

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**Proceso de aserrío de trozas de diámetros menores de *Gmelina arborea* Roxb., para la producción de madera para la construcción**

Gerardo Enrique Bermúdez Cruz<sup>1</sup>  
José Rafael Serrano Montero<sup>2</sup>  
Ignacio Rodríguez Varela<sup>3</sup>

**Resumen**

Se evaluaron los rendimientos de diferentes patrones de corte en trozas de diámetros menores (16-24 cm) de *Gmelina arborea* Roxb. para la producción de madera para el sector de la construcción en Costa Rica. Para tal fin se establecieron sistemas de producción que consisten en procesos de aserrío con patrones de corte según su clase diamétrica, los cuales optimizan el rendimiento de la producción de madera para construcción y otros procesos secundarios de manufactura que la empresa posee.

Se determinaron los rendimientos de aserrío y los rendimientos de reaserrío de la madera con destino para construcción; además, la madera que se destinó para la producción de tablonados listonados fue seguida hasta el final del proceso, para así obtener los rendimientos en cada una de las máquinas utilizadas. Se realizaron mediciones de encorvadura de la madera verde sin reaserrar y de la madera seca y reaserrada (productos finales).

Se determinó que el rendimiento de aserrío fue mayor en los sistemas de producción con trozas de 20 a 24 cm de diámetro, y que el rendimiento de reaserrío fue mayor en los sistemas donde se reaserró madera de 48 mm de espesor; el rendimiento aumentó conforme se reaserran tablas de mayor ancho. Los productos finales que presentaron mayores valores de encorvadura fueron los siguientes: piezas de 24 x 73 mm, 24 x 98 mm y 47 x 73 mm y 3.36 m de largo.

**Palabras clave:** Madera para la construcción, Diámetros de corte, Patrones de corte, Rendimiento de reaserrío, Encorvadura, *Gmelina arborea*, Aserrío, Costa Rica, Defectos de la madera.

**Abstract**

**Sawn processes of small-log-diameters of *Gmelina arborea* Roxb. for the production of lumber for the construction sector.** The yields of different sawn patterns were evaluated using small-log-diameters (16-24 cm) of *Gmelina arborea* Roxb., these logs are intended to produce lumber for the Costa Rican construction sector. For that purpose, several production systems were considered. These systems consisted on sawn processes

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. bermúdezg@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Costa Rica. jserrano@itcr.ac.cr

<sup>3</sup> Maderas Cultivadas de Costa Rica. irodriguez@maderascultivadas.com

according to diameter classes that optimize the yield of lumber for construction and for other secondary processes.

In the study, the sawn yields and the yields of ripping the over-dimensioned pieces were determined. In addition, the wood that was diverted to the manufacture of edge-glue panels was followed until the end of the process in order to obtain the yields in each machine center used during the process. The amount of crook presented in the pieces of lumber in the green condition as well as in the dry state was measured.

It was determined that the sawn yield was higher in the production systems with logs of 20 to 24 cm in diameter, and that the ripping yield was larger in the systems where wood was cut to 48 mm of thickness. Also, the yield increased when wider pieces were ripped. Referring to the magnitude of crook on the studs and final boards, the results indicate that the lumber pieces of 24 x 73 mm, 24 x 98 mm and 47 x 73 mm by 3.36 meters long were the ones that had higher values.

**Key words:** Construction lumber, Small logs, Sawn patterns, Lumber yields, Crook, *Gmelina arborea*, Costa Rica, Wood defects.

## INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, tradicionalmente se han utilizado las especies de bosque natural para producir madera para el uso del sector de la construcción, pero debido a la escasez del recurso, se hace necesario pensar en nuevas alternativas para poder satisfacer la demanda de madera para este fin.

Las plantaciones forestales comerciales en Costa Rica tuvieron su auge a principios de los años 80 y mediados de los 90, gracias a los incentivos que el Estado otorgaba a aquellas empresas que se dedicaran a la reforestación. El establecimiento de estas plantaciones no fue considerado como parte de un proceso de producción forestal que requiere de materia prima de alta calidad, que sea sujeta a industrialización y compita dentro del mercado nacional con la madera proveniente de bosque natural (Meza, 1999).

En los últimos años, se ha seguido reforestando y mejorando la calidad de las plantaciones, hasta obtener madera para el uso industrial. Dicha materia prima ha sido utilizada principalmente para la elaboración de embalajes (tarimas), debido a la baja calidad de las trozas, las cuales provienen principalmente de raleos.

En la industria es necesario diversificar la cantidad de productos que se obtienen de determinada materia prima, es por ello que se ha planteado la posibilidad de producir madera para el sector de la construcción, con la misma materia prima utilizada para la elaboración de embalajes. Las principales limitantes que se deben superar son las torceduras y rajaduras que se producen en la madera de diámetros menores, debido a la liberación de las tensiones de crecimiento y a la menor calidad de la madera juvenil.

Este trabajo tiene como objetivo, generar información sobre producción de madera para el sector de la construcción de calidad aceptable al consumidor costarricense, a partir de trozas de diámetros menores (16-24 cm) de *Gmelina arborea* Roxb. Para lograr ese objetivo general, es necesario también:

- Diseñar patrones de corte para cada clase diamétrica que optimicen el rendimiento de la producción.

- Crear paquetes tecnológicos de procesamiento de la madera para reducir las torceduras y rajaduras en los productos finales.
- Determinar los rendimientos reales en cada uno de los paquetes de procesamiento.

## METODOLOGÍA

Para la producción de madera para construcción, se estableció una metodología basada en sistemas de producción, los cuales consisten en procesos de aserrío con diferentes patrones de corte según clase diamétrica, para maximizar el rendimiento, el secado de la madera y el reaserrío. Estos sistemas están basados en los sistemas de aserrío-secado-reaserrío (SDR por sus siglas en inglés) desarrollados en Norte América para disminuir los efectos causados por la liberación de las tensiones de crecimiento en la madera para construcción de *Liriodendron tulipifera* L. ("Yellow Poplar", latifoliada de climas templados) (Maeglin and Boone, 1983). En el sistema original SDR, las tablas se reaserran en diferentes combinaciones de ancho. Para este estudio se utilizó el mismo fundamento, con la diferencia de que siempre se obtuvieron piezas de ancho fijo, que consideraban la obtención de dos piezas del mismo o diferente ancho a la hora del reaserrío.

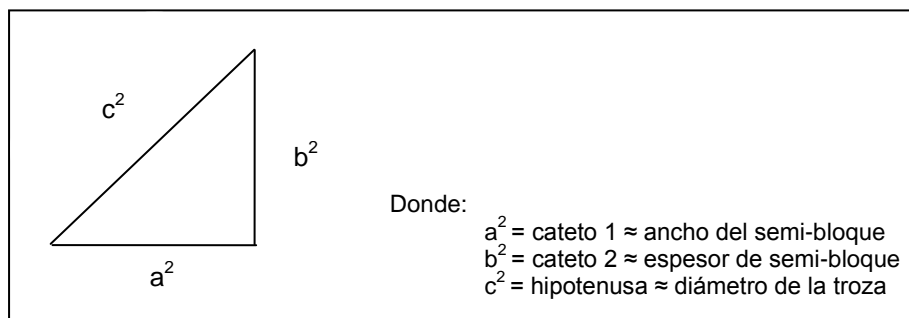
El material para las pruebas (trozas) proviene de plantaciones forestales ubicadas en la Zona Norte de Costa Rica. Las clases diamétricas de las trozas con las que se realizaron las pruebas fueron elegidas según los intereses de la empresa.

## Equipo utilizado

- Sierra circular doble.
- Sierra circular de doble eje.
- Sierras despuntadoras.
- Hornos de secado de madera.
- Recanteadora.
- Calibrador electrónico para medición de enconvarduras y torceduras.

## Diseño de los patrones de corte

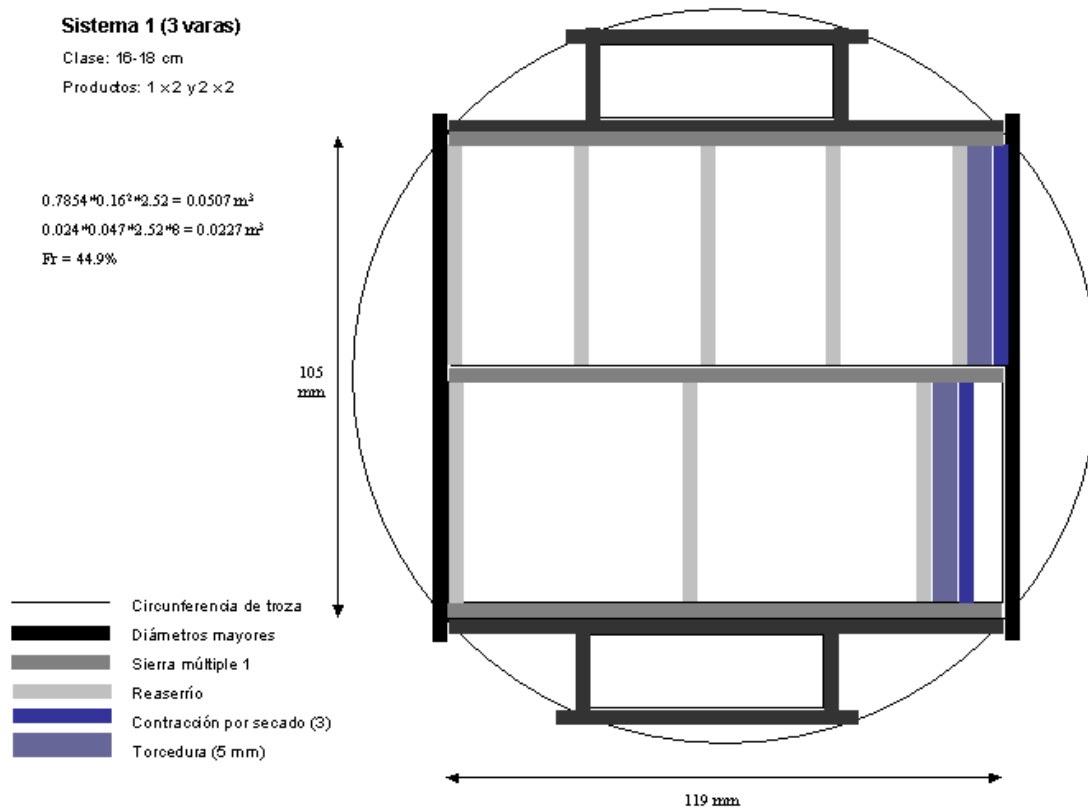
Los patrones de corte son definidos con base en las relaciones fundamentales del Teorema de Pitágoras, donde el diámetro de las trozas es considerado como la hipotenusa de un triángulo rectángulo. Con base en ello, se establecieron los anchos y espesores de los bloques como si fueran los catetos de un triángulo, tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Relaciones del Teorema de Pitágoras con la definición de los patrones de corte para los sistemas de producción.  
Las consideraciones técnicas para el diseño de los patrones de corte fueron:

- El patrón es diseñado con el diámetro menor de la clase diamétrica a utilizar.
- Se considera la contracción tangencial de las piezas en 3 mm.
- Para trozas de 2.52 m de largo se considera 5 mm de encurvadura y para las trozas de 3.36 m, 10 mm.
- El espesor de corte de las sierras es de 3 mm.
- El ancho de los productos finales es de 2.54, 5.08, 7.62 ó 10.16cm (1, 2, 3 o 4 pulgadas), menos 0.31cm (1/8 de pulgada).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de diseño de patrón de corte haciendo consideración de los aspectos técnicos expuestos anteriormente.



**Figura 2.** Patrón de corte del sistema # 1 para trozas de 3.36 m de largo.

Las clases diamétricas de las trozas utilizadas se muestran en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Clases diamétricas de trozas para la producción de madera para construcción a partir de trozas de *Gmelina arborea* Roxb. 2003.

Clase diamétrica (cm)	Largo (m)
16-18	2.52
	3.36
18-20	2.52
	3.36
20-22	2.52
	3.36
22-24	2.52
	3.36

### Descripción del sistema productivo utilizado

Los sistemas productivos están definidos por un flujo que incluye varios pasos, los cuales se representan gráficamente en la Figura 3 y se detallan a continuación:

*Paso 1:* las trozas ingresan desde los buzones de clasificación hasta al aserradero de diámetros menores.

*Paso 2:* las trozas son aserradas en una sierra circular doble para obtener un semi-bloque de espesor dado.

*Paso 3:* el semi-bloque es aserrado en la sierra circular de doble eje con centrado láser para obtener las tablas.

*Paso 4:* las tablas destinadas a madera para la construcción son separadas de las piezas acompañantes<sup>4</sup>.

*Paso 5:* se recantean las piezas acompañantes en la recantadora #2.

*Paso 6:* las costillas son separadas a la salida del aserradero de diámetros menores.

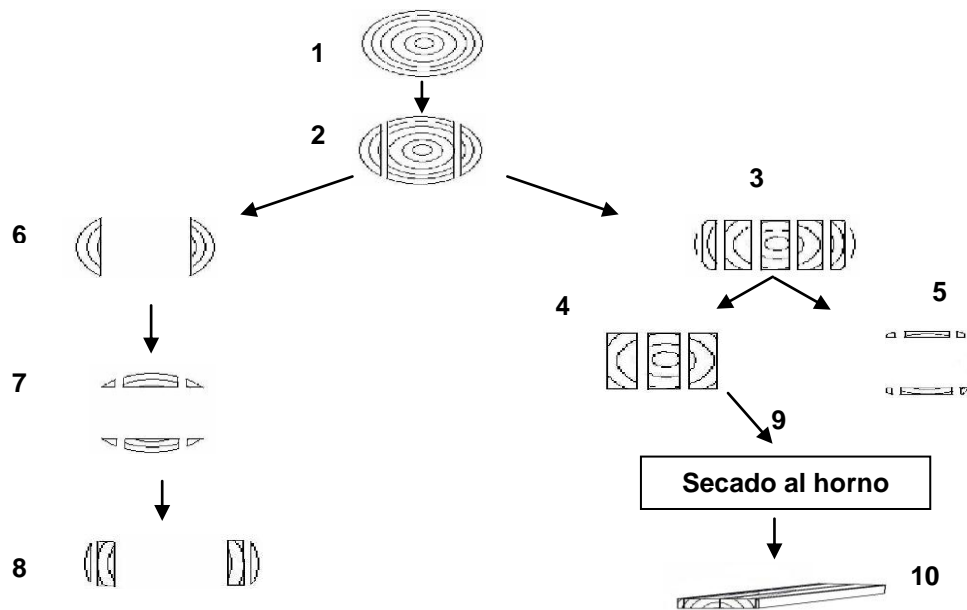
*Paso 7:* recanteo de las costillas por la recantadora #1.

*Paso 8:* paso de las costillas recantadas por la máquina recuperadora.

*Paso 9:* secado al horno de las tablas.

*Paso 10:* reaserrío de las tablas secas para obtener los productos finales para construcción.

<sup>4</sup> Las piezas acompañantes son componentes que están destinados a la maximización del rendimiento de aserrín. De esas piezas no se pueden obtener productos para el sector de la construcción debido a sus pequeñas dimensiones.



**Figura 3.** Esquema básico de los sistemas productivos para la producción de madera para la construcción. 2003.

Los patrones de corte utilizados se detallan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Patrones de corte utilizados para la producción de madera para la construcción a partir de trozas de diámetros menores de *Gmelina arborea* Roxb. 2003.

Patrón de corte	Largo (m)	Clase diam. (cm)	Espesor del semi-bloque (mm)	Patrón de sierras en Múltiple #1 (mm)	Rct #1 (mm)	Rcp (mm)	Rct #2 (mm)
1	2.52	16-18	112	25+24+24+24+25	50	16	73
1	3.36	16-18	117	25+24+24+24+25	0	0	73
2	2.52	18-20	112	25+24+24+24+24+25	73	22	73
2.1	3.36	20-22	117	16+24+24+24+24+24+16	73	22	73
2.2	3.36	18-20	117	22+24+48+24+22	73	16	73
3	2.52	22-24	137	22+22+48+48+22+22	73	22	73
3	3.36	22-24	142	22+22+48+48+22+22	73	22	73
4	2.52	20-22	137	25+24+24+24+24+25	73	16	73
4	3.36	20-22	142	25+24+24+24+24+25	73	16	85
1	2.52	15	112	16+24+24+24+16	0	0	73

**Nota:** Clase diam. = Clase diamétrica, Rct = Recanteadora y Rcp = Recuperadora.

### Pruebas de aserrío

Se realizó una primera prueba de aserrío con un tamaño de muestra de 10 trozas por clase diamétrica, con el fin de probar preliminarmente los patrones de corte y hacer los ajustes respectivos.

Posteriormente, se realizó una segunda prueba de aserrío con un tamaño de muestra de 10 trozas por sistema de producción, donde se midió el ancho de las caras del semi-bloque en los extremos y en el centro de la troza, con ello se determinó la relación de centrado por la cara menor. También se determinaron los defectos de cada una de las piezas obtenidas de la sierra múltiple #1 de doble eje, para poder analizar los principales defectos que se presentan y en qué proporción.

Una tercera prueba de aserrío fue realizada con un tamaño de muestra de 30 trozas por sistemas de producción. En esta prueba se introdujo la medición de torcedura de troza para determinar su efecto sobre la calidad de las tablas obtenidas en la sierra múltiple de doble eje. La torcedura se midió de forma cualitativa y se calificaron las trozas visualmente como “sin torcedura”, “levemente torcida” y “severamente torcida”. Los patrones de corte en esta prueba fueron variados, considerando una holgura de al menos 10 mm a cada lado de las caras del semi-bloque. En todas las pruebas se comparó el ancho real obtenido en los semi-bloques, con el ancho teórico calculado en cada patrón de corte.

La relación de centrado y la torcedura de las trozas, fueron relacionadas para tratar de explicar por qué no todas las piezas para reaserrío resultaban sin defectos, a la hora de salir de la sierra circular múltiple de doble eje.

### **Rendimientos de aserrío**

Los rendimientos de aserrío fueron calculados con base en el volumen en pulgadas madereras ticas (PMT) de entrada en troza, y el volumen que se obtuvo al final (362 PMT troza / 462 PMT en cuadro = 1.2762). Por tal motivo, los rendimientos parecen ser muy altos si se comparan con los obtenidos de  $m^3$  a  $m^3$ . Esa es la manera en que los técnicos de la empresa contabilizan el rendimiento de producción.

El rendimiento general de aserrío se calcula según el tipo de productos obtenidos en el patrón de corte. Así se obtiene rendimiento de madera para la construcción (principal producto) y rendimiento de las piezas acompañantes, que son procesadas en la recanteadora, o bien, en la recuperadora de costillas.

### **Rendimiento de reaserrío o reproceso**

Los rendimientos se calcularon con base en el volumen inicial de las piezas de ancho doble en estado húmedo y el volumen de los listones obtenidos del reproceso.

### **Medición de encorvadura**

La medición de encorvadura se realizó colocando las piezas sobre una viga laminada de madera de *Gmelina arborea* totalmente recta, posteriormente se midió la distancia mayor entre la viga y el canto de la pieza. La medición se realizó con un calibrador electrónico.

### **Medición de torcedura de la troza**

La medición de la torcedura de la troza se realizó mientras los semi-bloques se iban desplazando por los rodillos de avance. Se tomó una cuerda y se colocó en los extremos de la troza, del lado donde se manifestaba la torcedura y se midió con una cinta métrica el punto máximo.

## Relación de centrado de las trozas

El centrado de las trozas es la simetría que existe en el ancho de las caras del semi-bloque, producido por el corte de la sierra circular doble. Para calcular la relación, se midió el ancho de las caras en el extremo más delgado de la troza. Para obtener la relación de centrado, se divide el ancho menor entre el ancho mayor del semi-bloque. Cuanto más cercano a 1 es el resultado, indica que hubo un mejor centrado de la troza al ingresar a la sierra circular doble que produce el semi-bloque.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados de las pruebas de aserrío correspondientes a la última prueba de aserrío, de las cuatro que se ejecutaron (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Pruebas de aserrío para producción de madera para la construcción de *Gmelina arborea* Roxb. 2003.

Patrón de corte	Largo (m)	Clase diam. (cm)	Ancho del semi-bloque (mm)		Piezas con corteza (%)	Relación de centrado
			Teórico	Real		
1	2.52	16-18	115	115	15.6	0.73
1	3.36	16-18	110	114	33.3	0.72
2	2.52	18-20	141	138	24.2	0.80
2.1	3.36	20-22	162	159	30.0	0.81
2.2	3.36	18-20	137	142	29.9	0.82
3	2.52	22-24	172	172	5.0	0.88
3	3.36	22-24	168	171	13.3	0.69
4	2.52	20-22	146	150	21.6	0.76
4	3.36	20-22	141	143	26.6	0.73
Bolillos1*	2.52	14-15	101	95	2.2	0.95

\* Trozas de madera totalmente cilíndricas resultantes del proceso de desenrollado de trozas para elaboración de plywood.

Los resultados del ancho de las caras del semi-bloque, son en casi todos los casos superiores a los valores teóricos calculados para cada patrón de corte. En los casos en que el ancho de la cara real es menor que la estimada en los valores teóricos, no hubo problemas, ya que éstos últimos patrones de corte fueron diseñados con una holgura cercana a 15 mm a cada lado, según la experiencia generada en las anteriores pruebas.

La relación de centrado de las trozas fue bastante buena, se detecta una diferencia en los patrones de corte con trozas de las clases diamétricas inferiores. En el caso de los bolillos, por ser cilindros casi perfectos, la relación de centrado fue muy buena a pesar de ser la clase diamétrica más pequeña; por otra parte, los menores porcentajes de piezas de ancho doble con corteza se presentaron en los patrones de corte con las clases diamétricas mayores.

Los rendimientos volumétricos de aserrío más bajos se obtuvieron en los patrones de corte de las clases diamétricas más bajas, a excepción de los bolillos, ya que éstos no presentan torceduras que afecten el aserrío (Cuadro 4).



**Cuadro 4.** Rendimientos volumétricos según tipo de componente para las pruebas de aserrío para producción de madera para la construcción de *Gmelina arborea* Roxb. 2003.

Patrón de corte	Largo (m)	Clase diam, (cm)	Rendimientos (% PMT)					Total
			Construcción	Otros	Rcp	Rct	Cabos	
1	2.52	16-18	31.5	-	3.7	12.3	3.5	50.9
1	3.36	16-18	36.5	-	19.0	5.1	0.0	60.6
2	2.52	18-20	44.2	-	9.0	9.3	3.9	66.4
2.1	3.36	20-22	40.3	-	8.7	8.1	0.0	57.1
2.2	3.36	18-20	45.4	-	8.5	8.4	0.0	62.3
3	2.52	22-24	44.7	13.2	9.6	7.9	0.0	75.3
3	3.36	22-24	43.4	11.2	9.5	7.9	0.0	72.0
4	2.52	20-22	42.8	-	2.0	8.0	6.9	59.6
4	3.36	20-22	47.5	-	5.3	13.0	0.0	65.9
Bollillos	2.52	14-15	57.7	6.6	-	-	-	64.3
<b>Promedio</b>			<b>43.4</b>	<b>10.3</b>	<b>7.53</b>	<b>8.0</b>	<b>1.4</b>	<b>63.4</b>

**Nota:** Clase diam. = Clase diamétrica, PMT = Pulgada maderera tica, Rcp = Recuperadora, Rct = Recanteadora.

El rendimiento total se desglosa según el tipo de producto a obtener. Se puede observar que el mayor porcentaje corresponde a los productos destinados a la construcción. Se debe tomar en cuenta que para obtener el rendimiento en metros cúbicos se debe dividir cada uno de estos rendimientos por un factor de 1,2762.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del análisis de las causas por las cuales se presentaron defectos en las piezas de ancho doble.

**Cuadro 5.** Análisis de las causas por las cuales las trozas no produjeron el 100% de las piezas esperadas en la cuarta prueba de aserrío para producción de madera para la construcción de *Gmelina arborea* Roxb. 2003.

Patrón de corte	Largo (m)	Clase diam. (cm)	Razones para no obtener un 100 % de piezas limpias (%)			
			Torcida > 40 mm	Centrado menores	Otros	Centrado en sierra múltiple #1
1	2.52	16-18	56	17	17	11
1	3.36	16-18	63	17	17	4
2	2.52	18-20	43	29	14	14
2.1	3.36	20-22	60	28	8	4
2.2	3.36	18-20	42	17	33	8
3	2.52	22-24	67	33	0	0
3	3.36	22-24	17	83	0	0
4	2.52	20-22	20	35	40	5
4	3.36	20-22	24	43	24	10
<b>Promedio</b>			<b>43.3</b>	<b>33.5</b>	<b>17.0</b>	<b>6.3</b>

En las pruebas de aserrío se evaluaron las causas por las cuales se producían defectos en las piezas de ancho doble. La torcedura de troza mayor a 40 mm resultó ser la causa más importante, seguida por el centrado de la troza en el aserradero de diámetros menores, y otras causas ocupó el tercer lugar de importancia. El centrado de los semi-bloques en la sierra múltiple de doble eje, fue la causa de menor importancia. El efecto de la torcedura de la troza es más marcado en las clases diamétricas inferiores que en las superiores.

Con respecto a la encorvadura de las piezas de ancho doble, se presentó un aumento en los valores una vez finalizado el proceso de secado, tanto en el promedio como en la desviación estándar (Cuadro 6). En los patrones de corte se consideraron 5 mm de encorvadura para las piezas de 2.52 m y 10 mm para las piezas de 3.36 m. En todos los casos, los valores promedio fueron mayores que los considerados inicialmente, pero lo que importa más es la distribución de frecuencia según la clase de encorvadura.

**Cuadro 6.** Encorvadura de las piezas de *Gmelina arborea* Roxb. de ancho doble\* antes y después del secado.

Ancho (mm)	Largo (m)	Encorvadura (mm)			
		Promedio		Desviación estándar	
		Húmeda	Seca	Húmeda	Seca
112	2.52	5.54	7.05	2.97	3.55
117	3.36	8.03	11.54	5.11	7.30
137	2.52	6.07	7.33	2.89	4.86
142	3.36	10.48	14.97	5.77	8.61

\* Las piezas de doble ancho son las que se obtienen en los patrones de corte 2.2 y 3, donde se consideran la obtención de piezas de 48mm de ancho en lugar de 24mm como en los demás patrones de corte.

Los rendimientos del reproceso de la madera de 24 mm de espesor se presentan en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Rendimiento de reaserrío de madera de *Gmelina arborea* Roxb. para el sector de la construcción de 24 mm de espesor. 2003.

Ancho (mm)	Largo (m)	Rendimiento general (%)				Total
		Listones de largo completo (cm)		Despunte (2,52m) (cm)		
		2.54 x 5.08"	2.54 x 7.62"	2.54 x 5.08"	2.54 x 7.62"	
112	2.52	36	0	0	0	36
117	3.36	27	0	18	0	45
137	2.52	15	29	0	0	44
142	3.36	16	26	8	12	62

Los rendimientos obtenidos en el reproceso de la madera para la construcción, fueron más bajos en las piezas de menor ancho. Los mayores rendimientos se presentaron en las piezas de 3.36 m de largo, ya que de ellas se obtuvieron piezas de 2.52 m del despunte de las piezas con defectos.

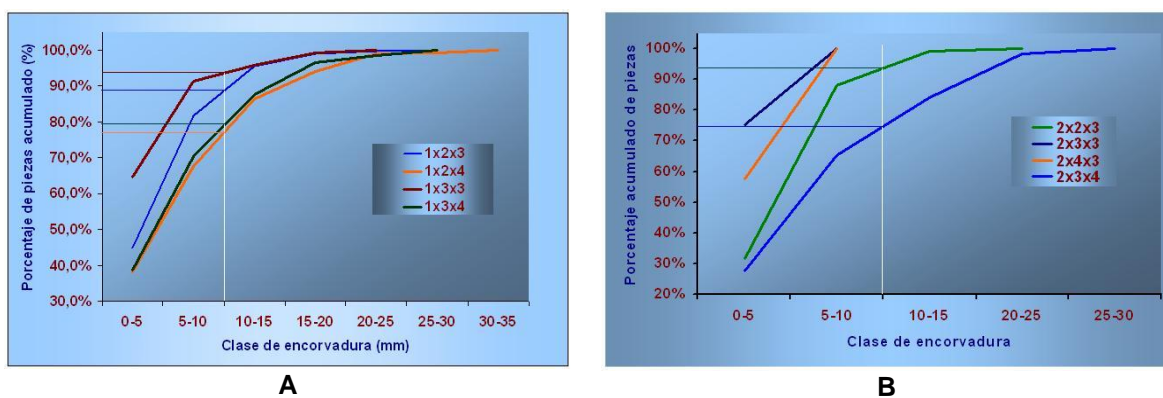
En el Cuadro 8 se muestran los resultados de la medición de encorvadura en los productos finales obtenidos según sus dimensiones.

**Cuadro 8.** Encorvadura de la madera de *Gmelina arborea* Roxb., en productos finales de madera para la construcción. 2003.

Dimensiones			Encorvadura (mm)	
Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (m)	Promedio	Desviación estándar
24	47	2.52	6.57	4.25
24	47	3.36	8.36	5.89
24	73	2.52	4.90	3.55
24	73	3.36	8.06	5.41
48	47	2.52	6.52	3.04
48	73	2.52	3.76	1.38
48	73	3.36	8.79	4.92
48	98	2.52	4.94	2.46

Los valores obtenidos en la medición de encorvadura en los productos finales son bajos, si se comparan con los valores encontrados en el mercado para esta clase de productos. Los valores comparativos no se presentan en este trabajo por ser de interés empresarial. Visualmente las piezas obtenidas presentaron una calidad aceptable en el mercado nacional.

La distribución de frecuencia por clase de encorvadura para los productos finales de 24 mm y 48 mm de espesor se muestran en la Figura 4. Se puede observar en general que el porcentaje acumulado de piezas hasta la clase de 10 mm es bastante alto para todos los productos, llegando a alcanzar valores de hasta el 100% como es el caso de las piezas 2.54 x 5.08cm (2"x 3") y 2.54 x 10.16cm (2"x 4") en 2.52 m de largo.



**Figura 4.** Distribución de frecuencia por clase de encorvadura para los productos finales de madera de *Gmelina arborea* Roxb. para la construcción. Espesor: **A:** 24 mm; **B:** 48 mm. 2003.

## DISCUSIÓN

Uno de los mayores problemas por superar en la producción de madera de construcción, son las torceduras, y entre éstas la encorvadura. Las torceduras son producidas por el efecto de la liberación de las tensiones de crecimiento (Maeglin, 1987; Kubler, 1988). Las encorvaduras se

presentan cuando las fibras tensas de la zona externa del fuste se contraen y las fibras de la zona interna en compresión se estiran, provocando así la deformación conocida como encorvadura o torcedura de canto (Córdoba, 1989). Mediante la aplicación de cortes simultáneos con una sierra circular para producir un semi-bloque, se busca minimizar el efecto de la liberación de las tensiones de crecimiento sobre los productos a obtener.

Con la aplicación posterior del sistema de aserrío-secado y reaserrío, se busca también disminuir las torceduras, ya que durante el secado se producirá la liberación de las tensiones de crecimiento y, en el mejor de los casos, éstas se contrarrestarán con los esfuerzos de secado (Marshall, 1973).

En cuanto a los rendimientos de aserrío, son menores en trozas de diámetros de menor dimensión, que en trozas de mayor diámetro. Esta afirmación se puede ilustrar claramente en este estudio, donde los mayores rendimientos se presentaron en las clases diamétricas superiores.

Las trozas con las que se realizó este estudio, fueron las que tradicionalmente se utilizaban para obtener materia prima para la fabricación de tarimas. Dichas trozas provienen de raleos, por lo cual su calidad no es la mejor, presentando defectos graves como las torceduras que afectan los rendimientos del aserrío. También estas trozas presentan otros factores que afectan el desarrollo de torceduras, tales como la combinación de varias características de crecimiento y las propiedades de la madera, interactuando con las tensiones de crecimiento (Kubler, 1988; Serrano, 1999). También la presencia de madera juvenil, las tensiones de secado, la densidad y la rigidez de la madera y las alteraciones de tipo anatómico, influyen en la aparición de torceduras.

La posición de la troza en el árbol también influye en las torceduras, se ha confirmado que cuánto más alta sea la posición de la troza, mayor es la deformación (torceduras). Se ha descubierto que la encorvadura aumenta conforme disminuye el diámetro, lo cual concuerda con la posición de la troza en el árbol (Baladan, 1982; Maeglin y Boone, 1983; Koch, 1986). La encorvadura observada en la madera obtenida en este estudio puede ser debida a este fenómeno, por lo cual se debe lidiar con ese problema en forma permanente.

Los problemas de centrado de trozas en el aserradero de diámetros menores, se deben principalmente a la torcedura de las trozas y a su diámetro tan pequeño.

La presencia de corteza en las orillas en las tablas de ancho doble para reaserrío, afectan la calidad del producto final, ya que el consumidor no acepta dicho defecto en las piezas que adquiere en el mercado.

Los rendimientos de aserrío en general son similares a los reportados por Sánchez (1997), quien reporta un 49% de rendimiento de aserrío en trozas de diámetros menores de 2.52 m de largo. El porcentaje de rendimiento obtenido en este estudio en metros cúbicos es de 49.7%.

El aporte en rendimiento de la madera obtenida de la línea de recuperación, hace posible la sostenibilidad de la producción de madera para la construcción, ya que ésta va dirigida a productos con mayor valor agregado.

La encorvadura sufrió un aumento apreciable después del secado, aumentando en todos los casos los valores promedio. Se esperaba que los esfuerzos de secado contrarrestaran la liberación de las tensiones de crecimiento, pero al parecer no se produjo este fenómeno. Es posible que si en el estudio se hubieran identificado las piezas según la posición en la troza, se hubieran encontrado diferencias significativas, ya que posiblemente las piezas laterales presenten mayores valores de encorvadura que las centrales.

Los rendimientos de reproceso fueron afectados por la encorvadura presente en las tablas de ancho doble y por la presencia de nudos, los cuales provocaban que los listones se quiebren o se fracturen. Los mayores rendimientos se presentaron en los patrones de corte para trozas de 3.36 m de largo, ya que se podía recuperar un porcentaje importante de madera en el despunte de las piezas que se quebraban. Además, se presentó un mayor rendimiento en las tablas más anchas, pero esto se debe principalmente al efecto matemático de dividir las pérdidas de volumen por concepto de corte de las sierras y la contracción entre un volumen mayor de madera.

La encorvadura presentada en los productos finales fue inferior a 8.79 mm en promedio, el cual es un valor bastante bajo. De manera cualitativa, la encorvadura empieza a ser apreciable a partir de 10 mm según las estimaciones de los autores y el personal de la empresa Maderas Cultivadas de Costa Rica.

Al analizar la distribución de frecuencia del porcentaje de piezas acumulado por clase de encorvadura (Figura 4), se puede ver que un 75% de la madera se encuentra en un rango de 0 a 10 mm de encorvadura, lográndose alcanzar hasta un 100% como en el caso de los productos de 5.08 cm x7.62 cm y 5.08 cm x10.16 cm en 2.52 m de largo. Estos resultados son bastante buenos y aseguran la aceptación del producto en el mercado.

Los patrones probados en este estudio, seguramente sólo sean rentables en el caso específico de esta empresa ya que son complementarios, la compañía posee líneas de producción para productos de alto valor agregado, donde se utiliza la madera obtenida de la línea de recuperación y la madera para la construcción con defectos que es enviada a esta línea para su saneamiento y reutilización. Para otras empresas que no posean una línea de este tipo, se deben diseñar los patrones de corte y probar su rentabilidad, debido a que los rendimientos en sí de la madera aprovechable, así como la destinada al sector de la construcción son bajos (Cuadro 4).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los patrones de corte que se diseñaron funcionaron bien, ya que se lograron obtener valores en cuanto al ancho de las caras de los semi-bloques superiores a los calculados teóricamente. La utilización de patrones de corte con 10 mm de holgura, compensa en parte el efecto de la torcedura de la troza y se logra obtener piezas de ancho doble libres de corteza en las orillas.

Los menores rendimientos de aserrío se presentaron en las clases diamétricas inferiores, por tanto, se debe al menos excluir la clase diamétrica de 16 cm a 18 cm de la producción de madera para la construcción. Además, los rendimientos de reaserrío de la madera de esta clase diamétrica, son inferiores a las del resto de las clases, debido a su pequeño diámetro y a la mayor cantidad de nudos que presentan por encontrarse en la posición donde el árbol posee mayor densidad de ramas.

Es recomendable aumentar el valor asignado a la encorvadura a la hora de diseñar los patrones de corte y así poder obtener un mayor porcentaje de rendimiento en el reproceso.

Para poder hacer un estudio más detallado del efecto de la liberación de las tensiones de crecimiento, se recomienda identificar las piezas de madera según su posición en la troza. De esta manera se podría verificar que la encorvadura ocurre mayoritariamente en las piezas de las zonas laterales del tronco, que es donde se presenta la mayor cantidad de madera tensionada.

En las trozas de 2.52 m de largo, se presentaron menos problemas de torcedura y encorvadura en los productos finales, lo que indica que es más recomendable trabajar con trozas de esta

dimensión, aunque existe el problema de que el mercado nacional, está acostumbrado a utilizar madera de 3.36 m de largo. Este problema se podría solucionar tratando de insertar paulatinamente en el mercado una mayor cantidad de madera de 2.52 m, hasta modificar el hábito de consumo de la madera en el sector constructivo. Para producir madera de 3.36 m de largo, se debe seleccionar desde la plantación las trozas de menos de 40 mm de torcedura.

El sistema de aserrío-secado-reaserrío para la producción de madera para la construcción, permitió disminuir el efecto de la liberación de las tensiones de crecimiento. Se debe realizar pruebas de aserrío con el sistema convencional, para comparar los valores de encorvadura obtenidos mediante la aplicación de este sistema, y así poder cuantificar el grado de reducción de las torceduras.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balaban, W. 1982. The effect of streaming and stacking method on warp reduction of yellow poplar 2 by 4's. M.Sc. Thesis. Morgantown, WV, US. West Virginia University. 65 p.
- Córdoba, R. 1989. Secado de la madera. San José, CR, CINDE-PROCAP. 10 p.
- Koch, C. 1986. The relationship between crook of green and seasoned yellow poplar 2 by 4's. Forest Prod. J. 36(7/8):45-48.
- Kubler, H. 1988. Silvicultural control of mechanical stresses in trees. Can. J. For. Res. 18:1215-1225
- Maeglin, R. 1987. Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing hardwood. *In* Proceedings of the 15th Annual Hardwood Symposium of the Hardwood Research Council. (1987, Memphis, US). p.100-108.
- Maeglin, R; Boone, R. 1983. Manufacture of quality yellow-poplar studs using the saw-dry-rip (S-D-R) concept. Forest Prod. J. 33 (3):10-18.
- Marshall, P. 1973. The production and drying of wide flitches for scantling. Austr. Forest Ind. J. 38(12):27-31.
- Meza, 1999. Materia prima proveniente de plantaciones forestales. *In* Industrialización de la madera con énfasis en diámetros menores, (1999, Cartago, CR). Memoria. Cartago, CR: COSEFORMA, 9 p.
- Sánchez, E. 1997. Análisis económico de la línea de diámetros menores del Aserradero San Gabriel. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. 120 p.
- Serrano, JR. 1999. Longitudinal growth strain effect on lumber warp from small yellow poplar logs. Ph.D. Dissertation. West Lafayette, Indianapolis, US, Purdue University. 297 p.