

## Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus* spp en Durango, Méx.

Assessment of corrective actions aimed at improving the dimensional quality of lumber of *Pinus* spp in Durango, Mex.

Juan Abel Nájera Luna,<sup>1</sup> José Trinidad Montañez Rivera,<sup>2</sup> Jorge Méndez González,<sup>3</sup> Francisco Javier Hernández,<sup>4</sup> Benedicto Vargas Larreta,<sup>4</sup> Francisco Cruz Cobos,<sup>4</sup> Cristóbal Gerardo Aguirre Calderón<sup>4</sup>

Nájera Luna, J.A.; Montañez Rivera, J.T.; Méndez González, J.; Hernández, F.J.; Vargas Larreta, B.; Cruz Cobos, F.; Aguirre Calderón, C.G., Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus* spp en Durango, Méx. 54, 17-24, 2012.

### RESUMEN

El propósito del presente estudio es contribuir a optimizar el uso de la materia prima en el proceso de aserrío, por lo que se evaluaron 11 acciones correctivas tendientes a reducir la variación en el grosor de la madera aserrada de *Pinus* spp en tres aserraderos de Durango. Cada acción fue evaluada mediante muestras de 10 tablas con grueso nominal de 22.23 mm (7/8"); para conocer la variación del grueso en la madera, se utilizó el método de medición de puntos múltiples, comparando el efecto de cada acción con una muestra testigo de tablas aserradas sin implementar ninguna acción. Los resultados mostraron que dos de las once acciones evaluadas mostraron una marcada reducción en la variación del corte de la madera aserrada desde 49 hasta 64%, lo cual

**Palabras clave:** proceso de aserrío, madera aserrada, variación del corte, mantenimiento, coeficiente de aprovechamiento, dimensión óptima de corte.

**Key words:** sawmilling, lumber, sawing variation, maintenance, lumber recovery factor, target size.

Recibido: 29 de Noviembre de 2011, aceptado: 25 de Enero de 2012

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), jalnájera@yahoo.com.mx.

<sup>2</sup> Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

<sup>3</sup> Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, jorgemendezgonzalez@gmail.com.

<sup>4</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES).

se consiguió mediante la disminución de la velocidad de alimentación del asierre y el ajuste de las guías de la sierra.

### ABSTRACT

The purpose of this study is to contribute to optimize the use of raw material in the sawmilling process; therefore, so eleven corrective actions were evaluated intended to reduce the variation in the thickness of the lumber in three sawmills in Durango. Each action was assessed using 10 samples of *Pinus* spp boards with nominal thickness of 22.23 mm (7/8"). For the sawing variation of the lumber, the method of multi-point technique was utilized, comparing the effect of each action with a control sample of lumber without implementing any corrective action. The results showed that two of the eleven actions evaluated showed a marked reduction in the sawing variation from 49% to 64% which was achieved by reducing the feed rate and adjustment of the saw guides.

### INTRODUCCIÓN

El principal problema que aqueja la producción de madera aserrada en cuanto a la calidad dimensional, es la variación del corte, provocando con ello una baja productividad y una especulación en el precio por la falta de uniformidad en sus dimensiones (Sánchez, 2004). La madera que se asierre a un grosor superior al requerido incluye un volumen que se pierde en el proceso de cepillado durante la contracción por la pérdida

de humedad de la madera y por las variaciones en el corte durante su procesamiento, lo que repercute en una reducción del coeficiente de aprovechamiento y en las utilidades potenciales de la empresa (Zavala, 1991). El uso sostenible de la materia prima, el aumento de los costos y una competencia cada vez más internacional son algunas de las razones por las que los aserraderos deben mejorar sus prácticas de producción (Szymani, 1999, citado por Vuorilehto, 2001). Variables como el rendimiento y la calidad dimensional de la madera aserrada se controlan positiva y negativamente por factores asociados al carro portatrazas y su trayecto hasta la sierra principal (Barrera *et al.*, 2010). Las descalibraciones en los equipos de aserrío son frecuentes por las características propias del trabajo y los hábitos de mantenimiento del equipo, por lo que se debe estar muy atento mediante comprobaciones periódicas y sistemáticas de las medidas obtenidas en el aserrío (Cuenca, 2006).

Existe poca información sobre la calidad dimensional de la madera aserrada en Durango, pero ninguna referencia documentada sobre el efecto de acciones correctivas en la disminución de la variación en el grueso de asierre, por lo que el objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad dimensional de la madera aserrada de tres aserraderos de Durango mediante la implementación de acciones correctivas tendientes a disminuir las variaciones en el espesor de la madera para obtener dimensiones nominales coincidentes a las finales una vez seca y cepillada y contribuir al mejoramiento del proceso de aserrío.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en tres de los principales aserraderos banda de la región de El Salto, Durango, siendo uno perteneciente a la Sociedad de Producción Rural "El Diamante" del ejido El Brillante, otro al ejido "La Victoria" y el último a la Cooperativa Escolar Engelmännii del Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No.1, identificado como "Langer".

El aserradero del Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 1 consta de una sierra banda marca Langer® de fabricación brasileña, con volantes de 1,100 mm de diámetro; utiliza hoja de sierra cinta de 130 mm de ancho en calibre 19 (1.06 mm). El carro portatrazas está equipado con cuatro escuadras y un sistema de retorno

neumático, garras neumáticas y calibrador digital programable controlado por computadora (figura 1).



**Figura 1.** Aserradero "Langer".  
Foto de Juan Abel Nájera Luna.

El aserradero del ejido La Victoria consta de una torre vertical con volantes de 1,370 mm de diámetro, utiliza sierras banda de 200 mm de ancho en calibre 17, el carro portatrazas tiene tres escuadras, sistema de retorno neumático, sistema de agarre y calibración de gruesos manual. Por último, el aserradero de "El Diamante" consta de una torre principal con volantes de 1,473 mm de diámetro, utiliza sierras banda de 254 mm de ancho en calibre 17, consta de un carro portatrazas de tres escuadras con sistema de retorno y calibración de gruesos manual. El tipo de sierra más utilizada en los aserraderos tiene una distancia de paso de diente 44.45 mm (1.75"), profundidad de garganta de 12.70 mm (1/2") y ángulo de diente de 30°. La capacidad instalada de producción de los aserraderos evaluados es en promedio de 12,000 pies tabla por turno de ocho horas. En los aserraderos de la región de El Salto, Durango, se utiliza generalmente el sistema de asierre tangencial.

### Métodos

De acuerdo a las recomendaciones de Cuenca (2006), para corregir las posibles fuentes de la variación en el grueso de la madera aserrada, en cada aserradero se identificaron diferentes acciones correctivas susceptibles de aplicación, considerando para ello las posibilidades técnicas y operativas de los responsables y operarios de los aserraderos, de tal forma que en los tres aserraderos evaluados se contabilizaron 11 posibles acciones de las cuales ocho se implementaron

**Tabla 1.** Acciones correctivas implementadas en los aserraderos en estudio

Muestra	Acción	Aserradero		
		La Victoria	El Diamante	Langer
1	Ninguna.	✓	✓	✓
2	Alineación de las escuadras del carro portatroz.	✓	✓	
3	Rectificación de los volantes.	✓		
4	Rectificación de las ruedas del carro portatroz.			✓
5	Alineación de las ruedas del carro portatroz.	✓		
6	Limpieza y ajuste de las guías de la sierra cinta.	✓		✓
7	Limpieza de los rieles de rodado.	✓	✓	✓
8	Limpieza de las ruedas del carro portatroz.	✓	✓	
9	Aserrío utilizando todos los ganchos sujetadores de trozas.	✓		
10	Disminución de la velocidad de alimentación de las trozas.	✓	✓	✓
11	Cambio del engranaje del sistema tensionador de la sierra.		✓	
12	Alineación del carro portatroz.		✓	

en el aserradero del ejido "La Victoria", seis en el aserradero "El Diamante" y cuatro en el aserradero "Langer". La aplicación de las acciones en los aserraderos fue con una separación de una semana; no obstante, llevan consigo el efecto acumulativo de las acciones anteriores debido a la imposibilidad de aislar, en forma individual, el efecto de cada acción. Las acciones correctivas que se implementaron en los aserraderos se muestran en la tabla 1.

#### Número de observaciones

De acuerdo con Zavala (1991), una de las formas en que se selecciona la muestra cuando ya se tiene un sistema establecido de análisis continuo de la variación del espesor de las tablas, es seleccionar de 10 a 15 tablas por turno de trabajo tomando de 2 a 5 tablas al inicio del turno y las restantes a intervalos equidistantes hasta el cierre del turno. En este caso, por cada acción correctiva realizada en cada aserradero se midieron 10 tablas con grueso nominal de 22.23 mm

(7/8") repartidas en dos tablas muestra por hora de trabajo; en total se midieron 210 tablas de las cuales 90 correspondieron al aserradero del ejido "La Victoria", 70 al "Diamante" y 50 al aserradero "Langer".

#### Medición de las tablas

Para evaluar la calidad dimensional de la madera aserrada se utilizó el método de puntos múltiples sugerido por Brown (2000), el cual consiste en tomar 10 mediciones por tabla, tres en cada canto y ancho en forma equidistante a lo largo de la misma. La primera medición se tomó a doce pulgadas de los extremos, evitando puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defectos que no fueran originados por efecto del corte; otra medición se tomó en el centro de cada tabla. La medición de las tablas se realizó en forma inmediata después de haber sido procesadas cuando el contenido de humedad se encuentra por encima del punto de saturación de la fibra (30%).

### Determinación de la variación del proceso de aserrío

Con la información anterior, se determinó la desviación estándar dentro de la tabla ( $S_w$ ), la cual brinda información respecto a la forma de cómo está cortando la sierra, y la desviación estándar entre tablas ( $S_b$ ), que indica el estado de la alineación de las guías. La variación del corte en el aserrío se determinó a través de la desviación estándar total del proceso ( $S_t$ ), la cual está integrada por ( $S_w$ ) y ( $S_b$ ) (Zavala, 1991).

### Determinación del grosor promedio de las tablas

El grosor promedio se obtuvo mediante la siguiente relación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n}$$

Donde:

$\bar{x}$  = Media total (mm).

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

$n$  = Número total de mediciones.

### Determinación de la desviación estándar dentro de las tablas

La desviación estándar dentro de las tablas se determinó a través de la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

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

Para el cálculo de la varianza se utilizó la fórmula:

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

Donde:

$S^2$  = Varianza de la tabla.

$x^2$  = Espesor de la tabla (mm).

$n$  = Número de mediciones en cada tabla.

### Determinación de la desviación estándar entre las tablas

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

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

Donde:

$S_b$  = Desviación estándar entre tablas (mm).

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

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

Donde:

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

$\bar{x}$  = Espesor de la tabla (mm).

$m$  = Número de tablas muestreadas.

### Determinación de la desviación estándar total del proceso

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

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

Donde:

$S_t$  = Desviación estándar total del proceso o variación del proceso (mm).

$S_w$  = Desviación estándar dentro de las tablas (mm).

$S_b$  = Desviación estándar entre tablas (mm).

### Determinación de la dimensión óptima de corte

Para determinar la dimensión óptima de corte en la madera, a la dimensión nominal se le agregó una serie de refuerzos para tener una dimensión final específica, estos refuerzos representaron el volumen que se pierde por contracciones de las especies procesadas, en este caso se utilizó el valor más alto de contracción tangencial de ocho especies de pino de la región de El Salto, que fue el determinado por Hernández (2007) para *Pinus ayacahuite* con un valor de 6.19%. Se consideraron 2 mm atribuibles al volumen que se remueve durante el cepillado y la dimensión óptima de

corte de la madera verde áspera se determinó a través de:

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

Donde:

DO = Dimensión óptima de corte de la madera verde áspera (mm).

DF = Dimensión final (mm).

RC = Refuerzo por cepillado (en ambos lados de la tabla) (mm).

%C = Refuerzo por contracciones (de verde al C.H=12%).

Z = Factor de dimensión mínima aceptable (1.65 desviaciones estándar para una distribución de frecuencia normal).

St = Desviación estándar del proceso.

$$\%C = \frac{30\% \cdot C.H._{final} \cdot CP}{30}$$

Donde:

%C = Tolerancia por contracción de la madera (%).

C.H final= Contenido de humedad final de la madera (%).

CP= Contracción promedio de la especie (%).

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

Por otra parte, se debe tener en cuenta la variable dimensión crítica (Dc), la cual se relaciona con la madera verde, si se pudieran obtener piezas sin variación del aserrado. La expresión que se utilizó es la siguiente:

$$Dc = \frac{DF + TC}{(1 - \%C)}$$

Donde:

Dc= Dimensión crítica de corte de madera verde (mm).

DF= Dimensión final después del secado y cepillado (mm).

TC= Tolerancia por cepillado en ambos lados del surtido (mm).

%C = Refuerzo por contracciones de la madera (%).

## RESULTADOS

### Aserradero del ejido La Victoria

Sin implementar ninguna acción correctiva para mejorar la calidad dimensional en este aserradero, se encontró que el grueso promedio al que se asierra la madera de 22.23 mm (7/8") es de 27.33 mm, con una desviación estándar del proceso de 2.03 mm, la cual representa 9.1% de la dimensión nominal final para este grueso de asierre; así se considera alta. Para compensar tal variación y asegurar que 95% de la madera aserrada alcance una dimensión final seca a 12% y cepillada de 22.23 mm debe aserrarse a 28.51 mm y no a los 27.33 mm actuales, lo que repercute negativamente en el rendimiento volumétrico de madera aserrada, por lo que se debe reducir tal variación. De las ocho acciones correctivas que se evaluaron en este aserradero, se encontró que seis mostraron una disminución en la desviación estándar del proceso desde 20 hasta 57% en relación con los 2.03 mm estimados originalmente. Las acciones que contribuyeron a disminuir la variación del corte y su nivel de reducción fueron: a) la rectificación de los volantes (20%); b) la alineación de las escuadras del carro portatrozas (35%); c) la sujeción de la troza con todos los ganchos durante el aserrío (36%); d) la limpieza y ajuste de las guías de la sierra (36%); e) la limpieza de las ruedas del carro escuadra (37%); y f) la reducción de la velocidad de alimentación de 68 a 46 m·min<sup>-1</sup> (57%). Esto representa también una disminución en la dimensión óptima de corte de 28.51 mm al rango de 26.59 a 27.84 mm (tabla 2).

### Aserradero de la Sociedad de Producción Rural "El Diamante"

Sin implementar acciones para mejorar la calidad dimensional en este aserradero, el grueso promedio al que se asierra la madera de 22.23 mm (7/8") es de 26.14 mm, con una desviación estándar del proceso de 1.96 mm, la cual representa 8.81% de la dimensión nominal final para este grueso de asierre; así es alta. Para compensar tal variación, se debe aserrar a 28.39 mm y no a los 26.14 mm; sin embargo, esto impactará en forma negativa en el rendimiento volumétrico en madera aserrada, por lo que es importante reducir la desviación estándar del proceso. Se observó que las seis acciones evaluadas permitieron una disminución en la desviación estándar del proceso desde 21 hasta 64% en relación con los 1.96 mm estimados inicialmente. El nivel de reducción fue: a) al alinear el carro portatrozas

**Tabla 2.** Resultados de las acciones evaluadas en el aserradero del ejido La Victoria

Acciones correctivas	n	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Dc (mm)	Do (mm)
1. Sin acción alguna.	10	27.33	1.02	1.76	2.03	25.16	28.51
2. Alineación de las escuadras del carro portatroz.	10	26.32	1.05	0.78	1.31	25.16	27.31
3. Rectificación de los volantes.	10	27.08	1.47	0.68	1.62	25.16	27.84
4. Alineación de las ruedas del carro portatroz.	10	26.75	1.60	1.58	2.24	25.16	28.86
5. Limpieza y ajuste de las guías de la sierra.	10	26.07	1.19	0.49	1.29	25.16	27.29
6. Limpieza de los rieles de rodado.	10	26.52	1.20	1.90	2.25	25.16	28.87
7. Limpieza de las ruedas del carro portatroz.	10	25.89	0.82	0.98	1.28	25.16	27.27
8. Aserrío con todos los ganchos sujetadores.	10	26.12	0.74	1.07	1.30	25.16	27.30
9. Disminución de la velocidad de alimentación.	10	25.45	0.54	0.68	0.87	25.16	26.59

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas; Sb= Desviación estándar entre tablas; St= Desviación estándar del proceso; Dc= Dimensión crítica; Do= Dimensión óptima de corte.

**Tabla 3.** Resultados de las correcciones realizadas en el aserradero El Diamante

Acciones correctivas	n	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Dc (mm)	Do (mm)
1. Sin acción alguna.	10	26.14	1.21	1.54	1.96	25.16	28.39
2. Cambio de engrane tensionador de la sierra.	10	26.11	0.87	1.18	1.46	25.16	27.58
3. Alineación del carro portatroz.	10	25.92	1.19	0.97	1.54	25.16	27.70
4. Limpieza de rieles de rodado.	10	26.66	0.70	0.76	1.04	25.16	26.87
5. Limpieza de ruedas del carro portatroz.	10	26.27	0.90	0.85	1.23	25.16	27.20
6. Alineación de escuadras del carro portatroz.	10	25.69	0.52	1.10	1.22	25.16	27.17
7. Disminución de la velocidad de alimentación.	10	25.95	0.41	0.58	0.71	25.16	26.33

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas; Sb= Desviación estándar entre tablas; St= Desviación estándar del proceso; Dc= Dimensión crítica; Do= Dimensión óptima de corte.

(21%); b) cambiar el engrane tensionador de la sierra (26%); c) la limpieza de las ruedas del carro portatroz (37%); d) la alineación de las escuadras del carro portatroz (37%); e) la limpieza de los rieles de rodado (47%); y f) la reducción de la velocidad de alimentación de 49 a 33 m·min<sup>-1</sup> (64%). Esto representa también una disminución en la dimensión óptima de corte estimada de 28.39 mm al rango de 27.70 a 26.33 mm (tabla 3).

#### Aserradero "Langer"

En este aserradero sin implementar acciones para mejorar la calidad dimensional, se encontró que el grueso promedio al que se asierra la madera de 22.23 mm (7/8") es de 26.01 mm, con una desviación estándar del proceso de 1.58 mm, la cual se considera alta de tal forma que

para compensar tal variación, la madera debe aserrarse a 27.76 mm y no a los 26.01 mm actuales; esto representa una disminución en el rendimiento volumétrico. De acuerdo a lo anterior, se observó que las cuatro acciones evaluadas mostraron una disminución en la desviación estándar del proceso desde 27 hasta 49% en relación con los 1.58 mm estimados originalmente. Las acciones que contribuyeron a disminuir la variación de corte y su nivel de reducción fueron: a) la limpieza de los rieles (27%); b) la rectificación de las ruedas del carro (37%); c) la disminución de la velocidad de alimentación de 45 a 32 m·min<sup>-1</sup> (37%) y d) el ajuste de las guías de la sierra (49%). Esto representa también una disminución en la dimensión óptima de corte de 27.76 mm al rango de 27.55 a 26.48 mm (tabla 4).

**Tabla 4.** Resultados de las correcciones realizadas en el aserradero Langer

Acciones correctivas	n	Media (mm)	Sw (mm)	Sb (mm)	St (mm)	Dc (mm)	Do (mm)
1. Sin acción alguna.	10	26.01	0.77	1.38	1.58	25.16	27.76
2. Rectificación de las ruedas del carro escuadra.	10	23.93	0.83	0.54	0.99	25.16	26.80
3. Ajuste de guías de la sierra.	10	24.51	0.55	0.58	0.80	25.16	26.48
4. Limpieza de los rieles de rodado.	10	25.87	0.60	0.98	1.15	25.16	27.06
5. Disminución de la velocidad de alimentación.	10	25.95	0.58	0.80	0.99	25.16	26.79

Sw= Desviación estándar dentro de las tablas; Sb= Desviación estándar entre tablas; St= Desviación estándar del proceso; Dc= Dimensión crítica; Do= Dimensión óptima de corte.

## DISCUSIÓN

En el presente estudio, la desviación estándar del proceso con las acciones implementadas se redujo hasta establecerse en promedio en los 0.79 mm. Usenius (1984) estudió la importancia del aumento y la disminución de medidas en los beneficios de aserraderos y llegó a la conclusión de que un aumento o disminución de un milímetro lleva a una ganancia o una pérdida de aproximadamente 1.8% en los ingresos del aserradero. Por su parte, Steele *et al.* (1992) indican que en una sierra banda, una desviación estándar de 0.75 mm es un valor que debe ser alcanzable para mejorar la calidad dimensional de la madera; sin embargo, Szymani (1999, citado por Vuorilehto, 2001) menciona que para obtener un sistema de aserrío óptimo, la variación del asierre debe ser de 0.15 mm o menos; mientras que Williston (1988) sugiere que una sierra banda alineada correctamente deberá tener una precisión en el corte de 0.4 mm o menos. Zavala (1981) encontró que la utilización adecuada de métodos de control de dimensiones pudiera incrementar el rendimiento volumétrico 4.46% como promedio debido al empleo de una dimensión óptima de corte menor que la dimensión actual, pero sin producir piezas con dimensiones por debajo de las exigidas en el mercado. Por otro lado, el mismo autor, menciona que la reducción de la variación de corte en el aserrío a valores aceptables se logra mediante la realización de ajustes correspondientes a la maquinaria. En este escenario, Nájera *et al.* (2011) estimaron el rendimiento en madera aserrada para la dimensión nominal de 22.23 mm (7/8") en el aserradero del ejido La Victoria de la región de El Salto, Durango, en 29.43% para un grueso promedio de 25.78 mm y una desviación estándar del proceso de 1.54 mm. La dimensión óptima de corte la estimaron en 27.80 mm, lo que representa

2.3% de volumen adicional para compensar las variaciones en el grueso de asierre en esta medida nominal y alcanzar la dimensión óptima de corte estimada. Considerando la menor variación encontrada en el aserradero del ejido La Victoria en el presente estudio, que fue al reducir la velocidad de alimentación a 46 m·min<sup>-1</sup>, sería necesario aserrar entonces a 26.59 mm. Esto implicaría sólo 0.92% de volumen adicional en el rendimiento volumétrico de madera aserrada para compensar la desviación estándar del proceso de aserrío de 0.87 mm y alcanzar el grueso nominal de 22.23 mm. Mientras que en el aserradero de la Sociedad de Producción Rural "El Diamante" los mismos autores estimaron el rendimiento en 13.12% para un grueso promedio de 25.78 mm y una desviación estándar del proceso de 1.73 mm, la dimensión óptima de corte la estimaron en 28.13 mm, lo que representa 1.2% de volumen adicional para compensar las variaciones en el grueso de asierre en esta medida nominal y alcanzar la dimensión óptima de corte estimada. Considerando la menor variación encontrada para este aserradero de 0.71 mm que corresponde a la disminución de la velocidad de alimentación a 33 m·min<sup>-1</sup>, sería necesario entonces aserrar a 26.33 mm. Esto implicaría sólo 0.27% de volumen adicional en el rendimiento volumétrico de madera aserrada para compensar la desviación estándar del proceso de aserrío de 0.71 mm y alcanzar el grueso nominal final de 22.23 mm. En lo referente al aserradero "Langer", Nájera *et al.* (2011) estimaron el rendimiento en madera aserrada para la dimensión nominal de 22.23 mm (7/8") de 17.76% para un grueso promedio de 26.09 mm y una desviación estándar del proceso de 1.34 mm, la dimensión óptima de corte la estimaron en 27.47 mm, lo que representa 0.96% de volumen adicional para compensar las variaciones en el grueso de asierre en esta medida nominal y alcanzar la dimensión

óptima de corte estimada. Considerando la menor variación encontrada en el presente estudio para este aserradero que corresponde al ajuste de las guías de la sierra, sería necesario entonces aserrar a 26.48 mm. Esto implicaría 0.27% de volumen adicional en el rendimiento volumétrico de madera aserrada para compensar la desviación estándar del proceso de aserrío de 0.80 mm y alcanzar el grueso nominal final de 22.23 mm de este aserradero.

## CONCLUSIONES

En términos generales, las acciones correctivas evaluadas en el proceso de aserrío permitieron una reducción en la variación del corte en la madera aserrada, de tal forma que en el ase-

rradero del ejido La Victoria se encontró que seis de las ocho acciones implementadas permitieron disminuir esta variación; en los aserraderos "El Diamante" y "Langer" todas las acciones mostraron una reducción en la variación de corte en la madera. Las acciones que mostraron la mayor disminución fue la reducción de la velocidad de alimentación de las trozas y el ajuste de las guías de la sierra banda, sin embargo, esta última acción tiene un impacto negativo, ya que al disminuir la velocidad de alimentación también lo hace la productividad y, en consecuencia, la rentabilidad del proceso. Con lo expuesto anteriormente se concluye que es posible reducir la variación del corte de la madera aserrada mediante la implementación de acciones correctivas en el proceso de asierre de la madera.

## LITERATURA CITADA

- BARRERA, J.M.; CUERVO, S.; HERNÁNDEZ, J.T.; RODRÍGUEZ, J. *Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales*. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. Primera edición. Rainforest Alliance, 59 p., 2010.
- BROWN, T.D., *Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods*. Oregon State University Extension Service. 11 p., 2000.
- CUENCA, G.R., *Manual técnico de capacitación en calibración de los equipos de aserrío, afilado y mantenimiento de sierras de cinta y disco*. Programa de desarrollo de políticas de comercio exterior. Memorando número 861. BID.-1442/OC-PE/CDE, 183 p., 2006.
- HERNÁNDEZ, C. Estudio tecnológico en la madera de *Pinus ayacahuite* y *P. teocote* del Ejido Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable. Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, México, 115 p., 2007.
- 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, 2011.
- SÁNCHEZ, R.L., *La variación de corte de cuatro aserraderos del sector social en México*. Memoria del V Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. 12 p., 2004.
- STEELE, P.H., WADE, M.W., BULLARD, S.H., ARAMAN, P.A. Relative kerf and sawing variation values for some hardwood sawing machines. *Forest Products Journal*, 42(2): 33-39, 1992.
- USENIUS, A., Effects of kerf size and accuracy of sawn timber to saw revenue. *Sahamies*, 5: 1-35, 1984.
- VUORILEHTO, J., *Size control of sawn timber by optical means in breakdown saw machines*. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology. Laboratory of Wood Technology, Department of Forest Products Technology, Helsinki University of Technology. Report 88. 180 p., 2001.
- WILLISTON, E.M., *Lumber Manufacturing, Design & Operation of Sawmills & Planer Mills*. USA: Miller-Freeman Publications, 93 p., 1988.
- ZAVALA, Z.D., Analysis of the sawmilling practices in the State of Durango, México. Thesis of Master of Science. The University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canadá. 91 p., 1981.
- ZAVALA, Z.D., *Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada*. Serie de Apoyo Académico No. 44. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, 50 p., 1991.