

Análisis comparativo de la calidad dimensional de madera de pino bajo dos tecnologías de aserrío en el suroeste de Chihuahua, México

Comparative analysis of the dimensional quality of pine wood under two sawmill technologies in southwest Chihuahua, Mexico

Rascón-Solano Joel

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales, Linares, Nuevo León, México

Oscar Alberto Aguirre-Calderón

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México

Juan Abel Nájera-Luna*

Instituto Tecnológico de El Salto, División de Estudios de Posgrado e Investigación, El Salto, Durango, México

Eduardo Alanís-Rodríguez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México

Javier Jiménez-Pérez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México

Eduardo Javier Treviño-Garza

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 122, 2023

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 9 de noviembre 2022

Aprobación: 20 de marzo 2023

Publicación: marzo 2024

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e134>

Autor de correspondencia: jalnajera@itelsalto.edu.mx

Resumen

El objetivo de esta investigación fue identificar las diferencias estadísticas existentes en la distribución de los tipos de corte y variabilidad dimensional de productos obtenidos en función de dos tecnologías industriales empleadas en aserraderos ejidales al suroeste de Chihuahua. Se tomaron los datos en tres aserraderos permanentes tecnificados modernos de corte fino y dos aserraderos permanentes tradicionales de sierra banda. En cada industria se consideraron al menos 50 piezas de madera con espesor de 22,23, 31,75 y 38,10 mm (7/8, 5/4 y 6/4"), en las cuales se evaluó el tipo de corte con la metodología de puntos múltiples. Se evaluó la homogeneidad de las varianzas con prueba de Levene; adicionalmente, se realizaron pruebas de t de Student en función del tipo de aserradero empleado y ANOVA de un factor con corrección de Welch para evaluar las variaciones de espesores entre aserraderos. De acuerdo con los resultados obtenidos, 51,99% de la madera es aserrada con orientación tangencial; 38,40% radial y 9,61% con corte mixto, presentando diferencias significativas por tipo de aserradero en la madera aserrada con cortes radial y mixto. Los aserraderos modernos y tradicionales resultaron estadísticamente diferentes al procesar madera de 7/8". La madera con espesor de 5/4" no mostró diferencias entre industrias, pero si en la desviación estándar de las seis mediciones de las tablas y la madera con espesor de 6/4" presentó diferencias significativas en la media de los espesores y desviación estándar de las tablas. Los aserraderos de esta región difícilmente garantizan que el 95,00% de la madera alcance un grueso nominal final.

Palabras clave: cortes tangenciales, radiales y mixtos, variabilidad dimensional, múltiples puntos, aserraderos tecnificados y tradicionales

Abstract

The objective of this research was to identify the statistical differences existing in the distribution of the types of cut and dimensional variability of products obtained based on two industrial technologies used in ejido sawmills in the southwest of Chihuahua. The data were collected in three modern fine-cut permanent sawmills and two traditional band saw permanent sawmills. In each industry, at least 50 pieces of wood with a thickness of 22,23, 31,75 and 38,10 mm (7/8, 5/4 and 6/4") were considered, in which the type of cut was evaluated. with the multiple points methodology. The homogeneity of the variances was evaluated with Levene's test; additionally, Student's t tests were performed based on the type of sawmill used and ANOVA of one factor with Welch's correction to evaluate thickness variations between sawmills. According to the results obtained, 51,99% of the wood is sawn with tangential orientation; 38,40% radial and 9,61% with mixed cut, presenting significant differences by type of sawmill in the lumber sawn with radial and mixed cuts. Modern and traditional sawmills were statistically different when processing 7/8" lumber. Wood with a thickness of 5/4" did not show differences between industries, but did show differences in the standard deviation of the six measurements of the tables and the wood with 6/4" thickness presented significant differences in the mean of the thicknesses and standard deviation of the tables. The sawmills in this region hardly guarantee that 95,00% of the wood reaches a final nominal thickness.

Keywords: tangential, radial and mixed cuts, dimensional variability, multiple points, technified and traditional sawmills

INTRODUCCIÓN

La industria del aserrío es considerada una de las actividades económicas de mayor importancia en diversas regiones de México con actividad forestal maderable (Polanco 2002, Marchesan et al., 2014, Ortiz et al., 2016). En el norte de dicho país, es la actividad industrial de mayor importancia para las organizaciones sociales (Zavala y Hernández 2000). En los aserraderos, las trozas se convierten en tablas mediante una serie de operaciones de aserrado/corte, para ello, se deben reconocer los efectos interrelacionados en dicho proceso (Todoroki & Rönqvist, 1999).

Nájera-Luna et al. (2011), mencionan que la eficiencia operacional de los procesos de transformación del recurso forestal en productos para la industria maderera son factores básicos para su comercialización. Herrera-Medina y Leal-Pulido (2012) indican que la transición tecnológica industrial es una actividad que se da principalmente por la necesidad de ser cada vez más competitivos y eficientes en los procesos. Por su parte, Rascón-Solano et al. (2020) han identificado que durante la última década los núcleos agrarios del estado de Chihuahua han realizado cambios en los equipos de transformación maderable en pos de mejorar los procesos y aumentar la calidad de los productos aserrados; núcleos agrarios que poseen equipos de aserrío que no se han evaluado previamente para determinar la calidad de los productos que se generan.

En la industria forestal, el análisis de los indicadores de productividad y calidad de los productos aserrados es de interés en la administración de toda empresa maderera, ya que los resultados obtenidos reflejan el uso eficiente de la materia prima y definen el desempeño industrial reduciendo las pérdidas en el proceso (Valério et al., 2009). Nájera et al. (2011) indican que la variabilidad en los espesores de la madera aserrada influye significativamente tanto en el rendimiento como en la calidad dimensional de los productos generados, por lo tanto, es necesario realizar observaciones y mediciones periódicas en la industria del aserrado (Young et al., 2007). Es importante mencionar que gran parte de los productos generados en el proceso de transformación pierden calidad por la variabilidad dimensional del aserrado (López et al., 2016) como consecuencia de la velocidad y estabilidad durante el proceso de aserrado, tipo y mantenimiento de los elementos de corte, sistema de aserrado, entre otras consideraciones (Torrecillas-Silva et al. 2020). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue identificar las diferencias estadísticas existentes en la distribución de los sistemas de aserrado tradicionales, y la variabilidad dimensional de productos aserrados en función de dos tecnologías industriales empleadas en aserraderos ejidales al suroeste de Chihuahua.

MÉTODOS

LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en los municipios de Balleza, Guachochi y Urique ubicados al sur del estado de Chihuahua, al noroeste de México. La toma de datos se efectuó durante el año 2021 en aserraderos permanentes de sierra banda de los ejidos Cieneguita de la Barranca y Corareachi, así como en aserraderos permanentes horizontales de corte fino de los ejidos Aboreachi, Tecorichi y San Carlos.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS ASERRADEROS

Los aserraderos de los ejidos Aboreachi, Tecorichi y San Carlos poseen equipo Wood-Mizer® modelo MW3500 de corte horizontal con volantes de 635 milímetros (mm) de diámetro, con sierra cinta de corte fino y con dientes trabados de 35 mm de ancho y 1,07 mm de espesor. El espesor nominal de las piezas de madera es determinado en una cabina de operaciones mediante el Sistema Electrónico Setworks y manejado en pantallas táctiles. Los cortes pueden ser programados en modo manual, automático, con un patrón de 16 cortes consecutivos o de referencia, con el cual se mantiene la posición original del último corte realizado. Estos aserraderos cuentan con un equipo de reaserrado de la marca Wood-Mizer modelo HR1000 de cabezal doble de corte horizontal, con volantes de 863 mm de diámetro. El equipo está habilitado para dos sierras cintas de 35 mm de ancho y 1,07 mm de espesor y es calibrado manualmente para la obtención de diferentes espesores de madera aserrada. En este estudio se menciona este tipo de industrias como aserraderos modernos, de corte fino, horizontales y tecnificados.

Por su parte, los aserraderos permanentes de los ejidos Cieneguita de la Barranca y de Corareachi fueron instalados en la década de 1970 por la compañía paraestatal "Productos Forestales de la Tarahumara" (PROFORTARAH). Los mismo cuentan con una sierra simple de banda vertical con

volantes de 1.473 milímetros (mm) de diámetro, cintas de corte de 203,20 mm de ancho, espesor 17 (1,37 mm), paso de diente de 44,45 mm, profundidad de garganta 15,88 mm de y ángulo de corte de 30°. Adicionalmente, cuentan con carro porta trozas de cuatro escuadras con mecanismo de agarre, sistema de retorno neumático y calibrador de espesor manual (Figura 1). Estos aserraderos no cuentan con equipo de reaserrado. En este trabajo las industrias con estas características se mencionan como aserraderos tradicionales, verticales y de sierra banda.



FIGURA 1

Izquierda: Aserradero tecnificado del ejido Aboreachi. Derecha: Aserradero tradicional del ejido Cieneguita de la Barranca.

ESPECIES MADERERAS

Los núcleos agrarios que se consideraron para este análisis poseen bosques naturales de Pino y Pino-Encino en producción maderable y cuentan con programas de manejo forestal sustentable. En este sentido, los individuos fueron extraídos de las áreas de corta autorizadas para el año 2021, las cuales consisten en rodales manejados con el sistema silvícola de selección individual y con turno de corta de 90 años. La materia prima fue seleccionada al azar y sin una previa clasificación de calidad visual, la misma corresponde al género *Pinus*. Las especies que compusieron la muestra fueron *Pinus durangensis* Martínez (pino colorado), *Pinus arizonica* Engelm. (pino de Arizona), *Pinus leiophylla* Schiede ex Schldl. & Cham. (pino sawaca), *Pinus engelmannii* Carr. (pino apache) y *Pinus strobiformis* Engelm. (pino huiyoco).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS ASERRADOS Y TAMAÑO DE MUESTRA

El dimensionamiento del material se realizó acorde a las dimensiones comerciales más predominantes. En este sentido, los espesores a los que se asierra la madera con mayor frecuencia son: 22,23, 31,75 y 38,10 mm (7/8, 5/4 y 6/4”), más refuerzo, que regularmente es de 3,17 mm (1/8”) para los espesores nominales de 22,23 y 31,75 mm; a partir de 38,10 mm el refuerzo es de 6,36 mm (1/4”). Los anchos de la madera varían de 101,60 a 304,80 mm (4 a 12”), más un refuerzo de 12,70 mm (1/2”). Los largos de las piezas oscilan de 1.219,20 a 4.876,80 mm (4’ a 16’), más un refuerzo de 50,80 mm (2”).

En cada aserradero se seleccionó una muestra al azar superior a 50 tablas e inferior a 150 unidades como indica Brown (2000a), separadas por espesor nominal. Las piezas fueron seleccionadas inmediatamente después de ser generadas en el aserradero, y sus dimensiones fueron medidas en verde con un contenido de humedad de 28 a 32%. La recolección de las tablas se realizó en dos días consecutivos de actividad de aserrado. La Tabla 1 indica los espesores nominales evaluados y el número

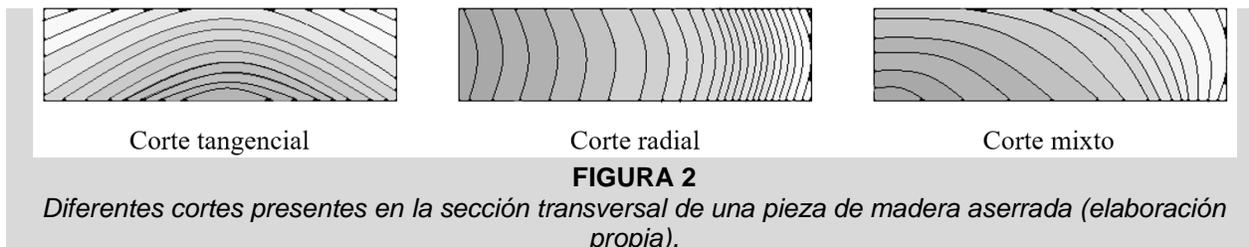
de unidades analizadas del género *Pinus*, en este análisis no se realizó una separación por especie de la madera aserrada.

TABLA 1
Unidades de madera aserrada medidas por industria y espesor nominal.

| Industria | Espesor nominal | | | | | |
|------------|-----------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|
| | 7/8" | Error de muestreo | 5/4" | Error de muestreo | 6/4" | Error de muestreo |
| Aboreachi | 73 | 1,15 | 52 | 1,36 | 50 | 1,39 |
| Tecorichi | 90 | 1,03 | 50 | 1,39 | 51 | 1,37 |
| San Carlos | 58 | 1,29 | 53 | 1,35 | 54 | 1,33 |
| Corareachi | 88 | 1,04 | 55 | 1,32 | 54 | 1,33 |
| Cieneguita | 57 | 1,30 | 50 | 1,39 | 52 | 1,36 |

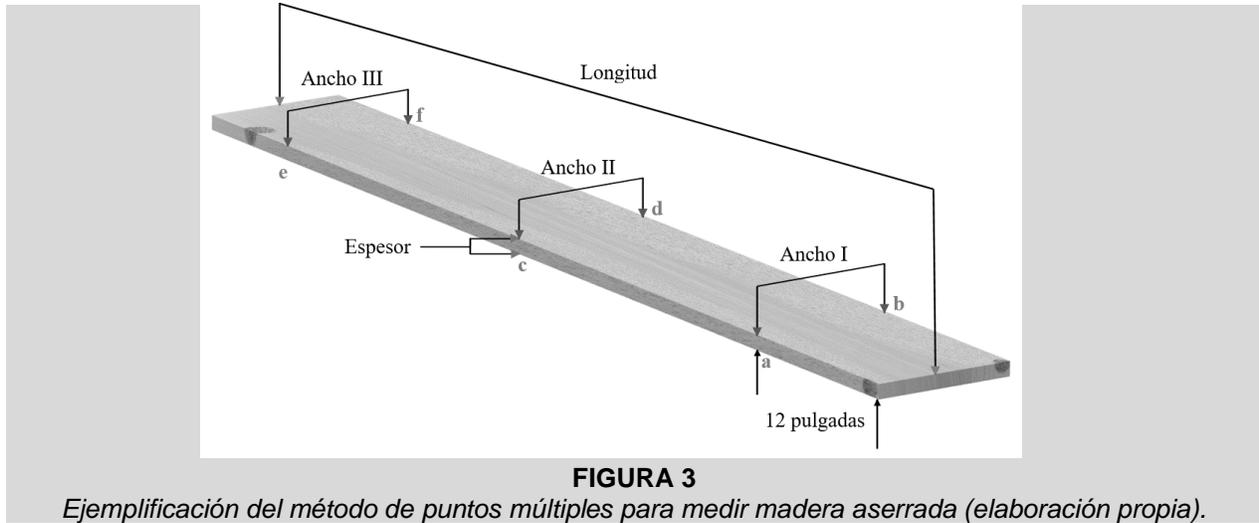
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CORTE DE LA MADERA

En el sistema de aserrado de cuatro caras o sistema tradicional de aserrado, se producen tres tipos de cortes según su orientación en la sección transversal de las tablas, corte tangencial, radial y mixto (combinación de corte tangencial y radial (Figura 2)), con la obtención de una pieza central de 6/4" al final del proceso de aserrado. Tomando en cuenta esta consideración, se definió el tipo de corte para cada una de las tablas seleccionadas en los aserraderos a partir de la inspección visual en la sección transversal de cada pieza con el fin de realizar un análisis de distribución por espesor de madera aserrada y tipo de industria analizada.



DETERMINACIÓN DE LA VARIABILIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA

La variabilidad dimensional de las unidades aserradas se evaluó con el método de medición de puntos múltiples sugerido por Brown (2000a) y López et al. (2016), que consiste en tomar 10 puntos de control por tabla: una medida longitudinal, tres por ancho y seis por espesor. Sargent (2019) indica que la primera y última medición debe realizarse a 304,80 mm (12") de los extremos, la segunda determinación debe realizarse en el centro de la pieza, evitando puntos coincidentes con nudos, bolsas de resina, golpes u otros defectos naturales; este esquema fue el considerado en este trabajo (Figura 3).



A partir de los puntos de control se determinó la desviación estándar del espesor dentro de cada tabla (S_w). Con esta estimación se puede determinar el efecto de la sierra en la calidad del corte, y la desviación estándar entre tablas (S_b) que indica el estado mecánico de los brazos automatizados en aserraderos horizontales, y el estado de los engranajes en calibradores y guías del carro escuadra en aserraderos tradicionales verticales (Nájera et al., 2011). Zavala (1991) menciona que la desviación estándar total del proceso (S_t) explica la variación del corte en el proceso de aserrado y se estima mediante la integración de (S_w) y (S_b).

La desviación estándar dentro de tablas se determinó con la Ecuación 1:

$$S_w = \sqrt{\bar{S}^2} \quad [1]$$

Donde:

S_w = Desviación estándar del espesor 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 entre las medidas de corte de la tabla se utilizó la Ecuación 2:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N - 1} \quad [2]$$

Donde:

S^2 = Varianza de la tabla.

X^2 = Espesor de la tabla.

N = Número de mediciones en cada tabla.

El cálculo de la desviación estándar entre tablas se realizó mediante la Ecuación 3:

$$S_b = \sqrt{S(\bar{x})^2 - \frac{(S_w)^2}{N}} \quad [3]$$

Donde:

S_b = Desviación estándar entre tablas.

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

N = Número de mediciones en cada tabla.

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

El cálculo de $S(\bar{x})^2$ se efectuó a través de la fórmula de varianza con la Ecuación 4:

$$S(\bar{x})^2 = \frac{\sum \bar{x}^2 - \frac{(\sum \bar{x})^2}{m}}{m - 1} \quad [4]$$

Donde:

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

X^2 = Espesor de la tabla.

m = Número de tablas muestreas.

Con los valores conocidos de S_w y S_b , se determinó la desviación estándar total del proceso de aserrío con la Ecuación 5:

$$S_t = \sqrt{(S_w)^2 + (S_b)^2} \quad [5]$$

Donde:

S_t = Desviación estándar total del proceso o variación del proceso.

S_w = Desviación estándar en tablas.

S_b = Desviación estándar entre tablas.

Para la determinación de la dimensión óptima de corte (D_o) a la que debe aserrarse la madera verde para que cumpla con las especificaciones de espesor exigidas por el mercado, se consideró la Ecuación 6:

$$D_o = \frac{DF + RC}{(1 - \%C)} + Z * S_t \quad [6]$$

Donde:

D_o = Dimensión óptima de la madera verde áspera sin cepillado (mm).

DF = Dimensión final (mm).

RC = Refuerzo por cepillado (1,58 mm por tabla), tomado de Torrecillas-Silva et al. (2020).

%C = Refuerzo por contracciones (9,49%), tomado de Torrecillas-Silva et al. (2020).

Z = Factor de dimensión mínima aceptable para una confiabilidad del 95,00%.

S_t = Desviación estándar total del proceso.

Por otra parte, se tomó en cuenta la variable dimensión crítica (D_c), que está relacionada con la dimensión de la madera verde, si se pudieran producir piezas sin variación de aserrado. Se empleó la Ecuación 7:

$$D_c = \frac{DF + RC}{(1 - \%C)} \quad [7]$$

Donde:

D_c = Dimensión crítica de la madera verde áspera sin cepillado (mm).

DF = Dimensión final (mm).

RC = Refuerzo por cepillado (1,58 mm por tabla), tomado de Torrecillas-Silva et al. (2020).

%C = Refuerzo por contracciones (9,49%), tomado de Torrecillas-Silva et al. (2020).

Con base en la recomendación de Zavala (1991), se realizaron gráficos de control de calidad de la media, a partir de los límites de control superior e inferior para conocer la ubicación del espesor promedio de aserrado de cada tabla, y se evaluó si el sistema de aserrado en cuestión permite obtener al menos, un 95,00% de tablas con una dimensión final nominal (Ecuaciones 8 y 9).

$$LCS = \bar{x} + A2 * \bar{R} \quad [8]$$

$$LCI = \bar{x} - A2 * \bar{R} \quad [9]$$

Donde:

LCS = Límite de control superior.

LCI = Límite de control inferior.

\bar{x} = Media total del espesor de las tablas.

A2 = Factor para determinar los límites de control de \bar{x} (para subgrupos de seis mediciones de grosor por tabla A2=0,483, constante encontrada en la tabla de factores críticos de gráficos de control).

\bar{R} = Intervalo o amplitud promedio de la muestra (diferencia entre el valor mayor y menor de las seis mediciones en grosor de cada tabla).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluó la homogeneidad de las varianzas del espesor medio de las piezas de madera de pino, la desviación estándar del espesor de las seis mediciones, la desviación estándar entre tablas y la desviación total del proceso de aserrado mediante la prueba de Levene a un valor de significancia del $p \leq 0,05$. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$) para determinar la normalidad de las observaciones incluidas en las variables de análisis. Para comparar los dos tipos de aserradero empleados en el proceso maderero, se realizaron pruebas de t de Student de un factor ($p \leq 0,05$) considerando la distribución de los cortes típicos de la madera. Por último, para detectar las diferencias en la variabilidad dimensional media de los productos generados y la desviación estándar de las seis medidas en grueso de cada una de las tablas entre aserraderos, se realizó ANOVA de un factor ($p \leq 0,05$); las variables que presentaron desigualdad de varianzas fueron tratadas con test de ANOVA con corrección de Welch a un nivel de significancia $\leq 0,05$. El paquete estadístico IBM-SPSS versión 25 fue empleado para desarrollar los análisis de información y determinación de resultados.

RESULTADOS

DISTRIBUCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE CORTE DE LA MADERA ASERRADA

Los aserraderos modernos produjeron 52,99, 35,25 y 11,77% de tablas aserradas con cortes tangencial, radial y mixto, respectivamente. Por su parte, los aserraderos tradicionales presentaron proporciones similares a los modernos para las tablas con cortes tangencial, radial y mixto en una proporción de 50,99, 41,56 y 7,45%, respectivamente.

Las pruebas de t de Student para la madera de 7/8" entre tipos de aserraderos, no presentaron diferencias significativas en la producción de madera aserrada con cortes tangencial, radial y mixto ($p = 0,5405$, $0,5338$ y $0,2417$, respectivamente) (Figura 4a). La madera con espesor de 5/4" presentó diferencias significativas para cortes tangencial y radial ($p = 0,0379$ y $0,0091$ respectivamente); por su parte, las piezas con corte mixto no presentaron diferencias significativas en ambos tipos de aserradero ($p = 0,7585$) (Figura 4b). Por su parte, las piezas de 6/4" no presentaron diferencias en el corte tangencial ($p = 0,2175$), sin embargo, la distribución de cortes radial y mixto resultaron diferentes en ambos tipos de industria ($p = 0,0491$ y $0,0346$ respectivamente). La diferencia presentada en este último caso (corte mixto de 6/4") puede deberse a que los aserraderos modernos cuentan con equipos de reaserrado que no controlan adecuadamente la disponibilidad de cortes homogéneos (tangencial o radial) (Figura 4c).

Con este análisis se hace evidente que las industrias de aserrado generan, en su mayoría, madera con corte tangencial lo cual es motivado principalmente a que el diagrama de corte de cuatro caras es el más empleado en la región. Adicionalmente, con este diagrama de corte se pretende evitar la integración de duramen en las piezas de madera aserrada, ya que durante el proceso de secado se presenta un comportamiento diferenciado entre ambos tipos de madera. Asimismo, con este sistema se reduce la presencia de nudos ovalados y de espiga, factores que reducen la calidad de la madera al momento de ser clasificada.

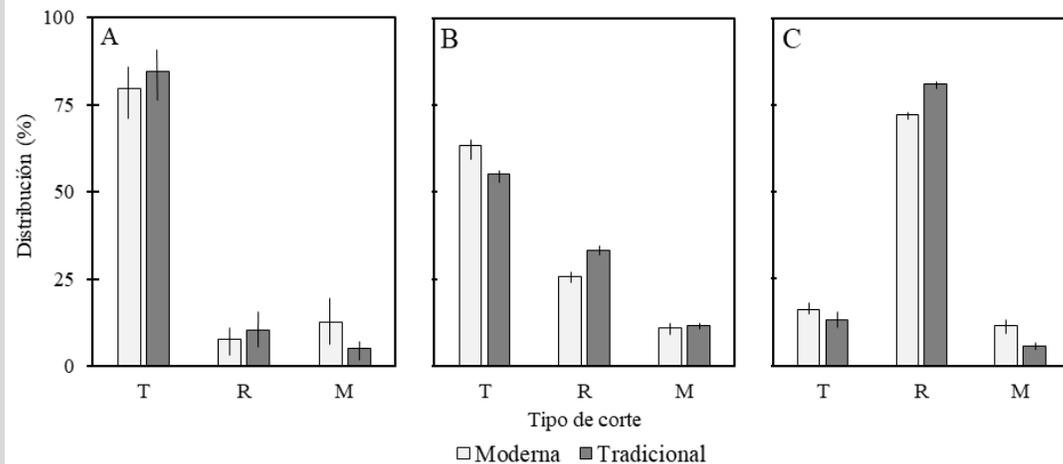


FIGURA 4

Distribución porcentual de los tipos de corte de la madera en la sección transversal por espesor nominal y tipo de industria de aserrado. A) grueso nominal 7/8"; B) grueso nominal 5/4"; C) grueso nominal 6/4". *T: corte tangencial; R: corte radial; M: corte mixto; Línea vertical: Desviación estándar.

VARIABILIDAD DE LA MADERA DE 7/8"

Los aserraderos modernos presentaron un espesor promedio de 25,40 mm, con una desviación estándar dentro de las tablas (S_w) de 0,75 mm y entre tablas (S_b) de 0,80 mm, resultando una desviación estándar total del proceso (S_t) de 1,10 mm. La dimensión óptima de corte estimada (D_o) fue de 26,36 mm, la cual resultó 0,97 mm superior al espesor promedio registrado, mientras que la dimensión crítica (D_c) del espesor de las tablas fue de 26,31 mm. Por su parte, las industrias tradicionales obtuvieron un espesor promedio de 26,13 mm, la S_w se estimó en 0,78 mm, la S_b en 0,74 mm y la S_t se calculó en 1,08 mm. El valor estimado de D_o resultó en 26,36 mm y de D_c en 26,31, lo cual representa 0,22 y 0,17 mm de diferencia en función del promedio, respectivamente. Las cifras aproximadas a la media indican que en el proceso de aserrado no se considera la variabilidad de corte.

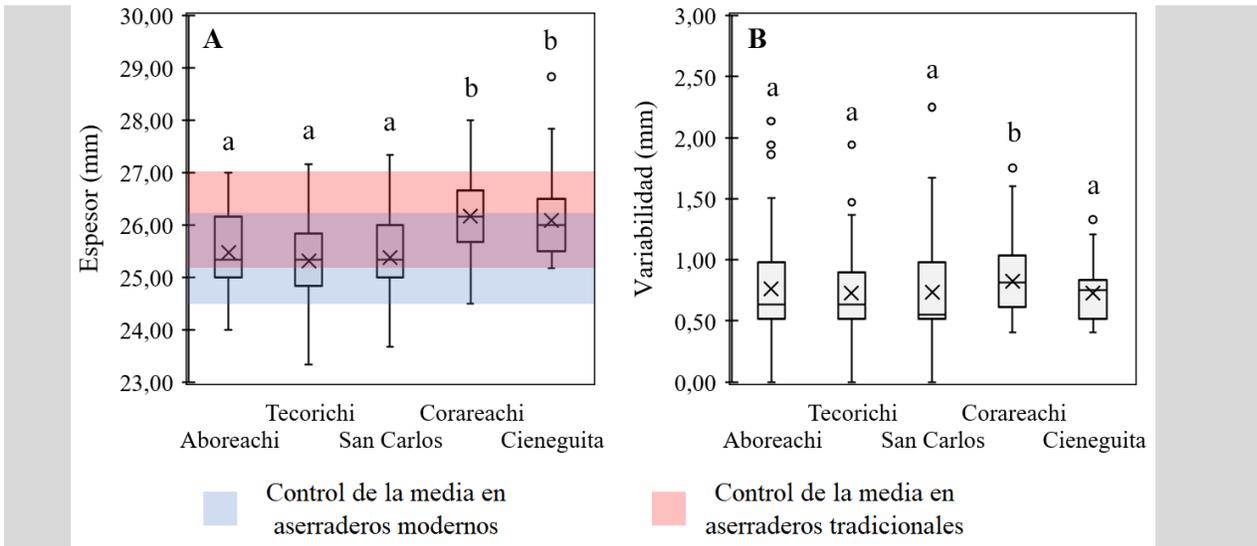
De acuerdo a lo anterior, el ANOVA para la diferencia de 0,73 mm en el grueso promedio de las tablas de 7/8", presentó diferencias estadísticas significativas entre aserraderos ($p = 0,0016$) debido principalmente al desgaste que presentan los equipos de calibración en las industrias tradicionales. En cuanto a S_w y S_b no se encontraron diferencias entre el tipo de aserradero, con p valores de 0,5452 y 0,1341 respectivamente; por consiguiente, la desviación estándar total del proceso no presentó diferencias significativas ($p = 0,7966$). Sin embargo, la diferencia expuesta, por efecto del desgaste de los mecanismos, representa una ventaja competitiva entre sistemas de aserrado (a favor de los aserraderos modernos), puesto que esa diferencia en perspectiva, representa ahorro de materia prima que impacta económicamente a las industrias.

En cuanto a los distintos establecimientos analizados, para la madera de 7/8" en aserraderos modernos, se tiene que en el ejido Aboreachi se obtuvo un grueso promedio de 25,47 mm, mientras que en el ejido Tecorichi se obtuvo un valor medio de 25,32 mm y en el ejido San Carlos un promedio de 25,40 mm. Por parte de los aserraderos tradicionales, se tiene que el ejido Corareachi cuenta con un valor medio de 26,17 mm y el ejido Cieneguita de la Barranca 26,09 mm.

La variación del espesor promedio en las tablas aserradas en industrias modernas registró valores mínimo y máximo de 23,33 a 27,33 mm, respectivamente. Se estimó que solo el 66,97% de las tablas se ubicaron dentro de los límites de control de calidad estimados entre los 24,55 a 26,24 mm en estos aserraderos. Por lo cual, en este caso se considera que la implementación de reaserradoras con ajuste manual en el proceso provoca la variación de dimensional de las piezas, situación que podría evaluarse a profundidad en otro estudio. Por su parte, las industrias tradicionales presentaron variación del espesor promedio en las tablas con valores mínimo y máximo de 24,50 a 28,83 mm respectivamente. Los límites

de control estimados fueron de 25,21 a 27,07 mm para el rango inferior y superior, respectivamente. El proceso de aserrado y las estimaciones realizadas indican que el 79,86% de las tablas obtenidas alcanzaron una dimensión final nominal. Este tipo de industrias presentaron espesores superiores a los encontrados en los aserraderos tecnificados, por lo cual, son más efectivos en obtener piezas que no serán rechazadas en el mercado por efecto de subdimensionado, sin embargo, pierden producto por exceso de refuerzo. Los gráficos de control de la media de la Figura 5A muestran que en ningún aserradero se garantiza que el 95,00% de la madera aserrada tendrá una dimensión final de 7/8", con riesgo de que se clasifique en alguna categoría inferior; en adición, se presentan diferencias en los rangos de espesores encontrados entre tipo de industria ($p < 0,001$), resultando, tal como se mencionó anteriormente, la industria tradicional con espesores promedio superiores a los calculados para las industrias modernas.

La desviación estándar del espesor de las seis mediciones en cada una de las tablas (S_w) no presentó diferencias significativas entre aserraderos y tipo de tecnología empleada con un valor p de 0,3510, mientras que la corrección del Welch indicó un valor p de 0,1626. La Figura 5B muestra que el ejido San Carlos cuenta con un mayor rango en la dispersión de variabilidad de corte con valores de 0,00 a 2,25 mm en la fluctuación del espesor de las tablas; el ejido Cienegueta de la Barranca mostró de 0,41 a 1,38 mm de variabilidad en la elaboración de madera de 7/8", siendo la industria con mejor calidad dimensional en esta clase de grueso.



VARIABILIDAD DE LA MADERA DE 5/4"

En los aserraderos de corte fino se estimó un espesor promedio de 38,31 mm, la desviación estándar del espesor de las seis mediciones en cada una de las tablas fue de 0,94 mm y la desviación estándar entre tablas de 1,75 mm; en función de los resultados anteriores se calculó una desviación estándar total del proceso de 2,02 mm. La D_o se estimó en 36,93 mm, la cual resultó 5,18 mm superior al grosor promedio registrado, mientras que la D_c del espesor de las tablas fue de 36,82 mm. En los aserraderos tradicionales se estimó un espesor promedio de 38,79 mm, la S_w en 1,39 mm, el S_b en 2,05 mm y la desviación estándar del proceso en 2,48 mm. Para este tipo de industria se calculó una D_o de 36,95 mm, la cual resultó 5,20 mm superior al espesor medio, y la D_c del espesor de las tablas fue de 36,82 mm.

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, las industrias tradicionales cuentan con una S_w mayor a la encontrada en los aserraderos tecnificados, esto puede deberse a posibles desviaciones en las escuadras del carro porta trozas por deficiencias en el mantenimiento periódico del aserradero.

La diferencia del espesor medio de las tablas de 5/4" entre aserraderos no mostró diferencias significativas ($p = 0,6400$), sin embargo, ambos tipos de industrias exceden el espesor nominal de esta clase de espesor. El efecto de los problemas de mantenimiento o alineación de las escuadras de dimensionado en el carro porta trozas, tienen un efecto estadísticamente significativo en la S_w ($p = 0,0058$) de acuerdo al tipo de tecnología. Por su parte, la S_b no mostró diferencias entre aserraderos ($p = 0,5452$). Por último, la desviación estándar total del proceso tampoco presentó diferencias significativas ($p = 0,3920$), generado principalmente por la desviación estándar entre tablas.

La variación del espesor promedio en las tablas aserradas en industrias modernas registró valores de 35,50 a 43,50 mm, respectivamente y se estimó que solo el 41,29% de las tablas se ubicaron dentro de los límites de control de calidad estimados entre los 37,25 a 39,37 mm. Por su parte, las industrias tradicionales presentaron variación del espesor promedio en las tablas con valores de 36,17 a 44,17 mm, respectivamente; los límites de control estimados fueron de 37,07 a 40,51 mm para el rango inferior y superior, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que el 64,42% de las tablas obtenidas alcanzaron una dimensión final nominal. Ambos tipos de aserraderos presentaron espesores superiores a los requeridos por el mercado en dimensión nominal, por tal motivo, pierden producto por exceso de refuerzo, que se traduce en pérdidas económicas.

Con respecto a los establecimientos considerados, en los aserraderos de corte fino de los ejidos Aboreachi, Tecorichi y San Carlos se obtuvieron gruesos promedio de 38,39, 38,25 y 38,30 mm, respectivamente, por su parte, los aserraderos de los ejidos Corareachi y Cieneguita de la Barranca presentaron una media de 38,85 y 38,73 mm. Estos resultados indican que la totalidad de industrias cuentan con problemas en el dimensionado del espesor, excediendo el refuerzo establecido, que se deriva en pérdidas económicas en forma de residuos sólidos. De acuerdo con las estimaciones realizadas y los resultados de los gráficos de control de la media para este espesor, en los cinco aserraderos evaluados se garantiza que al menos el 95,00% de la madera aserrada tendrá una dimensión final de 5/4" (Figura 6A). De acuerdo con el análisis realizado, no se cuenta con diferencias en los rangos de espesor promedio ($p = 0,3970$; corrección de Welch: $p = 0,3242$).

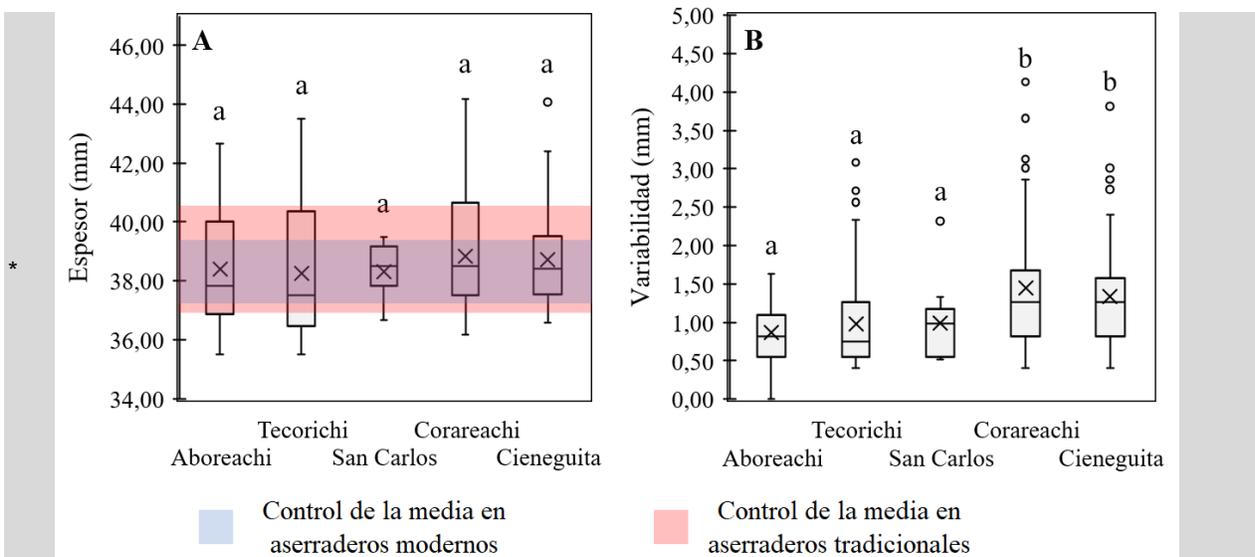


FIGURA 6

Descripción gráfica de prueba de ANOVA; A) comparación de rangos de espesor medio en madera de 5/4" y B) comparación de rangos de variabilidad dimensional del producto. Variables con la misma letra en cada aserradero no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Adicionalmente, en la S_w de las piezas estudiadas se encontraron diferencias significativas entre tipo de tecnología empleada ($p < 0,0001$; corrección de Welch: $p < 0,0001$) (Figura 6b). Los aserraderos horizontales presentaron rangos de dispersión que no sobrepasaron una variabilidad dimensional de 3,08 mm y el valor medio más alto de 0,99 mm; en este sentido, el ejido San Carlos, presentó el mejor ajuste. Los aserraderos verticales presentaron una variabilidad media máxima de 38,85 mm para el caso del ejido Corareachi (Figura 6a) y una variabilidad máxima de hasta 4,13 mm (Figura 6b).

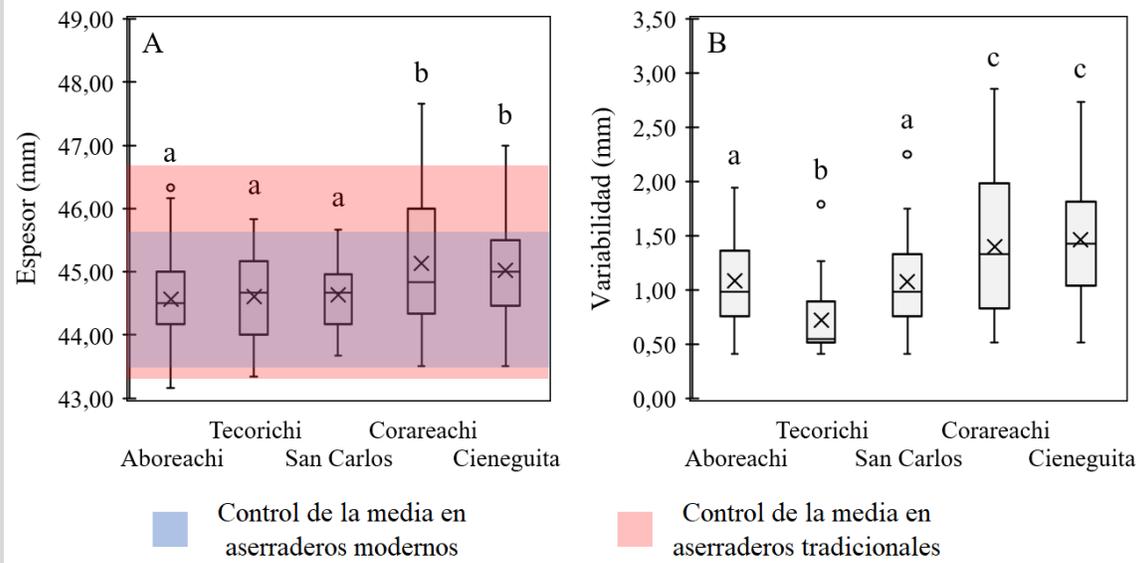
VARIABILIDAD DE LA MADERA DE 6/4"

Los aserraderos tecnificados presentaron un espesor medio de 44,60 mm, la desviación estándar del espesor de las seis mediciones en cada una de las tablas (S_w) fue de 0,96 mm y la S_b se estimó en 0,66 mm; los resultados anteriores esbozaron una S_t de 1,17 mm. La D_o se estimó en 43,90 mm, la cual resultó 0,71 mm inferior al espesor promedio registrado, mientras que la D_c del espesor de las tablas fue de 43,84 mm, indicando que el promedio del espesor de las piezas presenta una sobredimensión de 6,50 mm en función de la dimensión final nominal. Por su parte, los aserraderos de sierra banda obtuvieron una media de espesor de 45,08 mm, una S_w de 1,43 mm, un S_b de 0,95 mm y, un total del proceso de 1,73 mm de desviación estándar. La D_o fue de 43,93 mm, la cual resultó 1,16 mm inferior al espesor medio, y la D_c fue de 43,84 mm, la cual, de acuerdo con el análisis el espesor medio, es 6,98 mm mayor a la dimensión nominal esperada. Al igual que en la madera de 6/4", las industrias tradicionales cuentan con una S_w mayor a la encontrada en los aserraderos de corte fino, lo cual se puede atribuir a las mismas variables previamente definidas.

A este espesor también se le realizó una prueba de ANOVA para cada variable; la diferencia del espesor medio de las tablas de 6/4" presentó diferencias significativas entre aserraderos ($p = 0,0022$). En cuanto a S_w y S_b se encontraron diferencias estadísticas entre aserraderos, con valores p de 0,0078 y 0,0399, respectivamente; por consiguiente, la desviación estándar total del proceso presentó diferencias significativas ($p = 0,0169$). Para la madera de 6/4" en el aserradero moderno del ejido Aboreachi se obtuvo un espesor promedio de 44,57 mm, en el ejido Tecorichi de 44,61 mm y en el ejido San Carlos de 44,64 mm. Por parte de las industrias tradicionales se tiene que el ejido Corareachi cuenta con un espesor medio de 45,14 mm y el ejido Cieneguita de la Barranca de 45,03 mm. De acuerdo con los resultados obtenidos se cuenta con diferencias en los rangos de espesor medio entre tipo de tecnología empleada por las empresas ($p = 0,0062$; p Welch $< 0,0001$).

La variación del espesor promedio en las tablas aserradas en industrias modernas registró valores de 43,17 a 46,33 mm, respectivamente estimándose que hasta el 91,61% alcanzarán una dimensión final nominal, ya que las tablas se ubicaron dentro de los límites de control de calidad entre 43,43 y 45,78 mm. Por otra parte, los aserraderos tradicionales presentaron variación del espesor promedio en las tablas con valores de 43,50 a 47,67 mm, respectivamente mientras que los límites de control estimados fueron de 43,35 a 46,81 mm. Lo expresado anteriormente permite estimar que el 96,19% de las tablas obtenidas alcanzaran una dimensión final nominal. Los gráficos de control de la media presentados en la Figura 7A muestran que en los aserraderos tradicionales tendrán una dimensión final de 6/4" aceptable por el mercado. El Ejido San Carlos cuenta con la dispersión más compacta en las medias estimadas de las piezas evaluadas; no obstante, los cinco ejidos presentan exceso de refuerzo por al menos 1,07 mm de sobredimensionado.

*



Adicionalmente, se encontraron diferencias significativas entre industrias con un valor $p < 0,001$ y un valor en la corrección de Welch de $p < 0,001$ en la desviación estándar de las seis medidas de espesor de las piezas estudiadas (Figura 7B). Los aserraderos de ejidos Aboreachi y San Carlos presentaron una dispersión y espesor medio similares, mientras que el ejido Tecorichi mostró una dispersión compacta e inferior al resto de industrias. Asimismo, la variabilidad media fue inferior a la presentada en el resto de industrias (0,72 mm). Lo anterior se debe a que el aserradero del ejido Tecorichi presenta un menor periodo de actividad, esto permite que los equipos estén mejor calibrados para el aserrado y las piezas cuenten con características dimensionales homogéneas. Los aserraderos tradicionales, por su parte, cuentan con los rangos mayores en variabilidad dimensional de la madera, de 0,52 a 2,86 mm para el ejido Corareachi y de 0,52 a 2,73 mm para el ejido Cieneguita de la Barranca.

DISCUSIÓN

Nájera-Luna et al. (2006) indican que el sistema de aserrado tradicional (diagrama de cuatro caras) con predominancia de tablas de corte tangencial es el de mayor uso en los aserraderos de la región de El Salto, Durango, debido a que presenta el mayor rendimiento en madera aserrada. Adicionalmente, presenta una menor limitación en el largo y ancho de las tablas generadas y permite corregir las distorsiones dimensionales de las tablas (Nájera et al. 2005). Por su parte, Zavala (2003), determinó un rendimiento de madera aserrada de *Quercus laurina* Bonpl., *Quercus candicans* Née y *Quercus acutifolia* Née, aplicando el sistema de aserrío de cuatro caras, y manifestó que es el sistema de aserrado tradicional más empleado en las industrias del centro de México, debido a que con este sistema se pretende evitar la integración de duramen en las piezas de madera aserrada y reducir la presencia de nudos ovalados y de espiga.

Tenorio y Moya (2011) realizaron un estudio en el aserrado de trozas de una plantación comercial de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. en Costa Rica, y encontraron que se producen cuatro tipos de cortes vistos en la sección transversal de las piezas, madera exclusivamente tangencial, tablas con corte exclusivamente radial, tablas oblicuas tangencial-radial y tablas combinadas radial-tangencial-radial. Por su parte, Moya et al. (2012) mencionan que estos cortes de madera presentan diferentes velocidades de

secado, indicando que la madera de corte tangencial tiende a secar más rápido que la madera de corte radial, lo que provoca problemas en el proceso de secado tanto de forma natural como artificial. Adicionalmente, el proceso de secado no resulta homogéneo en las tablas que contienen los dos tipos de corte (corte mixto), por lo que la parte de la tabla con corte tangencial secará más rápido que la parte de la tabla con corte radial. Adicionalmente, en Sri Lanka se realizó un estudio donde se determinó el patrón de corte a emplear en función de la distribución y superposición de los anillos de crecimiento presentes en la troza, dado que la ubicación de los mismos en la sección transversal de la tabla es uno de los aspectos físicos más importantes de la madera de construcción (Mendis et al. 2019). De acuerdo con esta investigación, los tipos de corte encontrados en la sección transversal de la madera aserrada presentaron una distribución general de corte tangencial de 51,99%, corte radial de 38,40% y corte mixto de 9,61%, indicando que aproximadamente el 90,00% de la madera aserrada presentará un periodo de secado similar, mientras que el resto de las piezas, presentarán periodos de secado heterogéneos.

Zavala (1996), comenta que el refuerzo en el dimensionado de la madera aserrada es una práctica común en México, debido a la necesidad de mantener las dimensiones nominales de la madera tras la variabilidad del aserrado y tratamiento de las piezas, no obstante, el refuerzo es un factor que puede alterar el espesor de la madera. El problema antes descrito, se observó en los tres espesores evaluados en los aserraderos analizados. En este sentido, los aserraderos tradicionales excedieron la dimensión nominal de 7/8". En el caso de las tablas de 5/4", ambos aserraderos excedieron la dimensión en sus valores medios. Por último, la madera de 6/4" también contó con sobredimensionado en la media de ambos tipos de aserraderos. De acuerdo con los resultados, las industrias tradicionales presentaron los valores más altos en el sobredimensionado de la madera aserrada, atribuyéndose principalmente a la limitada frecuencia de mantenimientos preventivos y al desgaste presentado por los equipos de calibración (escuadras) en los carros porta trozas.

En cuanto a la variabilidad dimensional de los productos aserrados de 7/8", Torrecillas-Silva et al. (2020), en Durango, obtuvieron un espesor promedio de 25,54 mm (incluyendo 3,00 mm de refuerzo) y adicionalmente observaron que la desviación estándar dentro de las tablas ($S_w = 0,70$ mm) fue la que ejerció más influencia sobre la desviación estándar total del proceso ($S_t = 0,85$ mm), con un valor $S_b = 0,49$ mm en relación al resultado obtenido entre tablas. Por su parte, Ambriz et al. (2018), en el estado de Michoacán, calcularon un espesor medio de 25,50 mm en madera aserrada de *Pinus spp.*, una desviación estándar dentro de las tablas (S_w) de 0,60 mm, entre tablas (S_b) de 0,86 mm y una desviación estándar total del proceso (S_t) de 1,44 mm. En este estudio se estimaron valores similares a los indicados por otros autores, sin embargo, tanto los aserraderos modernos como los tradicionales presentaron mayor espesor medio y mayor desviación estándar total del proceso de aserrado. En este sentido, coincidentemente con lo expresado por Torrecillas-Silva et al. (2020), en ningún aserradero se garantiza que el 95,00% de la madera aserrada alcance una dimensión final de 7/8", con riesgo de que se clasifique en alguna categoría inferior.

López et al. (2016) realizaron un estudio en Ecuador en madera de *Eucalyptus saligna*, donde encontraron que la mayor variabilidad se presentó en espesor de tablas aserradas con motosierra. En este sentido, la variabilidad dimensional en espesor para tablillas aserradas con 30,00 mm promedio, obtuvo una desviación estándar de 1,00 mm. Estos autores indican que la variación del espesor acentúa los defectos en el proceso de secado y que es una de las causas que dificultan la comercialización y por consecuencia, la competitividad de la industria maderera. En este estudio, los cinco aserraderos evaluados superan por, al menos, 3,56 mm la dimensión nominal más refuerzo, lo cual garantiza que al menos el 95,00% de la madera aserrada tendrá una dimensión final de 5/4", sin embargo, el exceso de refuerzo provoca pérdidas económicas o sanciones dadas por el mercado. Adicionalmente, las industrias tradicionales cuentan con una S_w mayor a la encontrada en los aserraderos tecnificados, lo cual puede estar relacionado a posibles desviaciones en las escuadras del carro porta trozas o deficiencias en el mantenimiento periódico del aserradero.

En madera de *Pinus spp.* de 6/4" más refuerzo (6,00 mm) de aserraderos del estado de Durango, Nájera et al. (2011) encontraron que el rango en el espesor de las tablas aserradas se encuentra entre 43,81 a 46,11 mm, la desviación estándar dentro de la tabla entre 1,06 a 2,29, la desviación estándar entre tablas entre 0,78 a 1,95 mm y la desviación total del proceso entre 1,37 a 3,01 mm. Dichos autores destacan la importancia de establecer mecanismos que controlen la variación del corte de la madera, mediante acciones de mantenimiento preventivo y correctivo, tanto en la alineación de los elementos de corte, como en los mecanismos que asignen los espesores de la madera. Los resultados de esta investigación indican valores similares a los citados anteriormente, no obstante, la desviación estándar

entre tablas y la total del proceso, resultan ser más próximas a cero en este estudio y los rangos son más reducidos. Los aserraderos tecnificados y tradicionales presentaron un grueso medio de 44,60 y 45,08 mm, respectivamente, por su parte, la desviación estándar total del proceso de aserrado fue de 1,17 a 1,73 mm para cada tipo de aserradero. Esta diferencia entre industrias se atribuye principalmente, en el caso de los aserraderos de sierra banda, al prolongado periodo de actividad sin mantenimiento y en el caso de los aserraderos modernos, a la capacidad de calibrado automatizado.

Por su parte, en la Sierra Sur de Oaxaca, México, Ortiz et al. (2016) aserraron *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., *Pinus oaxacana* Mirov y *Pinus oocarpa* Schiede, y encontraron que solo el 18,00% de las tablas producidas se ubicaron en el grueso especificado (26,00 mm), por lo tanto, la madera que más frecuentemente obtuvieron en condiciones normales de producción fue de 19,05 mm (3/4”), por lo que forzosamente, la madera bajó de categoría de espesor. Nájera et al. (2012) indicaron que al reducir la velocidad de alimentación de los equipos y ajustar las guías de la sierra redujeron la variación del corte de la madera aserrada hasta 49,00%. Asimismo, la mayor variabilidad en las tablas dificultó la obtención de superficies planas y uniformidad en el grosor de la madera durante el cepillado. Adicionalmente, Ambríz et al. (2018) mencionan que la desviación total del proceso cercana a cero se consigue cuando la desviación estándar dentro de las tablas y la desviación estándar entre tablas son similares.

Es evidente que, con el paso del tiempo, la industria maderera, en específico el aserrío, ha podido mejorar sus procesos y aumentar la productividad, debido al progreso tecnológico. Sin embargo, es imperante que los sectores productivos y de mercado impulsen el desarrollo tecnológico de la industria maderera en México, con base en casos de éxito y programas internacionales. Debido a que la capacidad industrial instalada delimita la disponibilidad de productos maderables de alto valor.

CONCLUSIONES

En esta investigación se resalta que el diagrama de corte de cuatro caras es el más empleado en las industrias de la región de estudio, debido a que se pretende evitar la integración de duramen en las piezas de madera aserrada y reducir la presencia de nudos ovalados y de espiga. Con este sistema es posible generar una distribución del 51,99, 38,40 y 9,61% de corte tangencial, radial y mixto, respectivamente.

Se encontró que en ninguno de los aserraderos considerados se garantiza que el 95,00% de la madera aserrada presente una dimensión final de 7/8”, con riesgo de que se clasifique en alguna categoría de espesor inferior de acuerdo con las exigencias del mercado. Por otra parte, de acuerdo con los gráficos de control, obtener el 95,00% de madera de 5/4” en dimensión nominal en los cinco aserraderos evaluados. Con respecto a la dimensión de 6/4”, solo los aserraderos tradicionales podrían garantizar que más del 95,00% de la madera aserrada tendrá dicha dimensión final nominal, sin embargo, el exceso de refuerzo es una actividad no deseable y puede provocar pérdidas económicas en un largo plazo.

Por último, las industrias tradicionales cuentan con una desviación estándar entre las seis dimensiones de espesor de la tabla, mayor a la encontrada en los aserraderos tecnificados, pudiendo corresponderse a desviaciones en las escuadras del carro porta trozas, deficiencias en el mantenimiento periódico del aserradero o al error humano en el manejo de los equipos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar la calidad este manuscrito.

REFERENCIAS

- Ambriz, E., Andrade-Torres, M.Y. y Sosa-Villanueva, H.M. (2018). Rendimiento volumétrico e importancia del control de calidad de madera aserrada de *Pinus spp.* *Tecnociencia Chihuahua*, 12(1),37-41. <http://dx.doi.org/10.54167/tch.v12i1.132>
- Brown, T.D. (2000). Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods. Oregon State University, Extension Service.

- Herrera-Medina, J. F. y Leal-Pulido, R. O. (2012). Generación de patrones de corte a partir de la programación matemática para la planificación táctica-operativa de aserríos madereros. *Colombia Forestal*, 15(2), 227-245.
- López, N., Yucta, M.F., Caraguay, K. y Minga, R. (2016). La variabilidad dimensional y defectos de secado afectan rendimientos en procesos de cepillado de madera de Eucalyptus saligna. *Bosque*, 37(1), 169-178. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100016>
- Marchesan, R., Rocha, M., Silva, J.B. y Klitzke, R.J. (2014). Eficiência técnica no desdobro principal de toras de três espécies tropicais. *Floresta*, 44(4), 629-636. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v44i4.26537>
- Mendis, M.S., Halwatura, R.U., Somadeva, D.R., Jayasinghe, R.A. y Gunawardana, M. (2019). Influence of timber grain distribution on orientation of saw cuts during application: Reference to heritage structures in Sri Lanka. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00486. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00237>
- Moya, R., Tenorio, C. y D. Aguilar (2012). Diferentes aspectos a considerar durante el secado en horno de *Vochysia guatemalensis* Donn Sm. Madera (Cebo / Mayo). *Uniciencia*, 26(1-2), 5-14.
- Nájera, J.A., Aguirre, O.A., Treviño, E., Jiménez, J., Jurado, E., Corral, J.J. y Vargas, B. (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 77-92.
- Nájera, J.A., De la Cruz, R., Pairán, C., Méndez, J., Graciano, J. y Návar, J. (2005). Ensayo de aserrío en *Quercus laeta* de la región de El Salto, Durango. *Agrofaz*, 5(1), 763-774.
- Nájera, J.A., Montañez, J.T., Méndez, J., Hernández, F.J., Vargas, B., Cruz, F. y Aguirre, C.G. (2012). Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus spp* en Durango, Méx. *Investigación y Ciencia*, 20(54), 22-29.
- Nájera-Luna, J.A., Aguirre-Calderón, O.A., Treviño-Garza, E.J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J.J. y Vargas-Larreta, B. (2011). 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.
- Nájera-Luna, J.A., Rodríguez-Reta, I., Méndez-González, J., Graciano-Luna, J., Rosas-García, F., y Hernández, F.J. (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxylla* Humb & Bompl. de El salto, Durango. *Ra Ximhai*, 2(2), 497-513. <http://dx.doi.org/10.35197/rx.02.02.2006.11.jn>
- Ortiz, R., Martínez, S.D., Vázquez, D.E. y Juárez, W.S. (2016). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 19(1), 79-93. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>
- Polanco, C. (2002). Aplicación de la tecnología de maderas en la solución de un problema evidente de la industria forestal de madera aserrada. *Colombia Forestal*, 7(15), 153-162. <https://doi.org/10.14483/2256201X.3363>
- Rascón-Solano, J., Olivas-García, J.M., Kiessling-Davison, C.M., Hernández-Salas, J., y López-Daumas, G. (2020). Incremento de la rentabilidad de la industria forestal en el Ejido Aboreachi, Chihuahua, México. *Custos e @gronegocio online*, 15(4), 219-249.
- Sargent, R. (2019). Evaluating dimensional stability in solid wood: a review of current practice. *Journal of Wood Science*, 65(36), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1817-1>
- Tenorio, C. y Moya, R. (2011). Consideraciones y recomendaciones prácticas para mejorar la calidad de la madera seca de *Acacia mangium* Willd. *Tecnología en Marcha*, 24(4), 30-38.
- Todoroki, C.L. y Rönnqvist, E.M. (1999). Combined Primary and Secondary Log Breakdown Optimization. *The Journal of the Operational Research Society*, 50(3), 219-229. <https://doi.org/10.2307/3010685>
- Torrecillas-Silva, C.A., Orozco-Contreras, R., Nájera, J.A., Hernández-Díaz, J.C., Hernández, F.J., De la Cruz-Carrera, R., Corral-Rivas, J.J. y Goche-Télles, J.R. (2020). Evaluación del refuerzo de asierre en madera seca y cepillada del ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(57), 87-107. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i57.645>
- Valério, Á.F., Watzlawick, L.F., Balbinot, R., Wincker Caldeira, M.V. y Filho, A.F. (2009). Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*, 39(3), 619-628. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v39i3.15361>
- Young, T.M., Bond, B.H. y Wiedenbeck, J. (2007). Implementation of a real-time statistical process control system in hardwood sawmills. *Forest Products Journal*, 57(9), 54-62.

- Zavala, D.** (1991). *Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzo en madera aserrada*. Texcoco, México. Serie de Apoyo Académico 44. Universidad Autónoma Chapingo.
- Zavala, D.** (1996). Coeficiente de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal en México*, 21(79),165-181.
- Zavala, D.** (2003). Efecto del sistema de aserrío tradicional en las características de la madera de encinos. *Madera y Bosques*, 9(2), 29-39. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2003.921284>
- Zavala, D y Hernández, R.** (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 6(2), 41-55. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.621374>