

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Secado experimental de *Gmelina arborea* Roxb. proveniente de la Zona Atlántica de Costa Rica

Freddy Muñoz¹
Alexander Berrocal¹

Resumen

La melina (*Gmelina arborea*) es la especie forestal que más se ha plantado en Costa Rica. Se estima que existen alrededor de 24 000 ha, ubicadas principalmente en las regiones geográficas del Pacífico Seco y Huetar Norte, lo que representa un 44,4% de todo lo plantado en el país (54 000 ha). Sin embargo, existe poca información tecnológica sobre el secado de esta especie, lo que limita su aprovechamiento integral. Es por esto que, este trabajo tiene como objetivo estudiar experimentalmente el comportamiento de la melina, ante un programa de secado del tipo moderado. Se obtuvieron valores promedios de contenido de humedad final de 8,9% para madera de corte tangencial y 20,7% para madera de corte radial. También, se reportan propiedades físicas como el punto de saturación de la fibra (PSF), contracciones volumétrica, radial y tangencial, pesos específicos; caracterizados tanto para la madera de corte radial como tangencial; valores que son importantes para conocer la estabilidad dimensional de cualquier especie.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, Plantaciones, Contenido de humedad, Propiedades físicas, Madera, Secado de la madera, Contracciones de la madera, Peso específico, Corte radial, Corte tangencial, Costa Rica.

Abstract

Experimental seasoning of *Gmelina arborea* Roxb. originating in the Atlantic Coast of Costa Rica. *Gmelina* (*Gmelina arborea*) is the most planted forest species in Costa Rica. It is estimated that approximately 24000 ha are to be found, mainly within the geographic regions of the Pacifico Seco and Huetar Norte; this represents 44,4% of the total planted in the country as a whole (54000 ha). However, technical information regarding the seasoning of this species is scarce, which puts a limit on total exploitation. For this reason, the object of this study is to investigate, experimentally, the behaviour of *gmelina* during a seasoning program of the moderate type. Mean end humidity values of 8,9% were obtained for plain-sawn timber and 20,7% for quarter-sawn timber. In addition, physical properties such as the fiber-saturation point (FSP), volumetric contractions, quarter and plain, and unit weights, are reported; characterised for both quarter and plain-sawn timber. These values are important in establishing the dimensional stability of any species.

Keywords: *Gmelina arborea*, Plantations, Moisture content, Physical properties, Timber seasoning, Unit weight, Quarter-sawn, Plain-sawn, Costa Rica.

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. aberrocal@itcr.ac.cr, fmunoz@itcr.ac.cr

INTRODUCCIÓN

La madera es un material que ha sido utilizado por el hombre, dado su valor, versatilidad y excelentes propiedades, que le permiten una amplia gama de usos, y a diferencia de otros materiales, es un recurso natural renovable. Dentro del concepto de la utilización económica y racional de este recurso forestal, el secado de la madera ocupa un lugar muy importante. Para la mayoría de los usos finales de la madera, es de vital importancia reducir su contenido de humedad, antes de su transformación en productos apropiados de acuerdo al lugar donde se utilizará, con el fin de obtener un producto estable dimensionalmente (reduciendo el rango de contracciones e hinchamientos), evitar la biodegradación (reducir el ámbito de ataque de hongos) para que el material se desempeñe satisfactoriamente en servicio (Serrano y Córdoba, 2002).

El comportamiento de la madera en servicio está casi enteramente determinado por la relación madera-humedad. El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas de acuerdo a JUNAC (1989), como se señala a continuación:

a) agua libre: es la que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de las células, dándole a la madera la condición de “verde”. La cantidad de agua libre que puede contener una madera está limitada por su volumen de poros.

b) agua de saturación ó atada: es el agua que se encuentra en las paredes celulares. La madera tiende a alcanzar un contenido de humedad en equilibrio con la humedad relativa del ambiente. Si la humedad relativa es del 100%, la pared celular tiende a estar completamente saturada de humedad, que es lo que se conoce como el punto de saturación de la fibra (PSF); por encima de este punto, cualquier cantidad de agua adicional se encuentra en forma líquida, ocupando las cavidades celulares (Siau, 1984).

c) agua de constitución: es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la degradación total o parcial de la madera.

En un proceso de secado artificial de la madera, básicamente se estaría eliminando el agua libre y parte del agua atada.

Movimiento del agua dentro la estructura anatómica de la madera

En una pieza de madera, la tasa de movimiento no es la misma en todas direcciones, en relación a los ejes o planos principales de la madera. En la dirección longitudinal, el movimiento de vapor de agua se ve facilitado por la estructura tubular de las células, teniendo como consecuencia que ésta se mueva hasta 15 veces más rápido en la dirección del grano, que en la dirección perpendicular a éste (Siau, 1971).

En el caso de la melina, los elementos de los vasos son relativamente cortos, unidos por sus extremos por medio de una platina de perforación simple y casi tan ancha como la cavidad de la célula. También se puede observar, aunque con menos frecuencia, platinas de perforación múltiples, las que tienen forma reticulada, con partes de retículo parcialmente obstruido por porciones de pared celular (Canessa, 2000).

La resistencia al flujo de agua por parte de las platinas de perforación simple es baja, debido a que las mismas son grandes; por lo que los vasos se comportan como largos tubos capilares, que varían en longitud y con frecuentes ramificaciones. Los vasos se comunican con células adyacentes (incluyendo otros vasos) por medio de las punteaduras, que son canales de paso entre

la cavidad de una célula y otra dividido por una membrana, la cual presenta diminutas perforaciones dando paso al agua líquida o al vapor de una célula a otra (Canessa, 2000).

Los vasos en las maderas de angiospermas (latifoliadas) con porosidad difusa, o sea con una distribución homogénea en la sección transversal de la madera, representan entre el 20 y 60% del volumen total (Panshin y De Zeeuw, 1980). En el caso de la melina, su porosidad tiene una ligera tendencia a semi-anular, con anillos de crecimiento definidos y con una disminución tanto en el diámetro de los poros, así como en su número, vistos en su sección transversal, por lo que el volumen de los mismos tiende a ser relativamente bajo 13-16%, de acuerdo a Akachuku (1985).

Movimiento lateral del agua en la madera

Puesto que en la madera aserrada la longitud de las piezas es considerablemente mayor que su espesor y ancho, la mayor cantidad de agua se pierde por sus caras laterales, situación que se hace más extrema en piezas delgadas o en chapa, por lo que el movimiento ó flujo de vapor y agua líquida se da a través de la pared celular por difusión y por las punteaduras (Haygreen y Bowyer, 1982), tanto de los vasos como de las fibras y de las células de parénquima. Varios investigadores describen las punteaduras de las fibras de melina como simples, las cuales consisten en un canal de diámetro uniforme sin la formación de cámara. Sin embargo, Canessa (2000) utilizando un microscopio de barrido electrónico (SEM), observó un halo alrededor de la apertura y una cámara bien formada en madera de melina plantada en Costa Rica, clasificando las punteaduras como aeroladas o rebordeadas. Aclarando también, que existen muy pocas punteaduras en las paredes de cada fibra, de tal manera, que la salida del agua por estas aperturas es sumamente difícil, pudiendo ser una de las causas más directas, junto con la formación de tñides, al lento y difícil secado de esta especie.

Las fuerzas que hacen que el agua se eleve en un tubo capilar, es producida por la tensión superficial que existe entre la interfase agua-aire que hala las moléculas de agua inmediatamente por debajo de esta interfase. Si los canales de las punteaduras son muy pequeños, como es el caso de la melina, las tensiones capilares pueden ser mayores que la resistencia de la pared celular de las fibras en compresión perpendicular al grano (Siau, 1971). Cuando esto ocurre las paredes se colapsan, produciendo una deformación en las piezas antes de alcanzar el punto de saturación de la fibra (PSF) y conforme se secan las células de la superficie de la madera y la superficie de evaporación alcanza las punteaduras de las células de las capas internas, aumenta la tensión capilar en todo el sistema. La tensión capilar puede causar colapso en la madera, mientras la interfase de evaporación agua-aire viaja por la apertura de la punteadura, si esta es lo suficientemente pequeña y si las paredes de las fibras son delgadas. Este efecto es más severo a altas temperaturas, debido a que la pared celular se debilita con un aumento en la temperatura (Skaar, 1972).

Los radios y su influencia en el secado de madera

Los radios en un árbol en pie contribuyen al flujo de líquido de la periferia del tronco hacia su interior (Zimmermann, 1983). Sin embargo, en algunas especies éstos almacenan gran cantidad de sustancias orgánicas (taninos, gomas y resinas) que impiden el flujo, convirtiéndose en un elemento de resistencia para el movimiento del agua, ya sea en forma de vapor o líquida; produciendo que el secado de la madera en corte radial de melina, sea más lento (Canessa, 2000).

Lo anterior, podría deberse a la exposición de las caras transversales de los radios en los cortes orientados tangencialmente. Si bien, los radios no contribuyen significativamente al flujo del agua, en un corte orientado tangencialmente, la longitud de los radios es menor, lo que facilitaría el flujo

del agua, ya sea en forma de vapor o líquido hacia las caras más anchas de la pieza (Canessa, 2000).

En un estudio comparativo de material obtenido de plantaciones de Costa Rica y material proveniente de Brasil, no se reportan diferencias significativas en su estructura. El material en ambos casos presenta punteaduras similares en tamaño y gran cantidad de tílides, así como composición del parénquima radial muy similar.

Propiedades físicas de la madera de melina

Las propiedades físicas permiten caracterizar una determinada especie de madera, lo cual facilita la comparación y selección entre diferentes maderas para un producto específico. Entre estas propiedades se pueden mencionar: densidad, peso específico, contracción radial, tangencial y volumétrica, punto de saturación de la fibra (PSF) y contenido de humedad (CH). En el Cuadro 1 se presentan propiedades físicas de la madera de melina plantada en Costa Rica y recopilada de la literatura.

Cuadro 1. Propiedades físicas para melina (*Gmelina arborea* Roxb.) creciendo en Costa Rica.

Edad (años)	Zona	PEB	Densidad verde (g/cm ³)	CH (%)	% de contracción total		
					Volumétrica	Tangencial	Radial
3,5	Atlántica	0,34	0,93	172,84	9,53	4,65	4,08
4	Atlántica	0,37	0,65	75,62	7,93	6,61	5,03
12	Atlántica	0,45	0,95	113,18	5,02	-	-
3	Norte	0,37	0,93	152,47	7,64	7,20	5,11
3	Norte	0,35	0,72	104,42	9,75	5,36	2,57
4	Atlántica	0,43	-	-	-	4,30	1,30
6	Atlántica	0,43	-	-	-	6,10	2,90
8	Atlántica	0,45	-	-	-	6,90	3,30
10	Brunca	0,34	0,90	-	8,06	-	-
5	Chorotega	0,40	1,01	-	9,21	-	-
NSP	Chorotega	0,39	0,69	75,05	-	5,21	2,95
NSP	Norte	0,41	0,75	84,13	-	5,46	2,54
NSP	Norte	0,34	0,60	75,57	-	4,69	2,46
NSP	Brunca	0,34	0,78	112,19	-	4,88	2,69
NSP	Norte	0,37	0,78	127,45	-	5,60	3,04
NSP	Atlántica	0,39	0,99	165,86	-	5,11	2,87

Nota: NSP, No se reporta; CH, Contenido de humedad; PEB, peso específico básico.

Fuente: Moya, 2001.

METODOLOGÍA

Se seleccionaron al azar 105 bloques diametrales de madera de melina en condición verde (CH_{prom} = 148,41%) de 7,6 y 15,2 cm de espesor por 1,2 m de largo. Dicho material es de 7 años y procedente de La Rita de Guápiles (Zona Atlántica), de una plantación de 1 200 ha, propiedad de la empresa ENVACO, dedicada a la elaboración de tarimas tipo americano para la exportación de banano.

Los bloques de 15,2 cm de espesor fueron aserrados en plano radial, mientras que los bloques de 7,6 cm de espesor fueron aserrados en plano tangencial, con ambos tipos de bloques se obtuvieron piezas de 2,5 cm de espesor y anchos de 7,6 y 15,2 cm. Se obtuvo un volumen total de madera aserrada de 2,1 m³ que fue apilado de forma horizontal utilizando separadores de 1,6 cm de espesor y espaciados cada 48 cm dentro de una secadora de tipo convencional marca NARDI[®], una vez apilada la madera se procedió a ejecutar el programa de secado seleccionado que se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Programa de secado del tipo moderado, aplicado al ensayo² de madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb.).

Etapa	Horas	T °C	%CHE	%CH	Horas en fase
Calefacción	4	40	-	-	1
	2	45	22	-	1
Secado	2	50	16	60	1
	2	55	14	40	1
	2	60	12	30	1
	2	65	9.5	25	1
	2	70	7.2	20	1
	2	75	6.2	15	1
	2	80	4.9	10	1
	Igualación	1	80	8	10
Acond. automático	4	80	13	-	1

El control del contenido de humedad de la carga de madera de melina durante el proceso de secado se realizó mediante el control de peso de muestras testigo, el cual se describe a continuación:

1. Control de humedad con muestras testigo

Para la medición de la razón de pérdida de humedad, no es posible pesar todas las tablas que están dentro del secador y por su parte los medidores de contenido de humedad eléctricos, no son precisos en las primeras etapas del secado. Por lo tanto, se emplea el método de muestras testigo para representar el contenido de humedad de la madera en proceso de secado. Este método utiliza muestras cortas obtenidas a partir de piezas de madera, representativas y cuidadosamente seleccionadas, de toda la carga de madera a secar; las cuales son pesadas periódicamente para estimar la variación del contenido de humedad de la madera sometida a ese proceso de secado.

Como regla general, se recomienda que las muestras testigo deben tomarse de la madera más húmeda que va a ser secada (madera recién cortada o aserrada), de mayor ancho y espesor, conteniendo madera de duramen (corazón) y de corte radial o cuarteado (Figura 1).

² Córdoba, R. 2004. Programa de secado (entrevista). Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

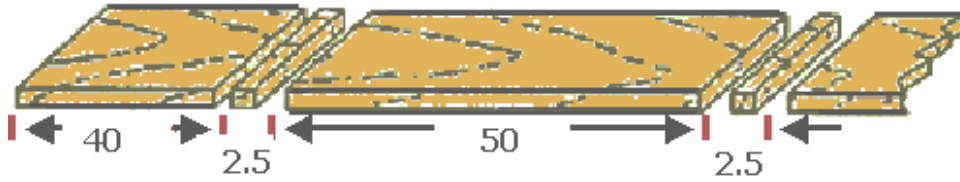


Figura 1. Obtención de la muestra testigo (cm).

Posterior a la finalización del proceso de secado y con el objetivo de evaluar la uniformidad del contenido de humedad final de la madera seca de melina, se utilizaron los procedimientos siguientes:

2. Control de humedad con higrómetro

Se realizó un control del contenido de humedad final al 100% de la carga de madera seca, con un higrómetro (medidor de humedad) HT 95T, esta medición se realizó tanto para las piezas de madera de corte radial como tangencial en seis puntos diferentes de la misma (Figura 2A), se tomaron 3 mediciones en cada cara principal (2 al extremo y 1 al centro), utilizando pines que penetraron 10 mm en el espesor de cada pieza.

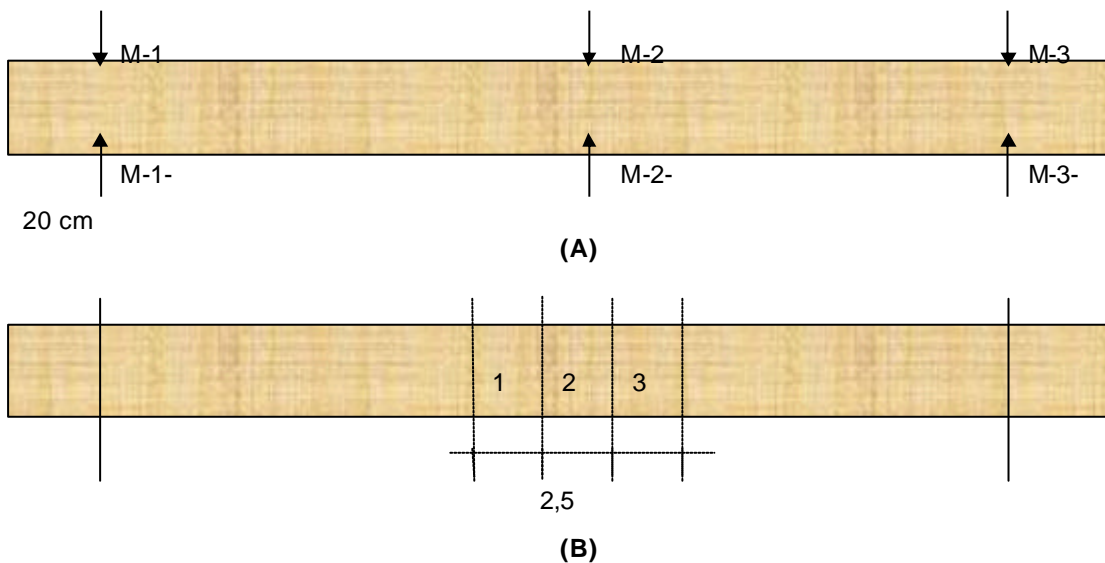


Figura 2. Control de humedad con higrómetro HT 95T.

Nota: M, muestra.

Las mediciones con el higrómetro se deben hacer aproximadamente 20 cm hacia adentro de los extremos (cabezas) de la pieza y la medición central al medio de la misma. Las muestras 1, 2 y 3 indicadas en la figura anterior, son para determinar la distribución de contenido de humedad, porcentaje del contenido de humedad, peso específico seco al horno y tensiones de secado, con lo cual fue posible obtener datos promedio de estos parámetros.

Entonces, por ejemplo, la muestra 1 se puede tomar para la distribución de contenido de humedad, la muestra 2 para el contenido de humedad y PE (para ello se debe pesar la muestra, colocarla en el horno a 103°C durante 24 horas, luego pesarla, parafinarla y después determinar el volumen de la probeta); la muestra 3 quedará para determinar las tensiones de secado.

3. Control de humedad con muestras centrales

Este control de humedad se efectuó tomando una muestra del 50% de las piezas y cortando una sección central de aproximadamente 2,54 cm de ancho (Figura 2B). Pesando cada sub-muestra y colocándola en una estufa a 103°C por un periodo de 24 horas, pesándolas nuevamente y determinando el contenido de humedad con la siguiente relación: $((\text{peso inicial} - \text{peso seco al horno})/\text{peso seco}) \times 100$.

4. Control de humedad (variabilidad)

El último control de humedad se realizó tomando 10 probetas de 2,54 cm de ancho de corte tangencial y 10 de corte radial, subdividiéndolas en 5 probetas con el mayor contenido de humedad y 5 probetas con el menor contenido de humedad, para determinar la variabilidad en el contenido de humedad entre las capas de células externas e internas. El tipo de probetas utilizadas se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Probetas para el control de uniformidad del contenido de humedad.

Pesando cada sub-muestra y colocándola en una estufa a 103°C por un periodo de 24 horas, pesándolas nuevamente y determinando contenido de humedad con la siguiente relación: $((\text{peso inicial} - \text{peso seco al horno})/\text{peso seco}) \times 100$.

Propiedades físicas

Para la determinación de las propiedades físicas de contracciones radiales y tangenciales, contracción volumétrica, densidad, peso específico, punto de saturación de la fibra, se utilizó la norma ASTM, Vol. 04-09, designación D-143 (ASTM, 1986). Para la medición de las contracciones radiales y tangenciales se utilizaron 50 probetas por cada orientación de corte, seleccionadas al azar y con dimensiones de 2,5 x 10 x 2,5 cm. Para la determinación de la contracción volumétrica, densidad y peso específico, se usaron 50 probetas seleccionadas al azar y con dimensiones de 2,5 x 2,5 x 10 cm. Las propiedades físicas se determinaron en condición verde, seca al aire y seca al horno.

RESULTADOS

El proceso de secado convencional de 2,1 m³ en madera de melina en 2,5 cm de espesor, tomó 17 días. En la Figura 4, se muestra la disminución del contenido de humedad, tanto en la madera de corte radial como tangencial, reportándose un contenido de humedad final promedio (control de las muestras testigo) de 8,9 y 20,7% para la madera tipo tangencial y radial, respectivamente.

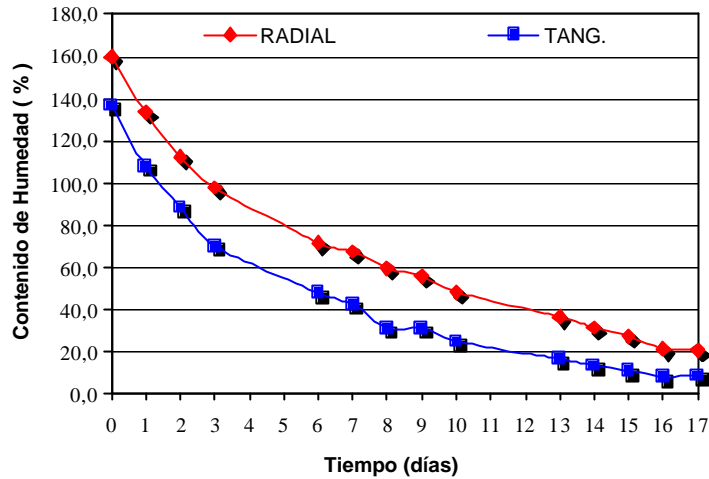


Figura 4. Curva de secado experimental con madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) (espesor 2,5 cm).

En ambos tipos de madera se obtuvo un comportamiento típico en cuanto a la disminución del contenido de humedad, es decir, conforme transcurre el tiempo de secado, el contenido de humedad disminuye. Para la madera de corte tangencial, esta disminución fue de aproximadamente 8,1%/día, pasando de un contenido de humedad inicial promedio de 137,8% a un contenido de humedad final de 89%; mientras que para la madera de corte radial la razón de pérdida de humedad fue de aproximadamente 94%/día pasando de un contenido de humedad inicial promedio de 160% a un contenido de humedad final de 20,7%; sin embargo, sólo la madera de corte tangencial obtuvo un contenido de humedad final aproximado al establecido en el programa de secado utilizado (10%), mientras que la madera de corte radial estuvo por encima de ese contenido de humedad. El control de contenido de humedad, determinado con el higrómetro se resume en las Figuras 5 y 6.

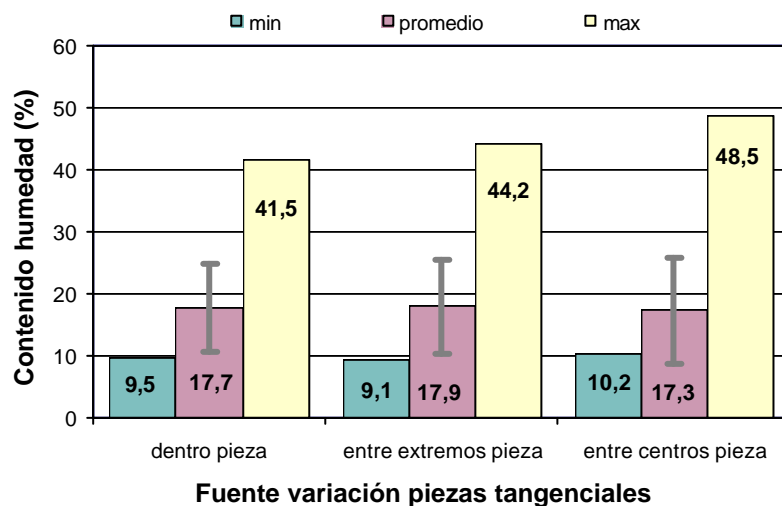
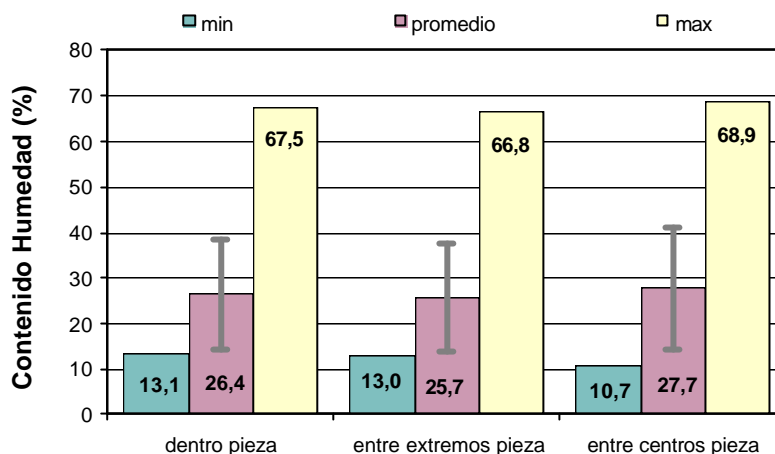


Figura 5. Variación del contenido de humedad de piezas tangenciales de melina (*Gmelina arborea* Roxb.).



Fuente de variación piezas radiales

Figura 6. Variación del contenido de humedad de piezas radiales de melina (*Gmelina arborea* Roxb.)

La menor variabilidad del contenido de humedad en promedio, medido con el higrómetro, tanto dentro de una misma pieza, entre extremos de la pieza y centros de la pieza, se obtuvo en la madera de corte tangencial. Esto también se puede observar comparando los valores máximos y mínimos medidos en cada una de la secciones.

Los valores promedio en el porcentaje de contenido de humedad final son menores en madera de corte tangencial, la razón podría radicar en la exposición de las caras transversales de los radios en los cortes orientados tangencialmente, aunque los radios no contribuyen significativamente al flujo de agua, en un corte orientado tangencialmente, la longitud de los radios es menor; lo que facilitaría el flujo, ya sea en forma de vapor o líquida, hacia las caras más anchas de la pieza (Canessa, 2000); facilitando así la eliminación de la humedad por el espesor de la pieza, mientras que en una pieza con orientación radial, la eliminación de la humedad tendería a ser por el ancho de la pieza, teniendo un camino más largo por recorrer, como se observa en la Figura 7.

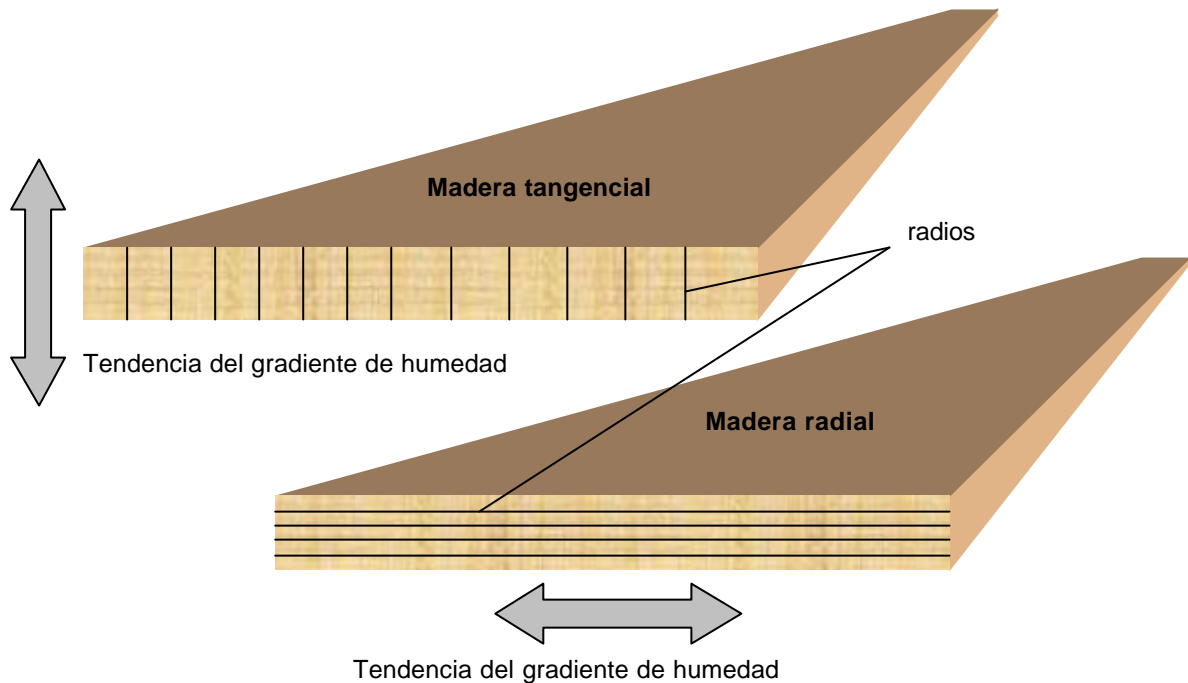


Figura 7. Tendencia del gradiente de humedad en madera de melina de tipo radial y tangencial.

En diferentes especies, se ha podido observar que hay una diferencia en la velocidad de secado entre las secciones radial y tangencial, siendo más rápido el secado en esta última, lo que concuerda con los resultados de este estudio. Tewari (1995), reporta que la diferencia en la velocidad de secado es aún mayor en la madera de melina que en otras especies.

El Cuadro 3 resume el control de uniformidad en el contenido de humedad en probetas de corte tangencial y radial, dicha variabilidad se refiere al porcentaje de humedad entre las secciones externas e internas de las probetas, lo cual permite determinar un gradiente de humedad. Este concepto se puede explicar de la siguiente manera, tan pronto se inicia el proceso de secado, sea natural o artificial, la distribución del contenido de humedad en el interior de la pieza se modifica, esto significa que el secado de la madera es el resultado del movimiento ó migración de la humedad desde el interior hasta la superficie de la pieza (JUNAC, 1989). Por lo tanto, la diferencia que se establece entre el contenido de humedad de la madera en el centro y la superficie de la pieza de madera se denomina gradiente de humedad.

Cuadro 3. Control de uniformidad del contenido de humedad (gradiente de humedad) de madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb.).

Probeta	CH (%)			Estadísticos			Gradiente porc. CH
	Ext. A	Centro	Ext. B	Prom.	Desv. est.	Coef. var.	
Tangencial 1	9,26	8,77	8,78	8,94	0,23	2,57	0,26
Tangencial 2	8,77	8,75	9,45	8,99	0,33	3,63	0,36
Tangencial 3	8,96	8,65	9,28	8,96	0,26	2,87	0,47
Tangencial 4	8,47	10,24	8,82	9,17	0,77	8,37	1,60
Tangencial 5	9,18	8,56	19,78	12,50	5,15	41,18	5,92
Tangencial 6	18,90	41,63	15,99	25,51	11,46	44,94	24,19
Tangencial 7	20,23	41,95	21,10	27,76	10,04	36,17	21,29
Tangencial 8	18,05	46,31	21,20	28,52	12,65	44,34	26,69
Tangencial 9	15,96	43,98	12,70	24,22	14,04	57,98	29,65
Tangencial 10	19,21	49,78	14,66	27,88	15,59	55,92	32,84
Prom.	13,70	26,86	14,18	18,25	7,05	29,80	12,92
Radial 1	8,85	9,45	9,34	9,21	0,26	2,83	0,36
Radial 2	9,41	9,93	9,57	9,64	0,22	2,27	0,44
Radial 3	9,06	8,53	8,62	8,73	0,23	2,65	0,31
Radial 4	9,54	10,60	10,18	10,10	0,44	4,32	0,74
Radial 5	9,41	9,26	9,28	9,32	0,06	0,68	0,08
Radial 6	20,15	53,69	17,27	30,37	16,54	54,45	34,99
Radial 7	18,49	51,22	22,70	30,81	14,54	47,19	30,62
Radial 8	15,32	56,59	20,03	30,65	18,45	60,19	38,92
Radial 9	14,27	53,06	29,45	32,26	15,96	49,47	31,20
Radial 10	17,31	53,48	21,07	30,62	16,24	53,03	34,29
prom	13,18	31,58	15,75	20,17	8,29	27,71	17,12

Nota: CH, Contenido de humedad; Ext., extremo; Prom., promedio; Desv. est., Desviación estándar; Coef. Var., Coeficiente de variación; porc. , porcentaje.

El gradiente de humedad para cada una de las probetas se determinó calculando la diferencia entre el promedio de los extremos y el centro de la misma. En promedio, las probetas de corte tangencial son las que tienden a presentar el menor gradiente de humedad, es decir, la diferencia de contenido de humedad entre las zonas más externas de la pieza y su parte central, es menor en comparación con las probetas de corte radial. Sin embargo, la uniformidad en el contenido de humedad es mayor en las probetas de corte radial comparadas con las de corte tangencial. Otra característica que se puede observar en el Cuadro 3, es que el contenido de humedad en la parte central de cada una de las probetas analizadas tiende a ser mayor en las probetas de corte radial comparadas con las probetas de corte tangencial. Esto significa que el secado de la madera tipo radial es más lento que la madera de tipo tangencial, lo que coincide con Canessa (2000), que los radios en algunas especies almacenan gran cantidad de sustancias orgánicas (taninos, gomas y resinas) que impiden el flujo, convirtiéndose en un elemento de resistencia para el movimiento del agua ya sea en forma de vapor o líquida, lo que causa que el secado de madera en corte radial de melina sea más lento.

Se observa que tanto para las probetas de corte tangencial y corte radial el contenido de humedad final es mayor en la parte central de la probeta, siendo este contenido de humedad final promedio un poco mayor en la madera de tipo radial (31,58 %) comparado con la madera de tipo tangencial (26,86 %). Sin embargo, existe una variabilidad mayor en cuanto a la uniformidad de contenido de

humedad final en madera radial que en madera tangencial, este mismo fenómeno de variabilidad se presenta inclusive dentro de madera del mismo corte.

En los Cuadros 4 y 5 se resumen propiedades físicas de la madera plantada de melina de 7 años, utilizada en este trabajo y comparables con los datos reportados en el Cuadro 1.

Cuadro 4. Contracción radial y tangencial de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb.).

Estadísticos	Contracción Radial (%)			Contracción tangencial (%)			Contracción volumétrica (%)		
	verde-12%	12%-SH	total	verde-12%	12%-SH	total	verde-12%	12%-SH	total
Promedio	1,254	1,073	2,314	3,658	2,282	5,858	3,235	4,609	7,706
Desv. est.	0,310	0,285	0,388	1,143	0,531	1,032	1,987	1,746	2,059
Coef. var.	24,751	26,565	16,768	31,255	23,269	17,615	61,434	37,889	26,725

Nota: SH, Seco al horno; Desv. est., Desviación estándar; Coef. Var., Coeficiente de variación.

Cuadro 5. Punto de saturación de la fibra de la madera de melina (*Gmelina arborea* Roxb.).

Estadísticos	Razón Contracción Tangencial/Radial	Punto de saturación de fibra (%)		
		Tangencial	Radial	Volumétrica
Promedio	2,601	27,316	22,067	34,448
Desviación estándar	0,623	17,199	13,305	13,673
Coeficiente de variación	23,961	62,961	60,295	39,692

Con los resultados obtenidos en contracciones totales (tangencial, radial y volumétrica) y razón de contracción de acuerdo a Bárcenas (1985), la madera de este estudio se clasifica como:

- **Contracción total tangencial:** mediana
- **Contracción total radial:** mediana
- **Contracción total volumétrica:** baja
- **Relación Tangencial/Radial (Índice para distorsiones y alabeos):** muy alta
- **Coeficiente de contracción tangencial:** estable dimensionalmente
- **Coeficiente de contracción radial:** estable dimensionalmente
- **Coeficiente de contracción volumétrica:** estable dimensionalmente

La Figura 8 muestra la relación entre el peso específico básico (PEB) y el contenido de humedad inicial (verde).

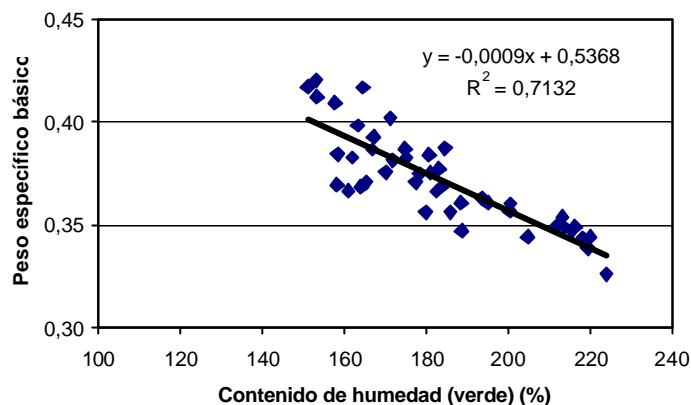


Figura 8. Relación de peso específico básico y contenido de humedad.

El valor promedio del PEB de 0,37 clasifica a la melina de este estudio, como una madera moderadamente liviana. La relación entre PEB de la madera y el contenido de humedad en verde, es inversamente proporcional, lo que significa que a mayor PEB menor contenido de humedad presente en la madera; esto demuestra el alto contenido de humedad inicial de la melina utilizada y su relación con la tendencia moderada de linealidad que presenta el PEB con el contenido de humedad.

Este comportamiento se debe a que a mayor PEB hay mayor cantidad de pared celular, quedando menos espacios vacíos (porosidad), que son ocupados normalmente por el agua, cuando la madera está en estado verde (Haygreen y Bowyer, 1996).

CONCLUSIONES

- La orientación del corte en la madera (tangencial y radial), tiene influencia en el proceso de secado de la melina. En esta experiencia se obtuvo en promedio un contenido de humedad final para madera tangencial menor que en madera radial en un mismo lapso de tiempo (17 días) y un mismo espesor.
- La madera de corte radial presenta menor uniformidad en el contenido de humedad entre zonas externas e internas.
- La variabilidad del contenido de humedad final se observó tanto para madera de corte radial como madera de corte tangencial, siendo esta levemente mayor en madera de tipo radial.
- Con los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que la especie presenta problemas en cuanto a la uniformidad del contenido de humedad final en madera seca, tanto para madera de distinto corte como para piezas individuales dentro de un mismo corte; sin embargo, no se ha determinado con exactitud cual es la verdadera causa de este problema.
- La melina estudiada, presenta propiedades físicas de contracciones y estabilidad dimensional favorables, que propician su uso en la elaboración de diversos productos forestales; siempre y



cuando haya tenido un proceso de secado idóneo; sobre todo si los productos están destinados a la exportación.

RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos con la madera de melina de este estudio, con respecto a la no homogeneidad del gradiente de humedad después de un proceso de secado artificial, el Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, se propone formular y desarrollar proyectos de investigación sobre el secado de la madera de melina; orientados a la evaluación e influencia de algunas variables que no fueron consideradas en el estudio, como lo son: los programas de secado, la procedencia de la madera, la edad, la altura de troza (en árbol), la anatomía de la especie, la orientación del corte (radial y tangencial), la albura y el duramen.

Estos proyectos de investigación tendrán como objetivos y propósitos, generar y obtener información validada, que sirva como instrumento y guía para un secado idóneo de la madera de melina.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto FC-0011-2000 "Evaluación de las características y propiedades tecnológicas para la melina (*Gmelina arborea*) proveniente de plantaciones forestales". A la Cámara Costarricense Forestal (CCF) y el Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) por el apoyo recibido. A la empresa Envaco Forestal por el material suministrado. Al Ing. Rafael Córdoba, al M.Sc. Guillermo González y al Sr. Mario Salvatori.

BIBLIOGRAFÍA

- Akachuku, E. 1985. The effects of some extrinsic and intrinsic factors on the proportion of vessel in *Gmelina arborea* Roxb. Wood Science and Technology. N°19: 1-12.
- ASTM (American Standard of Testing and materials, US). 1986. Annual Book of ASTM Standards. Standard methods of testing: Small clear specimens of timber. Philadelphia, US. S.e. Vol. 04-09 Wood. p. 48-104.
- Bárceñas, G. 1985. Recomendaciones para el uso de 80 maderas de acuerdo con su estabilidad dimensional. Xalapa, Mx. Instituto de Investigaciones sobre Recursos Bióticos (INIREB). Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera (LACITEMA). Nota técnica N°11. 18 p.
- Canessa, E. 2000. Ultra estructura de la pared celular en elementos xilemáticos de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y su relación con los defectos de secado de esta especie. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal-CIIBI. 17 p. (Estudio realizado para la empresa Maderín Eco S.A.).
- Haygreen, J; Bowyer, J. 1982. Forest products and wood science: An Introduction. Iowa, US. Iowa State University Press. 495 p.
- Haygreen, J; Bowyer, J. 1996. Forest products and wood science: An Introduction. Iowa, US. 3th. ed. Iowa State University Press. 484 p.
- JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena). 1989. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. Lima, PE. Carvajal S.A. 294 p.



- Moya, R. 2001. Estudio de las propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de la madera de melina (*Gmelina arborea*) creciendo en Costa Rica. Boletín Kurú N° 31: 21-25.
- Panshin, AJ; De Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology; Structure, identification, uses and properties of the commercial woods of United States and Canada. 3th. ed. New York, US. McGraw-Hill. Vol. I. 705 p.
- Serrano, R; Córdoba, R. 2002. Algunos aspectos de tecnología de la madera. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal-CIIBI. 66 p. (Curso para la Empresa Ecowood Maderin Eco. S.A.).
- Siau, J. 1971. Flow in wood. New York, US. Syracuse University Press. 131 p.
- Siau, J. 1984. Transport processes in wood. Editor T. E. Timell. Berlin, DE. Springer-Verlag. 245 p. (Springer Series in Wood Science).
- Skaar, C. 1972. Water in Wood. New York, US. Syracuse University Press. 218 p. (Syracuse Wood Sciences Series).
- Tewari, D. 1995. A monograph on Gamari (*Gmelina arborea* Roxb.). Dehra Dun, In. International Book Distributors. 125 p.
- Zimmermann, M 1983. Xylem structure and ascent of sap. Editor T. E. Timell. Berlín, DE. Springer-Verlag. 142 p. (Springer Series in Wood Science).