



Revista Mexicana de Ciencias Forestales

ISSN: 2007-1132

ciencia.forestal2@inifap.gob.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Nájera Luna, Juan Abel; Aguirre Calderón, Oscar Alberto; Treviño Garza, Eduardo Javier;  
Jiménez Pérez, Javier; Jurado Ybarra, Enrique; Corral Rivas, José Javier; Vargas Larreta,  
Benedicto

RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y CALIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA  
ASERRADA EN ASERRADEROS DE EL SALTO, DURANGO

Revista Mexicana de Ciencias Forestales, vol. 2, núm. 4, marzo-abril, 2011, pp. 75-89

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63438958007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y CALIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA ASERRADA EN ASERRADEROS DE EL SALTO, DURANGO

## VOLUMETRIC YIELD AND DIMENSIONAL QUALITY OF LUMBER IN SAWMILLS OF EL SALTO, DURANGO

Juan Abel Nájera Luna<sup>1</sup>, Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>2</sup>, Eduardo Javier Treviño Garza<sup>2</sup>, Javier Jiménez Pérez<sup>2</sup>, Enrique Jurado Ybarra<sup>2</sup>, José Javier Corral Rivas<sup>3</sup> y Benedicto Vargas Larreta<sup>4</sup>

### RESUMEN

Se realizó la evaluación del rendimiento volumétrico y la calidad dimensional de la madera en cinco aserraderos de El Salto, Durango, México. Para tal efecto, se dio seguimiento a los productos generados a partir de 412 trozas de pino con un volumen de 293.73 m<sup>3</sup> rollo sin corteza; de ellas se obtuvieron 7,085 tablas de diferentes dimensiones y clases equivalentes a 169.01 m<sup>3</sup>, con un rendimiento en madera aserrada de 57.5%, correspondientes a 244 pies tablares (pt) por metro cúbico de madera en rollo aserrada. El rendimiento volumétrico más alto por calidad se observó en tablas de la clase número 5 con 86.49 pt, mientras que por grueso nominal fue para las tablas de (7/8") con 95 pt. Respecto a la calidad dimensional, el espesor promedio al que se asierra la madera no fue suficiente para obtener madera seca y cepillada con dimensión final de 22.23 mm (7/8"), en tanto que para el grueso de 31.75 mm (5/4"), las tablas aserradas en el ejido El Brillante resultaron sobredimensionadas y las tablas de 34.10 mm (6/4") del ejido La Victoria tuvieron espesores compatibles con la dimensión óptima de corte estimada. Con base en los resultados de este estudio, se sugiere establecer un sistema de control que asegure una buena calidad dimensional en los productos aserrados.

**Palabras clave:** Aserraderos, dimensión óptima de corte, Durango, madera aserrada, proceso de aserrío, trozas.

### ABSTRACT

A volumetric yield and dimensional quality evaluation of lumber was carried out in five sawmills of El Salto, Durango, Mexico. For this ending, a monitoring of the products from 412 pine logs with a volume of 293.73 m<sup>3</sup> without bark was done; 7,085 pieces of different dimensions and grades with a corresponding sawn volume of 169.01 m<sup>3</sup> were obtained, with a lumber yield of 57.5%, that is equivalent to 244 board feet by each cubic meter of roundwood sawn timber. The largest volumetric yield of lumber by quality class was observed in pieces of number 5 class with 86.49 board feet, whereas, by nominal thickness, the main volumetric yield lumber was for the 7/8 boards with 95 bf.. In regard to nominal width, the greatest yield was found in 203.20 mm (8"), with 78 board feet and, in terms of length, the major lumber recovery was obtained in 16' (4.87 m) with 115 board feet. Considering the quality of the sawmill process, the mean thickness to which lumber is sawn was not enough to support drying and plane boards with final dimension of 22.23 mm (7/8"), while for the of 31.75 mm (5/4") thickness, the sawn boards were oversized in El Brillante ejido; on the other hand, 38.10 mm (6/4") lumber from La Victoria ejido, the mean thickness was compatible with the estimated target size. The findings of this study suggest the need to establish a control system, in order to ensure the dimensional quality in the lumber sawmilling process.

**Key words:** Sawmills, target size, Durango, logs processing, sawmilling, logs.

Fecha de recepción: 1 de junio de 2010

Fecha de aceptación: 11 de marzo de 2011.

<sup>1</sup> Programa de Doctorado en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Correo-e: jalnájera@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango.

<sup>4</sup> Instituto Tecnológico de El Salto, Durango.

## INTRODUCCIÓN

Para que la industria del aserrío sea competitiva se requiere del análisis continuo de sus procesos. Las diferencias en los espesores de la madera aserrada son las que influyen significativamente tanto en el rendimiento como en la calidad dimensional. Grandes diferencias en el grosor de las tablas provocan una menor rentabilidad volumétrica porque las variaciones elevadas requieren mayores refuerzos en las piezas aserradas. Esta situación es más crítica en el espesor de la madera y constituye una de las razones que dificultan la comercialización, y en consecuencia, la competitividad de la industria. Lo ideal para un aserradero es generar productos con lados paralelos en espesor y ancho, sin embargo, durante el proceso de aserrío ocurren anomalías que causan desviaciones conocidas como defectos de forma, que a menudo son exhibidos en el espesor de la madera y con frecuencia no son tomados en cuenta en la clasificación (Rasmussen *et al.*, 2004).

El análisis de la variación en grosor por medio de observaciones y mediciones periódicas se están adoptando rápidamente en la industria del aserrío (Gatto *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2007). El refuerzo en las dimensiones es una práctica común en la producción y comercialización de madera aserrada, como respuesta al volumen que se pierde por las diferencias durante el corte en el aserrío, por el cepillado y por las contracciones de la madera verde al momento de secarse (Zavala y Hernández, 2000). La calidad de la madera se evalúa de dos formas: por sus características naturales y por la precisión de sus dimensiones (Ponce, 1993; Eleotério *et al.*, 1996). Conocer la variación de corte de la madera áspera es importante, ya que permite determinar la cantidad de material que debe ser adicionado en verde para asegurar que al final se obtengan tablas secas y cepilladas de una dimensión determinada; no obstante, un incremento excesivo en el espesor de las tablas resultarían en una pérdida de material y altos costos de secado, cepillado y otros procesos para su posterior eliminación (Steele *et al.*, 1992).

Mediante el establecimiento de un sistema de control de dimensiones es posible identificar problemas en el desempeño de las principales máquinas, lo cual es una práctica elemental para maximizar el rendimiento volumétrico (Maness y Lin, 1995; Brown, 2000a).

El rendimiento de madera aserrada se define como la proporción de madera en escuadrería producto de aserrar una unidad de volumen en trozas (Ferreira *et al.*, 2004). Su proporción es afectada por el tipo y tamaño del equipo de aserrío, las especies, las técnicas utilizadas, la destreza y capacitación de los operarios (Rocha y Tomaselli, 2001). Las variables más significativas que lo impactan son: el ancho y el

## INTRODUCTION

If the sawmill industry is to become competitive, it is necessary to have a continuous analysis of their processes. The differences in thickness of the sawn lumber are determining in yield and in dimensional quality. Great differences in board thickness favor a less volumetric profitability because high variations demand great reinforcement in sawn pieces. This situation becomes more critical in lumber thickness and is one of the causes that makes commercialization difficult, and consequently, industrial competitiveness. The ideal for a sawmill is to generate products with parallel sides in thickness and width; however, during the sawing process abnormalities occur that give birth to known deviations as form defects, that regularly are exhibited in lumber width and frequently are not taken into account in classification (Rasmussen *et al.*, 2004).

The analysis of thickness variation by means of observations and periodical monitoring are being adopted fast in the sawing industry (Gatto *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2007). Reinforcement in dimensions is a regular practice in the production and commercialization of sawn-wood as a response to the volume that is lost by the differences during cutting in sawing, by planing and by the shrinking of greenwood at the time of drying (Zavala and Hernández, 2000). Lumber quality is assessed in two ways: from its natural characteristics and by the precision of their dimensions (Ponce, 1993; Eleotério *et al.*, 1996). To know the variation of cutting of coarse lumber is important, since it makes it possible to determine the amount of material that must be added in green to guarantee that at the end are obtained dry and planed boards of a particular dimension; in spite of it, an excessive increment in board thickness would render in a loss of material and high drying costs, plane and other process for the eventual elimination (Steele *et al.*, 1992).

Through the establishment of a dimension-control system it is possible to identify problems in the performance of the most important machines, which is a basic practice to maximize volumetric yield (Maness and Lin, 1995; Brown, 2000a).

Sawn-wood yield is defined as the proportion of square lumber as a product of sawing of a trunk-piece unit (Ferreira *et al.*, 2004). Its proportion is affected by the type and kind of sawing equipment, the species, the techniques used, skills and training of the operators (Rocha and Tomaselli, 2001). The most significant variables that influence them are: width and the cut scheme, diameter, length, taper and quality of the log, as well as the decision taking of personnel and the conditions of maintenance of the equipment (Melo and Ravón, 1982).

García *et al.* (2001) state that sawn-wood yield is one of the important indicators to determine the efficiency of any industry, and that it refers to the degree of use of raw material that guarantees the commercialization of the product. On the other

esquema de corte, las dimensiones de la madera, el diámetro, la longitud, conicidad y calidad de la troza, así como la toma de decisiones del personal y las condiciones de mantenimiento del equipo (Melo y Ravón, 1982).

García *et al.* (2001) afirman que el rendimiento de madera aserrada es uno de los indicadores cruciales para medir la eficiencia de cualquier industria, y que ésta se refiere al grado de aprovechamiento de la materia prima que garantiza la comercialización del producto. Por otra parte, su estimación por troza, en algunos casos es muy importante para la comercialización de la madera en rollo o para cálculos complementarios en los inventarios forestales (Brand *et al.*, 2002). Ante la falta de información sobre la calidad dimensional de los productos aserrados en El Salto, Durango, y como una aportación de que mejore la transformación de la materia prima maderable en esta valiosa-región forestal, el presente estudio tiene como objetivo conocer la distribución del rendimiento volumétrico en madera aserrada por clases, gruesos, anchos y largos, para estimar la dimensión óptima de corte en el espesor de la madera de pino que garantice la mayor cantidad de producto con dimensiones finales coincidentes con las nominales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio

El trabajo se realizó en El Salto, Durango, que se ubica en la Sierra Madre Occidental. Las altitudes fluctúan entre 1,400 y 2,600 m. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, el cual se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la Sierra. Por su situación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación que van desde masas puras de encino hasta bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997). La toma de información se hizo durante el año 2009 en los aserraderos de los ejidos El Brillante, La Victoria y San Pablo así como en otros dos automatizados, Bogli y Langer, pertenecientes al Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No 1 de El Salto, Durango.

### Métodos de trabajo usados la región

En el proceso de aserrío, generalmente, se utilizan torres verticales de sierra banda de 127.00 a 254.00 mm (5 a 10") de ancho; la separación de la madera aserrada se hace a partir de seis categorías de calidad, gruesos y largos nominales, que de acuerdo a lo establecido en la Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986) corresponde a la siguiente clasificación (pino): grado "A" (selecta); grado "B" (primera); grado "C" (segunda); grado "D" (tercera); grado "E" (cuarta) y grado "F" (desecho). Sólo en El Brillante no se aplica tal sistema por lo que se comercializa la madera aserrada como mil-run (mezcla de clases).

hand, its estimation by log in some cases is very important for the commercialization of roundwood or for complementary calculus in forest inventories (Brand *et al.*, 2002). In view of the lack of information about the dimensional quality of sawn products in El Salto, Durango, and as a contribution that improves the transformation of woody raw material in this great forest region, the actual study had the purpose to know the distribution of the volumetric yield in sawn wood by class, thickness, widths and lengths, in order to estimate the optimal cut dimension in pine wood thickness that guarantees the greatest amount of product whose final dimensions that are coincidental with the nominals.

## MATERIALS Y METHODS

### Study area

Work was done at El Salto, Durango State, which is located in the Sierra Madre Occidental. Altitudes vary from 1,400 to 2,600 masl. Climate is temperate semi-humid, which turns into temperate or semi-dry in the east side of the mountain range. From its geographic situation, the zone gathers diverse vegetation conditions from pure oak masses to mixed pine-oak forests (UCODEFO 6, 1997). Data were taken during 2009 from sawmills of the El Brillante, La Victoria and San Pablo ejidos as well as from Bogli and Langer that are automated, and which belong to the Forest Technological HighSchool No. 1 of El Salto, Durango State.

### Work methods used in the region

In the sawmill process are regularly used band-saw vertical towers from 127.00 to 254.00 mm (5 a 10") wide. Sawn-wood classification is made in regard to six categories of quality, nominal thickness and lengths, that according to what the NMX-C-18-1986 (DGN, 1986) Mexican Norm establishes, these are the following kinds for pine lumber: "A" (select); "B" (first); "C" (second); "D" (third); "E" (forth) and "F" (waste). Only in El Brillante this system is not applied, thus commercializing sawn-wood as mill-run (a mixture of classes).

The most common thicknesses are 22.23, 31.75 and 38.10 mm (7/8", 5/4", 6/4") plus effort, that regularly is made-up by 3.17 mm (1/8") crosspieces for the nominal thicknesses of 22.23 and 31.75 mm (7/8" and 5/4"); from 38.10 mm (6/4"), their assigned value is 6.35 mm (1/4"). There are also produced 101.60 mm (4") wide boards and 76.20 x 76.20 and 101.60 x 101.60 mm (3" x 3" and 4" x 4") wood rollers, as well as pieces of special measurements. Wood widths vary from 609.60 to 6,096.00 mm (2' to 20'), plus a reinforcement of 25.40 a 127.00 mm (1" to 5").

Los gruesos más comunes son: 22.23, 31.75 y 38.10 mm (7/8", 5/4", 6/4"), más esfuerzo, que regularmente es de barrotes de 3.17 mm (1/8") para los gruesos nominales de 22.23 y 31.75 mm (7/8" y 5/4"); a partir de 38.10 mm (6/4") su valor asignado es de 6.35 mm (1/4"). También se producen tabloncillos de 101.60 mm (4") de ancho y polines de 76.20 x 76.20 y 101.60 x 101.60 mm (3" x 3" y 4" x 4"); así como, medidas especiales. Los anchos de la madera varían de 609.60 a 6,096.00 mm (2' a 20'), más un refuerzo de 25.40 a 127.00 mm (1" a 5").

## Descripción técnica del equipo de aserrío

Los aserraderos del Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 1 cuentan con una sierra banda Langer® de fabricación brasileña, con volantes de 1,100 mm de diámetro; utiliza hoja de sierra cinta de 130 mm de ancho en calibre 19 (1.06 mm). El carro porta trozas está equipado con cuatro escuadras y un sistema de retorno neumático, garras neumáticas y calibrador digital programable y controlado por computadora. El otro equipo de aserrío es una sierra banda Bogli® suiza, con volantes de 1,500 mm de diámetro diseñada para sierras de 200 mm de ancho en calibre 17 (1.47 mm), tiene un carro de cinco escuadras y calibrador digital programable por computadora.

En el ejido La Victoria el equipo consta de: una torre vertical con volantes de 1,370 mm de diámetro, con sierras banda de 200 mm de ancho en calibre 17, el carro porta trozas tiene tres escuadras, sistema de retorno neumático, sistema de agarre y calibración de gruesos manual. En el ejido San Pablo se trabaja con una sierra principal con volantes de 1,320 mm de diámetro, con sierras banda de 254 mm de ancho en calibre 17, el carro está integrado por tres escuadras con sistema de retorno neumático, mecanismos de agarre y calibrador manual de gruesos.

Por último, el aserradero del ejido El Brillante lo constituye una torre principal con volantes de 1,473 mm de diámetro, sierras banda de 254 mm de ancho en calibre 17; consta de un carro porta trozas de tres escuadras con sistema de retorno y calibración manual de gruesos. El tipo de sierra más común tiene una distancia de paso de diente 44.45 mm (1.75"), profundidad de garganta de 12.70 mm (1/2") y ángulo de diente de 7,620 mm (30°).

## Métodos

Se aserraron 412 trozas con diámetros menores sin corteza de 0.15 a 0.65 m (5.9 a 25.5 pulgadas) y longitudes de 4.88 a 6.09 m (16 a 20 pies). El volumen se estimó en 293.73 m³ rollo (m³ r) sin corteza, de los cuales 49.53 m³ r se procesaron en el aserradero del ejido El Brillante, 62.47 m³ r en La Victoria, 88.65 m³ r en San Pablo, 47.80 m³ r en el aserradero Bogli

## Technical description of the sawing equipment

The sawmills of the Forest Technological High-School No. 1 have a Langer band-saw made in Brazil, with 1,100 mm diameter flyers; it uses a band-saw of 130 mm wide of 19 (1.06 mm) caliber. The log wagon is equipped with four squares and a pneumatic-return system, pneumatic claws and a programmable digital caliber controlled by a computer. The other sawing equipment is a Swiss Bogli® band-saw, with 1,500 diameter flyers made for 200 mm wide saws of 17 (1.47 mm) caliber; it has a log wagon equipped with five squares and a computer-controlled programmable digital caliber, as well.

The equipment of La Victoria ejido is made-up of a vertical tower with 1,370 mm diameter flyers with 200 mm- wide saws of 17 caliber; the log wagon is equipped with three squares, pneumatic-return system, grip system and a thick-manual caliber. In San Pablo ejido work is done with a main with 1,320 mm diameter flyers with 254 mm band-saws of 17 caliber; The log wagon is equipped with three squares and a pneumatic-return system, grip system and a thick-manual caliber.

Last, the El Brillante ejido sawmill is made up by a main tower with 1,473 mm diameter flyers, with 254 mm band-saws of 17 caliber, and a log wagon of three squares with return system and a thick-manual caliber. The most common kind of saw has a tooth pass distance of 44.45 mm (1.75"), throat deBFh of 12.70 mm (1/2") and tooth angle of 7,620 mm (30°).

## Methods

412 unbarked logs, with small diameters from 0.15 to 0.65 m (5.9 to 25.5 inch) and lengths from 4.88 to 6.09 m (16 to 20 feet) were sawn. Volume was estimated in 293.73 cubic meters of unbarked round timber (m³ r), of which 49.53 m³ r were processed in the sawmill of El Brillante ejido, 62.47 m³ r in La Victoria, 88.65 m³ r in San Pablo, 47.80 m³ r in Bogli sawmill and 45.28 m³ r in Langer sawmill. The boards of each sawmill were recorded according to their class and thickness, width and length were measures with precision up to the millimeter, in order to obtain the volume and separate them in classes and nominal measurements.

Sawn-wood yield by quality, nominal thickness, width and lengths were determined with the following relation (Quirós *et al.*, 2005):

$$R\% = \frac{V_a}{V_r} \times 100$$

Where:

R% = Per cent of sawn lumber yield

y 45.28 m<sup>3</sup>r en el Langer. Las tablas de cada aserradero se registraron con base en su clase; se les midió el grosor, el ancho y largo con precisión al milímetro, para obtener el volumen y separarlas en clases y medidas nominales.

El rendimiento en madera aserrada por calidad, grueso, ancho y largo nominales se determinó con la siguiente relación (Quirós et al., 2005):

$$R\% = \frac{V_a}{V_r} \times 100$$

Donde:

R% = Rendimiento de madera aserrada en porcentaje

V<sub>a</sub> = Volumen de las tablas por clase, grueso, ancho y largo nominal (m<sup>3</sup>)

V<sub>r</sub> = Volumen de las trozas sin corteza en m<sup>3</sup>r

A partir de la distribución de las dimensiones de la madera, se seleccionó una muestra al azar de 50 tablas, que se repartieron por grueso nominal en las largas dimensiones y que se generaron en la torre principal de cada uno de los cinco aserraderos. La colecta de las tablas muestra se realizó mediante grupos de 10 ejemplares de cada grueso por jornada de trabajo de ocho horas. En el Cuadro 1 se aprecia lo anterior, con un error de muestreo en cada grueso nominal inferior a 5%.

Cuadro 1. Muestras de madera aserrada medidas por aserradero y grueso nominal.

Table 1. Lumber samples measured by sawmill and nominal thickness.

Aserradero	Grueso nominal en pulgadas					
	7/8 (22.23 mm)	Error de muestreo	5/4 (31.75 mm)	Error de muestreo	6/4 (38.10 mm)	Error de muestreo
La Victoria	50	1.2	-	-	50	0.7
El Brillante	50	1.6	50	1.0	50	1.3
San Pablo	50	1.2	50	1.6	-	-
Bogli CBTF 1	50	1.0	-	-	50	1.3
Langer CBTF 1	50	1.2	-	-	50	0.6

## Determinación de la variación del corte en el proceso de aserrío

La calidad dimensional de la madera aserrada se evaluó con el método de medición de puntos múltiples sugerido por Brown (2000), que consiste en tomar 10 mediciones por tabla, tres en cada canto y ancho, equidistantes a lo largo de la misma. La primera se hizo a 304.80 mm (12") de los extremos, para lo cual se evitaron los puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defectos que no fueron originados por efecto del corte; la siguiente se realizó en el centro de cada tabla. Con estos datos se determinó la desviación estándar dentro de cada unidad de estudio (Sw), la cual brinda información respecto a la forma de cómo cortar con la sierra, y la desviación estándar entre tablas (Sb) que indica el estado de la alineación de los engranajes y guías del carro escuadra. La variación del

V<sub>a</sub> = Board volume by class, thickness, width and nominal length (m<sup>3</sup>).

V<sub>r</sub> = Volume of the unbarked logs (m<sup>3</sup>r)

From the distribution of the dimensions of lumber, a random sample of 50 boards was chosen, that were distributed by nominal thickness in the long dimensions and that were produced in the main tower of each of the five sawmills. The collection of the sample boards was made through 10 sample groups of each thickness by a working day of eight hours. The former can be observed in Table 1, with a sampling error in each nominal thickness under 5 per cent.

## Cut variability determination in the sawing process

The dimensional quality of sawn-wood was assessed with the multiple-point measurement technique suggested by Brown (2000), which consists of taking 10 equidistant measurements by board, three in each edge and width. The first one was made at 304.80 mm (12") of the extremes; in this sense, the coincidental points with knots, cracks or defects that did not come from the cutting effect were avoided; the following was made at the center of each board. With these data the

standard deviation was determined within each study unit (Sw), which provides information in regard to the way to cut with the saw and the standard deviation among the boards (Sb) that indicates the alignment of the gears and steer of the square-wagon. The cut variation in sawing is estimated through the total standard deviation of the process (St), made-up by (Sw) and (Sb) (Zavala, 1991).

## Determination for average board thickness

The average thickness was calculated by the following model:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N C_{ij}}{N}$$

corte en el aserrío se estimó mediante la desviación estándar total del proceso ( $S_t$ ), integrada por ( $S_w$ ) y ( $S_b$ ) (Zavala, 1991).

## Determinación del grueso promedio de las tablas

El grosor promedio se obtuvo con la siguiente relación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N C_{ij}}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media total.

$X_{ij}$  = el  $i$ -ésimo espesor de las distintos puntos medidos a lo largo de una tabla en la  $j$ -ésima tabla.

$N$  = Número total de mediciones.

La desviación estándar dentro de tablas se determinó con la ecuación:

$$S_w = \sqrt{\bar{S}^2}$$

Donde:

$S_w$  = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas

$\bar{S}^2$  = Promedio de las varianzas de todas las tablas

Para el cálculo de la varianza se utilizó la fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

Donde:

$S_{ij}$  = Varianza de la tabla.

$X^2$  = Espesor de la tabla.

$n$  = Número de mediciones en cada tabla.

El cálculo de la desviación estándar entre tablas se realizó mediante:

Donde:

$$S_b = \sqrt{S(x)^2 - \frac{(S_w)^2}{n}}$$

Where:

$\bar{X}$  = Total mean

$X_{ij}$  = The  $i$ -esim thickness of the different points measured along the board in the  $j$ -esim board

$N$  = Total number of measurements

Standard deviation inside the boards was determined by the following equation:

Where:

$$S_w = \sqrt{\bar{S}^2}$$

$S_w$  = Standard deviation of the thickness of the six measurements in each one of the boards.

$\bar{S}^2$  = Average of the variances of all the boards.

For the variance calculation, the following formula was used:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

Where:

$S_{ij}$  = Variance of the board

$X^2$  = Thickness of the board

$n$  = Number of measurements of each board

The standard deviation among the boards was determined by:

$$S_b = \sqrt{S(x)^2 - \frac{(S_w)^2}{n}}$$

Where:

$S_b$  = Standard deviation among boards

$S(\bar{x})^2 =$

$n =$

$S_w =$



$S_b$  = Desviación estándar entre tablas.

$S(\bar{x})^2$  = Anotar a lo que corresponde

$n$  =

$S_w$  = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas

El cálculo de  $S(\bar{x})^2$  se efectuó a través de la fórmula de la varianza:

$$S(\bar{x})^2 = \frac{\sum \bar{x}^2 - \frac{(\sum x)^2}{m}}{m - 1}$$

Donde:

$S^2\bar{x}$  = Varianza de la media de los espesores de las tablas muestreadas

$x^2$  = espesor de la tabla

$m$  = Número de tablas muestreadas

### Determinación de la desviación estándar total del proceso

Con los valores conocidos de  $S_w$  y  $S_b$ , se procedió a determinar la desviación estándar total del proceso o variación del aserrío con la siguiente fórmula:

$$St = (S_w)^2 + (S_b)^2$$

Donde:

$St$  = Desviación estándar total del proceso o variación del proceso.

$S_w$  = Desviación estándar dentro de las tablas.

$S_b$  = Desviación estándar entre tablas.

### Determinación de la dimensión óptima de corte

La dimensión óptima de corte en la madera se estimó adicionándole a la dimensión nominal una serie de refuerzos para tener una dimensión final específica, que representaron el volumen que se pierde por contracciones de las especies procesadas; en el caso particular de El Salto, se utilizó el valor más alto de contracción tangencial de 8 taxa de pino de la región (6.19%), que fue el determinado por Hernández, (2007) para *Pinus ayacahuite* Ehrenb. En relación al volumen que se remueve durante el cepillado, se consideró un valor de 2.0 mm para ambos lados de la

The  $S(\bar{x})^2$  calculus was made through the variance formula:

$$S(\bar{x})^2 = \frac{\sum \bar{x}^2 - \frac{(\sum x)^2}{m}}{m - 1}$$

Where:

$S^2\bar{x}$  = Variance of the mean of the thickness of the sampled boards.

$x^2$  = Board thickness

$m$  = Number of sampled boards

### Determination of the total standard deviation of the process

With the known  $S_w$  and  $S_b$  values, the total standard deviation of the process or sawing variation was determined by the following formula:

$$St = (S_w)^2 + (S_b)^2$$

Where:

$St$  = Total standard deviation of the process or sawing variation

$S_w$  = Standard deviation within the boards

$S_b$  = Standard deviation among the boards

### Determination of the optimal cut dimension

The optimal cut dimension in lumber was estimated by adding to the nominal dimension a series of reinforcement to have a final specific dimension, which was the volume that is lost by the contraction of the processed species; in the particular case of El Salto, the highest value of tangential contraction of 8 pine taxa of the region (6.19%) was used, which was determined by Hernández (2007) for *Pinus ayacahuite* Ehrenb. In regard to the volume that is removed during plane, a 2.0 mm value for both sides of the board was considered. The optimal cut dimension in rough greenwood was determined by the equation:

$$DO = (DF + RC) / 1 - \%Cx(ZxSt)$$



tabla. La dimensión óptima de corte de la madera verde áspera se determinó con la ecuación:

$$DO = (DF + RC) / 1 - \%C(Z \times St)$$

Donde:

- DO = Dimensión óptima de corte de la madera verde áspera (mm)
- DF = Dimensión final (mm)
- RC = Refuerzo por cepillado (en ambos lados de la tabla)(mm)
- %C = Refuerzo por contracciones (de verde al C.H = 12%)
- Z = Factor de dimensión mínima aceptable (1.65 desviaciones estándar para una distribución de frecuencia normal)
- St = Desviación estándar del proceso

El factor de dimensión mínima aceptable es un valor estadístico que especifica el número de tablas cepilladas que se producirán con dimensiones inferiores a las requeridas. En la práctica se acepta hasta 5% (Duncan, 1974; citado por Zavala, 1991).

## RESULTADOS

### Rendimiento volumétrico por clase

De los 293.73 m<sup>3</sup>r sin corteza se generaron 7,085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen aserrado de 169.01 m<sup>3</sup>, lo cual indica un rendimiento en madera aserrada del 57.5% sin corteza. La Figura 1 muestra que 20.4% del volumen en madera aserrada corresponde a la clase 5 y sólo 1.3% a la clase 1; en conjunto, la madera de las clases uno, dos y tres apenas representan 23.1% del rendimiento total, mientras que 34.4% es madera de menor valor económico. Lo anterior evidencia que por cada metro cúbico de madera en rollo sin corteza, aserrado en la región de El Salto, se obtienen 243.67 pt (1 m<sup>3</sup>r= 424 pt), de ellos 5.58 pt son madera de clase uno, 38.96 pt de clase dos, 53.21 pt de la tres, 46.33 pt de la cuatro, 86.49 pt de la clase cinco y 13.10 pt de la clase seis.

### Rendimiento volumétrico por grueso nominal

En la Figura 2 se observa que la producción del aserrío en la región de El Salto se concentra en el grueso nominal de 22.23 mm (7/8") con 22.4% del volumen total aserrado, seguido por el de 31.75 mm (5/4") con 13.9% y 38.1 mm (6/4") con 7.5%, mientras que los tablonés y polines son en conjunto 13.6% del volumen aserrado. De acuerdo a lo anterior, por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado se obtienen 95.05 pt con grueso nominal de 22.23 mm, 59.07 pt de 31.75

Where:

- DO = Optimal cut dimension of rough greenlumberd (mm)
- DF = Final dimension (mm)
- RC = Reinforcement by plane (in both sides of the board)(mm)
- %C = Reinforcement by contractions (from green to H C = 12%)
- Z = Minimum Acceptable Dimension Factor (1.65 standard deviation for a normal frequency distribution)
- St = Standard deviation of the process

The Minimum Acceptable Dimension Factor is a statistical value that specifies the number of planed boards that will be produced with dimensions lower than required. In practice, up to 5% is accepted (Duncan, 1974 in Zavala, 1991).

## RESULTS

### Volumetric yield by class

Of the 293.73 unbarked m<sup>3</sup>r, 7,085 boards of different dimensions and classes with 169.01 m<sup>3</sup> of sawn volume were produced, which stands for an unbarked sawn lumberd yield of 57.5%. Figure 1 shows that 20.4% of the sawn wood volume belongs to class 5 and only 1.3% to class 1; as a whole, lumber from class numbers 1, 2 and 3 barely represent 23.1% of the total yield, while 34.4% belongs to lumber of less economic value. This means that by each roundwood cubic meter of unbarked sawn-wood at El Salto region, 243.67 BF result; of them 5.58 BF consist of lumber of class 1; 38.96 BF of class 2; 53.21 BF of class 3; 46.33 BF of class 4; 86.49 BF of class 5 and 13.10 BF of class 6.

### Volumetric yield by nominal thickness

In Figure 2 can be appreciated that the sawing production in El Salto is concentrated in the 22.23 mm (7/8") nominal thickness with 22.4% of the total sawn volume, followed by the 31.75 mm (5/4") with 13.9% and 38.1 mm (6/4") with 7.5%, while lumber planks and poles make up 13.6% of the sawn volume. According to this, for each cubic meter of sawn roundwood were obtained 95.05 BF with 22.23 mm nominal thickness; 59.07 BF of 31.75 mm; 31.77 BF of 38.10 mm and 57.79 BF of lumber in planks and poles.

### Volumetric yield by nominal width

Volumetric yield by nominal width is shown in Figure 3, where the 203.20 mm (8") is outstanding with 18.4%, while nominal widths of 101.60 and 304.80 mm (4" and 12") only stand for 7.6 and 7.9%. It is inferred that by each roundwood cubic meter, 32.18 BF are obtained with nominal widths of

mm, 31.77 pt de 38.10 mm y 57.79 pt de tablonos y polines.

### Rendimiento volumétrico por ancho nominal

El rendimiento volumétrico por ancho nominal se muestra en la Figura 3; en ella sobresale el de 203.20 mm (8") sobresale con 18.4%, en tanto que los anchos nominales de 101.60 y 304.80 mm (4" y 12") sólo representan 7.6 y 7.9%, respectivamente. Se deduce que por cada metro cúbico de madera en rollo se obtienen 32.18 pt con ancho nominal de 101.60 mm, 56.68 pt de 152.4 mm de ancho, 78.13 pt en el ancho de 203.20 mm, 43.39 pt en el ancho de 254.00 mm y 33.28 pt de 304.80 mm de ancho.

### Rendimiento volumétrico por largo nominal

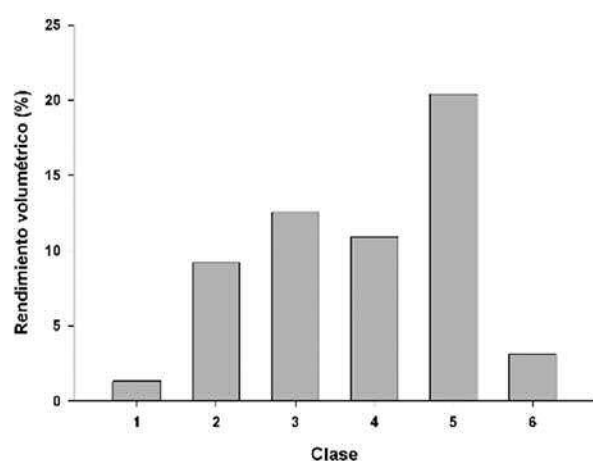


Figura 1. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase.

Figure 1. Sawn-wood volumetric yield by class.

Respecto a la distribución del rendimiento volumétrico por largo nominal, el largo de 4.87 m (16') tuvo el valor más alto con 27.2% del volumen total aserrado (Figura 4). Las longitudes que menor volumen presentaron corresponden a las de 1.22 y 1.83 m (4' y 6') con 1.1 y 1.3%, respectivamente. Por lo tanto, un metro cúbico de madera en rollo genera 4.87 pt en largos de 1.22 m (4'), 5.48 pt para el largo de 1.83 m (6'), 30.64 pt de 2.44 m (8'); 22.06 pt con largo de 3.05 m (10'), 23.19 pt de 3.66 m (12'), 12.23 pt con largo de 4.27 m (14'), 115.25 pt de 4.88 m (16'), 10.30 pt con largo de 5.48 m (18') y 19.54 pt con largo de 6.09 m (20').

### Variación del grueso de asierre en madera de 22.23 mm (7/8")

Los resultados del Cuadro 1 muestran que en ningún aserradero el grueso promedio de la madera garantiza la obtención de tablas secas y cepilladas con dimensión final a 22.23 mm

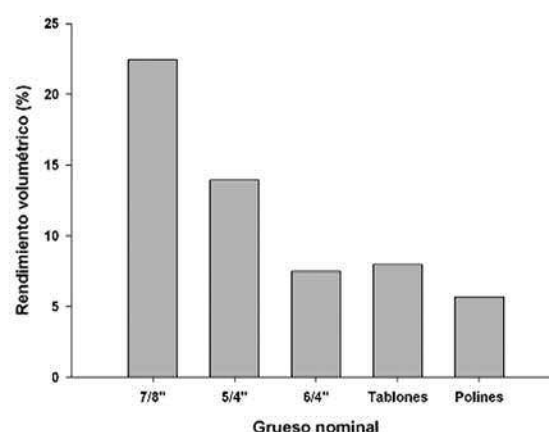


Figura 2. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por grueso nominal.

Figure 2. Sawn-wood volumetric yield by nominal thickness.

101.60 mm; 56.68 BF with nominal widths of 152.4 mm; 78.13 BF with nominal widths of 203.20 mm; 78.13 BF with nominal widths of 203.20 mm; 43.39 BF with nominal widths of 254.00 mm and 33.28 BF of nominal widths of 304.80 mm.

### Volumetric yield by nominal length

In regard to the distribution of volumetric yield by nominal length, the 4.87 m (16') length had the highest value with 27.2% total sawn volume (Figure 4). The lengths that showed the least volume were 1.22 and 1.83 m (4' and 6') with 1.1 and 1.3%. Thus, one round wood cubic meter produces 4.87 BF in length of 1.22 m (4'), 5.48 BF for the 1.83 m length (6'), 30.64 BF for the 2.44 m length (8'); 22.06 BF for the de 3.05 m length (10'), 23.19 BF for the 3.66 m length (12'), 12.23 BF for the 4.27 m length (14'), 115.25 BF for the 4.88 m length (16'), 10.30 BF for the 5.48 m length (18') and 19.54 BF for the 6.09 m length (20').

### Variation on sawing thickness of 22.23 mm (7/8) lumber

Results in Table 1 show that in no sawmill at all, the average thickness of lumber guarantees dry and planed boards with 22.23 mm (7/8") as the final size, which is due to the fact that the assigned thickness does not embody a reinforcement enough to compensate the variation in the cutting of the boards; in average, there is missing from 1.37 mm in boards produced by San Pablo ejido, to 2.02 mm in those from La Victoria ejido; however, the greatest standard deviation was found in El Brillante ejido with 1.73 mm, which makes that the estimated optimal cut dimension is also the highest to compensate the lumber sawing variations, in such a way that, to assure boards

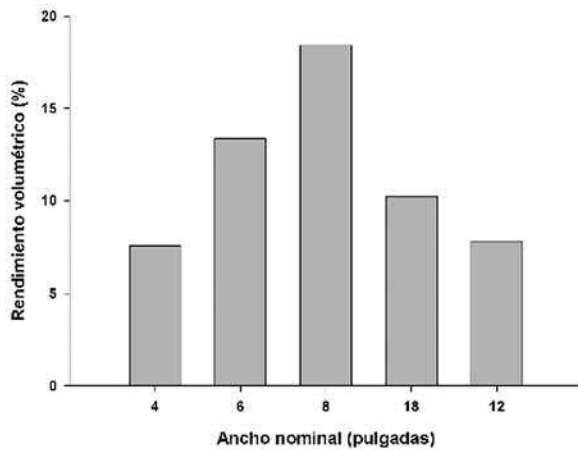


Figura 3. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por ancho nominal.

Figure 3. Sawn-wood volumetric yield by nominal width.

(7/8"). Lo anterior se debe a que en el espesor asignado no se incorpora un refuerzo suficiente que compense la variación en el corte de las tablas, en promedio faltan entre 1.37 mm en las tablas producidas en el ejido San Pablo, hasta 2.02 mm en las del ejido La Victoria; sin embargo, la mayor desviación estándar se registró en el ejido El Brillante con 1.73 mm, por lo que la dimensión óptima de corte estimada también sea la más alta para compensar las variaciones del aserrío de la madera, de tal forma que para garantizar la obtención de tablas secas y cepilladas de 22.23 mm (7/8") se requiere aserrar la madera a un espesor de 28.13 mm y no a 25.78 mm, como actualmente se practica. La menor desviación estándar se determinó en el producto de la torre principal Bogli del CBTF1 con 1.30 mm, de igual manera la dimensión óptima de corte fue la más baja con 27.41 mm.

La dimensión de corte se alcanzó cuando se compensaron las variaciones en el grueso de la madera de 22.23 mm, en el ejido El Brillante ésta representó 1.20% del rendimiento en madera aserrada, lo cual equivale a 5.07 pt por metro cúbico de madera en rollo procesado. En el aserradero del ejido La Victoria fue de 2.37% del volumen aserrado, es decir, 10.05 pt por m<sup>3</sup>; en el ejido San Pablo la variación del corte correspondió a 3.90 pt por m<sup>3</sup> procesado; en el aserradero Bogli del CBTF1 fue del orden de 10.99 pt por m<sup>3</sup> equivalente al 2.60% del rendimiento volumétrico de la madera en esa dimensión. En el caso del Langer del CBTF1, la variación del corte fue 0.96% del rendimiento, esto es 4.06 pt por m<sup>3</sup> procesado (Cuadro 2).

with the expected 22.23 mm (7/8"), it is necessary to saw lumber with a 28.13 thickness and not with 25.78 mm, as it is done at present. The lowest standard deviation was determined in the product from the main Bogli tower of CBTF1 with 1.30 mm; in a similar way, the optimal cut dimension was the lowest with 27.41 mm.

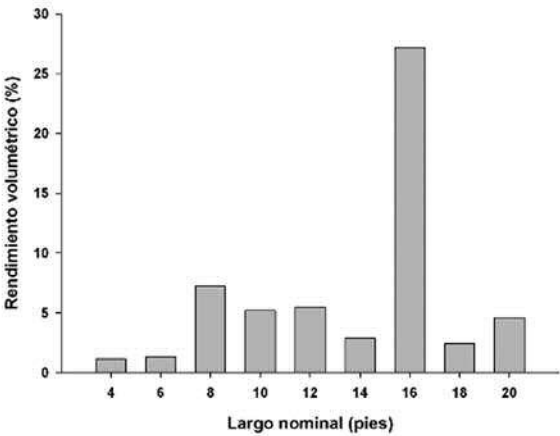


Figura 4. Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por largo nominal.

Figure 4. Sawn-wood volumetric yield by nominal length.

The cutting dimension was accomplished when the thickness dimension in the 22.23 mm lumber was compensated; in the El Brillante ejido it was equivalent to 1.20% of the sawn lumber yield, which stands for 5.07 BF by processed roundwood cubic meter. In La Victoria ejido sawmill, it was 2.37% of the sawn volume, that is, 10.05 BF per m<sup>3</sup>; in San Pablo ejido, cut variation corresponded to 3.90 BF processed per m<sup>3</sup>; in the Bogli sawmill of the CBTF1, it was around 10.99 BF per m<sup>3</sup>, which is equivalent to 2.60% of the lumber volumetric yield of such dimension. In the case of the Langer from CBTF1, the cut variation was 0.96% of the yield, which is 4.06 BF per processed m<sup>3</sup> (Table 2).

Even if volume is lost to get the optimal cut dimension, with it is guaranteed that 95% of sawn lumber will have the final 22.23 mm (7/8") size, without running the risk of being classified in a lower category (19.05 mm (3/4")), since in this scenario there might be a volume loss that would impact considerably the profitability process.

Cuadro 2. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 22.23 mm (7/8").

Table 2. Variation of the sawing process and estimated optimal cut dimension for 22.23 mm (7/8") nominal thickness.

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do - media (mm)
Sierra Principal La Victoria	50	25.78	1.11	1.07	1.54	27.80	2.02
Sierra principal San Pablo	50	26.14	0.92	1.00	1.36	27.51	1.37
Sierra Principal El Brillante	50	25.78	0.97	1.44	1.73	28.13	2.35
Sierra Principal Bogli	50	25.68	1.13	0.63	1.30	27.41	1.73
Sierra Principal Langer	50	26.09	0.85	1.03	1.34	27.47	1.38

Sw = Desviación estándar dentro de las tablas; Sb = Desviación estándar entre tablas; St = Desviación estándar del proceso; Do = Dimensión óptima de corte  
 Sw = Standard deviation within the boards; Sb = Standard deviation among the boards; St = Standard deviation of the process; Do = Optimal cut dimension

Aunque se pierde volumen para obtener la dimensión óptima de corte, con ello se garantiza que 95% de la madera aserrada tendrá una dimensión final de 22.23 mm (7/8"), sin riesgo de que se clasifique en alguna categoría inferior (de 19.05 mm (3/4")), ya que en ese escenario habría una pérdida de volumen que impactaría de manera considerable la rentabilidad del proceso.

### Variación del grueso de asierre en madera de 31.75 mm (5/4")

En el Cuadro 3 se resumen los resultados de la variación del proceso de aserrío para el grueso nominal de 31.75 mm (5/4"), en el que la desviación estándar más alta del proceso se observó en el aserradero del ejido San Pablo, con una dimensión óptima de corte que se estimó en 39.51 mm, lo cual asegura que 95% de las tablas aserradas tendrán un grueso final en tablas secas y cepilladas de 31.75 mm, cuando se incluye la variación del corte. A medida que la desviación estándar entre tablas se reduzca mediante la verificación de la alineación del equipo de asierre, con seguridad la dimensión óptima disminuirá, de tal manera que el grueso de asierre promedio sea compatible con el óptimo. Las tablas que se elaboran en el aserradero del ejido El Brillante, tienen un grueso promedio de asierre superior a la dimensión óptima de corte en 0.85 mm, que se considera una pérdida de volumen innecesario en cada tabla aserrada.

### Variation on sawing thickness of 31.75 mm (5/4") mm lumber

In Table 3 are summarized the results of the variation of the sawing process for the nominal thickness of 31.75 mm (5/4"), in which the highest standard deviation of the process was detected in the San Pablo ejido sawmill, with an optimal cut dimension estimated in 39.51 mm, which assures that 95% of the sawn boards will have a final thickness in dry and planed boards of 31.75 mm, when the cut variation is included. In so far as the standard deviation among boards is reduced through the verification of the alignment of the sawing equipment, the optimal dimension surely will diminish, in such a way that the thickness of the average sawing be compatible with the optimal. The boards that are manufactured at the El Brillante ejido sawmill, have an average sawing thickness over the optimal cut dimension of 0.85 mm, which is considered a loss of unnecessary volume in each sawn board.

If lumber is processed with the optimal cut dimension for each sawmill, an increment of 0.63% in lumber volumetric yield would be achieved in the El Brillante ejido, which is equal to produce 268 BF additional to each cubic meter of processed roundwood, while in San Pablo sawmill it is necessary to compensate the thickness variation, that in this case stands

Cuadro 3. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 22.23 mm (7/8").

Table 3. Normal yield and yield with the optimal cut dimension for 22.23 mm (7/8") nominal thickness.

Indicadores	Aserradero				
	El Brillante	La Victoria	San Pablo	Bogli CBFI	Langer CBFI
Volumen total sin corteza (m <sup>3</sup> r)	49.53	62.47	88.65	47.8	45.28
Volumen generado en madera de 7/8" (m <sup>3</sup> )	6.50	18.39	14.82	18.13	8.04
Rendimiento normal en madera de 7/8" (%)	13.12	29.43	16.72	37.93	17.76
Volumen con la dimensión óptima (m <sup>3</sup> )	7.09	19.87	15.64	19.37	8.48
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	14.32	31.80	17.64	40.53	18.72
Diferencia entre rendimientos (%)	1.20	2.37	0.92	2.60	0.96

Si la madera se procesa con la dimensión óptima de corte estimada para cada aserradero, se obtendría un aumento en el rendimiento volumétrico de madera del 0.63% en el aserradero del ejido El Brillante, que equivale a generar 268 pies tabla extra por cada metro cúbico de madera en rollo procesado, mientras que en el aserradero del ejido San Pablo es necesario compensar la variación en grueso, que en este caso representa 0.38% del rendimiento de madera aserrada para el grueso nominal de 31.75 mm; es decir, 1.61 pt por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 31.75 mm (5/4").  
Table 4. Variation of the sawing process and estimated optimal cut dimension for 31.75 mm (5/4") nominal thickness.

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do-media (mm)
Sierra Principal San Pablo	50	39.04	1.58	2.08	2.61	39.51	0.47
Sierra Principal El Brillante	50	38.44	1.03	1.02	1.45	37.59	-0.85

Sw = Desviación estándar dentro de las tablas; Sb= Desviación estándar entre tablas; St= Desviación estándar del proceso; Do= Dimensión óptima de corte  
Sw = Standard deviation within the boards; Sb = Standard deviation among the boards; St = Standard deviation of the process; Do = Optimal cut dimension

Variación del grueso de asierre en madera de 38.10 mm (6/4")

El promedio en el espesor de las tablas aserradas en el ejido La Victoria está dentro de la dimensión óptima de corte, por lo que se espera que 95% de las tablas aserradas tengan una dimensión final de 6/4" (Cuadro 5). Las tablas aserradas en el ejido El Brillante tuvieron la mayor desviación estándar, que de acuerdo con algunos estudios, es ocasionada por mayores desviaciones de la sierra durante su desempeño en el corte, por una inadecuada tensión, en combinación con un exceso de velocidad en la alimentación de las trozas (Álvarez, *et al.*, 2004; Steele *et al.*, 1992). Sin embargo, Néri *et al.* (1999) señalan que las fuerzas en el corte varían con la especie, con la dirección de las fibras, la densidad y humedad de la madera, los ángulos de la sierra, la velocidad y el espesor del corte. En este caso, el espesor promedio de la madera de 46.11 mm dio como resultado que sólo hubiera una diferencia de 0.68 mm para alcanzar la dimensión óptima de corte.

Cuadro 5. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 31.75 mm (5/4").  
Table 5 Normal yield and yield with the optimal cut dimension for 31.75 mm (5/4") nominal thickness.

Indicadores	Aserradero	
	El Brillante	San Pablo
Volumen total sin corteza (m³r)	49.53	88.65
Volumen generado en madera de 5/4" (m³)	13.69	27.89
Rendimiento normal en madera de 5/4" (%)	27.64	31.47
Volumen con la dimensión óptima (m³)	13.38	28.22
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	27.01	31.85
Diferencia entre rendimientos (%)	-0.63	0.38

for 0.38% of sawn-wood yield for the 31.75 mm nominal thickness; that is, 1.61 BF for each cubic meter of sawn roundwood (Table 4).

Variation on sawing thickness of 38.10 mm (6/4") lumber

The average thickness of the sawn boards of La Victoria ejido is within the optimal cut dimension, thus expecting that 95%

of the sawn boards get a final 6/4" dimension (Table 5). The sawn boards in the El Brillante ejido had the greatest standard deviation, which, according to some studies, is caused by greater deviations of the saw during its cutting performance, by an incorrect tension combined with a speed excess in log feeding (Álvarez, *et al.*, 2004; Steele *et al.*, 1992). However, Néri *et al.* (1999) point out that cutting forces vary according to the species, with the orientation of fibers, density and moisture of lumber, saw angles, speed and cut thickness. In this case, the average 46.11 mm lumber resulted in just one 0.68 mm difference to reach the optimal cut dimension.

At the Bogli sawmill of the CBTFI was obtained the greatest value among the average lumber dimensions, with the optimal cut dimension of 1.66 mm, while for Langer sawmill, the result was 0.28 mm.

To compensate the lumber cut variation in the optimal dimension in each sawmill would suppose 0.06% in El Brillante

madera, los ángulos de la sierra, la velocidad y el espesor del corte. En este caso, el espesor promedio de la madera de 46.11 mm dio como resultado que sólo hubiera una diferencia de 0.68 mm para alcanzar la dimensión óptima de corte.

En el aserradero Bogli del CBTFI se obtuvo el valor más grande entre las dimensiones promedio de la madera, con la dimensión óptima de corte de 1.66 mm, mientras que para el aserradero Langer, resultó sólo de 0.28 mm.

Compensar la variación del corte de la madera en la dimensión óptima en cada aserradero representaría en el ejido El Brillante 0.06%, o bien 0.24 pt por m<sup>3</sup>r aserrado; en el del ejido La Victoria se tiene un sobredimensionamiento de apenas 0.03 pt por m<sup>3</sup>r, en el aserradero Bogli se requieren 1.90 pt por m<sup>3</sup>r y para la torre principal Langer del CBTFI de apenas 0.20 pt por m<sup>3</sup>r procesado, equivalente al 0.07% del rendimiento volumétrico para esa dimensión nominal (Cuadro 6).

Cuadro 6. Variación del proceso de aserrío y estimación óptima de corte para el grueso nominal de 38.10 mm (6/4").

Table 6. Variation of the sawing process and estimated optimal cut dimension for 38.10 mm (6/4") nominal thickness.

Aserradero	Tablas	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Do (mm)	Do-media (mm)
Sierra Principal La Victoria	50	44.20	1.06	0.96	1.43	44.18	-0.02
Sierra Principal El Brillante	50	46.11	2.29	1.95	3.01	46.79	0.68
Sierra Principal Bogli	50	44.41	1.68	1.95	2.57	46.07	1.66
Sierra Principal Langer	50	43.81	1.13	0.78	1.37	44.09	0.28

Sw = Desviación estándar dentro de las tablas; Sb = Desviación estándar entre tablas; St = Desviación estándar del proceso; Do = Dimensión óptima de corte  
Sw = Standard deviation within the boards; Sb = Standard deviation among the boards; St = Standard deviation of the process; Do = Optimal cut dimension

Cuadro 7. Rendimiento normal y con la dimensión óptima de corte para el grueso nominal de 38.10 mm (6/4").

Table 7. Normal yield and yield with the optimal cut dimension for 38.10 mm (6/4") nominal thickness.

Indicadores	Aserradero			
	El Brillante	La Victoria	Bogli CBTFI	Langer CBTFI
Volumen total sin corteza (m <sup>3</sup> r)	49.53	62.47	47.8	45.28
Volumen generado en madera de 6/4" (m <sup>3</sup> )	1.81	9.52	5.59	4.47
Rendimiento normal en madera de 6/4" (%)	3.65	15.24	11.69	9.87
Volumen con la dimensión óptima (m <sup>3</sup> )	1.84	9.51	5.81	4.50
Rendimiento con la dimensión óptima (%)	3.71	15.23	12.14	9.94
Diferencia entre rendimientos (%)	0.06	-0.01	0.45	0.07

## DISCUSIÓN

Zavala y Hernández (2000), mediante el aserrío de la trocería de pino (cinco calidades) determinaron un rendimiento promedio de 12% para la clase dos y mejor, 18% para la clase tres, 12% para la cuatro y 9% para la clase cinco, con un total de 51% de rendimiento en madera aserrada, esto significa que

ejido, or 0.24 BF by sawn m<sup>3</sup>r; in La Victoria ejido exists an over-dimensioning of just 0.03 BF by m<sup>3</sup>r; in Bogli sawmill are required 1.90 BF by m<sup>3</sup>r and for the main Langer tower of CBTFI, 0.20 BF per processed m<sup>3</sup>r, which is equivalent to 0.07% of the volumetric yield for that nominal dimension (Table 6).

## DISCUSSION

Zavala and Hernández (2000) by means of the pine log sawing (five qualities) determined an average yield of 12% for class 2 and even better, 18% for class 3, 12% for class 4 and 9% for class 5, with a sum of 51% of sawn-wood yield; this means that it is possible to get 216 BF per sawn m<sup>3</sup>r; from them, 51 BF belong to class 2, and better, 76 BF to class 3, 51 BF to class 4 and 38 BF to class 5. Such amounts are different to those determined in the sawmills of El Salto, whose greatest volumetric concentration was observed in the class 5 boards that make 20% of yield. Such a difference is ascribed to the

lack of classification in logs qualities that was used in the essay, as the referred authors did, since they found a direct relation between the quality of the logs and the quality of lumber. On the other side, Álvarez et al. (2004) recorded in four sawmills of Cuba, standard deviations in the sawing process of de *Pinus caribea* Morelet for the 13 mm to 1.89 a 2.90 mm thickness, for the 50 mm thickness, deviations varied between 2.16 and



es posible obtener 216 pt por m<sup>3</sup> aserrado; de ellos 51 pt corresponden a la clase dos y mejor, 76 pt a la clase tres, 51 pt a la clase cuatro y 38 pt a la clase cinco. Tales cantidades son diferentes a los determinados en los aserraderos de El Salto, cuya mayor concentración volumétrica se observó en las tablas de clase cinco con 20%. Dicha diferencia se atribuye a la falta de clasificación en calidades de la trocería que se utilizó en el ensayo, como lo hicieron los autores de referencia, ya que ellos obtuvieron una relación directa de la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada. Por otra parte, Álvarez *et al.* (2004) registraron en cuatro aserraderos de Cuba desviaciones estándar en el proceso de aserrío de *Pinus caribea* Morelet para el espesor de 13 mm de 1.89 a 2.90 mm, para el espesor de 50 mm las desviaciones fluctuaron entre 2.16 y 4.85 mm, en el caso del grueso de 75 mm oscilaron de 2.36 a 4.50 mm y para el de 100 mm las variaciones fueron de 2.71 a 5.46 mm, las cuales son más grandes que las consignadas en la madera aserrada del El Salto, cuya desviación máxima se registró en la madera de 38.10 mm (6/4") procedente del ejido El Brillante con 3.01 mm, de tal forma que se identifica una tendencia a que aumente cuando también lo hacen las variaciones en la dimensión de corte. Los mismos autores mencionan que hay un exceso de sobredimensionamiento y variación del corte, a los que se les atribuye como causas principales la excesiva variación de la sierra al efectuar los cortes y la deficiente alineación de las escuadras del carro porta trozas. A su vez, Sánchez (2006) determinó variaciones altas en la madera aserrada de pino en cinco aserraderos de los estados de Tlaxcala, Veracruz, Puebla y el Estado de México; además, señala que sin hacer ningún ajuste en los mecanismos de la maquinaria se podría reducir el grosor promedio actual en tablas de 19.05 mm (3/4") en: 2.46, 2.49, 0.33, 1.05 y 1.62 mm, respectivamente e incrementar el coeficiente de aserrío en: 9.50, 9.71, 1.37, 4.26 y 6.40%.

## CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la calidad dimensional de la madera producida en los aserraderos objeto de estudio en la región de El Salto, Durango es baja, ya que las dimensiones a las que se asierra actualmente no permiten que la madera alcance una dimensión nominal final seca y cepillada. Lo anterior se debe a que en los refuerzos asignados no se considera el volumen que compense las variaciones que se presentan durante el aserrío, las cuales no inciden en forma significativa en el rendimiento volumétrico de cada espesor evaluado; por lo tanto, el beneficio de aserrar la madera a la dimensión óptima de corte estimada garantiza la mayor cantidad de tablas en el espesor final adecuado. Destaca la importancia de establecer mecanismos que controlen la variación del corte de la madera, mediante acciones de mantenimiento preventivo y correctivo, tanto en la alineación de los elementos de corte, como en los mecanismos que asignen los espesores de la madera.

4.85 mm; in the case of the 75 mm thickness, they were from 2.36 to 4.50 mm and for the 100 mm, from 2.71 to 5.46 mm, to which are bigger than those recorded with lumber of El Salto, whose greatest deviation was recorded in the 38.10 mm (6/4") wood from El Brillante ejido with 3.01 mm, in such a way that a tendency of increment is detected when the variations in the cut dimensions rise. The same authors mention that there is an excess of over-dimensioning and cut variation, to which are attributed as major causes, the excessive variation of the saw at the time of cutting and the deficient alignment of the squares of the log-wagon. Sánchez (2006) determined high variations in pine lumber in five sawmills of the states of Tlaxcala, Veracruz, Puebla y el Estado de México; in addition, he points out that, without any adjustment to the machine mechanism, the average thickness at present in the 19.05 mm (3/4") boards, by 2.46, 2.49, 0.33, 1.05 and 1.62 mm, respectively, and increase the sawing coefficient in 9.50, 9.71, 1.37, 4.26 and 6.40%.

## CONCLUSIONS

Results showed that the dimensional quality of timber produced in the assessed sawmills of the El Salto region, Durango State, is low, since the dimensions to which it is sawn at present do not let that lumber gets a nominal dimension when dry and planed. As the former is not taken into account in the assigned reinforcements, the volume that compensates the variations that are present during sawing, do not affect significantly the volumetric yield of each assessed thickness; thus, the benefits of sawing lumber to the estimated optimal cut dimension guarantees the greatest amount of boards with the correct final thickness. It is underlined too, the importance to establish procedures that control the cut variation of wood, through actions of prevention and improvement maintenance, in the alignment of cutting elements as well as in the mechanisms that assign thickness to lumber.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank to the Produce Durango A. C. Foundation for the financial support provided to the "Evaluación Integral del Proceso Productivo Maderable" Project (No. 10-2007-0452), which originated the actual study.

*End of the English version*



## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Durango AC. por el financiamiento brindado al proyecto 10-2007-0452 "Evaluación Integral del Proceso Productivo Maderable" del cual se generó el presente trabajo.

## REFERENCIAS

- Álvarez D., E. Andrade, G. Quintín y A. Domínguez. 2004. Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 10(2):105-110.
- Brand, M. A., G. I. Bolzon de Muñiz, D. A. da Silva y U. Klock. 2002. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. *Floresta*. 32(2):247-259.
- Brown, T. D. 2000. Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods, Oregon State University. Corvallis, OR. USA. Extension Service. 11 p.
- Brown, T. D. 2000a. Lumber Size Control, Part 2: Size Analysis Considerations. Oregon State University. Corvallis, OR. USA. Extension Service. 28 p.
- Dirección General de Normas (DGN). 1986. Norma Mexicana NMX-C-18-1986. Industria de la Construcción (Tablas y tablonés de pino, clasificación). DGN. SECOFI. México. D.F. México. 16 p.
- Eleotério, J., R. L. Storck y S. Lopes. 1996. Caracterização de peças de madeira produzidas em serraria visando o controle de qualidade. *Ciencia Florestal*, 6(1):89-99.
- Ferreira S., J. T. Lima., S. Da Silva y P.F. Trugilho. 2004. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Cerne*. 10(1):10-21.
- García R., J., L. Morales y S. Valencia. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. UAAAN, Saltillo. Coah. México. Nota técnica No. 5 12 p.
- Gatto, D. A., E. J. Santini, C. R. Haselein y A. Durló. 2004. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração Italiana do Rio Grande Do Sul. *Ciência Florestal*. 14(1):223-233.
- Hernández, C. 2007. Estudio tecnológico en la madera de *Pinus ayacahuite* y *P. teocote* del Ejido Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México. 115 p.
- Maness T and Y. Lin. 1995. The influence of sawkerf and target size reductions on sawmill revenue and volume recovery. *Forest Products Journal*. 54(11/12):43-50.
- Melo, R y H. Ravón. 1982. Análisis y diagnóstico de procesos industriales de transformación mecánica de la madera. INFOR. Concepción, Chile. 162 p.
- Néri, A. C., R. Gonçalves y R.E. Hernandez. 1999. Forças de corte ortogonal 90-90 em três espécies de madeira de eucalipto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 4(2):275-280.
- Ponce, R., H. 1993. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade. In: Anais do 7º Congresso Florestal Brasileiro. Curitiba. Brasil. pp. 310-314.
- Quirós, R., O. Chinchilla y M. Gómez. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*. 29(2):7-15.
- Rasmussen, H. K., R. A. Kozak and T.C. Maness. 2004. An analysis of machine-caused lumber shape defects in British Columbia sawmills. *Forest Products Journal*. 54(6):47-56.
- Rocha, M. P e I. Tomaselli. 2001. Efeito do modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni*. *Floresta e Ambiente*. 8(1):94-103.
- Sánchez R. L. 2006. La variación de corte en madera aserrada en cinco aserraderos del sector social en México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 106 p.
- Steele, P.H., M. W. Wade, S. H. Bullard and P. A. Araman. 1992. Relative kerf and sawing variation values for some hardwood sawing machines. *Forest Products Journal*. 42(2):33-39.
- Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal 6 (UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- Young, T. M., B. H Bond and J. Wiedenbec. 2007. Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. *Forest Products Journal*. 57(9): 54-62.
- Zavala, D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzo en madera aserrada. Serie de Apoyo Académico 44. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. Edo. de Méx. México. 49 p.
- Zavala, D. y C.R. Hernández. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6(2):41-55.

