

Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México

Lumber recovery factor in two private sawmills in El Salto, Durango, Mexico

Juan Abel Nájera Luna,¹ Gleen Hamilton Adame Villanueva,² Jorge Méndez González,³
Benedicto Vargas Larreta,⁴ Francisco Cruz Cobos,⁵ Francisco Javier Hernández,⁶
y Cristóbal Gerardo Aguirre Calderón⁷

Nájera Luna, J. A.; Adame Villanueva G. H.; Méndez González, J.; Vargas Larreta, B.; Cruz Cobos, F.; Hernández F.J.; Aguirre Calderón, C.G. Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 55, 11-23, 2012.

RESUMEN

Se realizó un estudio sobre tiempos y rendimientos en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. El tamaño de muestra fue de 159 trozas con un volumen sin corteza de 81.64 m³ rollo, las cuales generaron un volumen aserrado de 48.89 m³. Para conocer el tiempo de transformación de las trozas se empleó el método de "vuelta a cero" y para estimar el rendimiento se relacionó el volumen aserrado con el volumen en rollo de las trozas. Los resultados indican que el rendimiento es de 61.64% sin corteza, lo que significa que por cada metro cúbico de madera en rollo, es posible obtener 261 pies tabla de madera aserrada (0.616 m³); la productividad fue de 5.02 m³·h⁻¹ y el tiempo para procesar 1,000 pt (2.36 m³) se estableció en 31.87 minutos. Se encontró que el rendimiento en madera aserrada no es afectado por el diámetro, pero sí por el largo y conicidad de las trozas.

Palabras clave: aserraderos, conicidad, madera aserrada, productividad, rendimientos, trozas.

Keywords: sawmills, taper, lumber, productivity, yields, logs.

Recibido: 17 de Enero de 2012, aceptado: 12 de Marzo de 2012

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), jalnajera@yahoo.com.mx.

² Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), gleenadame@hotmail.com.

³ Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, jorgemendezgonzalez@gmail.com.

⁴ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), vlbene@gmail.com.

⁵ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), cobos_cruz@yahoo.com.mx.

⁶ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), fcojhernan@yahoo.com.mx.

⁷ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), g_aguirremx@yahoo.com.

miento en madera aserrada no es afectado por el diámetro, pero sí por el largo y conicidad de las trozas.

ABSTRACT

A study of time and yield was carried out in two private sawmills in El Salto, Durango, México. The sample was of 159 logs equating 81.64 m³ roundwood without bark, which generated a sawed volume of 48.89 m³. The transformation time was estimated with the "snap-back timing" method and the lumber recovery factor was defined as the percentage or a ratio of volume of sawn wood output to that of the volume input of logs processed in the sawmills. The results show that the main yield of lumber is 61.64% without bark, which means that for every cubic meter of logs, it is possible to obtain 261 board feet (BF) of lumber (0.616 m³), the estimated productivity was 5.02 m³·h⁻¹ and the average time for sawing 1,000 BF (2.36 m³) was estimated in 31.87 minutes. It was found that the yield in lumber is not affected by diameter, but is affected by the length and taper of the logs.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la actividad forestal nacional, es apremiante la necesidad de contar con métodos prácticos y precisos para cuantificar los volúmenes de madera, tanto en el mismo bosque, como en los productos maderables que de él se obtienen. El realizar una cuantificación inadecuada ocasiona incertidumbre acerca del verdadero valor de la madera, afectando así a los produc-

tores, a los industriales y al bosque mismo con todos los recursos naturales asociados. El aserrío es un proceso mediante el cual se convierte la madera en rollo en tablas, tablones, polines, vigas y durmientes, utilizando maquinaria, equipo, recurso humano, fuentes de energía y dinero; durante un tiempo y derivado de avances tecnológicos, estos procesos han sido eficientes con el propósito de lograr una mayor producción, con una buena calidad de productos terminados y menores costos de producción (García *et al.*, 2001). El manejo eficiente y provechoso de las operaciones de industrialización requiere de un trabajo cuidadoso a fin de obtener el mayor volumen de material útil y valioso de la troza; esas operaciones también deben convertir la troza en productos que satisfagan las especificaciones de calidad, dimensiones y acabado. Finalmente, las operaciones de industrialización de madera deben realizarse de tal manera que la máquina no sufra desgaste excesivo, daño o destrucción, así como la reducción de los costos de mantenimiento (Brown y Bethel, 1990). El rendimiento en madera aserrada (o porcentaje de aprovechamiento) es la relación entre el volumen de madera aserrada producido entre el volumen de la troza antes del asierre, expresado en porcentaje (Valerio *et al.*, 2007). El rendimiento es un parámetro que puede servir de base para que los manejadores de los aserraderos evalúen con relativa transparencia si las operaciones de producción están siendo ejecutadas correctamente en la empresa (Rocha, 2002). El rendimiento de madera aserrada está determinado por una confusa interacción de diversas variables, como el diámetro de las trozas, su longitud, curvaturas, conicidad, calidad interna de la madera, la toma de decisiones por parte del personal del aserradero, la condición y mantenimiento del equipo de aserrío, los métodos de asierre, las dimensiones de las piezas aserradas y el tipo de especies procesadas (coníferas o latifoliadas) (Steele, 1984; Rocha, 2002; Maurara *et al.*, 2005; Valerio *et al.*, 2007; Vital, 2008). Dado que no hay

dos aserraderos iguales, las variables que influyen en el rendimiento rara vez son las mismas de un aserradero a otro (Steele, 1984). Por tal motivo es importante conocer cómo estos factores afectan el rendimiento de madera aserrada para entender el grado de aprovechamiento que es posible alcanzar de la materia prima con la finalidad de establecer mecanismos que permitan incrementar el nivel de aprovechamiento. En la región de El Salto, Durango, se tiene información del efecto que ejercen las características de las trozas que son aserradas sobre los indicadores de productividad en aserraderos de propiedad ejidal, pero ninguna referencia bibliográfica con respecto a los procesos de transformación de la materia prima de coníferas en aserraderos de propiedad privada pese a sus posibles diferencias tanto en la administración como en su operación, por lo que el presente estudio representa un esfuerzo por aportar esta información y conocer el efecto que tienen el diámetro, largo y conicidad de la trocería en el rendimiento en madera aserrada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción 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). Para tal efecto, se seleccionaron dos aserraderos de propiedad particular dedicados a la elaboración de madera aserrada de pino en largas dimensiones. Físicamente, las instalaciones se localizan en las afueras de la ciudad de El Salto, Durango sobre la carretera Durango-Mazatlán, kilómetro 98 (figura 1).



Figura 1. Aserraderos bajo estudio.

Características de la maquinaria del aserradero A

Torre principal marca MAQPARSA de fabricación mexicana con diámetro de volantes de 1.52 m, accionado por un motor de 75 HP y 1,775 r.p.m. Diseñada para usar sierras de 19.5 cm de ancho y la sierra que se utiliza es de 18.4 cm en calibre 16. Carro con 3 escuadras, marca AHMSA, accionado por dos motores para el avance y retroceso de 10 HP.

Características de la maquinaria del Aserradero B

Torre principal marca HULMAQ de fabricación mexicana, diámetro de volantes de 1.38 m, accionado por un motor de 100 HP. Diseñada para usar sierras de 20.5 cm de ancho y la sierra que se utiliza es de 18.4 cm de ancho y calibre 16. Carro de 3 escuadras, marca HULMAQ con dos motores, accionado por un motor para el avance de 10 HP y 1,425 r.p.m y para el retroceso utiliza un motor de 7.5 HP y 1,730 r.p.m.

Características de los productos elaborados en los aserraderos

La clasificación de la madera aserrada por calidad se realiza en cinco clases (2 y mejor, 3, 4, 5 y millrun o madera sin clasificar); los gruesos más comunes en que se asierra son de 7/8, 5/4, 6/4 in (2.22, 3.18 y 3.81 cm), listones de 4 in (10.16 cm) de ancho, tabloncillos de 3 x 3 y 4 x 4 in (7.62 x 7.62 y 10.16 x 10.16 cm), así como medidas en pedidos especiales; los anchos de la madera van de 4 a 12 in (10.16 a 30.48 cm) y largos desde 2 a 20 ft (0.6096 a 6.096 m) más refuerzos.

Determinación del tamaño de muestra

En estudios de evaluación de aprovechamiento en aserradero, se han utilizado 100 trozas al azar (SFF, 1978,0 citado por Zavala y Hernández, 2000). Sin embargo, para estimar el número de trozas necesarias para alcanzar un error de muestreo de 5% y una confiabilidad de 95%, se utilizó la siguiente expresión (Dobie, 1975, citado por Zavala, 1996):

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2}$$

Donde:

n = Número de trozas necesarias para estimar el rendimiento de madera aserrada.

t = Valor tabular de t-Student a 95% de confiabilidad.

CV = Coeficiente de variación (%).

E = Error de muestreo deseado (%).

En el presente estudio, se llevó a cabo un pre-muestreo con 30 trozas en cada aserradero, con lo cual fue posible estimar el número de trozas necesarias por aserradero (tabla 1).

La toma de información se realizó en el año 2011 mediante observaciones directas del proceso de aserrío y mediciones de las trozas y de los productos escuadrados resultantes del proceso. Para el estudio se utilizaron 159 trozas de *Pinus* sp., las cuales se distribuyeron en tres categorías diamétricas (15-25; 26-35 y 36-45 cm con 53 trozas por categoría diamétrica); tres de longitud (≤ 4.87 m con 59 trozas; 4.88-5.48 m con 38 trozas y ≥ 5.49 m con 62 trozas), así como en tres de conicidad (0-1 cm/m^{-1} con 67 trozas; 1.1-2 cm/m^{-1} con 70 trozas y de 2.1-3 cm/m^{-1} con 22 trozas). Lo anterior, con la finalidad de analizar la influencia del diámetro, la longitud y la conicidad de las trozas en el rendimiento en madera aserrada.

Cubicación de las trozas

Las trozas seleccionadas fueron marcadas e identificadas, procediendo enseguida a medirlas para determinar su volumen con y sin corteza, empleando la fórmula de Smalian (Husch et al., 2003), mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{(\pi/4 \times DM^2) + (\pi/4 \times Dm^2)}{2} \times L$$

Tabla 1. Número de trozas requeridas y aserradas por aserradero evaluado

Aserradero	Trozas requeridas (n)	Trozas aserradas (n)	Error de muestreo (%)
A	56	60	4.8
B	59	99	3.8
Suma	115	159	

Donde:

- V= Volumen de la troza (m³).
DM= Diámetro mayor de la troza (m).
Dm= Diámetro menor de la troza (m).
L= Longitud de la troza (m).
 π = Constante (3.14159).

Estudio de tiempos y movimientos

Se utilizó el método de "vuelta a cero" descrito por Villagómez y García (1986), el cual pertenece a los métodos de muestreo aleatorio. El tiempo del proceso se llevó a cabo cuantificando cada actividad desde el inicio hasta el final, empleando una precisión de 1/100 segundos, convirtiéndose éste posteriormente a horas. El proceso de aserrío se clasificó en tiempo productivo e improductivo. Para estimar el tiempo productivo se dividió el proceso en las siguientes actividades:

- Tiempo de carga.
- Tiempo de avance del carro escuadra.
- Tiempo de retroceso del carro escuadra.
- Tiempo de volteos de las trozas en el carro escuadra.
- Tiempo justificado.
- Tiempo no justificado.

Con la información de los cronometrajes se obtuvo el tiempo necesario en minutos para aserrar 1,000 pies tabla (pt) (2.36 m³) bajo las siguientes variables:

- Tiempo de carga para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo de avance para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo de retrocesos para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo de volteos para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo justificado para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo no justificado para aserrar 1,000 pt (min.).
- Tiempo total para aserrar 1,000 pt (min.).

Determinación del tiempo de asierre de 1,000 pies tabla (2.36 m³)

Con base en la información generada en el asierre de las trozas, se determinó el tiempo requerido para aserrar 1,000 pt (2.36 m³) (Nájera *et al.*, 2011a):

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

Donde:

- T= Tiempo para aserrar 1,000 pies tabla (min.).
Tt= Tiempo total de asierre (min.).
Va= Volumen aserrado (pt).

Cubicación de las piezas aserradas

Las piezas resultantes del aserrío fueron medidas y relacionadas a la troza de origen con la finalidad de cuantificar el volumen aserrado, según lo sugerido por Romahn *et al.* (1987), mediante la siguiente ecuación:

$$Va = (g)(a)(l)$$

Donde:

- Va = Volumen de la pieza aserrada (m³).
g = Grueso de la pieza aserrada (m).
a = Ancho de la pieza aserrada (m).
l = Longitud de la pieza aserrada (m).

Determinación del rendimiento de madera aserrada

Con el volumen calculado a partir de las piezas aserradas y el volumen de la materia prima que se empleó, se determinó el rendimiento utilizando la siguiente relación (Quirós *et al.*, 2005):

$$R = \frac{Vta}{Vtr} 100$$

Donde:

- R = Rendimiento de madera aserrada (%).
Vta = Volumen de las tablas (m³).
Vtr = Volumen de las trozas (m³r).

Determinación de la conicidad de las trozas

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). Con el objeto de evaluar este efecto sobre el rendimiento, el tiempo de asierre y productividad, las trozas se agruparon por categoría de conicidad. Para 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).

Determinación de la productividad del aserrío

La productividad del aserrío se estimó relacionando el volumen de madera aserrada entre el tiempo requerido para aserrar dicho volumen, utilizando la siguiente fórmula (García *et al.*, 2001):

$$P = \frac{Va}{Tt}$$

Donde:

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

Va = Volumen aserrado (m^3).

Tt = Tiempo total de asierre (h).

Análisis estadístico

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de productividad: tiempo total para

aserrar 1,000 pies tabla ($2.36 m^3$), rendimiento con y sin corteza, productividad y la velocidad de alimentación entre aserraderos, categorías diamétricas, de longitud y de conicidad de las trozas, se realizó un análisis de varianza (95%) y comparaciones de medias, usando pruebas de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05. El análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004).

RESULTADOS

Tiempos y rendimientos del proceso de aserrío

El rendimiento promedio en la producción de piezas escuadradas de largas dimensiones estimado en los aserraderos evaluados fue de 61.64% sin corteza (tabla 2); lo anterior indica que

Tabla 2. Tiempos y rendimiento del proceso de aserrío

Variable	Media	Desv Std	Máximo	Mínimo
Características de las trozas aserradas*				
Diámetro mayor con corteza (m)	0.39	0.09	0.66	0.17
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.36	0.09	0.59	0.17
Diámetro menor con corteza (m)	0.31	0.07	0.47	0.16
Diámetro menor sin corteza (m)	0.30	0.07	0.45	0.15
Longitud de la troza (m)	5.33	0.89	7.82	3.13
Volumen con corteza (m^3r)	0.56	0.30	1.49	0.11
Volumen sin corteza (m^3r)	0.51	0.27	1.23	0.09
Productos obtenidos del aserrío**				
Tablas generadas (n)	12	5	30	3
Volumen de las tablas (m^3)	0.30	0.16	0.76	0.06
Tiempo para aserrar 1000 pt (min)				
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.68	2.04	0.48	14.83
Tiempo de avance	16.93	5.99	41.64	5.12
Tiempo de retrocesos	8.63	3.55	23.72	3.78
Tiempo de volteos de las trozas	2.69	1.79	11.78	0.59
Tiempo justificado	0.52	2.69	32.11	0.00
Tiempo no justificado	0.40	3.73	46.24	0.00
Indicadores de productividad en la operación de aserrío				
Tiempo total de asierre para 1,000 pt	31.87	12.34	85.64	13.00
Rendimiento con corteza (%)	56.43	10.52	80.20	35.98
Rendimiento sin corteza (%)	61.64	11.70	87.72	38.54
Productividad (m^3/h)	5.02	1.67	10.89	1.65
Tiempo total de asierre para 1,000 pt	31.87	12.34	85.64	13.00
Velocidad de alimentación (m/min)	40.23	10.38	79.71	14.93

* Volumen total de las trozas con corteza = $89.25 m^3r$; volumen total de las trozas sin corteza = $81.64 m^3r$.

** Total de tablas aserradas generadas = 1,841; volumen total de las tablas aserradas = $48.89 m^3$.

por cada metro cúbico de madera en rollo (m^3r) que es aserrado, se obtienen 261 pt ($0.616 m^3$) de madera aserrada (considerando que un metro cúbico de madera en rollo equivale a 424 pt), mientras que para obtener 1,000 pt ($2.36 m^3$) de madera aserrada se requieren $3.83 m^3$ de madera en rollo. El tiempo estimado para aserrar 1,000 pt mostró valores extremos de 13 a 85.64 minutos influido por el diámetro, la longitud y la conicidad de las trozas aserradas, estableciéndose en promedio en 31.87 minutos, de los cuales 25.56 minutos corresponden al tiempo productivo, específicamente los avances y retrocesos del carro escuadra para efectuar los cortes en las trozas. La productividad mostró valores de 1.65 a 10.89 metros cúbicos rollo por hora efectiva de trabajo ($m^3r \cdot h^{-1}$) con un promedio de $5.02 m^3r \cdot h^{-1}$, equivalentes a aserrar $2,128 pt \cdot h^{-1}$, 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 532 pies tabla/hombre-máquina/hora. La velocidad de alimentación se estimó en 40 m/min. con valores extremos de 79 a 14 m/min.

Análisis de varianza para el tiempo total de asierre para 1,000 pt ($2.36 m^3$)

Para esta variable sólo las categorías de largo y diamétricas resultaron ser significativas ($P < 0.05$) al tiempo necesario para aserrar 1,000 pt, no influ-

yendo ni el aserradero ni la categoría de conicidad (tabla 3).

Análisis de varianza para el rendimiento volumétrico con corteza

En el rendimiento con corteza, el análisis de varianza sólo mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) atribuibles a la conicidad de las trozas (tabla 4).

Análisis de varianza para el rendimiento volumétrico sin corteza

El análisis de varianza del rendimiento sin corteza permitió observar que aparte de la conicidad de las trozas, también el largo influye en el rendimiento sin corteza al mostrar diferencias significativas ($P < 0.05$) (tabla 5).

Análisis de varianza para la productividad

De acuerdo al análisis de varianza, este indicador resultó ser sensible a las categorías de largo y de diámetro de las trozas al mostrar diferencias significativas ($P < 0.05$) (tabla 6).

Análisis de varianza para la velocidad de alimentación

La velocidad de alimentación mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) atribuibles a los aserraderos, a las categorías de conicidad, de largo y diamétricas evaluadas (tabla 7).

Tabla 3. Análisis de varianza para el indicador del tiempo de asierre de 1,000 pt ($2.36 m^3$)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Aserradero	176.06	1	176.06	1.60	0.2075 ns
Categoría de conicidad	204.23	2	102.12	0.93	0.3970 ns
Categoría de largo	2536.43	2	1268.22	11.54	0.0000*
Categoría diamétrica	4575.52	2	2287.76	20.82	0.0000*

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tabla 4. Análisis de varianza para el indicador del rendimiento con corteza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Aserradero	4.34	1	4.34	0.04	0.8347 ns
Categoría de conicidad	1917.99	2	959.00	9.64	0.0001*
Categoría de largo	470.30	2	235.15	2.36	0.0975 ns
Categoría diamétrica	78.62	2	39.31	0.40	0.6742 ns

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tabla 5. Análisis de varianza para el indicador del rendimiento sin corteza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Aserradero	0.35	1	0.35	0.00	0.9572 ns
Categoría de conicidad	2370.26	2	1185.13	9.72	0.0001*
Categoría de largo	772.65	2	386.33	3.17	0.0449*
Categoría diamétrica	90.19	2	45.10	0.37	0.6915 ns

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tabla 6. Análisis de varianza para el indicador de productividad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Aserradero	3.83	1	3.83	1.98	0.1612 ns
Categoría de conicidad	4.26	2	2.13	1.10	0.3345 ns
Categoría de largo	54.69	2	27.35	14.17	0.0000*
Categoría diamétrica	88.10	2	44.05	22.82	0.0000*

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tabla 7. Análisis de varianza para el indicador de velocidad de alimentación

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Calculada	Significancia
Aserradero	2592.15	1	2592.15	36.04	0.0000*
Categoría de conicidad	961.83	2	480.92	6.69	0.0017*
Categoría de largo	1514.26	2	757.13	10.53	0.0001*
Categoría diamétrica	1109.47	2	554.73	7.71	0.0006*

*Significativo al 5%. ns= No significativo.

Tiempos y rendimientos por aserradero

El rendimiento con y sin corteza entre aserraderos fue estadísticamente similar, lo cual se explica porque el promedio de tablas generadas por troza también fue similar (11 y 12 tablas por troza, respectivamente). La productividad fue estadísticamente similar entre aserraderos ($P < 0.05$), aunque el aserradero B presentó la mayor productividad al aserrar en promedio $5.14 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, influido por una mayor velocidad de alimentación que se estableció en 43.37 m/min . por 35.04 m/min . del aserradero A. Lo anterior contribuyó para que se registrara una diferencia en el tiempo de aserrado para $1,000 \text{ pt}$ (2.36 m^3) de 2.17 minutos entre aserraderos.

Tiempos y rendimientos por conicidad de las trozas

La tabla 9 muestra que el rendimiento con y sin corteza es sensible a la conicidad de las trozas al exhibir diferencias significativas ($P < 0.05$), de tal forma que la conicidad de las trozas representó, en este estudio, una pérdida de entre 5 y 10% del rendimiento con respecto a las trozas sin conicidad; lo anterior se atribuye a que las trozas de la categoría de $0-1 \text{ cm} \cdot \text{m}^{-1}$ son más cilíndricas y, por lo tanto, se obtienen tablas más largas y anchas que aquella que provienen de trozas con una conicidad acentuada, las cuales son más cortas y menos anchas. La tendencia observada es que a medida que aumenta la conicidad de las trozas, el rendimiento y la velocidad de alimentación disminuyen; sin embargo, la productividad y el tiempo promedio para aserrar $1,000 \text{ pt}$ (2.36 m^3) se mantienen relativamente constante para todas las categorías de conicidad evaluadas.

Tabla 8. Tiempos y rendimientos por aserradero evaluado en la región de El Salto, Durango

Variable	Aserradero	
	A	B
Características de las trozas aserradas		
Diámetro mayor con corteza (m)	0.38 (0.08)	0.39 (0.10)
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.37 (0.08)	0.37 (0.10)
Diámetro menor con corteza (m)	0.32 (0.07)	0.31 (0.08)
Diámetro menor sin corteza (m)	0.31 (0.07)	0.30 (0.08)
Longitud de la troza (m)	5.06 (0.94)	5.50 (0.82)
Volumen total con corteza (m ³ r)	32.09	57.16
Volumen total sin corteza (m ³ r)	29.14	52.50
Productos obtenidos del aserrío		
Total de tablas generadas (n)	630	1211
Tablas promedio por troza (n)	11 (4)	12 (5)
Volumen total de las tablas aserradas (m ³)	17.63	31.29
Tiempo para aserrar 1,000 pt (min.)		
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.20 (1.20)	2.97 (2.38)
Tiempo de avance	18.64 (6.00)	15.89 (5.77)
Tiempo de retrocesos	7.47 (2.67)	9.33 (3.84)
Tiempo de volteos de las trozas	3.13 (1.95)	2.43 (1.64)
Tiempo justificado	0.85 (4.21)	0.32 (0.98)
Tiempo no justificado	0.91 (6.00)	0.09 (0.77)
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*		
Tiempo total de asierre para 1000 pt (min)	33.22 a (13.08)	31.05 a (11.87)
Rendimiento con corteza (%)	56.22 a (10.41)	56.56 a (10.64)
Rendimiento sin corteza (%)	61.70 a (11.45)	61.60 a (11.91)
Productividad (m ³ /h)	4.82 a (1.64)	5.14 a (1.69)
Velocidad de alimentación (m/min)	35.04 b (9.12)	43.37 a (9.86)

*Medias con la misma letra entre aserraderos, no son significativamente diferentes $\alpha=0.05$. Entre paréntesis se muestran los valores de la desviación estándar.

Tabla 9. Tiempos y rendimientos por conicidad de las trozas

Variable	Categorías de conicidad de las trozas (cm m ⁻¹)		
	0-1	1.1-2	2.1-3
Características de las trozas aserradas			
Diámetro mayor con corteza (m)	0.34 (0.08)	0.40 (0.09)	0.48 (0.10)
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.33 (0.07)	0.38 (0.08)	0.47 (0.09)
Diámetro menor con corteza (m)	0.31 (0.07)	0.31 (0.07)	0.35 (0.09)
Diámetro menor sin corteza (m)	0.30 (0.03)	0.30 (0.07)	0.33 (0.08)
Longitud de la troza (m)	5.23 (0.89)	5.44 (0.93)	5.34 (0.75)
Volumen total con corteza (m ³ r)	31.06	40.95	17.24
Volumen total sin corteza (m ³ r)	28.27	37.47	15.90

Continuación de la tabla 9

Productos obtenidos del aserrío			
Total de tablas generadas (n)	720	831	290
Tablas promedio por troza (n)	11 (5)	12 (4)	13 (5)
Volumen total de las tablas (m ³)	18.55	21.84	8.50
Tiempo para aserrar 1,000 pt (min.)			
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.37 (1.95)	2.83 (1.99)	3.15 (2.44)
Tiempo de avance	16.81 (6.73)	17.12 (5.26)	16.67 (6.04)
Tiempo de retrocesos	8.68 (4.02)	8.83 (3.14)	7.81 (3.29)
Tiempo de volteos de las trozas	2.59 (1.62)	2.82 (1.71)	2.58 (2.49)
Tiempo justificado	0.24 (0.79)	0.75 (3.92)	0.62 (1.39)
Tiempo no justificado	0.20 (1.12)	0.72 (5.53)	0.00 (0.00)
Indicadores de productividad en la operación de aserrío			
Tiempo total de asierre para 1000 pt (min)	30.92 a (11.92)	33.09 a (12.83)	30.85 a (12.28)
Rendimiento con corteza (%)	59.71 a (9.52)	55.50 a (11.06)	49.39 b (7.57)
Rendimiento sin corteza (%)	65.27 a (10.33)	60.67 a (12.27)	53.67 b (9.47)
Productividad (m ³ /h)	5.16 a (1.73)	4.84 a (1.66)	5.15 a (1.55)
Velocidad de alimentación (m/min)	42.31 a (12.10)	39.37 ab (8.73)	36.61 b (8.42)

*Medias con la misma letra entre categorías de conicidad, no son significativamente diferentes Duncan a $\alpha=0.05$. Entre paréntesis se muestran los valores de la desviación estándar.

Tabla 10. Tiempos y rendimientos por categoría de largo de las trozas

Variable	Largo de trozas (m)		
	≤ 4.87	4.88-5.48	≥ 5.49
Características de las trozas aserradas			
Diámetro mayor con corteza (m)	0.35 (0.08)	0.37 (0.10)	0.43 (0.09)
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.33 (0.08)	0.36 (0.09)	0.41 (0.08)
Diámetro menor con corteza (m)	0.29 (0.08)	0.30 (0.07)	0.34 (0.07)
Diámetro menor sin corteza (m)	0.27 (0.07)	0.29 (0.07)	0.33 (0.06)
Longitud de la troza (m)	4.42 (0.52)	5.25 (0.18)	6.26 (0.33)
Volumen total con corteza (m ³ r)	22.12	19.03	48.10
Volumen total sin corteza (m ³ r)	20.14	17.26	44.24
Productos obtenidos del aserrío			
Total de tablas generadas (n)	530	443	868
Tablas promedio por troza (n)	9 (3)	12 (5)	14 (5)
Volumen total de las tablas (m ³)	12.51	10.59	25.79
Tiempo para aserrar 1,000pt (min.)			
Tiempo de carga en el carro escuadra	2.83 (1.93)	2.99 (2.42)	2.35 (1.89)
Tiempo de avance	18.95 (6.58)	18.35 (5.94)	14.12 (4.15)
Tiempo de retrocesos	9.36 (4.12)	9.05 (3.49)	7.66 (2.75)
Tiempo de volteos de las trozas	2.97 (2.01)	3.08 (2.22)	2.18 (1.04)
Tiempo justificado	0.32 (1.00)	1.15 (5.22)	0.32 (1.03)

Continuación de la tabla 10

Tiempo no justificado	0.87 (6.05)	0.00 (0.00)	0.20 (1.02)
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*			
Tiempo total de asierre para 1000 pt (min)	35.34 b (13.73)	34.64 b (12.71)	26.86 a (8.70)
Rendimiento con corteza (%)	58.33 a (10.45)	56.49 a (9.93)	54.57 a (10.77)
Rendimiento sin corteza (%)	64.11 a (11.27)	61.80 ab (11.17)	59.18 b (12.10)
Productividad (m ³ /h)	4.54 b (1.58)	4.55 b (1.43)	5.75 a (1.65)
Velocidad de alimentación (m/min)	36.21 b (7.22)	39.07 b (7.17)	44.76 a (12.70)

*Medias con la misma letra entre categorías de conicidad, no son significativamente diferentes Duncan a $\alpha=0.05$. Entre paréntesis se muestran los valores de la desviación estándar.

Tiempos y rendimientos por la categoría de largo de las trozas

Respecto a la longitud de las trozas, la tabla 10 muestra 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 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 y se genere más desperdicio de madera; mientras que la productividad experimentó un aumento puesto que cuanto más larga sea la troza, más volumen

representará influenciando también una reducción en el tiempo necesario para aserrar 1,000 pt (2.36 m³) en las trozas más largas que en este caso fue de al menos 9 minutos.

Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica

La tabla 11 muestra que no se observaron diferencias significativas ($P<0.05$) en el rendimiento entre las categorías diamétricas. La productividad experimentó un incremento a medida que aumenta el diámetro de las trozas procesadas, lo cual influyó directamente para reducir el tiempo para aserrar 1,000 pt (2.36 m³) al menos hasta 15 minutos entre las categorías de diámetro evaluadas.

Tabla 11. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica en los aserraderos evaluados

Variable	Categoría diamétrica (cm)		
	15-25	26-35	36-45
Características de las trozas aserradas			
Diámetro mayor con corteza (m)	0.29 (0.05)	0.38 (0.05)	0.49 (0.06)
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.28 (0.05)	0.37 (0.05)	0.46 (0.06)
Diámetro menor con corteza (m)	0.23 (0.04)	0.31 (0.03)	0.40 (0.03)
Diámetro menor sin corteza (m)	0.22 (0.03)	0.30 (0.03)	0.38 (0.03)
Longitud de la troza (m)	4.93 (0.79)	5.35 (0.90)	5.73 (0.81)
Volumen total con corteza (m ³ r)	14.51	27.06	47.68
Volumen total sin corteza (m ³ r)	13.27	24.98	43.39
Productos obtenidos del aserrío			
Total de tablas generadas (n)	410	572	859
Tablas promedio por troza (n)	8 (3)	11 (4)	16 (5)
Volumen total de las tablas (m ³)	8.32	15.03	25.54
Tiempo para aserrar 1,000 pt (min.)			
Tiempo de carga en el carro escuadra	3.42 (1.93)	2.06 (1.08)	2.56 (2.63)
Tiempo de avance	21.32 (6.18)	16.01 (5.25)	13.46 (3.25)
Tiempo de retrocesos	11.08 (4.21)	8.36 (2.60)	6.44 (1.67)

Continuación de la tabla 11

Tiempo de volteos de las trozas	3.71 (2.36)	2.47 (1.32)	1.89 (0.85)
Tiempo justificado	0.90 (4.49)	0.26 (0.79)	0.40 (1.07)
Tiempo no justificado	0.00 (0.00)	1.09 (6.41)	0.11 (0.74)
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*			
Tiempo total de asierre	40.44 c (12.68)	30.27 b (11.40)	24.89 a (6.73)
Rendimiento con corteza (%)	58.60 a (10.95)	56.01 a (10.31)	54.01 a (10.10)
Rendimiento sin corteza (%)	64.06 a (11.96)	60.86 a (11.85)	59.99 a (11.11)
Productividad (m ³ /h)	3.83 c (1.19)	5.19 b (1.61)	6.03 a (1.42)
Velocidad de alimentación (m/min)	39.45 b (10.02)	43.22 a (10.65)	38.01 b (9.96)

*Medias con la misma letra entre categorías diamétricas, no son significativamente diferentes Duncan a $\alpha=0.05$. Entre paréntesis se muestran los valores de la desviación estándar.

DISCUSIÓN

Para Rocha (2002), el rendimiento en madera aserrada en el proceso de aserrío varía de 55 a 65% para coníferas, lo anterior concuerda con los valores obtenidos en el presente estudio, siendo éstos de 56% con corteza y de 62% sin corteza. Manhiça *et al.* (2012) compararon el asierre tradicional contra un sistema de modelos de corte programado por computadora en un aserradero del municipio de Campina Grande do Sul, estado de Paraná, Brasil; para tal efecto, seleccionaron 80 trozas de *Pinus elliottii* con diámetros de 24 a 33 cm agrupadas en cuatro clases diamétricas con 20 trozas por clase. Encontraron un rendimiento en madera aserrada con el sistema tradicional de 49.01% y en el sistema de asierre programado el rendimiento fue de 52.14%, por lo que la programación de cortes en las trozas, en función del diámetro de las trozas, fue suficiente para aumentar el rendimiento en por lo menos tres puntos porcentuales, lo cual representa una buena alternativa de estudio para implementarla en los aserraderos de Durango. Por su parte, Murara *et al.* (2005) determinaron el rendimiento en madera aserrada mediante dos metodologías de aserrío (sistema convencional y sistema optimizado) en un aserradero de São Bento do Sul, Brasil, utilizando 100 trozas con diámetros entre 18 y 44 cm de *Pinus taeda* agrupadas en cinco categorías diamétricas con 20 trozos por categoría. Obtuvieron un rendimiento en madera aserrada con el sistema tradicional de 35.24 a 43.92% y con el sistema optimizado de 41.65 a 63.04%, y comprobaron que el rendimiento es afectado por el sistema de aserrío, de tal forma que con el sistema de asierre tradicional no observaron una tendencia

de aumento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas, pero con el sistema optimizado de asierre el rendimiento sí se incrementó a medida que aumentó el diámetro de las trozas. En el presente estudio, se encontraron valores extremos en el rendimiento de madera aserrada de 36 a 88%, siendo mayor a los de los autores de referencia considerando que el sistema de asierre que se utiliza en la región de El Salto, Durango, es el tipo convencional que de acuerdo con Rocha (2002) consiste en aserrar las trozas sin clasificación ni definición exacta de un modelo de corte para cada clase diamétrica, por lo que tal condición, en la mayoría de la veces, induce a un bajo aprovechamiento de la troza, propiciando una mayor generación de subproductos y residuos del proceso. Nájera *et al.* (2011) determinaron un rendimiento sin corteza en madera aserrada en aserraderos ejidales de la región de El Salto, Durango, de 57.50%, lo cual es menor 4.14% al estimado en el presente trabajo para los aserraderos de propiedad particular; lo anterior indica que por cada metro cúbico de madera en rollo que es procesado es posible obtener hasta 17 pt (0.040 m³) más que los aserraderos ejidales, por lo que se tiene una mejor utilización de la materia prima en los aserraderos de propiedad privada. Debido a que en la región no se utilizan sistemas optimizados para aserrar las trozas en función de su categoría diamétrica, no se observó una tendencia de aumento en el rendimiento con el incremento en el diámetro de las trozas, como lo mencionan Fahey y Sachet (1993); Álvarez *et al.* (2003), quienes indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío, ya que a medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío.

La influencia que ejerce la conicidad de las trozas en el rendimiento en madera aserrada es abordado por Manhiça *et al.* (2012), los cuales mencionan que la conicidad propicia que las primeras piezas aserradas después de retirar las costeras siempre presentan una forma irregular, y que para cuadrarlas generalmente se reducen en anchos y largos, lo cual genera un mayor volumen de tiras y recorte teniendo de este modo, rendimientos relativamente bajos en algunas categorías diamétricas o en el rendimiento general del aserradero. La tendencia observada en el presente estudio es consistente con lo expuesto por Nájera *et al.* (2011), quienes encontraron en aserraderos ejidales de la región de El Salto, Durango, una tendencia que a medida que aumenta la conicidad disminuye el rendimiento. De acuerdo con Murara (2005), las principales consecuencias de una alta conicidad de las trozas es la generación de grandes cantidades de desperdicios de madera en forma de costeras, por lo que Steele (1984) menciona que lo anterior obedece a que para la obtención de un bloque de madera sólida, se debe partir del diámetro menor de la troza y cuando existe una excesiva conicidad la posibilidad de tener una pérdida de material excedente en la punta más gruesa es alta; este problema se agrava más con el aumento de la longitud de la troza debido a una disminución natural del diámetro de la base a la punta del árbol.

Con respecto a la productividad del proceso de asierre, García *et al.* (2001) encontraron valores promedio de $2.95 \text{ m}^3 \cdot \text{r} \cdot \text{h}^{-1}$, en aserraderos del sur de Jalisco, la cual resultó inferior en $2.07 \text{ m}^3 \cdot \text{r} \cdot \text{h}^{-1}$ a la obtenida en el presente 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 4.88 a 6.09 m (16

a 20 pies). La productividad estimada por Nájera *et al.* (2011) para aserraderos ejidales de El Salto, Durango, fue del orden de los $7.57 \text{ m}^3 \cdot \text{r} \cdot \text{h}^{-1}$, la cual es mayor 33% a la obtenida para los aserraderos particulares del presente estudio, lo anterior influenciado por la velocidad de alimentación, ya que para los aserraderos ejidales fue del orden de los $46.47 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ y en los aserraderos particulares dicha velocidad se estableció en los $40.23 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ para tener tiempos de asierre para 1,000 pt (2.36 m^3) de 25.09 min. en aserraderos ejidales y 31.87 min. en los privados.

CONCLUSIONES

- El rendimiento sin corteza en los aserraderos evaluados es de 61.64%, equivalente a obtener 261 pt (0.616 m^3) por cada metro cúbico de madera en rollo, o bien, se requieren 3.83 m^3 rollo para obtener 1,000 pt (2.36 m^3) de madera aserrada.
- El tiempo para procesar 1,000 pt (2.36 m^3) se estableció en 31.87 minutos de los cuales 25.56 corresponden a los avances y retrocesos del carro escuadra. La productividad promedio se estimó en $5.02 \text{ m}^3 \cdot \text{r} \cdot \text{h}^{-1}$ y la velocidad de alimentación fue de $40.23 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.
- No se observó un incremento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas; sin embargo, la productividad sí experimenta un incremento con el aumento del diámetro, mientras que la velocidad de alimentación disminuye ante trozas de diámetros grandes.
- Además, se encontró 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.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, D.; ANDRADE, F.; CHÁVEZ, P.; ESTÉVEZ, I.; GARCÍA, J.M., Análisis matemático para elevar la eficiencia de los aserraderos con sierras de banda. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1): 89-94, 2003.
- BROWN, N.C.; BETHEL, J.S., *La industria maderera*. México: Limusa, 1990.
- FAHEY, T.D.; SACHET, J.K., *Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico*. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. 18 p., 1993.
- GARCÍA, J.D.; MORALES, L.; VALENCIA, S., *Coefficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda del sur de Jalisco*. Foresta-AN. Nota Técnica Núm. 5. UAAAN, Saltillo, Coahuila. 12 p., 2001.
- HUSCH, B.; MILLER, C.; BEERS, T., *Forest mensuration* (4th Ed). New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
- MANHIÇA, A.A.; PEREIRA DA ROCHA, M.; TIMOFEICYK-JÚNIOR, R., Rendimento no desdobro de Pinus sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. *Floresta*, 42(2): 409-420, 2012.
- MURARA JUNIOR, M.I.; PEREIRA DA ROCHA, M.; TIMOFEICYK-JUNIOR, R., Rendimento em madeira serrada de Pinus taeda para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, 35(3): 473-483, 2005.
- NÁJERA, J.A.; AGUIRRE, O.A.; TREVIÑO, E.J.; JIMÉNEZ, J.; JURADO, E.; CORRAL, J.J.; VARGAS, B., Tiempos y rendimientos del aserrío en la Región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 199-213, 2011.
- NÁJERA, J.A.; AGUIRRE, O.A.; TREVIÑO, E.J.; JIMÉNEZ, J.; JURADO, E.; CORRAL, J.J.; VARGAS, B., Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 75-89, 2011a.
- ROCHA, M.P., *Técnicas e planejamento de serrarias*. Serie didáctica 02/01. FUPPEP, Curitiba. 121 p., 2002.
- ROMAHN DE LA V. C.F.; RAMÍREZ, M.; TREVIÑO, J.L., *Dendrometría*. Serie de apoyo académico Núm. 26. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 387 p. 1987.
- SAS Institute Inc. SAT/STAT® 9.1.2. *User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2004.
- SCANAVACA, L.; GARCÍA, J.N., Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 63: 32-43, 2003.
- STEELE, P.H., *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., 1984.
- UCODEFO 6. *Memoria general de predios del programa de manejo forestal 1997-2007*. El Salto, Durango, México. 207 p., 1997.
- VALÉRIO, Á.F.; WATZLAWICK, L.F.; DOS SANTOS, R.T.; BRANDELERO, C.; KOEHLER, H.S., Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. *Floresta*, 37(3): 387-398, 2007.
- VIGNOTE, P.S.; MARTÍNEZ, R.I., *Tecnología de la madera* (3ª edición). España: Ediciones Mundi-Prensa Libros S.A., 2005.
- VILLAGÓMEZ, L.M.; GARCÍA, A.D., El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Revista Ciencia Forestal en México*, 59(11): 162-180, 1986.
- VITAL, B.R., *Planejamento e operação de serrarias*. Viçosa, MG, Editora UFV. 211 p., 2008.
- ZAVALA, Z.D., Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Revista Ciencia Forestal en México*, 21(79): 165-181, 1996.
- ZAVALA, Z.D.; HERNÁNDEZ, R., Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Revista Madera y bosques*, 6(2): 41-55, 2000.