4"	T2 - D4 (A)
<i>Cedrela spp</i>	Cedro	4/4"	T10 - D4 (H)
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	4/4"	T10 - D5 (J)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	4/4"	T6 - D4 (F)
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl.	Machiche	4/4"	T8 - B3 (G)
<i>Lysiloma bahamensis</i>	Tzalam	4/4"	T3 - C2 (C)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	4/4"	T6 - D4 (F)
<i>Tabebuia spp</i>	Flor de mayo	4/4"	T6 - D2 (E)
<i>Tectona grandis</i> L.	Teca	4/4"	(H)
<i>Terminalia amazonia</i> (Gmel.) Exell			T3 - C2 (C)

Nombre científico	Nombre común	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Clave secuela	Grupo Madera
<i>Lonchocarpus castilloi</i> Standl	Machiche	0.90	7	4
<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro rojo	0.44	7	3
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceiba	0.26	9-10	7
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambage	Santa María	0.56	2-3	6
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	0.49	5	3

en los pesos específicos o densidades de las especies, el primero con densidad de 300 a 600 kg/m<sup>3</sup>, y el segundo con densidad mayor de 600 kg/m<sup>3</sup> (Cuadros 3 y 4) (Torelli, 1983). Se muestrearon ocho tablas por carga de secado por especie, de 2.50 m de largo, por anchos de 15 a 25 cm y espesor de 2.54 cm. Previo al secado a cada tabla se le determinaron las características relacionadas con el control y evaluación del secado, específicamente las dimensiones de los defectos en forma de rajaduras, torceduras, arqueamiento, acanalamiento y encorvado, con base en la Norma de determinación de defectos en la madera aserrada y la Norma de clasificación de madera de latifoliadas (DGN 1980 y DDI 1991). La humedad inicial y final se determinó por medio de secciones obtenidas al final del secado, registrando el peso inicial de las tablas completas antes del secado y su peso al final, utilizando las relaciones (Rasmussen, 1968):

La determinación de los pesos de las tablas se efectuó mediante una báscula con capacidad de 25 kg y con aproximación a gramos; para los pesos de las secciones

$$\%CHs = \frac{Pi - Pf}{Pf} \times 100$$

$$PSCm = \frac{Pm(100)}{100 + \%CHs}$$

$$\%CHm = \frac{POm - PSCm}{PSCm} \times 100$$

- Donde: %CHs = Contenido de humedad de la sección  
 Pi = Peso inicial de la sección  
 Pf = Peso final de la sección  
 PSCm = Peso seco de la muestra al final del secado  
 Pm = Peso de la muestra  
 %CHm = Contenido de humedad de la muestra  
 POm = Peso original de la muestra

Cuadro 3. Especies tropicales de densidad baja y media

Nombre científico	Nombre común	Densidad kg/m <sup>3</sup>
<i>Schizolobium parahybum</i> (Vell.) S.F. Blake	Palo de picho	300
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	Sac-chacáh	400
<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	Masamorro	400
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	420
<i>Guatteria anomala</i> R.E. Fries	Zopo	430
<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand.	Amapola	440
<i>Pterocarpus hayesii</i> Hemsl.	Palo de sangre	450
<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	450
<i>Nectandra</i> sp.	Laurel	460
<i>Simarouba glauca</i> DC.	Pasa'ak	460
<i>Vochysia hondurensis</i> Sprague	Maca blanca	460
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pavón) Cham.	Bojón	490
<i>Talauma mexicana</i> (DC.) Don	Jolmashté	490
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Palo de agua	500
<i>Pithecellobium leucocalyx</i> Standl.	Guaciban	520
<i>Guarea glabra</i> Vahl.	Cedrillo	560
<i>Bleharidium mexicanum</i> Standl.	Popiste	600

Cuadro 4. Relación de especies tropicales de densidad alta.

Nombre científico	Nombre común	Densidad kg/m <sup>3</sup>
<i>Misanteca pekii</i> I. M. Jonsht.	Pimientillo	600
<i>Zuelania guidonia</i> (SW) Britton & Millsp.	Trementino	610
<i>Sickingia salvadorensis</i> Standl.	Chacahuanté	660
<i>Terminalia amazonia</i> (Gmel.) Exell.	Canshán	660
<i>Vatairea lundellii</i> (Standl.) Killip. Ex Record.	Tinco	660
<i>Platymiscium yucatanum</i> Standl.	Granadillo	670
<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	Ya'axnik	670
<i>Aspidosperma megalocarpon</i> Muell. Arg.	Bayo	670
<i>Ampelocera hottlei</i> (Standl.) Standl.	Luín	690
<i>Quercus anglohondurensis</i>	Chiquinib	690
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ramón	730
<i>Lonchocarpus castilloi</i> SW.	Machiche	740
<i>Dialium guianense</i> Standl.	Guapaque	800
<i>Dipholis stevensonii</i> (Aubl.) Sandw.	Guaité	800
<i>Sweetia panamensis</i> Benth.	Chakté	800
<i>Swartzia cubensis</i> (Britton & Wills.) Standl.	Corazón azul	830
<i>Manilkara zapota</i> (L.) Van Royen	Chicozapote	900

se usó una balanza con aproximación a décimas de gramo. La deshidratación de las secciones de humedad hasta lograr un peso constante, se realizó en un horno con circulación forzada del aire a temperatura de 100 °C. Para el secado se empleó una estufa convencional experimental con capacidad de 500 p.t., controlando la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire. Las tablas se apilaron en la estufa con separadores o fajillas de 4'x 2"x 3/4" colocados a una distancia de 2". En la "cama" superior de la carga de secado, se dispuso una tara o peso muerto para evitar el alabeo de las tablas de las últimas "camas". Al analizar las secuelas del laboratorio de secado de la madera del INIFAP, aplicadas a especies tropicales y de las reportadas en la literatura, se seleccionaron las secuelas para las especies en estudio, derivando dos secuelas, una para maderas de densidad baja y media (Cuadro 5) y otra para las de densidad alta (Cuadro 6), aplicadas a los dos grupos de especies.

Cuadro 5. Secuela de secado para mezcla de especies tropicales de densidad baja y media

Contenido de Humedad %	Temperatura Bulbo Seco °F	Depresión °F	Temp. Bulbo Húmedo °F	Humedad Relativa %	Contenido de Equilibrio %
> 35	130	9	121	76	13.0
35 - 30	130	11	119	71	11.5
30 - 25	140	15	125	64	9.5
25 - 20	150	20	130	58	8.0
20 - 15	160	35	125	43	6.0
15 - final	170	40	130	33	4.5

Cuadro 6. Secuela de secado para mezcla de especies tropicales de densidad alta

Contenido de Humedad %	Temperatura Bulbo Seco °F	Depresión °F	Temp. Bulbo Húmedo °F	Humedad Relativa %	Contenido de Equilibrio %
> 35	110	3	107	90	19.0
- 30	110	6	104	81	15.1
30 - 25	115	10	105	71	12.1
25 - 20	125	13	112	65	10.5
20 - 15	140	18	122	58	8.7
15 - final	160	40	120	31	4.3

Para el control del proceso de secado y la determinación de los cambios de etapa de las secuelas, se tomaron dos muestras por especie, con una dimensión de 1.22 m (4') de longitud, obtenidas de la parte media de las tablas, de cuyos extremos se generaron dos secciones de humedad de 2.54 cm (1") de ancho utilizadas para determinar el contenido de humedad y el peso seco calculado, por medio del procedimiento y las fórmulas descritas. Las muestras se pesaron y evaluaron a diario para determinar su contenido de humedad actual y el desarrollo de defectos causados por el secado. El contenido de humedad actual para definir los cambios de etapa de la secuela se determinó por la relación:

$$\%CHa = \frac{PAm - PSCm}{PSCm} \times 100$$

Donde:  $\%CHa$  = Contenido de humedad actual de la muestra,  
 $PAm$  = Peso actual de la muestra al momento de pesarla  
durante el proceso de secado y  
 $PSCm$  = Peso seco calculado de la muestra.

El control del proceso de secado se realizó con las muestras más húmedas, al efectuar los cambios de etapa de la secuela de acuerdo al contenido de humedad de estas muestras. Se considera que si se hubiese tomado como referencia el contenido de humedad de las muestras más secas para los cambios de etapa de la secuela, seguramente se hubiese degradado la madera más húmeda. Al final del secado, cada tabla se evaluó de nuevo determinando su contenido de humedad por el procedimiento descrito, cuantificando los posibles defectos desarrollados (rajaduras, acanalamiento, arqueamiento, encorvado y torceduras). El análisis de las características de cada tabla, antes y después del secado, determinó la eficiencia de la secuela en cada grupo de especies, con base en la cuantificación de los defectos indicados.

## RESULTADOS

Con base en la evaluación de las características de los defectos de las tablas, del tiempo de secado y de los contenidos de humedad de la madera, antes y al terminar el proceso, se considera que la secuela de secado para el grupo de maderas blandas, con densidad inferior a  $600 \text{ kg/m}^3$ , fue favorable por no afectar significativamente la calidad de las tablas y requerir tiempos de secado razonables (Cuadro 5). El rango del contenido de humedad inicial entre especies fue muy amplio de 48.5 en llora sangre hasta 115.52 en maca blanca, lo que no es lo más recomendable para cargas de madera para secarse en estufa, precisamente uno de los problemas del secado de las maderas tropicales (Cuadro 7). Respecto al comportamiento de la madera de las especies: maca blanca, palo de picho, jobo, pasa'ak y cedrillo, durante el secado y su relación con la pérdida de humedad, estas tenían un CH mayor del 80%. En la última etapa del secado el palo de picho, la maca blanca y el cedrillo presentaron también un CH más alto que el resto de las especies analizadas, y las otras dos, el jobo y el pasa'ak, el CH final fue más bajo, requiriendo un día menos de secado. Por otro lado, el sac-chacáh, la caoba y el popiste, aún cuando el CH inicial fue relativamente más bajo que las cinco especies indicadas anteriormente, requirieron de un día más de secado que el resto de las especies señaladas en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Pérdida de humedad durante el secado en las maderas de baja densidad

Especies	Tiempo de secado en días							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	Porcentaje de contenido de humedad							
Palo de picho	98.92	68.2	42.8	33.6	27.2	16.9	10.57	8.94
Sac-chacáh	56.21	40.7	27.1	21.1	16.5	10.5	9.14	7.71
Masamorro	52.43	37.9	25.4	19.6	14.8	10.5	8.05	
Caoba	53.38	38.2	26.9	20.5	15.2	11	9.33	8.15
Zopo	57.98	40.3	26.9	22.5	15.9	10.6	7.85	
Amapola	71.39	51.7	36.2	27.5	16.4	10.5	8.16	
Llora sangre	48.5	37.6	26.8	20.3	15.4	11.2	8.91	
Jobo	84.34	61.4	39.6	21.6	16.3	11.8	8.65	
Laurel	52.8	39.7	27.2	21.8	16.7	10.4	8.08	
Pasa'ak	84.25	60.5	34.9	21.3	15.3	11.1	7.53	
Maca blanca	115.52	79.8	56.8	45.7	33.7	26.7	18.7	11.79
Jolmashté	49.8	36.4	25.6	19.4	13.8	9.2	7.49	
Palo de agua	52.08	39.4	27.6	22.2	16.7	10.4	8.69	
Guaciban	52.89	37.5	25.8	19.8	14.7	10.1	8.69	
Cedrillo	80.53	59.4	36.5	29.4	23.7	17.2	13.91	9.43
Popiste	53.28	53.6	31.3	27.5	21.4	15.9	12.65	9.15

Si se integraran los volúmenes suficientes de madera para procesarse en estufas, podrían formarse dos grupos que se considera se comportan en forma similar en el secado. El primer grupo se conformaría por: masamorro, zopo, amapola, llora sangre, jobo, laurel, pasa'ak, jolmashté, palo de agua y guaciban. A este grupo se les podría aplicar una secuela un poco más rápida que la analizada en este estudio. El otro grupo estaría integrado por palo de picho, sac-chacáh, caoba, maca blanca, cedrillo y popiste.

Respecto a los defectos de secado (grietas, torceduras, acanalamiento, arqueamiento y encorvado), se considera que no afectaron la calidad de la madera porque la secuela no fue severa, con la finalidad de analizar el comportamiento de la madera de cada especie sin afectar la calidad (Cuadro 8). La secuela que se aplicó asegura un buen secado, que se podría acelerar aplicando una más drástica a las especies que conforman el primer grupo indicado en el párrafo anterior.

Cuadro 8. Evaluación de los defectos de las maderas de baja densidad antes y después del secado

Especies	Defectos (%) antes del secado					Defectos (%) después del secado				
	Grietas	Torcedura	Acana- lamiento	Arqueam.	Encor- vado	Grietas	Torcedura	Acana- lamiento	Arqueam.	Encorvado
Palo de picho	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.17	0.07	0.04	0.07	0.09
Sac-chacáh	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.14	0.06	0.12	0.10	0.12
Masamorro	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.14	0.08	0.04	0.07	0.10
Caoba	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.13	0.03	0.08	0.07	0.09
Zopo	0.00	0.00	0.00	0.07	0.06	0.15	0.06	0.16	0.08	0.10
Amapola	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08	0.16	0.05	0.15	0.05	0.08
Llora sangre	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.09	0.04	0.13	0.08	0.06
Jobo	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08	0.15	0.08	0.08	0.13	0.14
Laurel	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.16	0.00	0.05	0.14	0.13
Pasa'ak	0.00	0.00	0.00	0.06	0.11	0.12	0.02	0.11	0.13	0.13
Maca blanca	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11	0.10	0.03	0.07	0.12	0.11
Jolmashté	0.00	0.00	0.00	0.07	0.08	0.12	0.04	0.07	0.10	0.12
Palo de agua	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09	0.08	0.02	0.03	0.06	0.05
Guaciban	0.00	0.00	0.03	0.04	0.10	0.16	0.04	0.16	0.12	0.14
Cedrillo	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.11	0.02	0.08	0.09	0.11
Popiste	0.00	0.00	0.00	0.08	0.12	0.13	0.05	0.07	0.11	0.09

Se considera que la secuela de secado para mezcla de especies tropicales de densidad mayor a  $600 \text{ kg/m}^3$  (Cuadro 6), fue favorable al no presentar defectos por el secado que afectarían la calidad de la madera, de acuerdo con los ensayos realizados y a través de la evaluación de las tablas, antes y después del proceso.

Considerando el tiempo de secado requerido de las diferentes especies, es factible diferenciar cuatro grupos: el integrado por granadillo, ya'axnik, y guaité, con un contenido de humedad inicial y final muy similar, alrededor de 30% y 7% respectivamente, requiriendo un tiempo promedio de secado de 10 días (Figura 1). El formado por pimientillo, canshán, tinco y chicozapote, con fluctuaciones de contenido de humedad inicial de 22.95% en canshán y hasta un 56.58% en tinco, el grupo observa una tendencia regular en la pérdida de humedad, puesto que no necesariamente la de menor CH se secó más rápido. El tinco que presentó un mayor CH inicial en comparación con las otras tres especies, registró después de 14 días de secado, un CH similar a canshán y chicozapote, que inicialmente tenían un CH menor. Otro grupo podría estar integrado por trementino, machiche y corazón azul, que presentan CH iniciales diferentes y después de 22 días de secado, muy similares y en un promedio de 8%. El cuarto grupo estaría integrado por chacahuanté, bayo, luín, chiquinib, ramón, guapaque y chakté, también con un contenido de humedad inicial muy variado y con un periodo de secado promedio de 25 días (Figura 2) y un CH alrededor de 8% (Cuadro 9).

Considerando los tiempos o periodos de duración del proceso de secado y el comportamiento de la madera de las especies estudiadas, la integración de los cuatro grupos indicados es la más adecuada. Sin embargo, desde el punto de vista práctico para realizar el proceso de secado en estufa, seguramente lo más recomendable sería integrar únicamente dos grupos, el primero formado por guaité, granadillo, pimientillo, canshán, tinco y chicozapote, y el segundo grupo por trementino, chacahuanté, bayo, luín, chiquinib, ramón, guapaque, chakté y corazón azul. Posiblemente el primer grupo se podría secar con otra secuela más rápida para reducir el tiempo de secado y al segundo grupo se le aplicaría la misma secuela analizada. Respecto a los defectos o degradación de la madera por efecto del secado, estos no se presentaron con influencia directa en la calidad y degradación de la madera, los defectos no representaron ningún impacto en la pérdida de madera después del proceso de secado (Cuadro 10).

Los defectos analizados antes y después del secado no afectaron la calidad de la madera porque la secuela fue moderada con la finalidad de evitar su degradación y analizar el comportamiento de cada especie (Cuadro 10). La secuela que se aplicó asegura un buen secado de las 17 especies, pero se considera que se podría acelerar al aplicar condiciones más severas al grupo de especies integrado por guaité, granadillo, pimientillo, canshán, tinco y chicozapote. Las otras once especies del Cuadro 10, como se señaló anteriormente, se pueden secar con la secuela analizada en este estudio.

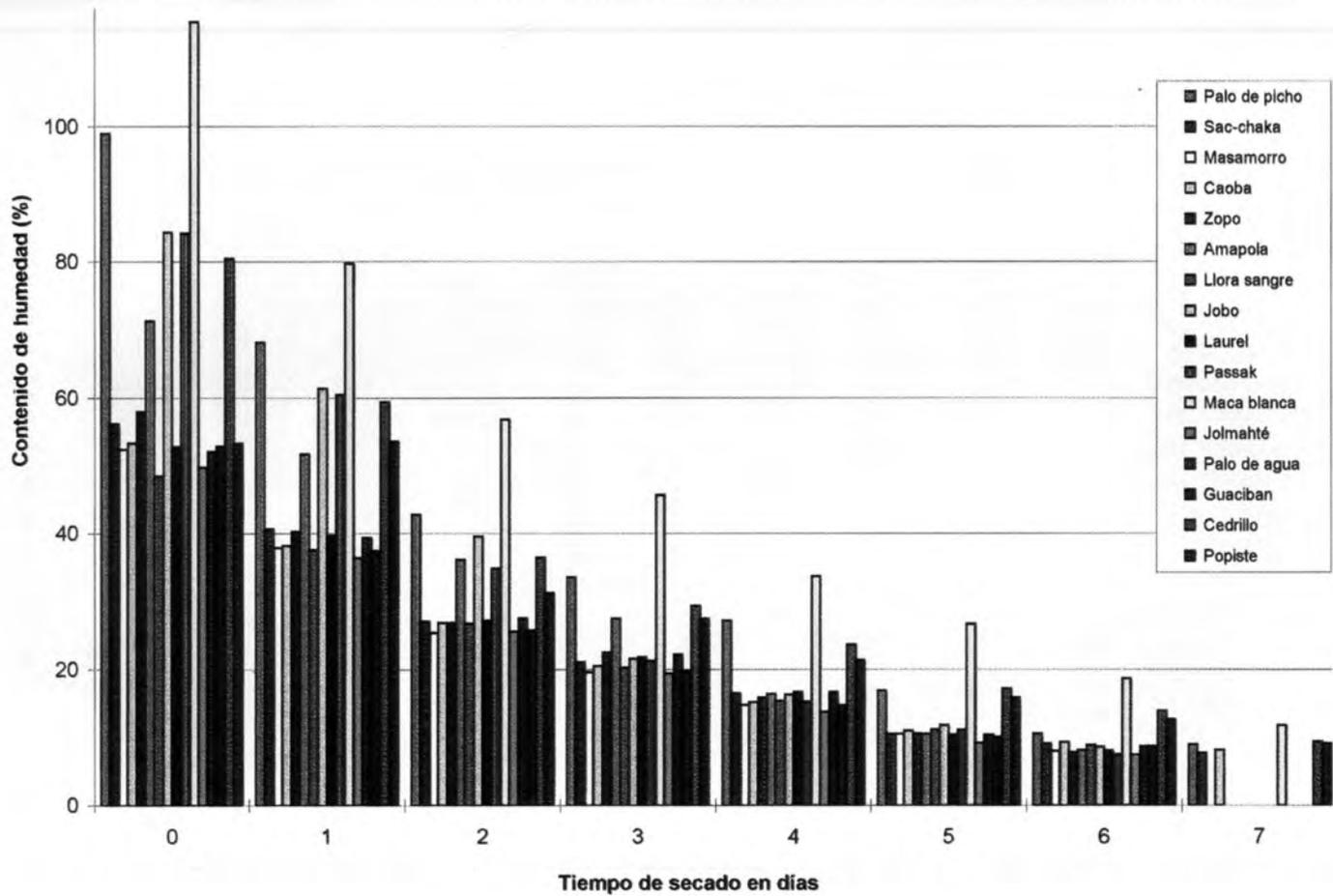


Figura 1. Pérdida de humedad durante el secado de maderas blandas

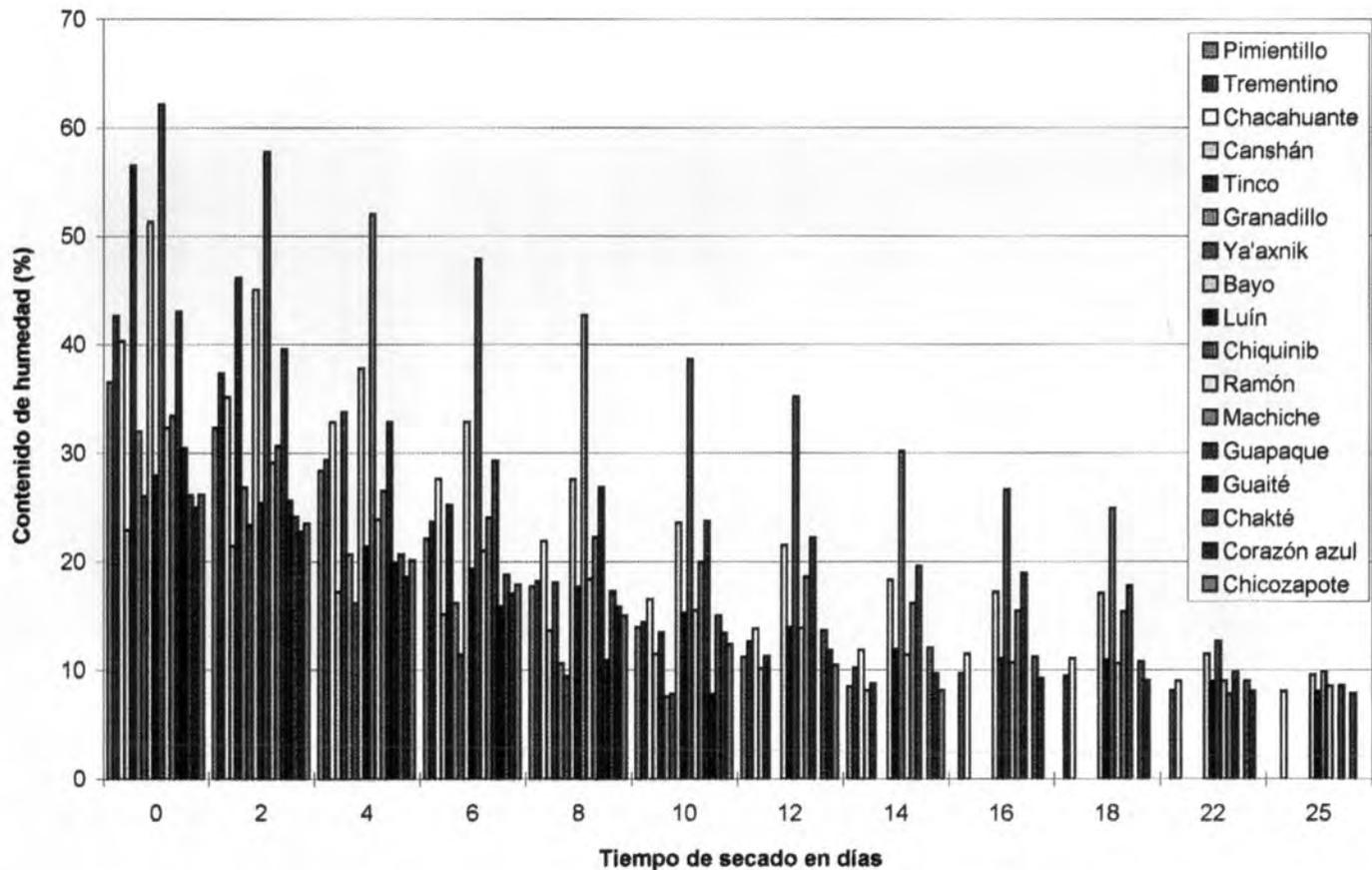


Figura 2. Pérdida de humedad durante el secado de maderas duras

Cuadro 9. Pérdida de humedad durante el secado en las maderas de alta densidad

Especies	Tiempo de secado en días											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	22	25
	Porcentaje de contenido de humedad											
Pimientillo	36.53	32.35	28.38	22.12	17.76	13.97	11.23	8.52				
Trementino	42.66	37.33	29.39	23.72	18.21	14.43	12.68	10.25	9.72	9.51	8.12	
Chacahuanté	40.35	35.15	32.87	27.64	21.92	16.57	13.86	11.89	11.55	11.11	9.06	8.12
Canshan	22.95	21.44	17.22	15.18	13.7	11.53	10.19	8.2				
Tinco	56.58	46.19	33.76	25.23	18.1	13.5	11.33	8.8				
Granadillo	32.02	26.88	20.69	16.16	10.64	7.6						
Ya'axnik	26.07	23.4	16.2	11.49	9.45	7.85	****					
Bayo	51.39	45.09	37.82	32.88	27.59	23.62	21.56	18.33	17.25	17.12	11.5	9.65
Luín	27.98	25.39	21.43	19.34	17.7	15.28	13.97	11.95	11.11	10.97	9.01	8.12
Chiquinib	62.16	57.79	52.04	47.92	42.71	38.66	35.22	30.21	26.64	24.92	12.67	10.93
Ramón	32.35	29.14	23.9	21.04	18.42	15.54	13.9	11.46	10.73	10.63	9.02	8.56
Machiche	33.45	30.68	26.55	24.1	22.26	19.97	18.63	16.2	15.49	15.4	7.87	
Guapaque	43.03	39.59	32.85	29.33	26.87	23.74	22.21	19.6	18.95	17.8	9.86	8.6
Guaité	30.5	25.65	19.96	15.87	10.94	7.86						
Chakte	26.16	24.18	20.71	18.82	17.27	15.04	13.68	12.7	11.26	10.82	9.05	7.9
Corazón	25.01	22.75	18.61	17.06	15.83	13.46	11.82	9.7	9.29	9.2	8.2	
Chicozapote	26.18	23.53	20.14	17.85	15.02	12.44	10.51	8.2				

Cuadro 10. Evaluación de los defectos de las maderas de alta densidad antes y después del secado

Especies	Defectos (%) antes del secado					Defectos (%) después del secado				
	Grietas	Torcedura	Acanalam.	Arqueam.	Encorvado	Grietas	Torcedura	Acanalam.	Arqueam.	Encorvado
Pimientillo	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08	0.61	0.03	0.58	0.31	0.32
Trementino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.36	0.06	0.09	0.08	0.45
Chacahuanté	0.00	0.00	0.03	0.11	0.16	1.47	0.12	0.76	0.59	0.48
Cansan	0.00	0.00	0.00	0.03	0.09	0.63	0.04	0.67	0.29	0.23
Tinco	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.39	0.06	0.42	0.18	0.36
Granadillo	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.26	0.03	0.53	0.29	0.37
Ya'axnik	0.00	0.00	0.05	0.07	0.13	0.59	0.12	0.48	0.31	0.42
Bayo	0.00	0.00	0.03	0.06	0.19	1.54	0.14	0.68	0.22	0.69
Luín	0.00	0.00	0.00	0.12	0.18	1.72	0.17	0.17	0.35	0.71
Chiquinib	0.00	0.00	0.02	0.09	0.21	2.12	0.28	0.49	0.43	0.57
Ramón	0.00	0.00	0.00	0.04	0.15	1.23	0.07	0.25	0.37	0.64
Machiche	0.00	0.00	0.00	0.11	0.17	1.86	0.08	0.29	0.59	0.69
Guapaque	0.00	0.00	0.00	0.09	0.16	2.16	0.13	0.17	0.27	0.32
Guaité	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.37	0.04	0.45	0.09	0.19
Chakté	0.00	0.00	0.03	0.15	0.18	1.28	0.22	0.86	0.62	0.53
Corazón azul	0.00	0.00	0.00	0.12	0.14	2.35	0.14	0.27	0.45	0.47
Chicozapote	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09	0.47	0.05	0.35	0.26	0.25

## CONCLUSIONES

Se considera que las secuelas de secado aplicadas a los dos grupos de especies tropicales que se integraron con base en su densidad, fueron apropiadas por los resultados generados en cuanto a la calidad de la madera. En el grupo de especies de densidad baja y media, es posible integrar un subgrupo de diez especies que se podrían secar con una secuela más rápida, con la finalidad de reducir el tiempo de secado y optimizar el uso de las estufas con ciclos más cortos de secado. Para las especies de densidad alta, siete se podrían secar con una secuela más severa, con la finalidad de reducir el tiempo de secado e incrementar la capacidad de producción de las estufas. De no ser posible subagrupar a las especies dentro de cada categoría de duras y blandas, para aplicarles una secuela más rápida a las especies con mayor velocidad de secado, se sugiere que el contenido de humedad y dimensiones de la madera sean similares en cada grupo, para evitar discrepancias acentuadas en los tiempos de secado.

Debido a que las dos secuelas analizadas se evaluaron únicamente con una carga de madera y no fue posible realizar una repetición del proceso de secado, se sugiere que las secuelas analizadas se apliquen con una supervisión continua del proceso, evaluando diariamente su desarrollo a través de la calidad del secado de las maderas de los dos grupos de especies señalados.

## REFERENCIAS

- Bello, E. D. 1966. The seasoning characteristics of some Philippine woods. Wood Preservation Division Rep. 1 (6).
- Boone, R. S., J. C. Kozlik, J. P. Bois and M. E. Wengert. 1988. Dry kiln schedules for commercial woods, temperate and tropicals. USDA. Forest Service. FPL-GTR-57.
- Bramhall, G. 1975. Calculating kiln schedule changes. Canadian Forest Industries. September issue. 3 p.
- Bramhall, G. and R. W. Wellwood. 1976. Kiln drying of Western Canadian lumber. W.F.P.L. VP-X-159. 112 p.
- Casin, R. F., M. G. Laxamana and G. Y. Tamayo. 1980. Kiln-drying schedules of some Philippine commercial wood species. The Philippine Lumberman. 26 (3): 14-26.
- Dirección de Desarrollo Industrial. 1991. Proyecto de Norma de Clasificación de Madera Aserrada de Latifoliadas. Subsecretaría Forestal. SARH. México. 29 p.
- Dirección General de Normas (DGN), NOM-EE-95-1980. Embase y Embalaje.- Madera.- Determinación de los defectos en maderas aserradas y cepilladas. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. México. 18 p.

- Hildebrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber. Germany. 198 p.
- Keenan, F. J. and M. Tejada. 1984. Tropical timber for building materials in the Andean Group countries of South America. IDRC-TS49e. Ottawa, Canada. Intern. Dev. Research Center. Ottawa, Canada. 25 p.
- Ma, T. P. 1972a. Mixed hardwood kiln drying experiment-kiln drying of hardwood grown in northern part of Taiwan. Taiwan Forest Research Institute. Co-op. Bull. 2. 15 p.
- Ma, T. P. 1972b. Mixed hardwood kiln drying experiment-kiln drying of hardwood grown in the central part of Taiwan. Taiwan Forest Research Institute. Co-op. Bull. 3. 12 p.
- Pratt, H. G. 1974. Timber drying manual. Princess Risborough Laboratory. Inglaterra. 152 p.
- Rasmussen, E. F. 1968. Dry kiln-Operator's manual. F.P.L. Forest Service, U.S. Dept. of Agric. Agriculture Handbook No.188. Madison, WI. E.U.A. pp. 197.
- Simpson, T. W. 1991. Dry kiln operator's manual. USDA. For. Serv. F.P.L. Agriculture Handbook. No. 188. Madison, WI. E.U.A. pp. 274.
- Simpson, T. W. and K C. Baah. 1989. Grouping tropical wood species for kiln drying. USDA. Forest Service. FPL-RN-0256. Madison, WI. E.U.A. 14 p.
- Torelli, N. 1983. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. SFF. SARH. 67 p.