



TIEMPOS Y RENDIMIENTOS DEL ASERRÍO EN LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO, MÉXICO

LUMBER YIELD AND PRODUCTION TIME IN THE EL SALTO REGION OF DURANGO, MÉXICO

Juan Abel Nájera-Luna^{1*}; Oscar A. Aguirre-Calderón²; Eduardo J. Treviño-Garza²; Javier Jiménez-Pérez²; Enrique Jurado-Ybarra²; José Javier Corral-Rivas³; Benedicto Vargas-Larreta⁴

Programa de Doctorado en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145. A. P. 41. Linares, Nuevo León, C. P. 67700. MÉXICO. Teléfono (821)212 42 51. Correo electrónico: jalnajera@yahoo.com.mx.

²Profesor-Investigador. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145. A. P. 41. Linares, Nuevo León, C. P. 67700. MÉXICO. Teléfono (821)212.42.51.

³Profesor-Investigador. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Boulevard Durango. S/N, Col. Valle del Sur, Durango, Dgo. C. P. 34120. MÉXICO.

⁴Profesor-Investigador. Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico S/N, El Salto, Durango. C. P. 34942. MÉXICO.

RESUMEN

Para conocer el efecto de las características de las trozas que influyen en el tiempo y rendimiento de la madera aserrada, se realizó la evaluación de los indicadores de productividad en cinco aserraderos de la región de El Salto, Durango, México. Trozas de cinco categorías diamétricas, tres de longitud y seis de conicidad fueron consideradas en el análisis. Para estimar los tiempos de procesamiento, se utilizó la metodología de "vuelta a cero", mientras que para determinar el rendimiento de madera, se relacionó el volumen de madera en rollo y el volumen resultante en productos aserrados de 412 trozas de pino. Estas trozas cubicaron un volumen de 293.73 m³ rollo sin corteza y 323.93 con corteza, las cuales generaron 7,085 tablas de diferentes dimensiones y clases con un volumen aserrado de 169.01 m³, lo que indica un rendimiento en madera aserrada del 57.5 % sin corteza y 52.17 % con corteza. El tiempo promedio para aserrar 1,000 pies tablares se estimó en 25.09 minutos. La productividad fue de 7.57 m³·h⁻¹ y la velocidad de alimentación de 46.47 m·min⁻¹. Se encontró que el rendimiento en madera aserrada es afectado por el diámetro, largo y conicidad de las trozas.

Recibido: 28 de mayo, 2010
Aceptado: 15 de diciembre, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.034
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE: Ergonomía, madera aserrada, trozas, aserraderos.

ABSTRACT

To determine log characteristics that affect lumber yield and production time, a study was conducted of productivity indicators at five sawmills in the El Salto region of Durango, Mexico. Logs of five diameter classes, three lengths and six taper classes were analyzed. To estimate log-sawing times, the "back to zero" methodology was used; for determining lumber yield, volume in cubic meters inside and outside of bark of 412 pine logs was calculated and compared with the resulting volume in lumber products. Total inside- and outside-bark volumes were 293.73 and 323.93 m³ of roundwood, respectively, which yielded 7,085 board feet and 169.01 m³ of sawed wood, which represents a 57.5 % and 52.17 % conversion of inside-bark and outside-bark volumes, respectively, to sawn boards. The average time for sawing 1,000 board feet was estimated at 25.09 minutes for a production of 7.57 m³·h⁻¹, with an average carriage feed rate of 46.47 m·min⁻¹. Our findings indicate that lumber recovery is affected by log diameter, length and taper.

KEY WORDS: Ergonomics, lumber, logs, sawmills.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia operacional y económica de los procesos de transformación del recurso forestal en productos para la industria maderera son factores básicos para su sobrevivencia. La industria de transformación de la madera que no se ocupe de mejorar sus rendimientos y consecuentemente reducir sus costos de producción,

INTRODUCTION

Operational and economic efficiency in the lumber processing industry are basic factors for survival. Companies that are not concerned with improving their yields and therefore reducing their production costs run the risk of losing competitiveness and paralyzing their activities due to inefficiency (Biasi and Pereira da Rocha, 2007). In

asume un serio riesgo de perder en competitividad y paralizar sus actividades por ineficiente (Biasi y Pereira da Rocha, 2007). En la industria forestal, el conocimiento de los indicadores de productividad es de interés en toda administración ya que posibilita que las decisiones sobre el desempeño industrial y uso eficiente de la materia prima sean tomadas anticipadamente ante situaciones adversas, reduciendo gastos y pérdidas en el proceso productivo (Valério *et al.*, 2009). El término rendimiento se refiere a la relación entre el volumen de madera en rollo y el volumen resultante en productos aserrados (Aguilera *et al.*, 2005; Valério *et al.*, 2007), el cual es afectado por el diámetro, clase, calidad y forma de las trozas a procesar, los tiempos empleados en los procesos, el patrón de corte, el tipo de sierra, la calidad y dimensiones de los productos generados, la habilidad y capacidad del operario y las condiciones de mantenimiento del equipo; por lo que algunos estudios se han centrado en conocer el efecto que tienen esas variables sobre el rendimiento de la madera aserrada y sugerir acciones correctivas (Steele, 1984; Zavala y Hernández, 2000; García *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2003; Scanavaca y Garcia, 2003; Ferreira *et al.*, 2004; Murara *et al.*, 2005; Quirós *et al.*, 2005). La región de El Salto, Durango, México, se caracteriza por basar su economía en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y transformación de la madera; sin embargo, no se conoce el efecto que tienen el diámetro, la longitud y la conicidad de la trocería en cuanto al rendimiento real en madera aserrada y los tiempos de procesamiento, por lo que el objetivo del presente estudio es la estimación de los indicadores de productividad considerando cinco categorías diamétricas, tres de longitud y seis de conicidad en la trocería de pino para que a partir de su estimación se identifiquen áreas de oportunidad que permitan mejorar el proceso de transformación de la madera en esta importante región forestal de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la región de El Salto, Durango, la cual se localiza en el sistema montañoso denominado Sierra Madre Occidental. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 1,400 y 2,600 metros. El clima es semi-húmedo templado o semi-frío, que se torna templado o semi-seco en el lado oriental de la sierra. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación que va desde masas puras de encino y pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (UCODEFO 6, 1997).

Métodos de trabajo usados en la región

La longitud de la troza procesada en los aserraderos de la región fluctúa entre 4.88 y 6.09 m (16 a 20 pies) más

forestry, knowledge of productivity indicators is of keen interest to every company since it enables decisions to be taken on industrial performance and efficient use of raw materials prior to the development of adverse situations, thereby reducing costs and losses in the production process (Valerio *et al.*, 2009). The term yield refers to the relationship between the volume of roundwood and the resulting volume in lumber products (Aguilera *et al.*, 2005; Valerio *et al.*, 2007), which is affected by the diameter, type, quality and shape of the sawlogs, processing times, cutting pattern, type of saw, quality and dimensions of products generated, operator skill and ability, and equipment maintenance standards; consequently, some studies have focused on understanding the effect of these variables on lumber yield and suggesting corrective measures (Steele, 1984; Zavala and Hernández, 2000; García *et al.*, 2001; Wang *et al.* 2003; Scanavaca and Garcia, 2003; Ferreira *et al.*, 2004; Murara *et al.*, 2005; Quirós *et al.*, 2005). The economy of the El Salto region of Durango, Mexico, is based on timber harvesting and processing; despite this, the effect of log diameter, length and taper on actual lumber yield and production times is not known. Therefore, the aim of this study is to estimate productivity indicators, taking into account five diameter classes, three lengths and six taper classes of pine logs, so that this information can be used to identify areas of opportunity to improve timber processing in this important forest region of Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Location of the study area

The study was conducted in the region of El Salto, Durango, which is located in the Sierra Madre Occidental mountain range. Heights above sea level range from 1,400 to 2,600 meters. The climate is temperate semi-humid or semi-cold, which turns to temperate or semi-dry on the eastern side of the range. For its geographical location, the area has several vegetation conditions ranging from pure oak and pine stands to, more commonly, mixed pine-oak forests (UCODEFO 6, 1997).

Work methods used in the region

Log lengths processed at area sawmills fluctuate between 4.88 and 6.09 m (16 to 20 feet) plus overrun. Most logs belong to the genus *Pinus*, with a small percentage to *Quercus*. The logs are sorted by length and sometimes by diameter classes (Hernández and Wiemann, 2006). For sawing, the mills generally use tower-housed, vertical 10-12" wide band saws. The wood is sorted into six grades, although some mills do not perform this classification, so it is marketed as mill-run. The most common thicknesses into which the wood is sawn are 2.22, 3.18 and 3.81 cm (7/8, 5/4, 6/4 of an inch), strips of 10.16 cm (4 inches) wide, boards of 7.62 x 7.62 and 10.16 x 10.16 cm (3 x 3 and 4 x 4

refuerzo; la mayoría de la trocería pertenece al género *Pinus* y un bajo porcentaje a *Quercus*; las trozas se separan por largo y en ocasiones por categorías diamétricas (Hernández y Wiemann, 2006). En el aserrío generalmente se utilizan torres verticales de sierra banda de 8 a 10 pulgadas de ancho. La separación de la madera se realiza en seis clases, aunque en algunos aserraderos no se realiza tal clasificación, por lo que se comercializa como mill-run (mezcla de clases). Los gruesos más comunes en los que se asierra la madera son de 2.22, 3.18 y 3.81 cm (7/8, 5/4, 6/4 pulgadas), listones de 10.16 cm (4 pulgadas) de ancho, tablonés de 7.62 x 7.62 y 10.16 x 10.16 cm (3 x 3 y 4 x 4 pulgadas), así como medidas en pedidos especiales; los anchos de la madera van de 10.16 a 30.48 cm (4 a 12 pulgadas) y largos desde 0.6096 a 6.096 m (2 a 20 pies) más refuerzos.

Métodos

La toma de información de campo se realizó durante el año 2009 en los aserraderos de los ejidos El Brillante, La Victoria y San Pablo, así como en dos aserraderos completamente automatizados identificados como Bogli y Langer, pertenecientes al Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal Núm. 1 de El Salto, Durango, mediante observaciones directas del proceso de aserrío y mediciones de las dimensiones de las trozas y de los productos aserrados resultantes del proceso.

Determinación del tamaño de muestra

Para estimar el número de trozas necesarias en la determinación del rendimiento y alcanzar un error de muestreo del 5 % y una confiabilidad del 95 %, se utilizó la siguiente expresión (Dobie, 1975; citado por Zavala, 1996; Yang y Pulkki, 2002):

$$n = \frac{t^2 \sum S^2}{E^2}$$

Donde:

n= Trozas necesarios para estimar el rendimiento de madera aserrada.

t= Valor tabular de *t*-Student al 95% de confiabilidad.

*S*²= Varianza de la población.

E= Error de muestreo deseado (%).

De acuerdo a lo anterior, el número de trozas se estableció como se muestra en el Cuadro 1.

Categorías de diámetro, largo y conicidad de las trozas.

CUADRO 1. Trozas requeridas y aserradas en el estudio del rendimiento de madera aserrada por aserradero.

TABLE 1. Logs required and sawn in the study of lumber yield per sawmill.

Aserradero	Trozas requeridas	Trazos aserradas	Error de muestreo
	(n)	(n)	(%)
La Victoria	106	86	5.5
El Brillante	67	67	5.0
San Pablo	88	104	4.6
Bogli CBTF 1	100	75	5.7
Langer CBTF 1	50	80	3.9

inches), and dimensions asked for in special orders. Wood widths range from 10.16 to 30.48 cm (4 to 12 inches) and lengths from 0.6096 to 6.096 m (2 to 20 feet) plus overrun.

Methods

Field data were gathered in the year 2009 at the El Brillante, La Victoria and San Pablo ejido sawmills, as well as at two fully-automated sawmills, known as Bogli and Langer, which belong to the Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal Núm. 1 (Vocational Forest Technology Institute, No. 1) in El Salto, Durango, through direct observations of the sawing process and dimension measurements of the logs and timber products resulting from the process.

Sample size determination

To estimate the number of logs required to determine yield and achieve a sampling error of 5% and 95% reliability, we used the following expression (Dobie, 1975; cited by Zavala, 1996, Yang and Pulkki, 2002):

$$n = \frac{t^2 \sum S^2}{E^2}$$

Where:

n= Logs needed to estimate lumber yield.

t= Tabular value of Student's *t* at 95% reliability.

*S*²= Population variance.

E=Desired sampling error (%).

According to the above, the number of logs was established as shown in Table 1.

Log diameter, length and taper classes

Para establecer las categorías diamétricas de las trozas, se consideraron todos los diámetros menores sin corteza presentes en los patios de trocería, encontrando valores de 15 a 65 cm (5.9 a 25.5 pulgadas), para lo cual se establecieron cinco categorías diamétricas con un ancho de clases de 10 cm (3.93 pulgadas). En lo que respecta a la longitud de las trozas destinadas al aserrío, éstas se dimensionan a 4.88, 5.48 y 6.09 m (16, 18 y 20 pies) más refuerzos; por tal motivo se establecieron 3 categorías de longitud; en la primera se ubicaron las trozas con dimensiones menores o igual a 4.88 m (16 pies); en la segunda, trozas mayores de 4.88 hasta 5.48 m (16 a 18 pies), y en la tercera las trozas mayores a 5.48 m (18 pies); mientras que para la conicidad se encontraron valores máximos de 6 cm/m; esto significa que por cada metro de longitud de la troza el diámetro aumenta 6 cm; para tal efecto, se establecieron seis categorías de conicidad, una por cada centímetro. La conicidad de la troza es la diferencia entre el diámetro de la base y el diámetro de la punta con la distancia que las separa (Scanavaca y García, 2003; Vignote y Martínez, 2005), por lo que en su determinación se utilizó la siguiente relación:

$$C=(DM-Dm)/l$$

Donde:

C = Conicidad de la troza (cm/m).

DM = Diámetro mayor sin corteza (cm).

Dm = Diámetro menor sin corteza (cm).

l = Largo de la troza (m).

La distribución de las trozas por categoría diamétrica, por largo y conicidad se muestra en el Cuadro 2.

Determinación del volumen de las trozas

Una vez que las trozas fueron seleccionadas y marcadas, se procedió a medirlas para determinar su volumen con y sin corteza; en este caso fue utilizada la fórmula de Smalian (Husch et al., 2003), la cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4} \times DM^2 \right) + \left(\frac{\pi}{4} \times Dm^2 \right)}{2} \right) \times l$$

Donde:

V = Volumen (m^3 rollo).

DM = Diámetro mayor con y sin corteza (m).

To establish the log diameter classes, we considered all small-end, inside-bark diameters present in the log yards, finding values of 15 to 65 cm (5.9 to 25.5 inches), for which five diameter categories each with a 10 cm (3.93 inch) width range were established. With respect to the log lengths sawn, they are sized to 4.88, 5.48 and 6.09 m (16, 18 and 20 feet) plus overrun. For that reason, three length classes were established. The first includes logs less than or equal to 4.88 m (16 ft) in length, while the second consists of longer logs from 4.88 to 5.48 m (16 to 18 feet), and the third is made up of logs greater than 5.48 m (18 ft). For taper, values greater than 6 cm/m were found, meaning that for every meter of log length the diameter increases 6 cm. Therefore, six taper classes, one for every centimeter, were established. Log taper is the difference between the diameter of the base and the diameter of the top with the distance between them (Scanavaca and Garcia, 2003; Vignote and Martínez, 2005). Thus, log taper was determined using the following relationship:

$$LT=(SD-LD)/l$$

Where:

LT = Log taper (cm/m)

SD = Small diameter inside bark (cm).

LD = Large diameter inside bark (cm).

l = Log length (m).

The distribution of the logs by diameter, length and taper classes is shown in Table 2.

Log volume determination

Once the logs were selected and marked, we measured them to determine their outside- and inside-bark volume; for this, we used the Smalian formula (Husch et al., 2003), which is expressed in the following equation:

$$V = \left(\frac{\left(\frac{\pi}{4} \times LD^2 \right) + \left(\frac{\pi}{4} \times SD^2 \right)}{2} \right) \times l$$

Where:

V = Volume (m^3 roundwood).

LD = Large diameter outside and inside bark (m).

SD = Small diameter outside and inside bark (m).

l = Length (m).

CUADRO 2. Distribución de las trozas en las categorías diamétricas, de longitud y conicidad.

TABLE 2. Distribution of logs in the diameter, length and taper classes.

Categoría Diamétrica (cm)	Trozas por categoría (n)	Categoría de altura (m)	Trozas por categoría (n)	Categoría de conicidad (cm/m)	Trozas por categoría (n)
15-25	58	3-5.03	153	0-1	139
26-35	154			1.1-2	149
36-45	112	5.04-5.64	186	2.1-3	72
46-55	74			3.1-4	40
>55	14	5.65-7.57	73	4.1-5	8
				5.1-6	4
Total	412		412		412

Dm= Diámetro menor con y sin corteza (m).

l= Longitud (m).

Determinación del volumen de las tablas

Cada tabla producida durante el proceso de aserrío fue marcada con el código de la troza de la cual se originó, con la intención de cuantificar el volumen aserrado por troza; posteriormente cada tabla fue medida al milímetro realizando seis mediciones en el grueso de la misma distribuidas en los extremos y parte central de cada canto, tres mediciones en ancho en las mismas posiciones que los gruesos y una medición en la parte central de la tabla para obtener el largo. Para la cubicación de la madera aserrada se consideró a los productos como un paralelepípedo, por lo que el volumen de cada pieza de madera aserrada se determinó con los valores promedio en cada caso y mediante la siguiente relación (Romahn *et al.*, 1987):

$$V = t \times w \times l$$

Donde:

V = Volumen de la tabla (m³).

g= Grueso (m).

a= Ancho (m).

l= Longitud (m).

Determinación del rendimiento de madera aserrada

Con base en el volumen de las tablas y conociendo el de las trozas que las generaron, se determinó el porcentaje de rendimiento a través de la siguiente fórmula (Quiros *et al.*, 2005):

Board volume determination

Each board produced during the sawing process was marked with the code of the log from which it originated, with the intent of quantifying the volume sawn per log. Next, each board was measured to the nearest millimeter, performing six thickness measurements, distributed at the ends and middle of each edge, three width measurements in the same positions as the thickness ones, and one measurement in the middle of the board for length. For scaling, the lumber products were considered as a parallelepiped. Thus, the volume of each piece of lumber was determined with the average values in each case and using the following relationship (Romahn *et al.*, 1987):

$$V = t \times w \times l$$

Where:

V = Board volume (m³).

t= Thickness (m).

w= Width (m).

l= Length (m).

Lumber yield determination

Based on the volume of the boards and knowing that of the logs from which they were generated, the lumber recovery rate (yield) was determined using the following formula (Quiros *et al.*, 2005):

$$Lrr = \frac{V_b}{V_l} \times 100$$

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

Donde:

R = Rendimiento de madera aserrada (%).

V_a = Volumen de las tablas aserradas (m^3).

V_r = Volumen de las trozas (m^3 rollo).

Determinación de la productividad del aserrío

La productividad se obtuvo al relacionar el volumen de madera aserrada entre el tiempo transcurrido en su proceso, considerando desde el momento que se empezó a producir el primer corte en la troza hasta que se realizó el último, utilizando para tal efecto la siguiente expresión (García *et al.*, 2001):

$$P = \frac{V_a}{T_t}$$

Donde:

P = Productividad del aserrío (m^3/h).

V_a = Volumen aserrado (m^3).

T_t = Tiempo total de aserrío (h).

Métodos de cronometraje empleado para el estudio de tiempos

Para conocer los tiempos del proceso, se utilizó el método de "vuelta a cero"; el cual consiste en tomar el cronometraje de los diferentes ciclos de trabajo de inicio a fin y regresar el cronómetro a "cero" para iniciar el cronometraje de un nuevo ciclo de trabajo (Villagómez y García, 1986). La aproximación del cronometraje fue de 1/100 de segundo. Los ciclos de trabajo se identificaron como tiempos productivos e improductivos (Björheden, 1991), obteniendo las siguientes actividades:

TIEMPO PRODUCTIVO:

Tiempo de carga de la troza

Tiempo en segundos (se cronometró a partir de la colocación del primer gancho maderero en la troza seleccionada para acercarla y asegurarla al carro escuadra).

Tiempo de avance del carro escuadra

Where:

Lrr = Lumber recovery rate (%).

V_b = Volume of the boards sawn (m^3).

V_l = Volume of the logs used (m^3 roundwood).

Sawing productivity determination

Productivity was obtained by relating lumber volume with the time spent generating it, covering the time from when the operators started producing the first cut in the log until they finished the last one, using for this purpose the following expression (García *et al.*, 2001):

$$SP = \frac{V_s}{T_{st}}$$

Where:

SP = Sawing productivity (m^3/h).

V_s = Volume sawn (m^3).

T_{st} = Total sawing time (h).

Timing methods used for the time study

To determine process times, we used the "back to zero" method, which consists of timing the different work cycles from start to finish and returning the stopwatch to "zero" to begin the timing of a new work cycle (Villagómez and García, 1986). Timing precision was 1/100 of a second. The work cycles were identified as productive and unproductive times (Björheden, 1991), obtaining the following activities:

PRODUCTIVE TIME:

Log loading time

Timed in seconds (timed from the placement of the first hook in the log selected to bring and secure it to the sawmill carriage).

Sawmill carriage advance rate

Timing was from when the log began moving to the band saw and ended when the sawmill carriage stopped.

Sawmill carriage return time

Se cronometró el tiempo en que la troza inició el movimiento hacia la sierra banda y culminó cuando se detuvo el movimiento del carro escuadra.

Tiempo de retroceso del carro escuadra

Se tomó a partir del regreso del carro escuadra a la posición inicial para empezar un nuevo avance.

Tiempo de volteos de las trozas en el carro escuadra

Se tomó en el momento de contacto del gancho maderero para girar la troza en otra posición para buscar otros planos de corte.

TIEMPO IMPRODUCTIVO:

Tiempo improductivo necesario

Se consideró el tiempo invertido en el mantenimiento u otra actividad para resolver imprevistos propios de trabajo.

Tiempo improductivo innecesario

Se consideró el tiempo empleado para realizar actividades ajenas al proceso de aserrío, como descansos, conversación entre operarios y otras acciones no productivas.

Determinación del tiempo de aserrío de 1000 pies tablares

Finalmente, y a partir de la información que se generó en el aserrío de la madera, se determinó el tiempo necesario para aserrar 1000 pies tablares (pt) utilizando la siguiente relación:

$$T = \frac{1000 \times Tt}{Va}$$

Donde:

T = Tiempo para aserrar 1000 pies tablares (min).

Tt = Tiempo total del aserrío (min).

Va = Volumen aserrado (pt).

Procedimiento estadístico

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de productividad por aserradero, categorías diamétricas, de largo y conicidad de las trozas, se realizó

It timed the return of the sawmill carriage to the starting position to begin a new advance.

Log turning time in the sawmill carriage

It was taken at the contact time of the hook to rotate the log into another position to look for other cutting planes.

UNPRODUCTIVE TIME:

Necessary unproductive time

It was considered as the time spent on maintenance or other activities to resolve unforeseen work-related tasks.

Unnecessary unproductive time

It was considered as the time spent on activities unrelated to the sawing process, such as breaks, conversations between operators and other unproductive activities.

Determination of the sawing time of 1,000 board feet

Finally, and from the information generated from sawing the wood, we determined the time required for sawing 1,000 board feet (bf) using the following relationship:

$$T = \frac{1000 \times Tt}{Vs}$$

Where:

T = Time for sawing 1000 board feet (min).

Tt = Total sawing time (min).

Vs = Volume sawn (bf).

Statistical procedure

To identify significant differences in productivity indicators (log diameter, length and taper classes) among the five sawmills, we carried out an analysis of variance and comparisons of means using Duncan's multiple range test at a significance level of 0.05 and 95 % reliability. Data analysis was carried out using the GLM procedure of SAS/STAT statistical software (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

Times and general yields

Table 3 shows that lumber yield in the El Salto

un análisis de varianza y comparaciones de medias mediante pruebas de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 y 95 % de confiabilidad. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS/STAT (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tiempos y rendimientos generales

En el Cuadro 3 se observa que el rendimiento en madera aserrada en la región de El Salto corresponde al 57.5 % sin corteza; lo anterior indica que por cada m^3 rollo (m^3r) que es aserrado es posible obtener 244 pt, considerando que un metro cúbico de madera en rollo equivale a 424 pt. El tiempo estimado para aserrar 1,000 pt mostró valores extremos de 6.24 a 101 minutos influido por el diámetro, longitud y conicidad de las trozas, estableciéndose el promedio en 25.09 minutos, de los cuales 19.56 minutos corresponden al tiempo

region is 57.5 % inside bark, indicating that for every m^3 of roundwood (m^3r) sawn it is possible to obtain 244 bf, considering that a cubic meter of roundwood is equivalent to 424 bf. The estimated time for sawing 1,000 bf showed extreme values of 6.24 to 101 minutes. These times were influenced by the diameter, length and taper of the logs, with the average time being 25.09 minutes, of which 19.56 minutes corresponds to productive time, specifically on carriage advances and returns to make cuts in the logs. Productivity showed values of 1.40 to 22.70 cubic meters of roundwood per effective hour of work ($m^3r \cdot h^{-1}$), averaging $7.57 m^3r \cdot h^{-1}$, equivalent to 3,208 board feet per hour ($bf \cdot h^{-1}$), which divided by the number of workers involved in the process, in this case an average of four, results in an efficiency of 802 board feet/man-machine/hour. The feed rate was estimated at 46 m/min with extreme values of 99 to 9 m/min. Zavala and Hernández (2000) determined a lumber yield of 51 % inside bark for pine logs from San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca, which was 6.5 % lower than the estimated yield for the El Salto region of Durango. In relation to yield obtained per diameter class, the authors did not find a trend in which yield increased with increasing

CUADRO 3. Tiempos y rendimientos generales en el aserrío

TABLE 3. Sawing times and general yields

Variable	Trozas (n)	Media	Desv Std	Total	Máximo	Mínimo
Características de las trozas aserradas						
Diámetro mayor sin corteza (m)		0.45	0.12	--	0.77	0.21
Diámetro menor sin corteza (m)	412	0.36	0.10	--	0.65	0.15
Longitud de la troza (m)		5.14	0.72	--	7.57	3.10
Volumen con corteza (m^3r)		0.79	0.42	323.93	2.40	0.13
Volumen sin corteza (m^3r)		0.71	0.39	293.73	2.26	0.12
Productos obtenidos del aserrío						
Tablas generadas (n)	412	17	7	7085	44	4
Volumen de las tablas por troza (m^3)		0.41	0.23	169.01	1.23	0.07
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)						
Tiempo de carga en el carro escuadra		1.60	1.69	--	12.66	0.08
Tiempo de avance		12.12	6.81	--	53.10	3.64
Tiempo de retrocesos		7.44	4.19	--	25.78	1.43
Tiempo de volteos de las trozas	412	3.13	3.12	--	17.70	0.25
Tiempo improductivo necesario		0.45	3.43	--	52.23	0.00
Tiempo improductivo no necesario		0.34	4.32	--	82.78	0.00
Tiempo total de aserrío		25.09	15.05	--	101.06	6.24
Indicadores de productividad en la operación de aserrío						
Rendimiento con corteza (%)		52.17	12.83	--	84.54	15.10
Rendimiento sin corteza (%)	412	57.50	14.20	--	91.12	17.10
Productividad ($m^3 \cdot h^{-1}$)		7.57	3.98	--	22.70	1.40
Velocidad de alimentación ($m \cdot min^{-1}$)		46.47	14.97	--	98.68	8.53

productivo, específicamente en los avances y retrocesos del carro escuadra para efectuar los cortes en las trozas. La productividad mostró valores de 1.40 a 22.70 metros cúbicos rollo por hora efectiva de trabajo ($m^3 \cdot h^{-1}$) con un promedio de $7.57 m^3 \cdot h^{-1}$, equivalentes a 3,208 pies tablares por hora ($pt \cdot h^{-1}$), que distribuidos entre el número de operarios que participan en el proceso, en este caso un promedio de cuatro, resulta entonces en una eficiencia de 802 pies tablares/hombre-máquina/hora. La velocidad de alimentación se estimó en 46 m/min con valores extremos de 99 a 9 m/min. Zavala y Hernández (2000), determinaron un rendimiento en madera aserrada del 51 % sin corteza en trocería de pino proveniente de San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca, lo cual resultó menor en 6.5 % al rendimiento estimado para la región de El Salto, Durango. En relación al rendimiento obtenido por categoría diamétrica, los autores no encontraron una tendencia de aumento en el rendimiento con el aumento en diámetro de las trozas ya que el reportado resultó ser muy similar con valores de 49 a 51 % para trozas de 30 a 65 cm, lo cual coincide con la tendencia observada en este estudio.

Tiempos y rendimientos por aserradero

Los resultados del Cuadro 4 muestran diferencias significativas entre los indicadores de productividad por aserradero ($P < 0.05$), resultando mayor el rendimiento en la madera del aserradero Langer del CBTF1 con el 66 %, mientras que el menor rendimiento se observó en el aserradero del ejido San Pablo con un 54 %; la diferencia anterior se explica porque el promedio de tablas generadas por troza es 5 tablas menor en el aserradero Langer, lo que indica menor número de cortes y por lo tanto mayor rendimiento. La productividad fue estadísticamente diferente entre aserraderos ($P < 0.05$), de tal forma que mientras el aserradero del ejido La Victoria presentó la mayor productividad al aserrar en promedio $11.89 m^3 \cdot h^{-1}$, influido por una mayor velocidad de alimentación que se estableció en 62 m/min, los aserraderos del CBTF1 resultaron con una productividad de 3.82 a $4.46 m^3 \cdot h^{-1}$ debido a una mayor inversión de tiempo en la carga de trozas en el carro escuadra, los avances, retrocesos, volteo de las trozas y una menor velocidad de alimentación. Lo anterior contribuyó para que se registraran tiempos de aserrío para 1,000 pt de 35 minutos en el aserradero Langer, hasta 41 minutos en el Bogli del CBTF1, mientras que en el aserradero del ejido La Victoria se registró el menor tiempo con 13.66 minutos. García *et al.* (2001) determinaron un rendimiento real en trocería de pino en cuatro aserraderos del sur del estado de Jalisco, México, de 61.72 % equivalente a obtener 262 $pt \cdot m^{-3}$. En relación a la productividad, los autores encontraron un promedio de $2.95 m^3 \cdot h^{-1}$, la cual es inferior en $4.62 m^3 \cdot h^{-1}$ a la obtenida en este estudio; tal diferencia se atribuye al largo de las trozas, ya que mientras en el sur de Jalisco utilizaron trozas de 2.44 m (ocho pies), en la región de El Salto, Durango, el largo de las trozas aserradas osciló de 3.04 a 6.09 m (10 a 20 pies).

log diameter, as they reported very similar values of 49 to 51 % for logs of 30 to 65 cm, respectively, which coincides with the trend observed in this study.

Times and yields per sawmill

The results in Table 4 show significant differences among the productivity indicators per sawmill ($P < 0.05$), with the Langer sawmill having the highest lumber yield with 66 %, whereas the lowest yield, 54 %, was recorded at the San Pablo ejido sawmill. This difference is due to the fact that, on average, five fewer boards are generated per log at the Langer sawmill, indicating fewer cuts and therefore higher yield. Productivity was statistically different among sawmills ($P < 0.05$), so that while the La Victoria ejido sawmill had the highest productivity by sawing on average $11.89 m^3 \cdot h^{-1}$, influenced by a higher feed rate which was set at 62 m/min, the two vocational institute sawmills had productivity of 3.82 to $4.46 m^3 \cdot h^{-1}$ due to a greater investment of time in loading logs onto the sawmill carriage, in the advances, returns and turning over of the logs, and a slower feed rate. This contributed to the sawing times recorded for 1,000 bf: 35 minutes at the Langer sawmill, up to 41 minutes at the Bögli sawmill, and 13.66 minutes at the La Victoria ejido sawmill, which was the shortest time recorded. García *et al.* (2001) determined a real yield for pine logs at four sawmills in the southern part of the state of Jalisco, Mexico, of 61.72 %, equivalent to obtaining 262 $bf \cdot m^{-3}$. In relation to productivity, the authors calculated an average of $2.95 m^3 \cdot h^{-1}$, which is lower than the $4.62 m^3 \cdot h^{-1}$ obtained in this study; this difference is attributable to log length, since while logs of 2.44 m (eight feet) are used in southern Jalisco, logs ranging from 3.04 to 6.09 m (10 to 20 feet) long are sawn in the El Salto region of Durango.

Times and yields per diameter class

Table 5 presents the yield and time results by diameter class, where there are significant differences ($P < 0.05$) in inside-bark yield between classes of 26 to 35 and 36 to 45 cm. The highest yield was observed in the categories from 15 to 35 cm due to a smaller number of cuts made to obtain boards; however, no trend was observed of increasing yield with increasing log diameter. In terms of productivity, it showed an increase with increasing diameter, while the feed rate showed a reverse trend, i.e., as log diameter increases, the feed rate is decreased because of the potential risk of band saw ruptures with larger diameters. Similarly, the time for sawing 1,000 bf decreases with increasing log diameter, being from 44 minutes for the 15-25 cm class, up to 17 minutes in the classes greater than 56 cm. Murara *et al.* (2005) estimated an outside-bark lumber yield for *Pinus taeda* in Brazil with two different sawing methods, recording 35.24 to 43.92 % with the conventional sawing system and 41.65 to 63.04 % with an optimized sawing system. These authors also state that they did not observe a trend towards

CUADRO 4. Tiempos y rendimientos por aserradero

TABLE 4. Times and yields per sawmill

Variable	Aserraderos				
	EL Brillante	La Victoria	San Pablo	Bogli CBTF 1	Langer CBTF 1
Características de las trozas aserradas					
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.45	0.44	0.47	0.43	0.42
Diámetro menor sin corteza (m)	0.37	0.37	0.38	0.34	0.34
Longitud de la troza (m)	5.23	5.25	5.50	5.10	4.54
Volumen total con corteza (m ³ r)	56.97	68.65	96.25	52.56	49.50
Volumen total sin corteza (m ³ r)	49.53	62.47	88.65	47.80	45.28
Productos obtenidos del aserrío					
Tablas generadas (n)	1171	1469	1993	1306	1146
Tablas promedio por troza (n)	17	17	19	17	14
Volumen de las tablas (m ³)	30.26	35.93	46.56	27.17	29.09
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)					
Tiempo de carga en el carro escuadra	0.96	0.83	1.01	3.28	2.18
Tiempo de avance	11.68	7.22	8.50	19.98	15.12
Tiempo de retrocesos	6.15	3.94	5.53	11.75	10.75
Tiempo de volteos de las trozas	1.68	1.34	1.19	6.05	6.04
Tiempo improductivo necesario	1.43	0.32	0.27	0.06	0.38
Tiempo improductivo no necesario	0.00	0.00	0.83	0.38	0.33
Tiempo total de aserrío	21.89	13.66	17.33	41.49	34.79
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*					
Rendimiento con corteza (%)	54.84 b	54.04 b	48.95 c	51.83 bc	59.90 a
Rendimiento sin corteza (%)	63.14 ab	59.43 bc	53.82 d	57.21 cd	66.08 a
Productividad (m ³ ·h ⁻¹)	7.15 c	11.89 a	9.36 b	3.82 d	4.46 d
Velocidad de alimentación (m/min)	48.54 b	62.32 a	50.85 b	30.47 d	37.00 c

*Medias con la misma letra entre aserraderos, no son significativamente diferentes Duncan a $P \leq 0.05$

*Means with the same letter among sawmills are not significantly different at $P \leq 0.05$ (Duncan's test)

Tiempos y rendimientos por categoría de diámetro

El Cuadro 5 presenta los resultados obtenidos en los tiempos y rendimientos por categoría diamétrica, donde se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) en el rendimiento sin corteza entre las categorías de 26 a 35 y 36 a 45 cm. El mayor rendimiento se observó en las categorías de los 15 a 35 cm debido a un menor número de cortes realizados para obtener las tablas; sin embargo, no se observó una tendencia de aumento en el rendimiento con el incremento en el diámetro de las trozas. En cuanto a la productividad, ésta experimenta un incremento a medida que aumenta el diámetro, mientras que la velocidad de alimentación mostró una tendencia inversa; es decir, a medida que aumenta el diámetro de

increasing yield with increasing log diameter. Outside-bark lumber yield values of 48.5 % were found by Velázquez *et al.* (2006) in *Pinus caribaea* in the province of Pinar del Rio, Cuba. They also noted an increase in yield in the 16-26 cm diameter class, which was decreasing with increasing log diameter. This is consistent with the trend observed in this study. Valério *et al.* (2007) found that 17.7 % of the volume of sawn logs of *Araucaria angustifolia* corresponds to the bark, whereas in this study the difference was 9.3 %. These authors found an average outside-bark yield of 44.9 %, requiring the sawing of 2.22 m³r to obtain a cubic meter of lumber, while the average yield for bark-free logs was 62.6 %, requiring 1.59 m³r to obtain a cubic meter of lumber. In the El Salto region of Durango, an outside-bark volume of 1.91 m³r and an inside-bark volume of 1.73 m³r

CUADRO 5. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica

TABLE 5. Times and yields by diameter class

Variable	Categoría diamétrica (cm)				
	15-25	26-35	36-45	46-55	>56
Características de las trozas aserradas					
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.30	0.36	0.51	0.59	0.68
Diámetro menor sin corteza (m)	0.23	0.30	0.40	0.49	0.59
Longitud de la troza (m)	5.24	5.20	5.07	5.09	5.08
Volumen total con corteza (m ³ r)	19.60	79.67	103.78	97.01	23.87
Volumen total sin corteza (m ³ r)	17.32	71.18	94.12	88.66	22.45
Productos obtenidos del aserrío					
Tablas generadas (n)	630	2106	2150	1725	474
Tablas promedio por troza (n)	11	14	19	23	34
Volumen de las tablas (m ³)	10.04	44.04	52.32	49.93	12.68
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)					
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.37	1.82	1.34	1.10	0.84
Tiempo de avance	15.15	12.56	12.02	9.62	8.94
Tiempo de retrocesos	10.39	8.26	6.67	5.14	4.62
Tiempo de volteos de las trozas	4.13	3.55	2.76	2.26	1.84
Tiempo improductivo necesario	0.52	0.11	0.48	1.10	0.38
Tiempo improductivo no necesario	1.43	0.01	0.35	0.13	0.51
Tiempo total de aserrío	33.99	26.30	23.62	19.34	17.12
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*					
Rendimiento con corteza (%)	53.60 a	56.17 a	50.97 a	52.32 a	53.75 a
Rendimiento sin corteza (%)	60.58 ab	62.87 a	56.18 b	57.13 ab	57.18 ab
Productividad (m ³ ·h ⁻¹)	5.54 d	7.14 cd	7.78 bc	9.33 ab	9.75 a
Velocidad de alimentación (m·min ⁻¹)	54.46 a	50.02 a	42.60 b	40.69 bc	35.87 c

*Medias con la misma letra entre categorías diamétricas, no son significativamente diferentes Duncan a $P \leq 0.05$

*Means with the same letter among diameter categories are not significantly different at $P \leq 0.05$ (Duncan's test)

las trozas, disminuye la velocidad de alimentación debido a la posibilidad de riesgo por roturas de la sierra cinta ante diámetros mayores. De igual forma, el tiempo para aserrar 1,000 pt disminuye al aumentar el diámetro de las trozas estableciéndose desde 44 minutos para la categoría de 15 a 25 cm, hasta 17 minutos en las categorías mayores a 56 cm. Murara *et al.* (2005) estimaron un rendimiento con corteza en madera aserrada de *Pinus taeda* de Brasil con dos diferentes métodos de aserrío, encontrando de 35.24 a 43.92 % con el sistema de aserrío convencional y de 41.65 a 63.04 % con un sistema de aserrío optimizado, y mencionan además que no observaron una tendencia en el aumento del rendimiento con el incremento en el diámetro de las trozas. Valores de 48.5 % de rendimiento con corteza en madera aserrada fueron encontrados por Velázquez *et al.* (2006) en *Pinus caribea* de la Provincia de Pinar del Río, Cuba; también observaron un aumento en el rendimiento en la categoría diamétrica de 16 a 26 cm, el

are required to obtain a cubic meter of lumber. Meneses and Guzman (2000) reported that for timber from *Pinus radiata* plantations, 2.9 m³r of roundwood in Chile and 1.85 m³r in New Zealand are needed to produce one cubic meter of lumber.

Times and yields by log taper class

Table 6 presents the yield results by taper class, showing significant differences ($P < 0.05$) among the categories of 0-1 cm·m⁻¹, 3.1-4 and 4.1-5 cm·m⁻¹. The trend is that with increasing log taper, yield, productivity and feed rate decrease; however, the average time for sawing 1,000 bf is relatively constant for all taper classes evaluated, with values of 21 to 27 minutes. In *Eucalyptus urophylla* with a taper of 0.0156 cm·m⁻¹, Scnavaca and Garcia (2003) estimated lumber yields of 42.54%, finding no direct effect of taper on lumber yield. They note that when trees are young,

CUADRO 6. Tiempos y rendimientos por conicidad de las trozas**TABLE 6. Times and yields by log taper**

Variable	Categorías de conicidad de las trozas (cm·m ⁻¹)					
	0-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	5.1-6
Características de las trozas aserradas						
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.38	0.42	0.53	0.57	0.64	0.69
Diámetro menor sin corteza (m)	0.35	0.34	0.40	0.40	0.43	0.44
Longitud de la troza (m)	5.25	5.08	5.24	4.96	4.83	4.45
Volumen total con corteza (m ³ r)	89.83	101.33	74.25	43.08	10.22	5.22
Volumen total sin corteza (m ³ r)	81.46	91.15	67.60	39.43	9.27	4.82
Productos obtenidos del aserrío						
Tablas generadas (n)	2102	2407	1476	852	154	94
Tablas promedio por troza (n)	15	16	21	21	19	24
Volumen de las tablas (m ³)	50.99	54.14	37.50	19.37	4.55	2.46
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)						
Tiempo de carga en el carro escuadra	1.49	1.81	1.29	1.70	1.80	2.16
Tiempo de avance	11.29	12.93	11.42	13.70	10.70	10.77
Tiempo de retrocesos	7.32	8.34	5.95	7.56	6.33	6.48
Tiempo de volteos de las trozas	3.01	3.54	2.65	3.02	2.22	3.17
Tiempo improductivo necesario	0.07	0.31	1.09	1.31	0.06	0.00
Tiempo improductivo no necesario	0.65	0.28	0.11	0.02	0.00	0.00
Tiempo total de aserrío	23.83	27.21	22.51	27.30	21.12	22.58
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*						
Rendimiento con corteza (%)	57.86 a	53.65 ab	51.41 ab	44.72 b	46.11 b	49.45 ab
Rendimiento sin corteza (%)	64.34 a	59.92 ab	56.49 ab	48.92 b	50.70 b	53.59 ab
Productividad (m ³ ·h ⁻¹)	8.22 a	6.87 a	7.98 a	7.26 a	7.22 a	7.44 a
Velocidad de alimentación (m·min ⁻¹)	50.37 a	46.72 a	43.98 ab	38.98 ab	40.05 ab	34.37 b

*Medias con la misma letra entre categorías de conicidad de trozas, no son significativamente diferentes Duncan a $P \leq 0.05$

*Means with the same letter in log taper classes are not significantly different at $P \leq 0.05$ (Duncan's test)

cual fue disminuyendo al incrementarse el diámetro de las trozas; lo anterior concuerda con la tendencia observada en el presente estudio. Valério *et al.* (2007) observaron que el 17.7 % del volumen de las trozas aserradas de *Araucaria angustifolia* corresponde a la corteza, mientras que en el presente estudio tal diferencia fue del 9.3 %; encontraron un rendimiento medio para trozas con corteza de 44.9 %, siendo necesario el aserrío de 2.22 m³r para obtener un metro cúbico de madera aserrada, mientras que el rendimiento medio para trozas sin corteza fue del 62.6 %, siendo necesarios 1.59 m³r para obtener un metro cúbico de madera aserrada. En la región de El Salto, Durango, se requieren 1.91 m³r con corteza y 1.73 m³r sin corteza para obtener un metro cúbico de madera aserrada. Meneses y Guzmán (2000) reportan para trocería proveniente de plantaciones de *Pinus radiata*, que en Chile se necesitan 2.09 m³r y en Nueva Zelanda 1.85 m³ de madera en rollo para producir un metro cúbico de madera aserrada.

the trunk takes on a conical shape that becomes cylindrical over the years, reducing its taper. For his part, Grosser (1980) establishes that taper influences lumber yield only when there are values higher than 1 cm·m⁻¹ in log diameter and 3 cm·m⁻¹ in log circumference, which explains the effect of taper on yield in this study.

Times and yields by log length class

Regarding log length, Table 7 shows the results in which significant differences ($P < 0.05$) can be observed in productivity indicators, the trend being that as log length increases, yield decreases, while productivity and feed rate increase. The average time for sawing 1,000 bf is 27 minutes for logs less than 16 feet long and drops to 20 minutes for logs over 18 feet long. Regarding yield based on log length, Steele (1984) mentions that lumber yield decreases with increasing length due to the effect of log

Tiempos y rendimientos por categoría de conicidad de las trozas

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del rendimiento por categoría de conicidad, observando diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las categorías de 0-1 $\text{cm}\cdot\text{m}^{-1}$, 3.1-4 y 4.1-5 $\text{cm}\cdot\text{m}^{-1}$, la tendencia observada es que a medida que aumenta la conicidad de las trozas, el rendimiento, la productividad y la velocidad de alimentación disminuyen; sin embargo, el tiempo promedio para aserrar 1,000 pt es relativamente constante para todas las categorías de conicidad evaluadas con valores de 21 a 27 minutos. Scnavaca y Garcia (2003) estimaron para *Eucalyptus urophylla* con una conicidad de 0.0156 $\text{cm}\cdot\text{m}^{-1}$, rendimientos en madera aserrada de 42.54 %, no encontrando un efecto directo de la conicidad en el rendimiento de la madera; señalan que cuando los árboles son jóvenes, los fustes adquieren una forma cónica y que con el paso de los años se tornan cilíndricos disminuyendo

shape, since with greater length it is more likely that the log bends and loses straightness, causing trouble finding the proper sawing geometry, which is consistent with the trend observed in this study.

CONCLUSIONS

The inside-bark lumber yield at the sawmills in the El Salto region of Durango is 57.5%, equivalent to obtaining 244 bf per cubic meter of roundwood, or needing 1.73 m^3 of roundwood to obtain one cubic meter of lumber. The processing time for 1,000 bf was 25.09 minutes, of which 19.56 minutes corresponds to sawmill carriage advances and returns. Average productivity was estimated at 7.57 $\text{m}^3 \text{r}\cdot\text{h}^{-1}$ and the feed rate was 46.47 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$.

No increase in yield was found with increasing log diameter; however, productivity showed an increase with

CUADRO 7. Tiempos y rendimientos por el largo de las trozas

TABLE 7. Times and yields by log length

Variable	Longitud de las trozas (m)		
	3-5.03	5.04-5.64	5.65-7.57
Características de las trozas aserradas			
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.46	0.44	0.43
Diámetro menor sin corteza (m)	0.38	0.36	0.34
Longitud de la troza (m)	4.60	5.16	6.25
Volumen total con corteza (m^3r)	114.26	145.76	63.91
Volumen total sin corteza (m^3r)	104.11	131.71	57.91
Productos obtenidos del aserrío			
Tablas generadas (n)	2644	3083	1358
Tablas promedio por troza (n)	17	17	19
Volumen de las tablas (m^3)	60.63	76.12	32.26
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)			
Tiempo de carga en el carro escuadra	1.76	1.58	1.35
Tiempo de avance	12.86	12.24	10.28
Tiempo de retrocesos	7.95	7.47	6.31
Tiempo de volteos de las trozas	3.65	3.06	2.20
Tiempo improductivo necesario	0.57	0.44	0.23
Tiempo improductivo no necesario	0.05	0.68	0.08
Tiempo total de aserrío	26.85	25.47	20.46
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*			
Rendimiento con corteza (%)	54.77 a	53.87 ab	50.59 b
Rendimiento sin corteza (%)	60.50 a	59.86 ab	56.51 b
Productividad ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	7.27 b	7.26 b	9.00 a
Velocidad de alimentación ($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	41.86 c	47.03 b	54.71 a

*Medias con la misma letra entre categorías de largo, no son significativamente diferentes Duncan a $P \leq 0.05$

*Means with the same letter in length classes are not significantly different at $P \leq 0.05$ (Duncan's test)

su conicidad. Por su parte, Grosser (1980) establece que la conicidad influye en el rendimiento de madera aserrada sólo cuando se presentan valores superiores a $1 \text{ cm}\cdot\text{m}^{-1}$ en el diámetro o $3 \text{ cm}\cdot\text{m}^{-1}$ en la circunferencia de las trozas, lo cual explica el efecto de la conicidad en el rendimiento obtenido en este estudio.

Tiempos y rendimientos por categoría de largo de las trozas

Respecto a la longitud de las trozas, en el Cuadro 7 se presentan los resultados donde se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) en los indicadores de productividad, observando la tendencia que a medida que la longitud de la troza aumenta, disminuye el rendimiento, mientras que la productividad experimenta un aumento al igual que la velocidad de alimentación. El tiempo promedio para aserrar 1,000 pt es de 27 minutos para trozas menores a 16 pies y disminuye hasta 20 minutos en trozas mayores a 18 pies. En lo que respecta al rendimiento considerando el largo de las trozas, Steele (1984) menciona que el rendimiento en madera aserrada decrece con el incremento en longitud debido al efecto de la forma de la troza, puesto que a mayor largo es más probable que la troza se encorve y pierda la rectitud ocasionando problemas para encontrar la adecuada geometría del aserrío, lo cual concuerda con la tendencia observada en el presente estudio.

CONCLUSIONES

El rendimiento sin corteza en los aserraderos de la región de El Salto, Durango, es de 57.5 %, equivalente a obtener 244 pt por cada metro cúbico de madera en rollo, o bien, se requieren 1.73 m^3 rollo para obtener un metro cúbico de madera aserrada. El tiempo para procesar 1,000 pt se estableció en 25.09 minutos de los cuales 19.56 corresponden a los avances y retrocesos del carro escuadra. La productividad promedio se estimó en $7.57 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ y la velocidad de alimentación fue de $46.47 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

No se encontró un incremento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas; sin embargo, la productividad experimenta un incremento con el aumento del diámetro mientras que la velocidad de alimentación disminuye ante trozas de diámetros grandes. Se encontró además que el rendimiento, la productividad y la velocidad de alimentación disminuyen a medida que aumenta la conicidad de las trozas. El largo de las trozas influye en el rendimiento de madera aserrada, puesto que a medida que aumenta su longitud, el rendimiento disminuye pero se aumenta la productividad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Durango, A.C., por el financiamiento brindado al proyecto

increasing diameter while feed rate decreases with large-diameter logs. It was also found that yield, productivity and feed rate decrease with increasing log taper. Log length affects lumber yield, since as length increases, yield decreases but productivity increases.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Fundación Produce Durango, A.C., for the funding provided to project 10-2007-0452 *Comprehensive Assessment of the Timber Production Process*, from which this work was generated, and also the EU-Mexico Fund for International Cooperation in Science and Technology (FONCICYT, Project: 92739), for promoting collaboration among the institutions involved in this work.

End of English Version

10-2007-0452 *Evaluación Integral del Proceso Productivo Maderable*, del cual se generó el presente trabajo. Al Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología Unión Europea-México (FONCICYT, Proyecto: 92739), por propiciar la colaboración entre las instituciones involucradas en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AGUILERA, A.; INZUNZA, L.; ALZAMORA, R.; TAPIA, L. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque*. 26(2): 107-114.
- BIASI, C. P.; PEREIRA DA ROCHA, M. 2007. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. *Floresta*. 37(1): 95-108.
- BJÖRHEDEN, R. 1991. **Basic time concepts for international comparisons of time study reports**. *International Journal of Forest Engineering*. 2(2): 33-39.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; SILVA DA, S. C.; TRUGILHO, P. F. 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, J. D.; MORALES, L.; VALENCIA, S. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. *Foresta-AN*. Nota técnica Núm. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.
- GROSSER, D. 1980. Defeitos da madeira. Série técnica FUPEF. Núm. 2. 62 p.
- HERNÁNDEZ, R.; WIEMANN, M. C. 2006. Lumber processing in selected sawmills in Durango and Oaxaca, México. General Technical Report FPL-GTR-167. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 14 p.
- HUSCH, B.; MILLER, C.; BEERS, T. 2003. *Forest mensuration*. 4th Ed. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey. 443 p.
- MENESES, M.; GUZMÁN, S. 2000. Productividad y eficiencia en la producción forestal basadas en las plantaciones de pino radiata. *Bosque*. 21(2): 3-11.

- MURARA, M. I.; DA ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK, R. J. 2005. Rendimiento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*. 35(3): 473-483.
- QUIRÓS, R.; CHINCHILLA, O.; GÓMEZ, M. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*. 29(2): 7-15.
- ROMAHN DE LA V. C. F.; RAMÍREZ, H. M.; TREVIÑO, G. J. L. 1987. Dendrometría. Serie de apoyo académico Núm. 26. División de Ciencias Forestales. UACH, Chapingo, México. 387 p.
- SAS INSTITUTE INC. 2004 SAS/STAT® 9.1.2. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SCANAVACA, L.; GARCIA, J. N. 2003. Rendimiento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*. 63: 32-43.
- STEELE, P. H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling. Gen. Tech. Rep. FPL-39. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p.
- UCODEFO 6. 1997. Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007. El Salto, Durango, México. 207 p.
- VALÉRIO, Á. F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; WINCKER, M. V.; FILHO, A. F. 2009. Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*. 39(3): 619-628.
- VALÉRIO, Á. F.; WATZLAWICK, L. F.; DOS SANTOS, R. T.; BRANDELERO, C.; KOEHLER, H. 2007. Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. *Floresta*. 37(3): 387-397.
- VELÁZQUEZ, V. D.; MANZANARES, A. K.; GUYAT, D. M. A.; SÁNCHEZ, T. E. 2006. Rendimiento de materia prima en un aserradero de la Provincia de Pinar del Río, Cuba. *Revista Forestal Baracoa*. 25(1): 97-104
- VIGNOTE, P. S.; MARTÍNEZ, R. I. 2005. Tecnología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa Libros S.A. Tercera Edición. Madrid, España. 687 p.
- VILLAGÓMEZ, L. M.; GARCÍA, A. D. 1986. El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México*. 59(11): 162-180.
- WANG, S. Y.; LIN, CH. J.; CHIU, CH. M. 2003. Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of Taiwania (*Taiwania cryptomerioides*) planted in the Lu-Kuei area. *J Wood Sci*. 49: 444-449
- YANG, K. CH.; PULKKI, R. E. 2002. Sample Size Determination and Probability Level Estimation. *Taiwan J For Sci*. 17(2): 135-141.
- ZAVALA, Z. D.; HERNÁNDEZ, C. R. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*. 6(2): 41-55.
- ZAVALA, Z. D. 1996. Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal en México*. 21(79): 165-181.