

APROVECHAMIENTO E INDUSTRIALIZACIÓN DE DOS PLANTACIONES DE *Gmelina arborea* DE 15 AÑOS DE EDAD EN DIFERENTES CONDICIONES DE PENDIENTELOGGING AND INDUSTRIALIZATION OF TWO *Gmelina arborea* PLANTATIONS WITH DIFFERENT DEGREES OF SLOPES

Juliana Espinoza-Durán; Roger Moya*

Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Apartado Postal 159-7050. Correo-e: rmoya@itcr.ac.cr Tel: 50625502433. (*Autor para correspondencia)

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue determinar los rendimientos en aprovechamiento e industrialización de dos plantaciones de *Gmelina arborea* de 15 años de edad sin manejo, en dos grados de pendientes: 30 y 60 %. Los árboles presentaban un diámetro promedio a la altura del pecho (DAP) de 31.23 cm y una altura total de 14.87 m. Se obtuvieron en promedio tres trozas por árbol. Del volumen total en pie, únicamente el 22 % es aprovechable como producto final para la venta en mercado. El desperdicio en la plantación fue de 42.57 %; al trocear el árbol se desperdicia el 14.43 %; al producir el semi-bloque en el aserrío primario se desperdicia el 26.27 % y al obtener las tablas comerciales se desperdicia el 22.10 %. El rendimiento de la troza fue de 53.22 % en madera aserrada en semi-semi-bloque y de 45.88 % en madera aserrada en tablas.

PALABRAS CLAVE: Calidad de madera aserrada, rendimientos de producción, plantaciones forestales, Costa Rica.

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the logging and industrialization of two 15 years-old *Gmelina arborea* un-managed plantations with two different slopes: 30 % and 60 %. Trees had an average diameter at breast height (DBH) of 31.23 cm and a total height of 14.87 m. Three logs per tree were extracted. Only 22 % of total standing volume in the plantation is usable as end product for market sale. The non-sawlog (waste) was 42.57 in standing tree (42.57 %), to extract log from tree filled (14.43 %), to saw in central block (26.27 %) and commercial lumber (22.10 %). The lumber recovery was 53.22 % in extracting a central block from logs and final lumber recovery in commercial lumber was 45.88 %.

KEYWORDS: Sawn lumber quality, lumber recovery, forest plantations, Costa Rica.



Recibido: 21 de septiembre de 2011

Aceptado: 20 de mayo de 2013

doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.09.067

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

El retorno económico, a mediano y a largo plazos, exige rentabilidad y producción a la actividad de la reforestación. Con el incremento de los costos de la madera aserrada, la reforestación requiere ser más competitiva en las etapas de aprovechamiento y transformación de la materia prima, para asegurar la calidad de la madera y mejorar los coeficientes de aprovechamiento y rentabilidad del proceso (Zavala & Hernández, 2000).

La operación de aprovechamiento debe adaptarse a las condiciones del sitio, la edad o tamaño de los individuos, la fisonomía de la especie y el método de extracción, entre otros (Dykstra & Heinrich, 1996). En este sentido, el aserrío de trozas con diámetros pequeños presenta condiciones diferentes al de trozas con grandes dimensiones (Moya, 2004). En países como Costa Rica, que cuenta con poca área dedicada a las plantaciones forestales, se han desarrollado equipos y métodos para el aserrío adaptados a dicha condición (Moya, 2004). No obstante, se conoce poco sobre el aprovechamiento de las especies, principalmente para cuantificar la madera aserrada que llega al mercado, considerando las etapas de aprovechamiento, troceo, aserrío y saneos dentro del aserradero.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el rendimiento en producto final de dos plantaciones de *Gmelina arborea* de 15 años creciendo en diferente pendiente. En la evaluación se consideró el volumen comercial en la plantación, etapa de troceo, aserrío en semi-bloque, hasta el producto final para su venta en el mercado. En la operación de aprovechamiento, los rendimientos fueron determinados para diferentes rangos de diámetro y longitud de trozas, y en el proceso de aserrío, para longitud, ancho y espesor de la madera aserrada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área de estudio

Se seleccionaron dos plantaciones ubicadas en el distrito tercero San Juan de Mata, Cantón Decimosexto Turrubares de la provincia de San José, Costa Rica, entre las coordenadas 4° 19' 59" N y 89° 47' 34" O. Anteriormente, los sitios eran utilizados para la ganadería extensiva, lo que causó erosión de los suelos y disminución de las aguas.

Características de las plantaciones de *G. arborea*

Los árboles fueron plantados a una distancia de 3 × 3 m (1,111 árb-ha⁻¹). El estudio se llevó a cabo en 2011, cuando los árboles tenían una edad de 15 años. A pesar de que a esta edad la densidad de plantación es baja, no fueron realizados los raleos, las podas y los chapeos, por lo que la densidad se obtuvo por la muerte natural de los árboles durante los 15 años. Las plantaciones fueron seleccionadas con dos tipos de pendientes: 30 y 60 %. En el Cuadro 1 se muestra el detalle de las condiciones silviculturales.

INTRODUCTION

The economic return in the medium and long term demands profitability and production to the reforestation activity. With the rising costs of sawn lumber, reforestation needs to be more competitive in the stages of logging and industrialization of raw material, to ensure the quality of the lumber and to improve the coefficients of logging and profitability of the process (Zavala & Hernández, 2000).

Logging must be adapted to the site conditions, age or diameter of trees, the tree morphology of the species and the method of extraction, among others (Dykstra & Heinrich, 1996). In this sense, the sawing of logs with small diameters show different conditions in comparison to logs with large dimensions (Moya, 2004). Equipment and methods for sawmilling process have been developed in countries such as Costa Rica, with a small area devoted to forest plantations, which have been developed adapted to the conditions (Moya, 2004). However, little is known about the use of the species, mainly to quantify sawn lumber in the market, considering the stages of logging, extracting the log, sawing and eliminating defects within the sawmill process.

The present study aimed to evaluate the lumber recovery of the end product of two 15-years-old *Gmelina arborea* plantations with different slopes. Commercial volume in plantation, the extraction of the log, sawing the central-block, and the final product for sale on the market was considered in the assessment. Lumber recovery was determined for different ranges of diameter and length in the logging stage and for length, width and thickness of sawn lumber in the milling process.

MATERIALS AND METHODS

Location and description of the study area

Two plantations were selected for this study; these plantations are located in the Distrito Tercero San Juan de Mata, Cantón Decimosexto Turrubares, San José, Costa Rica, between the coordinates 4° 19' 59" N and 89° 47' 34" W. In the past, these sites were used for extensive grazing, causing soil erosion and decreased water.

Characteristics of the *G. arborea* plantations

Trees were planted at a distance of 3 × 3 m (1,111 tree-ha⁻¹). The study was conducted in 2011, when trees were 15 years old. Although at this age the planting density is low, no thinning, pruning or mowing was conducted, thus density was obtained by the natural dead of the trees. The plantations selected had two types of slopes: 30 and 60 %. Table 1 shows the detail of the forest conditions.

Logging, determining volume and classification

Four subplots of 250 m² (10 × 25 m) were randomly selected in each plot. The trees of the subplots were cut completely,

CUADRO 1. Valores promedio de los parámetros dasométricos de las dos plantaciones muestreadas de *Gmelina arborea*.
TABLE 1. Average values of dasometric parameters of the two sampled *Gmelina arborea* plantations.

Parámetro / Parameter	Pendiente de 30 % / Slope of 30 %	Pendiente de 60 % / Slope of 60 %	Promedio / Average
Datos de la plantación / Plantation data			
Diámetro altura del pecho (cm) / Diameter breast height (cm)	30.96 ± 5.53	31.50 ± 5.43	31.23 ± 5.48
Altura total (m) / Total height (m)	14.30 ± 2.89	15.43 ± 2.62	14.87 ± 2.76
Altura comercial (m) / Commercial height (m)	8.96 ± 2.82	9.63 ± 2.76	9.23 ± 2.79
Cantidad de trozas por árbol (m) / Number of logs per tree (m)	3.00 ± 0.58	3.00 ± 0.95	3.00 ± 0.77
Cantidad de individuos (árb·ha ⁻¹) / Number of individuals (tree·ha ⁻¹)	270	300	285
Datos de las trozas procesadas / Processed log data			
Diámetro de trozas (cm) / Diameter per log (cm)	25.75 ± 5.05	25.22 ± 6.96	25.49 ± 6.00
Volumen por troza (m ³) / Volume per log (m ³)	0.14 ± 0.07	0.13 ± 0.08	0.14 ± 0.07
Volumen en semi-bloque (m ³) / Volume in central-block (m ³)	0.08 ± 0.04	0.07 ± 0.04	0.07 ± 0.04
Rendimiento (%) para semi-bloque / Recovery in central-block (%)	55.36 ± 14.12	51.08 ± 13.05	53.22 ± 13.59
Volumen en tabla (m ³) / Board volume (m ³)	0.07 ± 0.03	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.03
Rendimiento (%) en tablas / Board recovery (%)	47.08 ± 12.19	44.68 ± 14.68	45.88 ± 13.44

± Desviación estándar
± Standard deviation

Aprovechamiento, determinación de volumen y clasificación

En cada lote dependiente se seleccionaron al azar cuatro subparcelas de 250 m² (10 × 25 m). Los árboles de las subparcelas se cortaron en su totalidad. Antes del corte se estimó el volumen en pie (m³) de cada árbol, a través de la medición del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura comercial y la altura total. El volumen total se determinó con la siguiente ecuación desarrollada por Akinnifesi y Akinsanmi (1995), utilizando un diámetro mínimo de 7 cm:

Volumen total sin corteza
(m³) = 0.1412 + 0.00087586* d² + 0.1* h

Donde:

d = Diámetro (m)
h = Altura (m)

before this happened, the standing volume (m³) of each tree was estimated by means of the diameter at breast height (DBH), commercial height and total height measurement. The total volume was determined using the equation developed by Akinnifesi and Akinsanmi (1995), with a minimum diameter of 7 cm:

Total volume without bark
(m³) = 0.1412 + 0.00087586* d² + 0.1* h

Where:

d = Diameter (m)
h = Height (m)

The commercial standing volume was calculated using the equation of Burbano (1997) for the plantations of Costa Rica, with minimum diameter of 10 cm:

El volumen comercial en pie se calculó con la ecuación de Burbano (1997) para las plantaciones de Costa Rica y se utilizó un diámetro mínimo de 10 cm:

$$\text{Volumen comercial con corteza} \\ (\text{m}^3) = e^{11.6424 + 2.2444 \text{ Ln} (DAP) + 1.1249 * \text{Ln}(h)}$$

Donde:

DAP = Diámetro a la altura del pecho (m)

h = altura (m)

Una vez realizada la corta, los árboles fueron troceados a diferentes longitudes comerciales y se clasificaron por diámetro y longitud (Cuadro 1). El volumen de cada troza se calculó con la siguiente ecuación (Burbano, 1997):

$$\text{Volumen de troza} (\text{m}^3) = \frac{(D \text{ menor})^2 + (D \text{ mayor})^2}{2} * \frac{\pi}{4} * L$$

Donde:

D = Diámetro (m)

L = Longitud (m)

Aserrío

Las trozas fueron aserradas utilizando un aserradero portátil (Woodmizer LT15, Estados Unidos). El patrón de corte utilizado se realizó en dos etapas. En la primera se obtuvo un semi-semi-bloque con las máximas dimensiones posibles, eliminando las costillas y quedando libre de gambas, protuberancias o daños. En la segunda etapa del aserrío, el semi-semi-bloque se reaserró en tablas con el máximo ancho posible, iniciando los cortes con espesores de menores dimensiones, especialmente madera de 12 mm, para luego concentrarse en la obtención de tablas de 25 mm y dejando la parte central del semi-semi-bloque en tablas de espesores de 32 a 45 mm. El volumen de madera aserrada fue determinado en dos periodos diferentes; la primera medición fue en el momento de obtener los semi-bloques, que variaron de 13 a 53 cm, y la segunda medición se hizo cuando la madera estaba lista para comercializarse. En ambos casos, el volumen fue calculado utilizando el ancho, espesor y longitud de la tabla o del semi-semi-bloque mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de tabla} (\text{m}^3) = \frac{\text{Ancho} * \text{Espesor} * \text{Longitud}}{10,000}$$

Finalmente, en el Cuadro 2 se muestra la clasificación de la madera aserrada por espesores, anchos y longitudes comerciales utilizados en Costa Rica.

Determinación de rendimientos

El grado de aprovechamiento de la madera en pie fue determinado mediante: 1) la relación entre el volumen comercial y el volumen total en pie, 2) la relación entre el volumen obtenido en trozas comerciales y el volumen total

Commercial volume without bark

$$(\text{m}^3) = e^{11.6424 + 2.2444 \text{ Ln} (DAP) + 1.1249 * \text{Ln}(h)}$$

Where:

DBH = Diameter at breast height (m)

h = height (m)

After the cut, trees were sawn to different commercial lengths and classified by diameter and length (Table 1). The volume of each log was calculated with the following equation (Burbano, 1997):

$$\text{Log volume} (\text{m}^3) = \frac{(D \text{ minor})^2 + (D \text{ major})^2}{2} * \frac{\pi}{4} * L$$

Where:

D = Diameter (m)

L = Length (m)

Sawmill process

Logs were sawn using a sawmill (Woodmizer LT15, USA). The sawn pattern was conducted in two stages. In the first stage, the central block with the maximum possible dimensions was obtained, removing ribs and being shrimp, bumps or damage free. In the second stage, the central-block was re-sawn obtaining wide boards, initiating cuts with smaller thicknesses, especially lumber of 12 mm, and then to focus on 25 mm boards, leaving the central part for boards with 32 to 45 mm thickness. The volume of sawn lumber was determined in two different periods; the first measurement occurred by extracting the central-block, which varied from 13 to 53 cm, and the second measurement was obtained when the lumber was ready to be commercialized. In both cases, volume was calculated using width, thickness and length of the board or central block using the following equation:

$$\text{Board volume} (\text{m}^3) = \frac{\text{Width} * \text{thickness} * \text{Length}}{10,000}$$

Finally, Table 2 shows the classification of sawn lumber by commercial thicknesses, widths and lengths in Costa Rica.

Determining lumber recovery

The degree of logging of standing lumber was determined by means of: 1) the relationship between trade volume and the total standing volume, 2) the relationship between the volume obtained in commercial log and the total standing volume, 3) the relationship between the volume obtained in central-block and the total standing volume, and 4) the relationship between the volume of the final product and the total standing volume.

Data analysis

The distribution of logs by length and diameter and the distribution of boards by length, width and thickness were ana-

CUADRO 2. Clasificación de trozas por diámetro y longitud, y clasificación de tablas por ancho, longitud y espesor utilizados en el presente estudio.

TABLE 2. Log classification by diameter and length, and table classification by width, length and thickness used in this study.

Rangos de clasificación de trozas / Log classification ranges		Rangos de clasificación de tablas / Board classification ranges		
Diámetro (cm) / Diameter (cm)	Longitud (m) / Length (m)	Ancho (cm) / Width (cm)	Longitud (m) / Length (m)	Espesor (cm) / Thickness (cm)
15 - 20	1.68 - 2.10	10.0 - 12.5	1.68 - 2.10	1.50 - 1.75
20 - 25	2.10 - 2.50	12.5 - 15.0	2.10 - 2.50	1.75 - 2.00
25 - 30	2.50 - 2.94	15.0 - 17.5	2.50 - 2.94	2.00 - 2.25
30 - 35	2.94 - 3.36	17.5 - 20.0	3.94 - 3.36	2.25 - 2.50
35 - 40		20.0 - 22.5		2.50 - 2.75
40 - 45		22.5 - 25.0		2.75 - 3.00
		25.0 - 27.5		
		27.5 - 30.0		

en pie, 3) la relación entre el volumen obtenido en semi-bloques y el volumen total en pie, y 4) la relación entre el volumen obtenido de producto final y el volumen total en pie.

Análisis de los datos

La distribución de las trozas por longitud y diámetro y la distribución de las tablas por longitud, ancho y espesor fueron analizadas determinando en cada una de ellas sus porcentajes respecto de la cantidad de trozas o tablas totales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación cuantitativa del aprovechamiento de *G. arborea*

En el Cuadro 3 se muestra la evaluación cuantitativa del aprovechamiento de *G. arborea*. El volumen total en pie fue en promedio 222.95 m³·ha⁻¹ para las dos pendientes. La Figura 1 muestra las diferentes etapas del aprovechamiento de *G. arborea*. Es notable que la cuantificación del volumen comercial en pie disminuye en relación con el volumen total a un promedio de 128 m³·ha⁻¹, que equivale al 57.25 %. Al realizar el troceo de los árboles, el volumen nuevamente disminuye de forma similar en ambas pendientes, teniendo una disminución al 49.08 %. Con respecto a los dos tipos de pendiente, se tiene que en la pendiente de 60 % hubo una pérdida mayor de volumen al trocear el árbol. Dicho resultado se debió a que al aumentar la pendiente se desarrolla un árbol de menor calidad en cuanto a su forma y, por tanto, al trocearlo es necesario eliminar las partes torcidas.

En algunos estudios de Costa Rica se reportan volúmenes de la madera en pie más bajos que los presentados en las dos plantaciones estudiadas. Por ejemplo, en una plantación de 12 años de edad se reporta un volumen total de 149.09 m³·ha⁻¹ (Ladrach, 2004; Moya, 2004); en plantaciones con turno de cosecha de 10 a 12 años de edad, el volumen en pie varió de 125 a 275 m³·ha⁻¹ (Cámara Costa-

lyzed determining in each one of them the percentages with respect to the amount of total logs of boards.

RESULTS AND DISCUSSION

Quantitative assessment of the logging of *G. arborea* trees

Table 3 shows the quantitative evaluation of logging of *G. arborea*. The average total standing volume was 222.95 m³·ha⁻¹ for both slopes. Figure 1 show the different stages of logging of *G. arborea*. It is important to note that the quantification of commercial standing volume decreases in relation to the total volume to an average of 128 m³·ha⁻¹, equivalent to 57.25 %. By extracting the log from the tree, the volume decreases again similarly in both slopes, with a decrease to 49.08 %. With respect to the two kinds of slopes, the slope of 60% had a higher volume loss by extracting the log. This result was because by increasing the slope, grows a tree with lower quality in terms of shape and therefore, when it is sawn it is necessary to remove the twisted parts.

Some studies from Costa Rica report lower standing volumes than those showed in the plantations studied. For example, a 12-years-old plantation reports a total volume of 149.09 m³·ha⁻¹ (Ladrach, 2004; Moya, 2004); a 10 to 12-years-old plantations with harvest periods reports a standing volume ranging from 125 to 275 m³·ha⁻¹ (Cámara Costarricense Forestal [CCF], 2001), and 7.5-years-old plantations, with clone trees reports a total volume of 100-150 m³·ha⁻¹ (Hamilton, Chandler, Brodie, & Cornelius, 1998). These volumes are lower than 205.81 and 240.08 m³·ha⁻¹ found in this study for the slopes of 30 and 60 %, respectively.

Assessing the amount of logs of *G. arborea* per diameter and length

A total of 790 logs·ha⁻¹, on average, were obtained with lengths ranging from 1.68 to 3.36 m (Costa Rica commer-

CUADRO 3. Volumen de madera en las diferentes etapas del aprovechamiento de *Gmelina*.
TABLE 3. Lumber volume at different stages of *Gmelina* use.

Pendiente / Slope	Volumen / Volume	Volumen (m ³ ·ha ⁻¹) / Volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Pérdida en relación con el proceso anterior / Loss in relation to the previous process		Pérdida en relación con el volumen en plantación / Loss in relation to the plantation volume	
			(m ³ ·ha ⁻¹)	%	(m ³ ·ha ⁻¹)	%
30 %	Total pie / Total standing	205.81 ± 3.07	-	-	-	-
	Comercial en pie / Commercial lumber standing	113.46 ± 2.24	92.35	44.87	92.35	44.87
	En troza / Log	107.05 ± 2.20	6.41	5.64	98.76	47.99
	En semi-bloque / Central-block	58.98 ± 1.43	48.07	28.66	146.83	71.34
	En tabla / Board	49.17 ± 1.13	9.81	23.89	156.64	77.57
60 %	Total pie / Total standing	240.08 ± 2.98	-	-	-	-
	Comercial en pie / Commercial lumber standing	142.60 ± 2.24	97.48	40.60	97.48	40.60
	En troza / Log	110.80 ± 2.30	31.80	20.30	129.20	53.81
	En semi-bloque / Central-block	58.15 ± 1.17	52.65	24.22	181.93	75.78
	En tabla / Board	49.36 ± 1.03	8.79	20.56	190.72	79.44
Promedio / Average	Total pie / Total standing	222.95 ± 3.03	-	-	-	-
	Comercial en pie / Commercial lumber standing	128.03 ± 2.24	94.92	42.58	94.92	42.57
	En troza / Log	110.80 ± 2.25	19.11	14.43	114.03	51.14
	En semi-bloque / Central-block	58.57 ± 1.30	50.36	26.27	164.39	73.73
	En tabla / board	49.27 ± 1.08	9.30	22.10	173.69	77.90

rricense Forestal [CCF], 2001), y para plantaciones de 7.5 años de edad, con árboles clonados, se reporta un volumen total de 100-150 m³·ha⁻¹ (Hamilton, Chandler, Brodie, & Cornelius, 1998). Dichos volúmenes son inferiores a 205.81 y 240.08 m³·ha⁻¹ encontrados en el presente estudio para las pendientes de 30 y 60 %, respectivamente.

Evaluación de la cantidad de trozas de *G. arborea* por diámetros y longitud

En promedio se obtuvo un total de 790 trozas·ha⁻¹ con longitudes que variaron de 1.68 a 3.36 m (longitudes comerciales de Costa Rica). La pendiente de 60 % produjo 40 trozas·ha⁻¹ más que el sitio con pendiente de 30 %. La mayor cantidad de trozas, en promedio, se produjo en el rango diamétrico de 20-25 cm con 37 % del total, seguido del rango de 25-30 cm con 31 % del total de trozas. La categoría con menor canti-

cial lengths). The slope of 60 % produced 40 logs·ha⁻¹ more than the site with the slope of 30 %. The highest amount of logs, on average, occurred in the diametric range of 20-25 cm with 37 % of the total, followed by the range of 25-30 cm with 31 % of the total of logs. The category with the least amount of logs was 40-45 cm with 2 % of the total (Figure 2a). In the assessment of commercial lengths, the highest amount of logs was recorded for the category of 2.50 a 2.94 m with 70 % of the total, for both the average (Figure 2b) and the two types of slope (Figure 2e and 2f). Moreover, the amount of logs with lengths of 1.68 to 2.5 m ranged from 9 to 13 % on average (Figure 2b), from 8 to 12 % in the case of the slope of 60 % (Figure 2e) and from 11-14 % in the case of the slope of 30 % (Figure 2f). By analyzing the two slopes, it was observed that there is a greater amount of logs in the site with the slope of 60 %, and that, in both cases, the greater amount of logs is concentrated in the ranges of 20-30

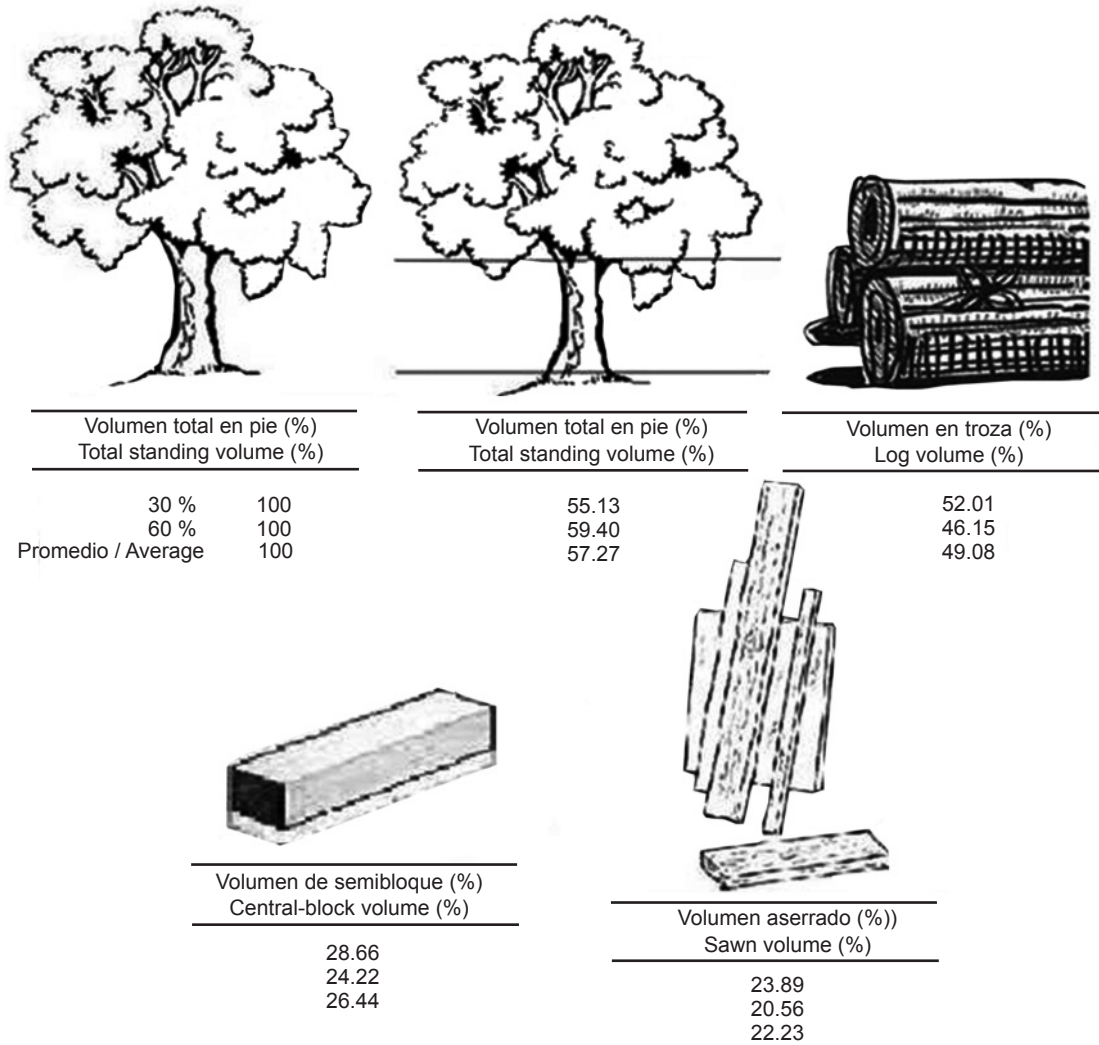


FIGURA 1. Porcentajes de utilización de la plantación en las diferentes etapas del aprovechamiento de *Gmelina arborea*.
 FIGURE 1. Percentages of plantation use at different logging stages of *Gmelina arborea*.

dad de trozas fue la de 40-45 cm con 2 % del total (Figura 2a). En la evaluación por longitudes comerciales, la mayor cantidad de trozas se registró en la categoría de 2.50 a 2.94 m con 70 % del total, tanto para el promedio general (Figura 2b) como en los dos tipos de pendiente (Figura 2e y 2f). Por el contrario, la menor cantidad se presentó en el rango de 2.94 a 3.36 m, con 8 y 6 % del total de trozas para el promedio general y la pendiente de 30 %, respectivamente (Figura 2b y 2f). Finalmente, la cantidad de trozas con longitudes de 1.68 a 2.5 m varió de 9 a 13 % en promedio (Figura 2b), de 8 a 12 % en la pendiente de 60 % (Figura 2e) y de 11-14 % en la pendiente de 30 % (Figura 2f). Al analizar las dos pendientes se encontró que hay mayor cantidad en el sitio con pendiente de 60 % y que, en ambas pendientes, la mayor cantidad de trozas se concentra en los rangos de diámetros de 20-30 cm, seguido por el rango de 30-35 cm y 15-20 cm. El porcentaje de trozas más bajo se presentó cuando los diámetros fueron más grandes (Figura 2c y 2d).

Las trozas que se obtienen al cosechar plantaciones forestales, generalmente, son de dimensiones pequeñas; su longitud varía de 2.5-3.36 m y sus diámetros son menores de 25 cm (Quirós, Chinchilla, & Gómez, 2005a). Al realizar el

cm diameter, followed by the range 30 -35 cm and 15-20 cm. The lowest percentage of logs was shown when the diameters were larger (Figure 2c and 2d).

The logs obtained by harvesting forest plantations are generally small in size, their length varies from 2.5-3.36 m and their diameters are less than 25 cm (Quirós, Chinchilla, & Gómez, 2005a). By extracting the log from the tree, due to the characteristics of the commercial logs, the greater amount of logs varied from 2.52 to 3.36 m length. Logs with shorter lengths are obtained or produced in order to give an advantage to the stem of the tree.

By comparing the results obtained in other studies, we observe closer values to those obtained with *G. arborea*. For example, Moya (2004) in a 7.5-years-old plantation reports a total of 373 logs-ha⁻¹ with a range of diameter class of 15-25 cm, but the highest percentage was found in the range of 15-20 cm. In another study conducted by Moya, Esquivel and Ureuña (2009), but in an eight-years-old plantation of *Alnus acuminata*, 480 logs-ha⁻¹ and a greater amount of logs in the range of 15-20 cm were found. Therefore, we can see the difference in the number of logs per hectare and diame-

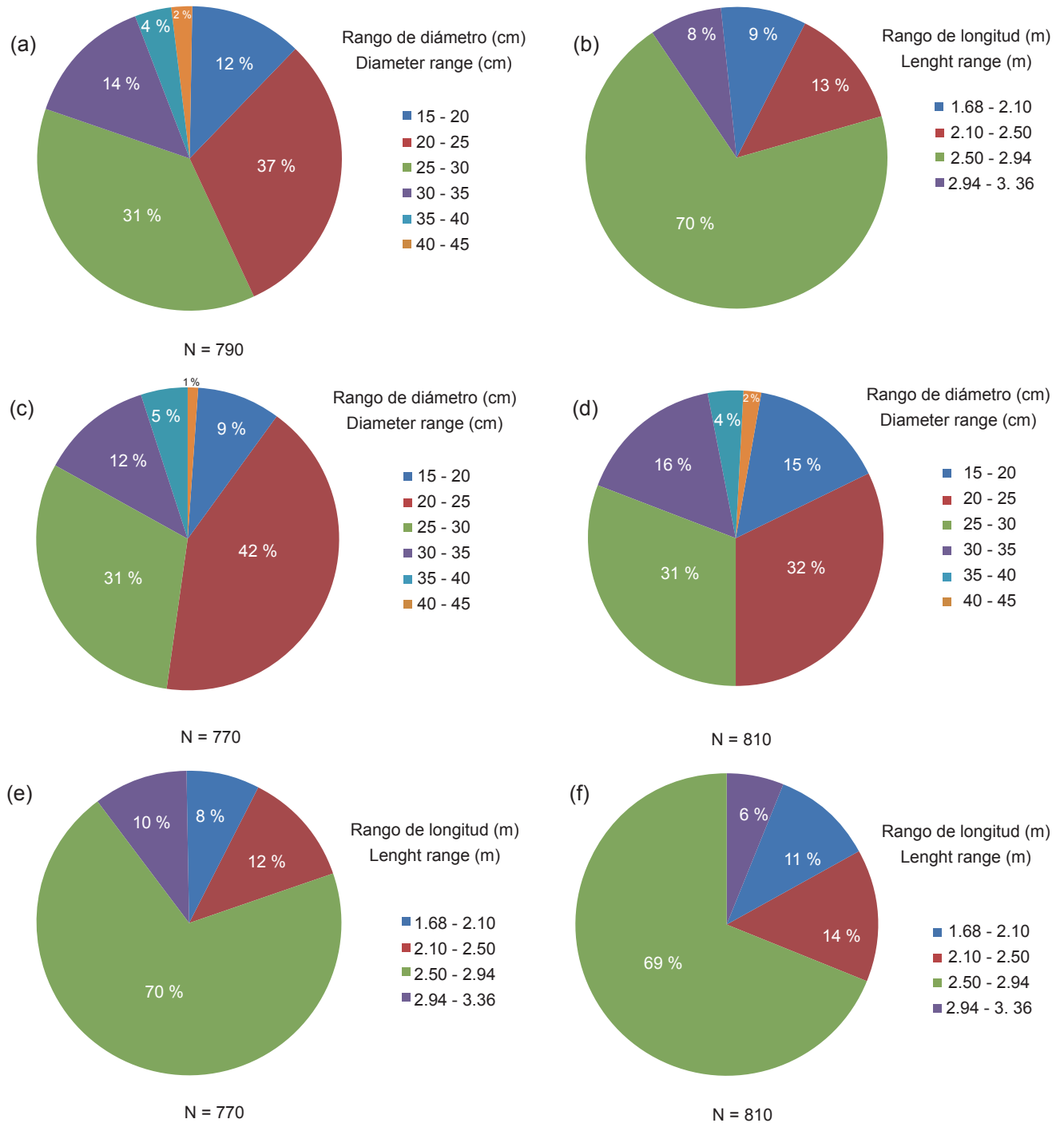


FIGURA 2. Porcentaje de la distribución promedio de trozas-ha⁻¹ por diámetro (a) y longitud (b), y distribución por diámetro y longitud para la plantación en una pendiente de 60 % (c y e) y de 30 % (d y f).

FIGURE 2. Percentage of the average distribution of logs-ha⁻¹ per diameter (a) and length (b), and distribution per diameter and length for the plantation with a slope of 60 % (c and e) and 30 % (d and f).

troceo del fuste del árbol, debido a las características de las trozas comerciales, la mayor cantidad de trozas se obtuvo en el rango de 2.52 a 3.36 m de longitud. Las trozas con longitudes menores son obtenidas o producidas con el fin de dar un aprovechamiento al fuste del árbol.

Al comparar los resultados obtenidos en otros estudios se tienen valores cercanos a los obtenidos con *G. arborea*. Por ejemplo, Moya (2004) en una plantación de 7.5 años de edad

ter range, which is a product of the age difference between the plantation assessed and the other plantations mentioned and the forest treatments received in each plantation.

Lumber recovery

The average sawn diameter was 25.5 cm; the slope of 30 % has a diameter of 25.75 cm and the slope of 60 % a diameter of 25.22 cm (Table 1). The average lumber recovery of the pri-

reporta un total de 373 trozas·ha⁻¹ con un rango de clase diamétrica de 15 a 25 cm, pero el mayor porcentaje se encontró en el intervalo de 15 a 20 cm. En otro estudio llevado a cabo por Moya, Esquivel y Ureña (2009), pero en una plantación de *Alnus acuminata* de ocho años de edad, se encontraron 480 trozas·ha⁻¹ y mayor cantidad de trozas en el rango de 15-20 cm. Por tanto, se puede observar la diferencia de cantidad de trozas por hectárea y rango diamétrico, la cual es producto de la diferencia de edad entre la plantación evaluada y las mencionadas, así como de los tratamientos silviculturales recibidos en cada plantación.

Rendimiento de la madera

El diámetro promedio aserrado fue de 25.5 cm; la pendiente de 30 % presenta un diámetro de 25.75 cm y la pendiente de 60 % un diámetro de 25.22 cm (Cuadro 1). El rendimiento promedio del aserrío primario (producción de semi-bloques) fue de 53 %, y el rendimiento total de las tablas para venta en mercado fue de 46 %. En las dos pendientes se obtuvieron rendimientos diferentes. El rendimiento en la pendiente de 30 % fue de 55.36 % en semi-bloques y de 47.07 % en producto terminado. En tanto que en la pendiente de 60 %, los rendimientos resultaron inferiores, de 51.07 y 44.68 %, para semi-bloques y producto terminado, respectivamente (Cuadro 1).

El producto comercializable en madera aserrada fue en promedio 49.27 m³·ha⁻¹, dejando en las diferentes etapas un volumen de desperdicio total de 173.68 m³·ha⁻¹ (Cuadro 3). En el aserrío primario (madera en semi-bloques), la pérdida respecto del volumen total en pie fue de 73.56 % (Figura 1) y respecto del volumen en troza se tiene una diferencia de 22.64 m³·ha⁻¹ (Cuadro 3). Finalmente, la madera aserrada lista para su comercialización aprovecha sólo el 22.23 % del volumen total en pie (Figura 1), dejando un desperdicio de 77.77 %. En el proceso de transformar semi-bloques a madera ya aserrada, el desperdicio fue de 4.21 % (Cuadro 3). Si se analiza la pérdida de producto a partir del volumen comercial en pie, se observa que en promedio hay 8.19 % en el troceo, 30.83 % cuando se realiza el semibloqueo y hay una diferencia de 35.04 % con respecto al volumen del producto final obtenido. En la Figura 1, se evidencia que la mayor pérdida de volumen se da en la pendiente de 60 %.

El factor de recuperación de la madera aserrada puede variar dependiendo de las dimensiones de las trozas, la forma y la calidad (Moya, 2000; Quirós, Chinchilla, & Gómez, 2005b; Sanabria & Serrano 1993; Serrano, 1991), siendo estos dos últimos factores los que probablemente incidieron en el volumen final aprovechado. El rendimiento de trozas de melina se ha estudiado para diferentes plantaciones y edades. Por ejemplo, Fuwape (1998) obtuvo rendimientos entre 25 y 35 % con trozas de entre 15 y 40 cm de diámetro; sin embargo, las trozas fueron aserradas en productos de menores dimensiones y también presentaban un diámetro promedio inferior al que se manejó en nuestro estudio. En otro estudio llevado a cabo por Quirós et al. (2005a) se reporta 39 % en madera aserrada, nuevamente un rendimiento

de 53 %, y el total recovery of the boards for sale on market was 46 %. Both slopes obtained different lumber recovery. The lumber recovery of the slope of 30 % was 55.36 % for central-block and 47.07 % for the finished product. While in the case of the slope of 60 %, the lumber recovery was lower, 51.07 and 44.68 % for central-blocks and semi-finished product, respectively (Table 1).

The commercial sawn lumber was on average 49.27 m³·ha⁻¹, leaving at different stages a total waste volume of 173.68 m³·ha⁻¹ (Table 3). In the first sawing stage (central blocks), the lost with respect to the total standing volume was 73.56 % (Figure 1), and with respect to the log volume the difference was of 22.64 m³·ha⁻¹ (Table 3). In addition, sawn lumber ready to be market takes advantage of only 22.23 % of the total standing volume (Figure 1), leaving a waste of 77.77 %. The waste was 4.21 % (Table 3) in the process of transforming central-blocks into sawn lumber. If we analyze the loss of the product from the commercial standing volume, 8.19 % waste is obtained during the sawing process, 30.83 % when the central-block is obtained and there is a difference of 35.04 % with respect to the volume of the end product obtained. Figure 1 shows that the largest loss of volume occurs in the slope of 60 %.

The recovery factor of sawn lumber may vary depending on the dimensions, shape and quality of the logs (Moya, 2000; Quirós, Chinchilla, & Gómez, 2005b; Sanabria & Serrano 1993; Serrano, 1991) these two last factors are those that probably influenced the final volume. Melina log recovery has been studied for different plantations and ages. For example, Fuwape (1998) obtained lumber recovery between 25 and 35 % with logs between 15 and 40 cm diameter; however, logs were sawn into smaller products and also showed an average diameter less than that handled in our study. Another study conducted by Quirós et al. (2005a) reported 39 % in sawn lumber, again a lower lumber recovery than that found in the present study. However, Serrano (1992) had a lumber recovery of 44.13 % for logs with diameter greater than 25 cm. Also Sánchez (1998) obtained a 49 % lumber recovery in sawmilling but with diameters less than 25 cm. Bermúdez (2006), meanwhile, reported a lumber recovery of 49.7 %. Logs recovery depend on their own defects, the lumber species, and its diameter and length or the plantation management (Bermúdez, 2006). This results in that the lumber recovery obtained in the present study is different from that reported in the studies above mentioned.

Lumber recovery per width, length and thickness of boards

Table 4 shows the number of pieces and volume of sawn lumber in accordance with the dimensions evaluated. The distribution of the boards according to their width showed that, on average, the largest number of them is located between the ranges of 15-17.5 cm and 17.5-20 cm. However, when the volume is measured, the highest value appears in 22.5-25 cm width but with low number of parts. On

to menor al encontrado en el presente estudio. Sin embargo, Serrano (1992) obtuvo un rendimiento del 44.13 % para trozas con diámetro mayor de 25 cm. También Sánchez (1998) obtuvo un rendimiento de 49 % en aserrío pero con diámetros menores de 25 cm. Bermúdez (2006), en tanto, reporta un rendimiento de 49.7 %. Los rendimientos de las trozas dependen de los defectos presentes en las mismas, de la especie de madera, así como de su diámetro y longitud o del manejo que la plantación presente (Bermúdez, 2006). Esto da como resultado que los rendimientos obtenidos en el presente estudio sean diferentes de los reportados en los estudios ya mencionados.

Rendimiento por ancho, longitud y espesor de tablas

En el Cuadro 4 se muestra la cantidad de piezas y volumen obtenido de la madera aserrada, de acuerdo con las dimensiones evaluadas. La distribución de las tablas según su ancho mostró que, en promedio, la mayor cantidad de éstas se ubica entre los rangos de 15-17.5 cm y 17.5-20 cm. No obstante, cuando el volumen se cuantifica, el más alto valor se presenta en el ancho de 22.5-25 cm, pero con baja cantidad de piezas. En promedio, la menor cantidad de piezas se registró en el rango de 25-27.5 cm.

El análisis mostró que en la pendiente de 30 %, la mayor cantidad de tablas se concentra en la categoría de 17.5 a 20 cm. Sin embargo, cuando se cuantifica la producción en término de volumen, se tiene que el valor más alto se encuentra en el rango de 22.5 a 25 cm en la pendiente de 30 %, y en el rango de 20 a 22.5 cm en la pendiente de 60 %. En la pendiente de 30 %, otro porcentaje importante de piezas se produjo en el rango de 22.5-25.0, pero éste no fue imperante en la pendiente de 60 %, ya que fue superado por los rangos de 20-22 cm y 17.5-20 cm. Finalmente, en ambas pendientes, la menor cantidad de piezas y el menor volumen por ancho de la tabla se presentaron en los rangos de 10-12.5 cm, 25-27.5 cm y 27.5-30 cm.

Al evaluar la cantidad de piezas por longitud, se tiene que la mayor cantidad de tablas y el mayor volumen se registraron en la categoría de 243 a 284.5 cm, tanto para los dos tipos de pendiente como para el promedio (Cuadro 4). Este resultado era de esperar, ya que el mayor porcentaje de trozas se concentra en esa longitud (Figura 3f). El análisis de la cantidad de tablas presentes en cada categoría mostró que la mayor cantidad de éstas se ubican en el rango de 2 a 2.25 cm de espesor (Cuadro 4). Dichos resultados son de esperar, ya que la madera de 22 mm de espesor fue el producto principal.

CONCLUSIONES

Desde el volumen total en pie hasta el producto final se desperdician 173.68 m³ de madera en el proceso de aserrío, lo cual corresponde al 78 %, esto debido a la alta incidencia de defectos. Asimismo, el volumen aprovechable fue de 22 %. El rendimiento de las trozas fue de 53.22 % en semi-bloque

average, the lowest number was recorded in the range of 25-27.5 cm.

The analysis showed that in the case of the slope of 30 %, the highest number of boards is located in the category of 17.5 to 20 cm. However, when the production is quantified in terms of volume, the highest value is in the range of 22.5 to 25 cm in the slope of 30 % and in the range of 20 to 22.5 cm in slope of 60 %. The slope of 30 % had another important percentage of pieces produced in the range of 22.5-25.0, but this was not prevalent in the case of the slope of 60 %, because it was overcome by the range of 20-22 cm and 17.5-20 cm. Finally, in both slopes, the lowest number of pieces and the lowest volume per width of the boards was found in the range of 10-12.5 cm 25-27.5 cm and 27.5-30 cm.

By assessing the number of pieces per length it is seen that the largest amount of boards and the largest volume was recorded in the category of 243 to 284.5 cm, for both types of slopes and average (Table 4). This result was expected, because the higher percentage of logs was found in that length (Figure 3f). The analysis of the amount boards in each category showed that the largest amount of them is located in the range of 2 to 2.25 cm thickness (Table 4). These results are to be expected, since lumber of 22 mm thickness was the main product.

CONCLUSIONS

From the total standing volume up to the final product, 173.68 m³ of lumber is wasted in the milling process, which corresponds to 78 % due to the high incidence of defects. Furthermore, the usable volume was 22 %. The log recovery was 53.22 % for central-block and 45.88 % for sawn lumber. A loss of 42.6 % is obtained by calculating the trade volume, and by producing boards from central-blocks again there is loss of approximately 22 %. This suggests that it is important to look for alternatives for that volume that is not marketable, both in planting and at the time of producing the central-blocks. In the final harvest of a 10-years-old plantation, most of the logs are produced in the diameter range of 20-30 cm (average diameter of 25.5 cm), which results in that a large amount of sawn lumber has commercial widths ranging from 12.5 to 25.5 cm wide, this type of boards are easy marketing.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, for the financial support for developing this research. And we would also like to thank the Enterprise Hacienda Junquillal, S. A., for allowing us to make this work, and especially to Mr. MBA Luis Fonseca, for providing support for this research.

CUADRO 4. Cantidad de piezas y volumen obtenido para diferentes anchos, longitudes y espesores de la madera aserrada de una plantación de *Gmelina arborea*.TABLE 4. Number of pieces and volume obtained for different widths, lengths and thicknesses of sawn lumber of *Gmelina arborea* plantations.

	Pendiente de 30 % / Slope of 30 %		Pendiente de 60 % / Slope of 60 %		Promedio general / Overall average	
	Cantidad de piezas·ha ⁻¹ / Number of pieces·ha ⁻¹	Volumen (m ³ ·ha ⁻¹) / Volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Cantidad de piezas·ha ⁻¹ / Number of pieces·ha ⁻¹	Volumen (m ³ ·ha ⁻¹) / Volume (m ³ ·ha ⁻¹)	Cantidad de piezas·ha ⁻¹ / Number of pieces·ha ⁻¹	Volumen (m ³ ·ha ⁻¹) / Volume (m ³ ·ha ⁻¹)
Rango de ancho de tablas / Board wide range						
10 - 12.5	3	0.02	16	0.09	9.5	0.06
12.5 - 15	15	0.11	63	0.45	39	0.28
15 - 17.5	42	0.34	114	1.02	78	0.68
17.5 - 20	102	0.95	57	0.55	79.5	0.75
20 - 22.5	27	0.28	63	0.71	45	0.50
22.5 - 25	78	1.04	39	0.51	58.5	0.77
25 - 27.5	1	0.014	0	0	0.5	0.01
27.5 - 30	11	0.17	5	0.07	8	0.12
Total	279	2.94	357	3.41	318	3.17
Rango de longitud de tablas / Board length range						
160 - 201.5	34	0.21	25	0.12	29.5	0.16
201.5 - 243	38	0.32	39	0.32	38.5	0.32
243 - 284.5	176	1.96	272	2.69	224	2.32
326 - 367.5	31	0.45	21	0.28	26	0.37
Total	279	2.94	357	3.41	318	3.17
Rango de espesor de tablas / Board thickness range						
1.5 - 1.75	5	0.04	14	0.10	9.5	0.07
1.75 - 2	11	0.11	25	0.21	18	0.16
2 - 2.25	200	2.06	233	2.23	216.5	2.14
2.25 - 2.5	31	0.35	51	0.52	41	0.44
2.5 - 2.75	30	0.35	33	0.34	31.5	0.35
2.75 - 3	2	0.02	1	0.01	1.5	0.016
Total	279	2.94	357	3.41	318	3.17

y de 45.88 % en madera aserrada. Al calcular el volumen comercial se tiene una pérdida de 42.6 %, y al producir tablas a partir de los semi-bloques nuevamente hay una pérdida de aproximadamente 22 %. Lo anterior indica que es necesario buscar alternativas para ese volumen que no es comercializable, tanto en la plantación como en el momento de producir los semi-bloques. En la cosecha final de una plantación de 10 años, la mayoría de las trozas se producen en el rango diamétrico de 20-30 cm (diámetro promedio de 25.5 cm), lo que da como resultado que una gran cantidad de la madera aserrada produzca anchos comerciales que varían de 12.5 a 25.5 cm de ancho, siendo este tipo de tablas de fácil comercialización.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el apoyo económico al desarrollo de esta investigación. A la empresa Hacienda Junquillal, S. A., por permitir realizar el presente trabajo en sus instalaciones, y especialmente al señor MBA Luis Fonseca, por brindar su apoyo durante esta investigación.

REFERENCIAS

- Akinnifesi, F. K., & Akinsanmi, F. A. (1995). Linear equations for estimating the merchantable wood volume of *Gmelina arborea* in Southwest Nigeria. *Journal of Tropical Forest Science*, 7(3), 391–397.
- Bermúdez, G. (2006). Proceso de aserrío de trozas de diámetros menores de *Gmelina arborea* Roxb., para la producción de madera para la construcción. *Kurú: Revista Forestal Mesoamericana*, 3(8), 1–10. Obtenido de <http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/513>
- Burbano, S. S. (1997). *Manual para la estimación del volumen comercial en pie de las plantaciones de Gmelina arborea* Roxb. San José, Costa Rica: COSEFORMA-MINAE-GTZ.
- Cámara Costarricense Forestal (CCF) (2001). *Oportunidades de mercadeo y comercialización internacional de las maderas tropicales y de sus manufacturas: La experiencia del caso de la melina en Costa Rica y de la unidad de comercialización de la CCF*. San José, Costa Rica: Autor.
- Dykstra, D. P., & Heinrich, R. (1996). *Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO*. Roma, Italia: Servicio de Aprovechamiento y Transporte Forestales, Departamento de Montes de la FAO.
- Fuwape, J. A. (1998). Developments in wood-based industries in Nigeria. *Foresea Miyazaki*, 2, 575–585.
- Hamilton, P. C., Chandler, L. R., Brodie, A. W., & Cornelius, J. P. (1998). A financial analysis of a small scale *Gmelina arborea* Roxb. improvement program in Costa Rica. *New Forests*, 16(2), 89–99. doi: 10.1023/a:1006514723648
- Ladrach, W. E. (2004). Harvesting and comparative thinning alternatives in *Gmelina arborea* plantations. *New Forests*, 28(2-3), 255–268. doi: 10.1023/b:nefo.0000040952.31476.03
- Moya, R. (2000). Comportamiento y rendimiento en aserrío de trozas de *Terminalia amazonia*. *Revista Forestal Centroamericana*, 29(1), 14–19. Obtenido de <http://web.catie.ac.cr/informacion/RFCA/rev29/comtec2.html>
- Moya, R. (2004). Wood of *Gmelina arborea* in Costa Rica. *New Forests*, 28(2-3), 299–307. doi: 10.1023/B:NEFO.0000040957.83398.e3
- Moya, R., Esquivel, E., & Ureña, E. (2009). Aprovechamiento e industrialización de árboles de *Alnus acuminata* Kuntz de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Kuru: Revista Forestal*, 6(16), 1–11. Obtenido de <http://www.tec-digital.itcr.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/401>
- Quirós, R., Chinchilla, O., & Gómez, M. (2005a). Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 7–15. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43629201>
- Quirós, R., Chinchilla, O., & Gómez, M. (2005b). Consumo de madera en troza por dos aserraderos portátiles con sierra de banda horizontal. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 17–25. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43629202>
- Sanabria, C., & Serrano, R. (1993). Rendimiento en aserrío y posibilidades de uso industrial de las trozas del primer raleo de una plantación de laurel (*Cordia alliodora* Ruiz & Pavón Oken). *Tecnología en Marcha*, 12(2), 37–42.
- Sánchez, E. (1998). Análisis económico de la línea de diámetros menores del Aserradero San Gabriel. *Boletín Desde el Bosque de la Cámara Costarricense Forestal*, 8(2), 1–5.
- Serrano, R. (1991). Tecnologías para el aserrío de trozas de diámetros menores. *Tecnología en Marcha*, 12(1), 89–98.
- Serrano, R. (1992). Evaluación de aserrío y elaboración de dos especies forestales de plantación. *Tecnología en Marcha*, 11, 25–32.
- Zavala, D., & Hernández, R. (2000). Análisis del rendimiento y utilidad de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 6(2), 41–55. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61760204>