



Contraste del rendimiento de aserrado e ingresos económicos en **aserraderos tradicionales y modernos** en el norte de México

Contrast of sawmill performance and economic income in traditional and modern sawmills in northern Mexico

Joel Rascón-Solano¹, Oscar Alberto Aguirre-Calderón^{2*}, Eduardo Alanís-Rodríguez², Javier Jiménez-Pérez², Eduardo Treviño-Garza², Juan Abel Nájera-Luna³ y Jose Iniguez⁴

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León. Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México.

³ Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de El Salto (ITES). El Salto, Nuevo León, México.

⁴ USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station: Flagstaff, Arizona, Estados Unidos.

* Autor de correspondencia.
oscar.aguirrecl@uant.edu.mx

RESUMEN

La transformación de madera en rollo a madera aserrada es crucial en México, donde la industria enfrenta desafíos en la calidad y cantidad de productos, requiriendo mejoras tecnológicas para minimizar desechos y mejorar la competitividad. En este sentido, el objetivo de este estudio fue comparar la producción de aserraderos tradicionales y modernos en función del coeficiente de aserrado, el rendimiento total del producto y los ingresos económicos generados. El estudio se realizó en Guachochi, Chihuahua, una región de bosques templados fríos. Se evaluaron dos tipos de aserradero: tradicional (empresa privada) y moderno (industrias ejidales). Se analizó el rendimiento de la madera aserrada, productos secundarios y residuos sólidos, asimismo, los ingresos generados por cada producto. Se empleó la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) para evaluar la normalidad de los datos y la prueba t de Student ($p < 0.05$) para contrastar rendimiento e ingresos entre tipos de aserradero. Se encontraron diferencias significativas ($p = 0.008$) entre el rendimiento de madera aserrada de los ejidos (53.32%) y la de la empresa privada (45.82%). El rendimiento de aserrín generado por las industrias ejidales fue de 17.92% y de la empresa privada 25.00%, con un valor $p = 0.009$. Los ingresos variaron entre aserraderos, siendo superiores en los ejidos debido a su mayor rendimiento de madera aserrada ($p = 0.012$). Los residuos sólidos que presentaron diferencias fueron el palo de escoba y la leña con valores de p de 0.030 y 0.000, respectivamente. Se concluye que la industria moderna es más eficiente, por tal motivo, es necesario definir estrategias para mejorar la eficiencia de los aserraderos tradicionales.

PALABRAS CLAVE: aserradero moderno, aserradero tradicional, coeficiente de aserrío, ingresos, rendimiento.

ABSTRACT

The transformation of roundwood into sawn timber is crucial in Mexico, where the industry faces challenges in both the quality and quantity of products, requiring technological improvements to minimize waste and enhance competitiveness. In this context, the objective of this study was to compare the production of traditional and modern sawmills based on the sawing coefficient, total product yield, and the economic revenues generated. The study was conducted in Guachochi, Chihuahua, a region with cold temperate forests. Two types of sawmills were evaluated: traditional (private company) and modern (communal ejidos). The yield of sawn timber, secondary products, and solid waste was analyzed, as well as the revenues generated by each product. The Shapiro-Wilk test ($p < 0.05$) was used to assess the normality of the data, and the Student's t -test ($p < 0.05$) was used to compare yield and revenues between the types of sawmills. Significant differences ($p = 0.008$) were found between the sawn timber yield of communal ejidos (53.32%) and that of the private company (45.82%). The sawdust yield generated by communal ejidos was 17.92%, while that of the private company was 25.00%, with a p -value of 0.009. Revenues varied between sawmills, being higher in communal ejidos due to their greater sawn timber yield ($p = 0.012$). Solid waste that showed differences included broomstick wood and firewood, with p -values of 0.030 and 0.000, respectively. It is concluded that the modern industry is more efficient, thus it is necessary to define strategies to improve the efficiency of traditional sawmills.

KEYWORDS: modern sawmill, traditional sawmill, sawmill coefficient, income, yield.

INTRODUCCIÓN

A escala microempresarial, la transformación de madera en rollo a madera aserrada es considerada una de las actividades industriales más importantes de México (Zavala y Hernández, 2000), compuesta principalmente por negocios comunales (Merino, 2018) que incluyen más de doce mil centros de transformación (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2020). De acuerdo con Flores-Velázquez et al. (2007), históricamente la producción de madera ha estado geográficamente concentrada en los estados de Chihuahua, Durango y Michoacán (Ortiz et al., 2016), esta actividad forestal proporciona empleo y apoyo económico federal a comunidades principalmente rurales.

La industria maderera en México presenta muchas ineficiencias en la producción de madera aserrada e inconsistencia en la cantidad y calidad de los productos generados. Estas ineficiencias deben abordarse para consolidarse como una actividad sostenible (Flores et al., 2019). Para combatir este problema, en los últimos años, algunas empresas ejidales en el estado de Chihuahua han invertido capital en modernas tecnologías de aserrado para mejorar la producción, aumentar la eficiencia y reducir los residuos sólidos (Rascón-Solano et al., 2020). Mientras tanto, la operación de los aserraderos tradicionales continúa dentro de la región, en gran parte debido a la falta de capital, pero también porque aún no está claro el aumento de la productividad de los aserraderos modernos. Para medir las eficiencias en la producción de madera, se han desarrollado metodologías que se basan en estimaciones de los coeficientes de conversión de una unidad de volumen de trozas en productos aserrados, es decir, madera aserrada (Ferreira et al., 2004; Nájera et al., 2012; Haro et al., 2015; Gonçalves et al., 2018). Para evaluar el rendimiento de transformación de los diversos productos primarios aserrados, se utilizan parámetros con énfasis en la estimación de rendimientos (Vital et al., 1989). García et al. (2001) y Silva et al. (2015) afirman que los rendimientos de la madera son uno de los indicadores cruciales para medir la eficiencia de cualquier industria. Asimismo, la diversidad de productos y la identificación de ineficiencias en los procesos productivos.

Fuentes-López et al. (2018) sugieren que la industria de producción de madera debe aumentar su enfoque en minimizar los desechos. Además, Campos et al. (2013) sugieren que los aserraderos varían ampliamente en productividad y generan una gran cantidad de subproductos y residuos sólidos, los cuales pueden cuantificarse desde la perspectiva del rendimiento proporcional (Guevara-Salnicov et al., 1993). Nájera et al. (2011) indican que en el negocio de los aserraderos es importante no solo medir el volumen producido, sino también, medir los productos residuales que permitan estimar las ganancias potenciales que pueden promover prácticas más eficientes en toda la industria (Haro et al., 2015). Con base en lo anterior, Rascón-Solano et al. (2020) enfatizan que la comercialización de productos, incluidos los residuos sólidos, permitiría a las empresas productoras de madera del estado de Chihuahua mantenerse competitivas en el mercado.

De acuerdo con la Semarnat (2020), el estado de Chihuahua es uno de los mayores productores de madera aserrada en México. Sin embargo, los niveles de rendimiento de transformación y productividad de los aserraderos son desconocidos y no estudiados, incluso desde una perspectiva económica. Adicionalmente, con observaciones empíricas se han identificado numerosas variables que causan un bajo rendimiento en los productos de madera. Estas variables se pueden evaluar analizando el coeficiente de aserrado, el rendimiento de productos y desechos, y la determinación de ingresos basados en la producción.

OBJETIVOS

Los objetivos de este estudio fueron: 1) Comparar la producción de aserraderos tradicionales y modernos en función del coeficiente de aserrado, el rendimiento total del producto y los ingresos económicos generados. 2) Identificar los tipos de productos y subproductos generados en la industria maderera. 3) Estimar la distribución volumétrica de los productos generados en la industria maderera. 4) Determinar el valor económico de los diversos productos obtenidos tras el proceso de asierre.



MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el municipio de Guachochi, en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, en el estado de Chihuahua en el noroeste de México. La región alberga ecosistemas de bosques templados fríos con diversos tipos de bosques dispuestos verticalmente a lo largo de gradientes altitudinales que van desde los 1400 m a los 2700 m sobre el nivel del mar (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2014). El clima predominante en la región es semifrío húmedo con una temperatura media anual entre 5 °C y 12 °C y una precipitación media anual de 621 mm (Inegi, 2008).

Para el desarrollo de esta investigación, se evaluaron dos tipos de maquinaria de aserrado. El primer tipo, a menudo denominado "aserradero de sierra banda", que en este documento se denominará "aserradero tradicional", consta de una torre principal estacionaria con cuchillas de corte orientadas verticalmente (máquina principal) y vagones de transporte de troncos (carro escuadra) y mecanismos manuales para el calibrado de los espesores de la madera aserrada. El segundo tipo de maquinaria denominado "aserradero moderno" consiste en un sistema computarizado con el cual se determina la dimensión y secuencia de los cortes en función de la forma y el tamaño del tronco. Dentro de este sistema las cuchillas de corte son más delgadas y están orientadas horizontalmente mientras la plataforma está estática. A partir del 2021 se tomaron medidas de un aserradero tradicional propiedad de la

empresa "Productos Peinado", ubicada en la ciudad de Guachochi, Chihuahua. De igual manera, se recolectó información en tres aserraderos modernos propiedad de los ejidos Tónachi, Tetahuichi y Santa Anita dentro del municipio de Guachochi.

Descripción técnica de los aserraderos

La maquinaria del aserradero tradicional de Productos Peinado está compuesta por una torre principal vertical con volantes de 1473 mm de diámetro. Las sierras de cinta tienen 230 mm de ancho y 1.6 mm de espesor. Los troncos se mueven mediante un carro porta troncos de tres escuadras con un sistema de calibrado que se ajusta manualmente según el diámetro del tronco.

Los tres ejidos con aserraderos modernos incluidos en este estudio cuentan con aserraderos horizontales y sierras de corte fino. El ejido Tónachi utiliza un equipo Select de doble corte (corte frontal y en retroceso) de fabricación canadiense y una reaserradora (cabezal de corte múltiple) marca DIMSA, de fabricación nacional con tres sierras horizontales. El ejido Tetahuichi emplea un aserradero Baker y una reaserradora de la misma marca, de fabricación estadounidense. Finalmente, el ejido Santa Anita cuenta con un equipo MEBOR, fabricado en Eslovenia, que es capaz de cortar en dirección frontal y en retroceso, además cuenta con un equipo de cortes múltiples DIMASA, similar al Ejido Tónachi. Las especificaciones de los equipos de aserrado se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. Especificaciones de equipos de los aserraderos y sierras involucradas en el estudio.

Nombre del aserradero	Maquinaria	Dirección de corte	Diámetro de la sierra de corte y ancho de corte (mm)	Tecnología
Productos Peinado	Sierra banda	Unidireccional	230 x 1.6	Tradicional
Ejido Tónachi	Select 4221	Bidireccional	152 x 1.2	Moderno
	Dimsa GRHZ		32 x 1.0	
Ejido Tetahuichi	Baker 3650E	Unidireccional	38 x 1.0	Moderno
	Baker CX		32 x 1.0	
Ejido Santa Anita	Mebor HTZ1100	Bidireccional	140 x 1.1	Moderno
	Dimsa GRHZ		32 x 1.0	

Rendimiento de la madera

Después de que los troncos se transformaron en madera, se calculó el coeficiente de aserrado, que es el porcentaje del volumen inicial de troncos en comparación con la producción de madera. Es decir, una vez determinado el volumen de madera aserrada, se comparó con el volumen de la troza de materia prima inicial que se utilizó para producirla. El coeficiente de aserrado se determinó en porcentaje. Se empleó la siguiente ecuación (Nájera et al., 2006; Ortiz et al., 2016):

$$C.A. = \frac{VA}{VR_{sc}} \cdot 100$$

donde:

C.A. = coeficiente de aserrado, coeficiente de aserrío, coeficiente de transformación maderable

VA = volumen de madera en escuadria generada tras el proceso de aserrado (m^3)

VR_{sc} = volumen de madera en rollo sin corteza (m^3)

El rendimiento en madera aserrada por espesor nominal, ancho y largo, productos secundarios y residuos sólidos (aserrín, astilla, corteza y leña) se determinó con la siguiente relación (Quirós et al., 2005; Nájera, et al., 2011):

$$R = \frac{VP}{VR_{sc}} \cdot 100$$

donde:

R = rendimiento de aserrado

VP = volumen del producto obtenido tras el proceso de aserrado (m^3)

VR_{sc} = volumen de madera en rollo sin corteza (m^3)

Determinación de productos e ingresos obtenidos del proceso de aserrado

Los ingresos generados por los aserraderos se determinaron con base en la venta de la madera aserrada y otros productos diversos generados en cada uno de los aserraderos, se incluyeron productos secundarios como habilitado para caja de empaque (tableta) y habilitado para palo de escoba (palillo), también los residuos sólidos como

corteza, aserrín, astilla y leña. El valor obtenido por estos productos secundarios se estimó con base en el precio estimado para la región sur del estado de Chihuahua (Vargas-Sánchez et al., 2018) y el Anuario Estadístico de Producción Forestal del año 2017 (Semarnat, 2020). Las cifras monetarias se convirtieron a dólares estadounidenses (USD) con base en el tipo de cambio promedio durante el año 2022 (20.49 MXN por 1.00 USD) (Banco de México [Banxico], 2022).

Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias estadísticas entre los aserraderos tradicionales y los modernos, se realizaron análisis de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), las variables de análisis fueron los rendimientos medios estimados de cada producto generado en el proceso de aserrado y las medias de la distribución del valor monetario de los diferentes productos obtenidos. Para contrastar las variables entre ambos tipos de tecnología (aserradero tradicional y aserraderos modernos) se realizaron pruebas *t* de Student para muestras independientes a un $p < 0.05$ bajo una hipótesis bilateral. El análisis estadístico descrito anteriormente se realizó en el programa IBM SPSS Statistics versión 25 (International Business Machines [IBM Corp.], 2017).

RESULTADOS

Características de los troncos de pino analizados

Un total de 404 trozas de pino fueron transformadas en madera aserrada con las dimensiones indicadas en la tabla 2. El tamaño de la muestra se estimó con base en una población conocida de trozas con un error de muestreo de 5.00%; en función de lo anterior, se estimó una población de análisis de 96 trozas de pino por aserradero. Una vez seleccionados y marcados los troncos, se midieron para determinar su volumen con y sin corteza, el volumen total se estimó en 205.55 m^3 rollo (m^3 r) con corteza y 181.74 m^3 r sin corteza con base en la fórmula de Smalian (Husch et al., 2003).



TABLA 2. Estadísticos descriptivos de las trozas integradas en el proceso de asierre por industria.

Aserradero	No. trozas	Error de muestreo (%)	Diámetro (mm)		Longitud (mm)		Conicidad		Volumen (m ³)	
			Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
*Productos Peinado	108	4.72	293.11	71.94	4 783.19	485.47	1.45	0.80	46.17	0.21
Ejido Tónachi	108	4.72	325.22	51.48	4 950.92	199.92	1.31	0.64	55.01	0.16
Ejido Tetahuichi	87	5.26	354.09	100.20	5 159.66	368.56	0.83	0.68	52.79	0.33
Ejido Santa Anita	101	4.88	321.96	79.03	4 972.16	411.11	1.22	0.73	51.58	0.25

D.E.: desviación estándar. * Denota el aserradero tradicional de sierra banda; ^ Denota los aserraderos modernos de corte fino horizontal.

Coeficiente de aserrado

Al considerar los aserraderos tradicionales y modernos se estudió un volumen total de madera de 205.55 m³ r con corteza, equivalente a 181.74 m³ r sin corteza, de los cuales se produjo un volumen total de madera de 93.51 m³, correspondiente a una producción de madera aserrada de 0.5454 m³ (231.14 pies tabla [pt]) por metro cúbico de troncos de pino; esto representa un coeficiente de aserrado de 45.49 al considerar el volumen inicial de trozas con corteza y 51.45% sin corteza, lo que significa que la influencia de la corteza disminuye el coeficiente de aprovechamiento de 5.96%.

El aserradero tradicional Productos Peinado utilizó un volumen de madera sin corteza de 40.31 m³ r, para producir 18.47 m³ de producto vendible, con un coeficiente de aserrado de 45.82%, equivalente a 194.17 pt por metro cúbico de trozas de pino, esto representa un rendimiento inferior a los demás aserraderos. Con los aserraderos modernos, Ejido Tónachi procesó un total de 49.52 m³ r de madera sin corteza con un rendimiento de aserrado de 52.63%, lo que resultó en 26.06 m³ de madera y 223 pt por metro cúbico de madera en rollo. El ejido Tetahuichi que también utilizó un aserradero moderno obtuvo un coeficiente de aserrado de 54.64% luego de la transformación de 46.30 m³ r sin corteza en 25.30 m³ de madera, equivalente a 231.56 pt por metro cúbico. Finalmente, el ejido Santa Anita con aserradero moderno sometió a transformación 45.61 m³ r de madera sin corteza, lo que genera un volumen

de 24.04 m³ de madera aserrada, el coeficiente de aprovechamiento resultó en 52.71% y una productividad de 228.11 pt por metro cúbico de madera en rollo industrializada en el proceso aserrado.

El aserradero del Ejido Tetahuichi tuvo el mayor coeficiente de aprovechamiento, ya que utilizó como materia prima árboles de mayor diámetro (354.09 mm en el menor diámetro con corteza), lo que le permitió producir tablas más anchas y vigas de 88.90 mm (3 1/2"). La mayor longitud promedio (5159.66 mm) facilitó más productos de longitud nominal de 4876.8 mm (16'). Este aserradero también produjo el valor más bajo en términos de conicidad o ahusamiento del tronco (Cuadro 2), lo que resultó en un mayor aprovechamiento de la madera. Por su parte, el aserradero tradicional (Productos Peinado) resultó con el coeficiente de aserrado más bajo, lo que se atribuye al menor diámetro medio del árbol (293.11 mm), junto con longitudes más cortas y variables (4783.19 mm) y mayor conicidad (1.45 cm). Además, este aserradero no genera vigas de 88.90 mm (3 1/2") que permitirían aumentar los rendimientos debido a los mayores espesores nominales.

Rendimiento volumétrico por espesor nominal de la madera aserrada

La producción de aserraderos en la región de Guachochi se concentra principalmente en el espesor nominal de 22.23 mm (7/8") (34.05%); seguido de la madera de 31.75 mm (5/4") que aporta 11.88%; y la de 38.10 mm

(6/4"), tablones que representan 1.98% de la producción total. Finalmente, las vigas de 88.90 mm (3 1/2") representan 3.54% del volumen total aserrado dentro de estos centros de transformación. Así, por cada metro cúbico de materia prima de madera en rollo que es aserrada, se tiene un rendimiento de 144.29 pt con espesor nominal de 22.23 mm (7/8"), 50.34 pt de 31.75 mm (5/4"), 8.39 pt de tablones de 38.10 mm (6/4") y 15.00 pt en forma de vigas. La figura 1 muestra que la producción por grueso de madera difirió según la metodología de transformación del aserradero, la presencia de reaserradora permitió a los aserraderos modernos producir vigas (88.90 mm).

Rendimiento volumétrico por ancho nominal de la madera aserrada

El rendimiento volumétrico general por ancho nominal se muestra en la figura 2, donde la categoría de 203.20 mm (8") se compone de 16.72% de la producción, el ancho nominal de 152.4 mm (6") representa 15.78% y las categorías de ancho nominal de 101.6 mm, 254.0 mm y 304.8 mm (4", 10" y 12") representan 18.96 % del rendimiento total. Con base en esta información, se estima que por cada metro cúbico de madera en rollo resulta la producción de 40.39 pt de 101.60 mm (4") de ancho nominal; 66.9 pt de madera de 152.4 mm (6") de ancho; 70.84 pt en el ancho de 203.2 mm (8"); 16.96 pt en 254.0 mm (10") de ancho y 7.84 pt en 204.80 mm (12") de ancho.

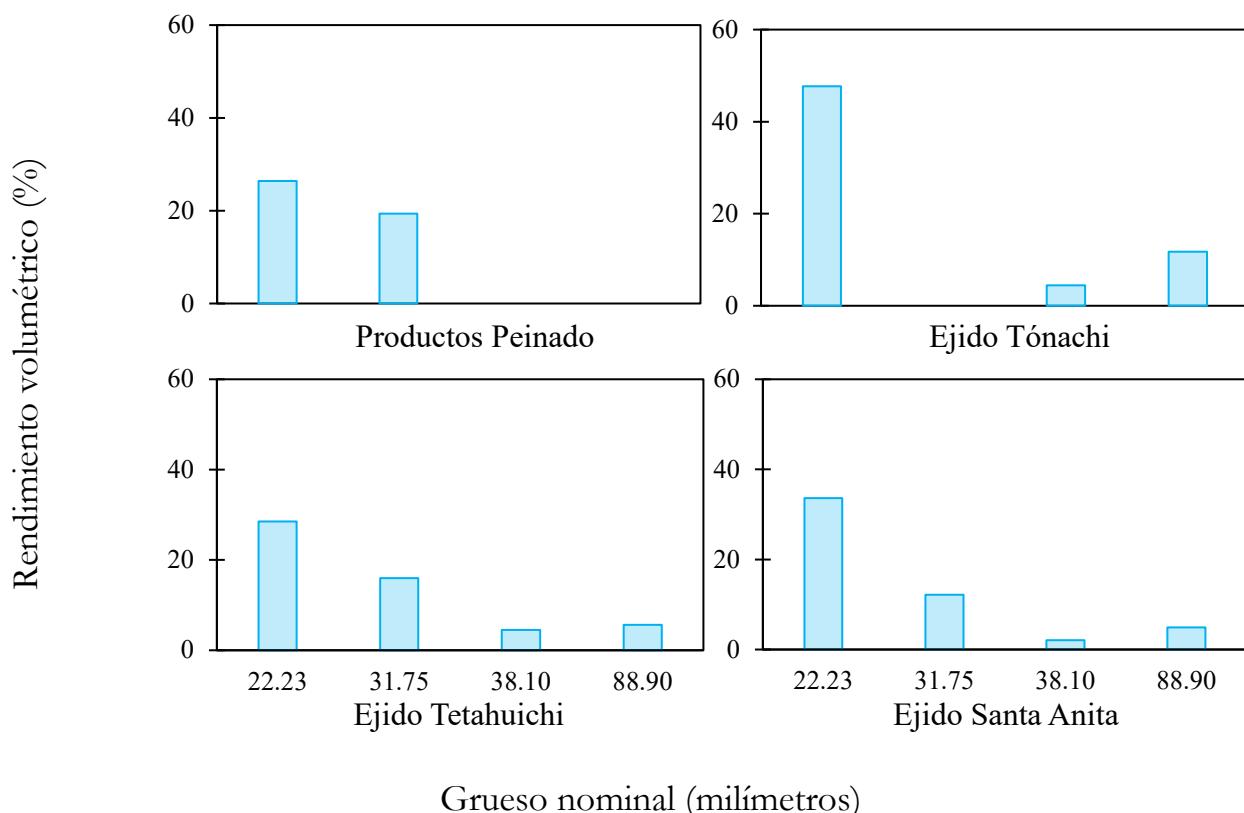


FIGURA 1. Rendimiento de las clases de diámetro nominal de la madera generada dentro de cada aserradero. Los gruesos nominales a los que se asierra la madera son: 22.23 mm, 31.75 mm, 38.10 mm y 38.10 mm (7/8", 5/4", 6/4" y 3 1/2").

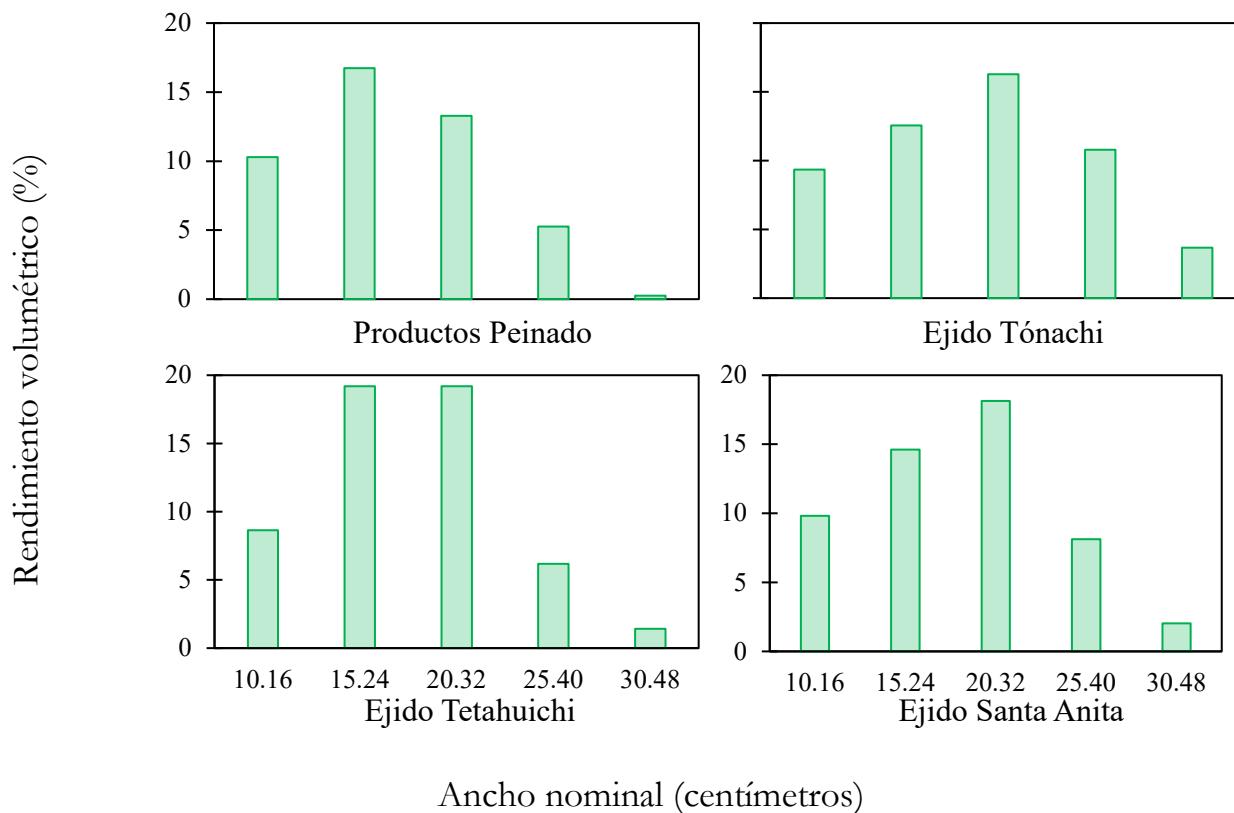


FIGURA 2. Distribución del rendimiento de clases de ancho nominal en madera aserrada generada en los aserraderos analizados. Los anchos nominales a los que se asierra la madera son: 101.60 mm, 152.40 mm, 203.20 mm, 254.00 mm y 304.80 mm (4", 6", 8", 10" y 12").

Rendimiento volumétrico por longitud nominal de madera aserrada

La distribución del rendimiento volumétrico por longitud nominal varió de 121.92 cm a 487.68 cm (4' a 16'), las piezas de madera de 487.68 cm (16') representaron el valor más alto en rendimiento, 39.32% del volumen aserrado total (Fig. 3). Los largos que produjeron menor volumen corresponden a 121.92 cm y 182.88 cm (4' y 6') con rendimientos de 0.35% y 0.54%, respectivamente. En general, los ejidos y la empresa Productos Peinado generan principalmente madera de 487.68 cm (16') de largo; por su parte, el ejido Tetahuichi es la única empresa que no genera productos de 121.92 cm, 182.88 cm, 304.80 cm y 426.72 cm (4', 6', 10' y 14') de largo.

Rendimiento volumétrico de productos secundarios

Tradicionalmente, en el noroeste de México, se utilizan las piezas de madera residual después del corte de sierra inicial. Las piezas resultantes se denominan "capote" y se utilizan principalmente para producir cajas de embalaje agrícola (cajas de madera). Además, durante el proceso de dimensionado del ancho de la madera se generan piezas de madera más largas llamadas "costeras" que se utilizan en la elaboración de palos de escoba. En el estado de Chihuahua estos productos secundarios del proceso de aserrado son denominados "beneficio del aserrado". En este estudio también se contabilizó y registró la cantidad de productos secundarios generados, se estimó un volumen total de 4.57

m^3 transformados en cajas habilitadas para empaque agrícola (tableta), equivalente a 2.51% del rendimiento total. Por su parte, los productos de palo de escoba (palillo) generaron un volumen final de 6.13 m^3 , lo que representa 3.37% del rendimiento total. El aserradero tradicional

Productos Peinado fue el que produjo el mayor volumen de cajas de madera con 1.13 m^3 . El aserradero moderno del ejido Tetahuichi tuvo la mayor producción de palos de escoba con 1.86 m^3 (Fig. 4).

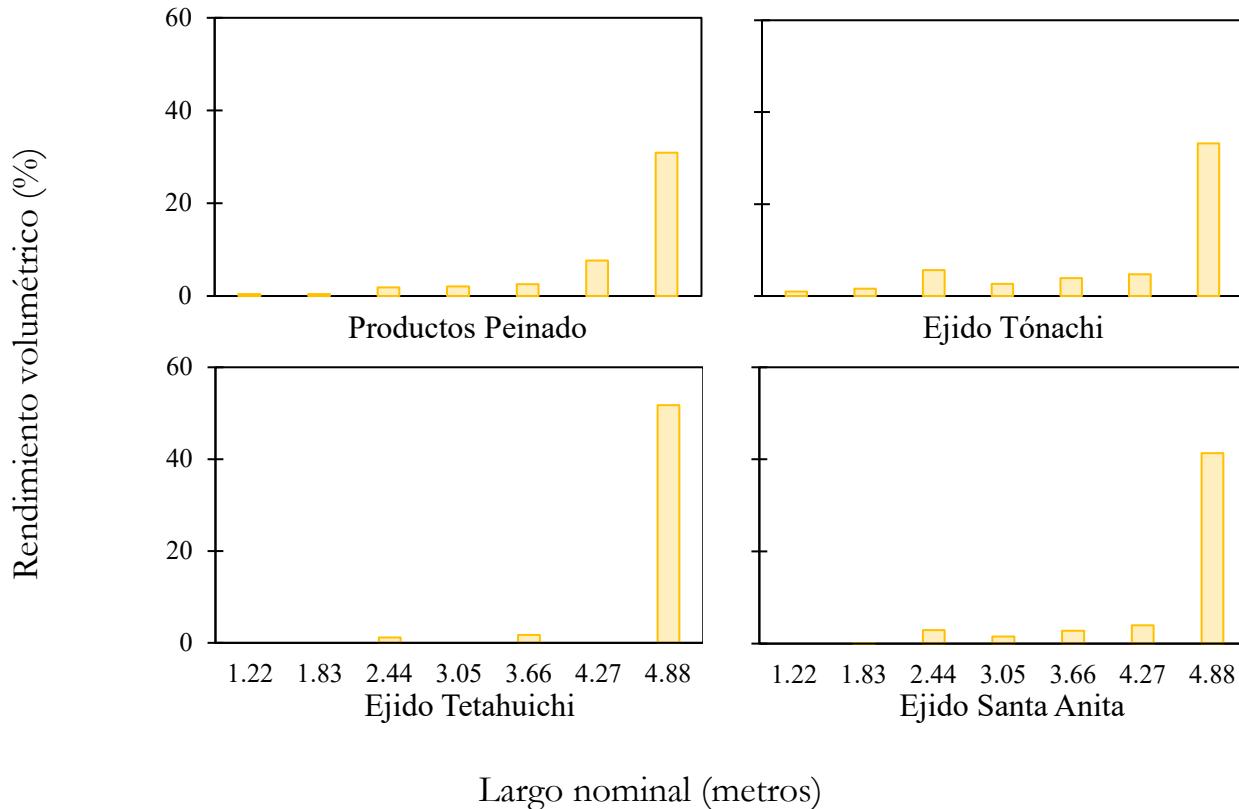


FIGURA 3. Rendimientos de madera aserrada por clases de longitud nominal en la generada en los aserraderos analizados. Los largos nominales a los que se asadera la madera son: 121.92 cm, 182.88 cm, 243.84 cm, 304.80 cm, 365.76 cm, 426.72 cm y 487.68 cm (4', 6', 8', 10', 12', 14' y 16').

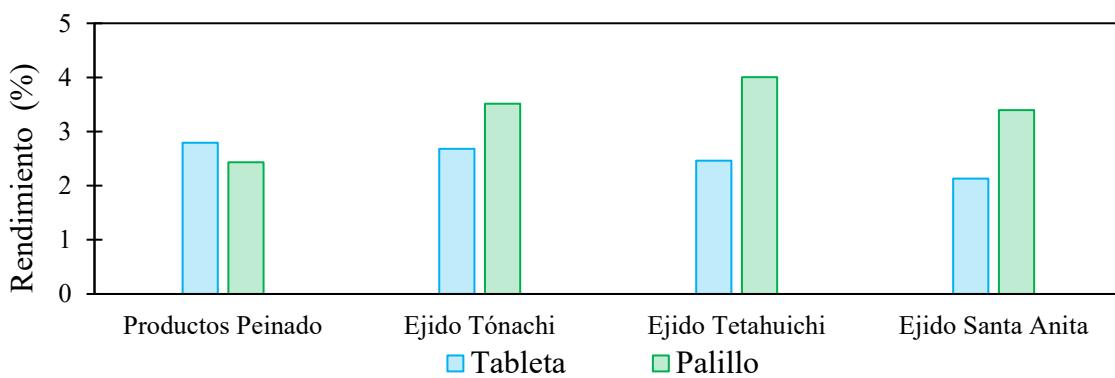


FIGURE 4. Rendimiento de habilitado para caja de empaque y palo para escoba de los aserraderos evaluados.



Rendimiento volumétrico de partículas y residuos sólidos

Al final del proceso de producción de la madera también se generan residuos sólidos dentro del aserradero en forma de partículas y leña. Las partículas de aserrín y astillas de madera generalmente se venden a empresas que las transforman en productos sólidos como tableros de fibra de densidad media (MDF), o se comercializan para producir biomasa para bio-energía. La corteza asociada a la troza de pino representa 11.63% del volumen total. El ejido Tónachi generó 9.97% de corteza en función del volumen total de las trozas. Las partículas de aserrín representan un residuo generado directamente del proceso de aserrado. En el aserradero tradicional Productos Peinado 25.00% de la materia prima que ingresó a la instalación se transformó en aserrín. Dentro del moderno aserradero del ejido Santa Anita, el aserrín constituyó 16.58% del volumen total de producción. Por tanto, en conjunto, las empresas generaron un rendimiento de aserrín de 19.51% del volumen total, equivalente a 35.46 m³. La astilla de madera es la partícula derivada de la trituración de residuos sólidos, este desecho generó un rendimiento volumétrico total de 39.94 m³, lo que representa 21.90% de los productos comerciales generados en las industrias estudiadas. Finalmente, los combustibles domésticos son resultado de los residuos generados tras la generación de productos secundarios, la leña representa 4.40% (1,77 m³) del rendimiento en Productos Peinado (Fig. 5).

Contraste de productos y residuos sólidos

Según el análisis estadístico mediante la prueba *t* de Student, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cinco de las diez variables evaluadas. Principalmente, se encontró una diferencia en el coeficiente de aserrado de los aserraderos modernos en comparación con el aserradero tradicional. El aserradero tradicional Productos Peinado produjo un coeficiente de asierre menor (45.82%) en comparación con los tres aserraderos modernos que produjeron un promedio de 53.32%. Estas diferencias son el resultado directo de los productos generados por la maquinaria dentro de los aserraderos. En general, cuanto mayor es el espesor y ancho de la madera, mayor es el coeficiente de aserrado.

La producción de palo de escoba presentada difirió entre los aserraderos tradicionales y modernos, principalmente por las prácticas que se desarrollan dentro de las industrias, la venta de leña tiene un efecto en la generación de palo de escoba por parte de Productos Peinado, ya que parte del producto (palo de escoba) que se puede producir se comercializa como combustible doméstico. Por otro lado, las variables viga y leña presentaron evidentes diferencias estadísticas, esto debido a la ausencia de producción de estos productos por parte de las empresas contrastadas, el resto de las variables no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de aserraderos comparados.

Asimismo, la producción de aserrín difirió significativamente entre el aserradero tradicional que generó un mayor volumen de aserrín (25.00%) en comparación con los aserraderos modernos (17.92%) como se muestra en la tabla 3. Las mayores cantidades de aserrín asociadas con el aserradero tradicional probablemente estén relacionadas con el calibre de la hoja de corte (1.6 mm), que es más gruesa que las hojas promedio de las industrias modernas (1.05 mm). Además, la producción de aserrín está influenciada por los patrones de corte utilizados y la cantidad de cortes realizados en la producción de madera.

Ingresos monetarios obtenidos por la venta de productos

Se elaboró una estimación de ingresos monetarios donde se utilizaron los mismos precios para todos los productos de madera. Se encontraron diferencias en los ingresos monetarios entre los tres aserraderos relacionados con la diversidad de productos generados y la productividad. Con base en la cantidad de pies tabla generados por cada aserradero incluyendo tableros, tablones y vigas (Tabla 4), se estimó que el aserradero moderno del ejido Tónachi presenta los mayores ingresos por la venta de tableros. De manera similar, el moderno aserradero del ejido Tetahuichi tuvo el mayor ingreso económico por la venta de tablones y vigas. Por el contrario, el aserradero tradicional de Productos Peinado presentaba los ingresos más bajos debido a su baja productividad y menor diversidad de productos.

TABLA 3. Comparación de productos obtenidos entre el aserradero tradicional y los tres aserraderos modernos.

Variable	Aserradero	Media	LI (95)	LS (95)	T	p
Coeficiente de aserrado	Tradicional	0.46	-0.103	-0.047	-11.457	0.008
	Modernos	0.53				
Tablas (22.23 mm)	Tradicional	0.46	-0.041	0.038	-0.163	0.886
	Modernos	0.46				
Tablón (31.75 mm y 38.10 mm)	Tradicional	0.00	-0.068	0.015	-2.746	0.111
	Modernos	0.03				
Vigas (88.90 mm)	Tradicional	0.00	-0.073	-0.022	-7.925	0.016
	Modernos	0.05				
Tableta	Tradicional	0.03	-0.003	0.011	2.297	0.148
	Modernos	0.02				
Palillo	Tradicional	0.02	-0.020	-0.004	-6.464	0.023
	Modernos	0.04				
Corteza	Tradicional	0.13	-0.015	0.044	2.054	0.176
	Modernos	0.11				
Aserrín	Tradicional	0.25	0.042	0.100	10.491	0.009
	Modernos	0.18				
Astilla	Tradicional	0.20	-0.093	0.030	-2.190	0.160
	Modernos	0.23				
Leña	Tradicional	0.04	0.440	0.440	1.38E+20	0.000
	Modernos	0.00				

Nota: LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior; T: estadístico de t.

TABLA 4. Ingresos monetarios por la comercialización de la producción de madera aserrada para 4 aserraderos en Chihuahua México.

Aserradero	Tabla (pt)	Ingreso (USD)	Tablón (pt)	Ingreso (USD)	Polín (pt)	Ingreso (USD)
Productos Peinado	3 589	1 649.63	-	-	-	-
Ejido Tónachi	5 268	2 330.33	150	71.14	398	146.00
Ejido Tetahuichi	4 770	2 176.16	485	232.59	605	221.68
Ejido Santa Anita	4 666	2 121.75	208	99.84	500	183.20



Se analizó el ingreso monetario por productos del beneficio de asierre para los cuatro aserraderos, con resultados que muestran diferencias en los ingresos estimados principalmente en la producción de palo de escoba, donde el ejido Tetahuichi superó en 92.89% los ingresos obtenidos por Productos Peinado. Esto indica diferencias en el aprovechamiento de los residuos sólidos producidos en el proceso de aserrado. En cuanto a las cajas de madera, los ingresos no presentaron diferencias significativas entre aserraderos (Tabla 5).

Los volúmenes de residuos sólidos producidos por los aserraderos presentan diferencias relacionadas con la calidad de la madera en rollo, el calibre de sierra utilizado y los procesos de comercialización del producto. En la tabla 6 se observa que únicamente Productos Peinado obtiene ingresos por la venta de leña y de aserrín (la sierra es 65.62% más gruesa que la media del resto).

Contraste del ingreso monetario

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre cinco de las diez variables del producto evaluadas. Los productos primarios aserrados fueron los que representaron las principales diferencias estadísticas, las tablas (22.23 mm) se generaron en todas las industrias, los tablones (31.75 mm y 38.10 mm) y la viga (88.90 mm) no se produjeron en el aserradero tradicional de Productos Peinado. El aserradero tradicional tuvo los ingresos más bajos por la venta de tablas, derivado de un bajo coeficiente de aserrado en comparación con los otros tres aserraderos modernos (Tabla 7). En cuanto a los ingresos monetarios obtenidos por la venta del beneficio de asierre, la comercialización de palo de escoba presentó diferencias significativas. Por el contrario, Productos Peinado obtuvo un ingreso inferior al promedio estimado para el resto de empresas en la venta de astilla. Por su parte, la venta de leña presentó diferencias significativas, debido a que solo Productos Peinado comercializa este tipo de producto.

TABLA 5. Ingresos monetarios de producción secundaria para cuatro aserraderos de Chihuahua.

Aserradero	Caja de empaque (Piezas)	Ingreso (USD)	Palillo (Piezas)	Ingreso (USD)
Productos Peinado	114	44.49	439	53.69
Ejido Tónachi	151	59.16	668	81.65
Ejido Tetahuichi	134	52.22	847	103.56
Ejido Santa Anita	108	42.39	713	87.18

TABLA 6. Ingresos monetarios obtenidos por la comercialización de partículas y producción de residuos sólidos.

Aserradero	Corteza (m ³)	Ingreso (USD)	Aserrín (m ³)	Ingreso (USD)	Astilla (m ³)	Ingreso (USD)	Leña (m ³)	Ingreso (USD)
Productos Peinado	5.86	10.02	10.08	24.64	7.88	46.25	1.77	27.72
Ejido Tónachi	5.48	9.39	9.18	22.44	11.21	65.76	-	-
Ejido Tetahuichi	6.49	11.10	8.64	21.12	9.37	54.96	-	-
Ejido Santa Anita	5.98	10.22	7.56	18.48	11.48	67.38	-	-

TABLA 7. Análisis comparativo de los ingresos obtenidos entre aserradero tradicional y tres aserraderos modernos.

Variable	Aserradero	Media (%)	LI (95)	LS (95)	T	p
Tablas (22.23 mm)	Tradicional	1662.02				
	Modernos	2 225.99	-834.77	-293.18	-0.44	0.012
Tablón (31.75 mm y 38.10 mm)	Tradicional	0.00				
	Modernos	135.53	-351.12	80.06	-0.13	0.015
Vigas (88.90 mm)	Tradicional	0.00				
	Modernos	185.02	-279.79	-90.25	-0.41	0.014
Tableta	Tradicional	44.80				
	Modernos	51.63	-27.95	14.29	-0.07	0.299
Palillo	Tradicional	54.06				
	Modernos	91.46	-65.88	-8.91	-0.28	0.0300
Corteza	Tradicional	10.10				
	Modernos	10.31	-2.35	1.93	-0.02	0.715
Aserrín	Tradicional	24.83				
	Modernos	20.84	-1.06	9.04	0.17	0.077
Astilla	Tradicional	46.59				
	Modernos	63.17	-33.47	0.31	-0.21	0.052
Leña	Tradicional	27.95				
	Modernos	0.00	27.95	27.95	8.77E+21	0.000

Nota: LI: Límite Inferior; LS: Límite Superior; T: estadístico de t.

DISCUSIÓN

Basados en un aserradero tradicional en el estado de Durango, Nájera et al. (2012) registraron un coeficiente de aserrado de 61.64% (rendimiento sin corteza), equivalente a obtener 261 pt por cada metro cúbico de madera en rollo.

Manhiça et al. (2012) encontraron un rendimiento con sistema de corte tradicional de 49.01% y hasta 52.14% con sistema de aserrado programado. Reyes (2013) obtuvo 43.00% de rendimiento de madera con base en 1328 trozas de pino procesadas. Finalmente, Borz et al. (2021)



evaluaron la cosecha de pícea de Noruega y abeto blanco en un aserradero de corte fino de pequeña escala en Rumania. Consideraron la transformación de 26 m³ de madera en rollo, de los cuales estimaron un coeficiente de aserrado que varió ampliamente entre 38.80% y 95.00%, con un promedio de aproximadamente 69.00%. En el presente estudio se estimó un coeficiente de 45.82%, equivalente a 194.2 pt por metro cúbico de troncos de pino para el aserradero tradicional; en cuanto a los aserraderos de corte fino, se estimó un coeficiente de aserrío de 54.64%, equivalente a obtener 231.6 pt por metro cúbico de madera en rollo. Estos resultados son similares a los encontrados en otros estudios, con la excepción del trabajo realizado por el equipo rumano, que supera el desempeño de las industrias modernas evaluadas aquí. Esto se debe a los diagramas de corte utilizados, las características del equipo de aserrado y las características dimensionales de los troncos, ya que estos son de mayor dimensión que las trozas involucradas en el proceso de aserrado efectuado para este análisis.

Manhiça et al. (2012) indican que las características de la materia prima afectan a la productividad de la industria, principalmente porque la materia prima no es homogénea y presenta defectos dimensionales; por otro lado, Nájera-Luna et al. (2013) encontraron que la conicidad de las trozas de diámetro pequeño no tiene un efecto directo sobre el rendimiento maderable. En esta investigación, el coeficiente de aserrado se vio afectado por diferentes factores: la conicidad o ahusamiento del tronco, las características de la materia prima, el diámetro y la calidad de los troncos; particularmente, la conicidad fue un factor importante en la productividad maderera de los aserraderos. Leyva et al. (2020) mencionan que en las industrias aserradoras se puede mejorar el rendimiento, pero es necesario tomar en cuenta diversos factores que caracterizan la materia prima (troncos), ya que presentan variabilidad en propiedades como calidad, longitud, diámetro y conicidad; asimismo, recomiendan considerar el esquema de corte y tipo de sierra empleada. Leyva et al. (2017) plantean que la falta de clasificación de la madera en rollo y definición de diagramas de corte por clase

diamétrica, provocan un uso ineficiente de las trozas, lo que conlleva a una mayor generación de subproductos y residuos sólidos. Todos los aserraderos que fueron evaluados en este estudio clasifican su materia prima de acuerdo con su diámetro y longitud, sin embargo, no clasifican de acuerdo con la calidad, esto quiere decir que no existe un control de producción previo a la industrialización, lo cual no permite aumentar la productividad y aprovechamiento eficiente de los recursos maderables.

Los resultados de este estudio varían según el espesor nominal de la madera. En comparación, Nájera et al. (2011) mencionan una producción de madera 11.65% menor en grueso de 22.23 mm (7/8"), 2.02% mayor en madera de 31.75 mm (5/4"), 5.52% mayor para 38.10 mm (6/4") y 10.06% mayor para vigas. Estos datos indican una menor proporción de madera gruesa en la mayoría de los casos y un mayor porcentaje de madera delgada en la región Guachochi de Chihuahua, lo que representa una pérdida de 5.96% en el rendimiento de madera aserrada en comparación con la región de El Salto del estado de Durango donde Nájera et al. (2011) realizaron su estudio.

Ortiz et al. (2016) encontraron que el mejor rendimiento con base en el ancho nominal proviene principalmente de madera de 304.80 mm (12"), que comprende 54.18% del volumen total de producción en un aserradero tradicional dentro de ese estado de Oaxaca. Ese mismo estudio también encontró que los anchos nominales de 152.4 mm, 203.20 mm y 254.00 mm (6", 8" y 10") representan 40.30%, mientras que los de 101.60 mm (4") representan solo 5.50%. En comparación, esta investigación encontró que las categorías de 152.4 mm y 203.20 mm (6" y 8") representan 63.15% de la producción, mientras que las categorías de ancho nominal de 101.60 mm, 254.00 mm y 304.80 mm (4", 10" y 12") representan 36.84%, esta última dimensión es la de menor producción en los cuatro aserraderos evaluados. La diferencia entre estos estudios probablemente se deba a la distribución de productos que demanda el mercado regional y se relacione principalmente con el diámetro promedio de la troza y su longitud, ya que el estado de Oaxaca comercializa

principalmente madera en rollo de 2.44 m (8') y el estado de Chihuahua de 487.68 cm (16') de largo.

Valério et al. (2007) encontraron que los residuos sólidos generados en el proceso de producción de madera variaban de 25.05% a 44.83% dependiendo de los diámetros de las trozas de *Araucaria angustifolia* en un aserradero tradicional brasileño. Según Nájera et al. (2011), el porcentaje promedio de generación de residuos se estima en 42.50 %. De igual forma, Ortiz et al. (2016) registraron 55.82% de residuos sólidos generados en función del rendimiento del aserradero estudiado, ambos en aserraderos tradicionales de sierra banda. Por su parte, esta investigación presenta residuos sólidos de 54.33% (se consideran productos de beneficio de asierre). Los resultados encontrados en otras investigaciones son consistentes con lo descrito en este estudio, con excepción del trabajo desarrollado por Valério et al. (2007), cuyo equipo supera el rendimiento de residuos sólidos hasta en 29.00% aproximadamente, es decir, su equipo fue más eficiente, ya que genera menor volumen de residuos.

Alcántara de Cerqueira et al. (2012) describen que los principales residuos sólidos generados en los aserraderos brasileños y su distribución son leña (25.43%), aserrín (23.40%) y astillas de madera (12.77%). Balderrama-Castañeda et al. (2011) indican que, en los aserraderos del estado de Chihuahua, la generación de residuos presenta una proporción de 26.20% para astillas, 14.50 a 19.50 % para aserrín y hasta 9.30 % para corteza de pino. Este estudio encontró un rendimiento promedio de 19.51% para aserrín, 11.63% para corteza de pino, 21.90% para astillas de madera y 1.02% para leña. En comparación con los resultados del presente estudio, el correspondiente brasileño muestra un alto volumen de producción de leña, lo que se debe a que no se producen productos secundarios de madera; Por otro lado, el estudio realizado en el estado de Chihuahua menciona un mayor volumen de astillas de madera, lo que probablemente refleja un porcentaje significativo de producto secundario perdido en forma de partículas.

Con un aserradero tradicional en Brasil, Biasi y Pereira da Rocha (2007) estimaron que estos aserraderos producían

entre 8.78% y 10.20% de aserrín en un sistema de aserrío de madera tropical y un promedio de 41.21% en la generación de otros residuos sólidos. Por su parte, Lolila et al. (2021) realizaron un estudio en Tanzania, donde evaluaron la eficiencia de dos aserraderos de pequeña escala con diferentes tecnologías de corte, encontraron que los aserraderos modernos son más eficientes en la transformación de troncos en madera aserrada, también su análisis reveló que existe una pérdida de producto de 16.00% o más en los aserraderos antiguos en comparación con las industrias modernas en forma de aserrín y otros residuos. Además, su estudio sugiere que el uso de hojas de corte más delgadas reduce el desperdicio de madera en 25.00% en comparación con las sierras cintas tradicionales. Esta investigación encontró una generación mínima de 16.58% de aserrín en los aserraderos modernos y un máximo de 25.00% en la industria tradicional, en cuanto al resto de los residuos sólidos se estimó un promedio de 35.50%. La variación presentada entre ambos estudios se atribuye a la elaboración de productos secundarios. Al igual que en los trabajos antes mencionados, se encontró que los aserraderos modernos son más eficientes en la generación de productos y producen un menor volumen de residuos, estos resultados se atribuyen al grosor de la hoja de corte utilizada en el proceso; por tanto, cuanto más gruesa sea la sierra, más probable es que aumente el porcentaje de aserrín.

Rascón-Solano et al. (2020) indican que el principal producto forestal comercializado en el norte de México es la madera aserrada, agregan que la adecuada clasificación y venta de los productos aserrados logran un aumento en los ingresos de las empresas forestales, lo que resulta en incrementos de hasta 34.00% en los ingresos frente a las condiciones de venta de madera aserrada no clasificada. Según Dieste et al. (2019), en Uruguay los productos de madera que más valor generan son los productos madereros obtenidos destinados a la industria de la construcción, estos productos incluirían madera de apariencia y estructural, además de madera laminada, tableros de madera laminada y madera contrachapada. Además, las vigas tienen el mayor valor de mercado,



mientras que los productos de partículas, como los tableros de fibra de densidad media y los tableros de virutas orientadas son productos que suelen presentar los valores más bajos del mercado. Lindberg et al. (2012) mencionan que, durante el procesamiento de la madera en rollo, alrededor de 50.00% se transforma en tableros y madera aserrada, mientras que el resto del aserrín, astillas y otros residuos se utilizan típicamente como combustible de biomasa. Por otro lado, los residuos sólidos se transforman en paneles de fibra y otros productos con valor de mercado (Ramage et al., 2017). Finalmente, en el norte de México, 35.00% del volumen de troncos que ingresan a las industrias de aserrío terminan en astillas y aserrín libre de impurezas que se comercializan como subproductos. La demanda de los residuos de madera ha abierto un mercado en el estado de Chihuahua, lo que ha incrementado el valor de los subproductos con potencial bioenergético (Balderrama-Castañeda et al., 2011). En este estudio se encontró que, a mayor rendimiento del aserradero, mayores ingresos, esto se debe a que la madera aserrada es el principal producto que aporta capital monetario a las empresas, como mencionan otros autores. De igual forma, las partículas más grandes tienen valores más altos en el mercado, ya que residuos como la astilla se utilizan para producir productos con alto valor agregado. Por otro lado, el aserrín tiene un valor menor debido a que requiere procesos más costosos para transformarlo en productos con valor agregado. Finalmente, la leña y la corteza de los árboles tienen el precio más bajo porque el uso particular del subproducto es para fines bioenergéticos de uso doméstico. Es importante mencionar que los residuos sólidos de madera en general son fuentes potenciales de bioenergía, sin embargo, los mercados de este tipo aún no se han desarrollado potencialmente en el norte de México.

CONCLUSIONES

Esta investigación permitió identificar la proporcionalidad de los diversos productos generados en los aserraderos del estado de Chihuahua, se mostró la importancia de comercializar tanto la madera generada como los residuos

sólidos resultantes del proceso de transformación de la madera. De acuerdo con este estudio, la materia prima, la tecnología utilizada y las necesidades del mercado son variables que influyen en la distribución de los productos y residuos sólidos que se producen en las empresas forestales de la región norte de México. Se encontró que la industria moderna es la más eficiente en la transformación de materias primas forestales, mientras que los aserraderos tradicionales cumplen con su principal objetivo, sin embargo, es necesario buscar y aplicar alternativas que incrementen la eficiencia de este tipo de industrias.

Se encontró que la madera aserrada es el producto forestal maderero más importante que se genera en el norte de México, pues aporta entre 88.86% y 91.47% de los ingresos de las empresas forestales, a pesar de representar entre 45.82% y 53.33% del volumen total de trozas, también se identificó que diversificar la producción permite aumentar los beneficios económicos. Por su parte, los productos denominados “beneficio de asierre” representan ingresos entre 2.13% y 3.09% del total, el habilitado para palo de escoba es el más importante de esta categoría. Finalmente, los residuos sólidos tienen los precios más bajos del mercado porque se utilizan principalmente como materia prima para fabricar tableros de partículas, sin embargo, desarrollar políticas forestales dirigidas a los mercados de bioenergía en esta región del país aumentaría el valor de estas materias primas y reduciría su presencia en los aserraderos en forma de desecho.

REFERENCIAS

- Alcântara de Cerqueira, P. H., Correia, G., Magalhães, I., Clímaco, L., & Freitas, L. C. (2012). Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. *Floresta e Ambiente*, 19(4), 506-510. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.051>
- Balderrama-Castañeda, S., Luján-Álvarez, C., Lewis, D. K., Ortega-Gutiérrez, J. A., de Jong, B., & Nájera-Ruiz, T. (2011). Factibilidad de generación de electricidad mediante gasificación de residuos de aserradero en el norte de México. *Madera y Bosques*, 7(2), 67-84. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1721149>
- Banco de México [Banxico] (2022). *Sistema de Información Económica*. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioIn>

- ternetAction.do?sector=24&accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA241&locale=es
- Biasi, C. P., & Pereira da Rocha, M. (2007). Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. *Floresta*, 37(1), 95-108. <https://doi.org/10.5380/rf.v37i1.7845>
- Borz, S. A., Oghnoum, M., Marcu, M. V., Lorincz, A., & Proto, A. R. (2021). Performance of Small-scale sawmilling operations: A case study on time consumption, productivity and main ergonomics for a manually driven bandsaw. *Forests*, 12(6), 810. <https://doi.org/10.3390/f12060810>
- Campos, T., Lima, J. T., Moreira, J. R., Trugilho, P. F., & Lage, B. C. (2013). Avaliação do desdobro de toras de *Eucalyptus* para a obtenção de peças estruturais. *CERNE, Federal University of Lavras*, 19(3), 357-364. <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/911/688>
- Dieste, A., Cabrera, M. N., Clavijo, L., & Cassella, N. (2019). Analysis of wood products from an added value perspective: The Uruguayan forestry case. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 21(3), 305-316. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000303>
- Ferreira, S., Lima, J. T., da Silva, S. C., & Trugilho, P. F. (2004). Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *CERNE, Universidade Federal de Lavras*, 10(1), 10-21. <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/356>
- Flores, A., Pérez-Torres, M. Á., & Sánchez-Rojas, L. (2019). Sistema de planeación para la producción de madera aserrada. *Mitigación del daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México*, 5(6), 190-207.
- Flores-Velázquez, R., Serrano-Gálvez, E., Palacio-Muñoz, V. H., & Chapela, G. (2007). Análisis de la industria de la madera aserrada en México. *Madera y Bosques*, 13(1), 47-59. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1311235>
- Fuentes-López, M. E., Suárez-Patlán, E. E., Carrillo-Ávila, N., & Flores-Velázquez, R. (2018). Coeficiente de aprovechamiento en un aserradero ejidal del estado de Puebla. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 4(14), 32-38. http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Investigacion_y_Desarrollo/vol4num14/Revista_de_Investigacion_y_Desarrollo_V4_N14.pdf
- García, J., Morales, L., & Valencia, S. (2001). *Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco*. Saltillo, Coahuila, México: UAAAN. Nota técnica No. 5.
- Gonçalves, A. L., Negrão, A., Silva, S., & Leite, E. (2018). Análise dos resíduos gerados por indústrias de beneficiamento de madeira na região metropolitana de Belém. (p. 11 pp.). Belém, Brasil: XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira.
- Guevara-Salnicov, L., Reyes-Inca, P., & Bocanegra-Dávila, L. (1993). Evaluación de residuos de aserrío. *Folia Amazónica*, 5(1-2), 191-201. <https://doi.org/10.24841/fa.v5i1-2.241>
- Haro, A. J., Nájera, J. A., Jorge, M., Corral, S., Hernández, J. C., Artemio, C., & Francisco, C. (2015). Factor de conversión de productos forestales en la industria de tarimas en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 90-105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.210>
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr., J. A. (2003). *Forest Mensuration* (4^a ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2008). *Conjunto de datos vectoriales escala 1: 1000000. Unidades climáticas*. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/climatologia/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2014). *Conjunto de datos vectorial edafológico escala 1: 250000 Serie II (Continuo Nacional)*. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx.
- International Business Machines [IBM Corp.] (2017). *IBM SPSS Statistics para Windows, versión 25.0*. Armonk, Nueva York: IBM Corp.
- Leyva, I., Álvarez, D., La O, Y., Céspedes, G., & Segurado, Y. (2020). Rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Samanea saman* Jacq. en el aserradero de la empresa groforestal Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 507-518. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/579/pdf>
- Leyva, I., Rojas, A., & Segurado, Y. (2017). Determinación del rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada en aserríos en la provincia de Guantánamo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(3), 340-351. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/212/html>
- Lindberg, J. P., Tana, J., & ÅF-Industri. (2012). *Best Available Techniques (BAT) in solid biomass fuel processing, handling, storage and production of pellets from biomass*. Nordic Council of Ministers.
- Lolila, N. J., McHelu, H. A., Mauya, E. W., & Madundo, S. D. (2021). Lumber recovery and production rates of small-scale mobile sawmilling industries in Northern Tanzania. *Tanzania Journal of Forestry and Nature Conservation*, 90(3), 74-83. <https://www.ajol.info/index.php/tjfnc/article/view/217006>
- Manhiça, A. A., Pereira da Rocha, M., & Júnior, R. T. (2012). Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte



- numa serraría de pequeño porte. *Floresta*, 42(2), 409-420. <https://doi.org/10.5380/rf.v42i2.19641>
- Merino, L. (2018). Comunidades forestales en México. Formas de vida, gobernanza y conservación. *Revista Mexicana de Sociología*, 80(4), 909-940. <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2018.4.57799>
- Nájera, J. A., Aguirre, O. A., Treviño, E. J., Jiménez, J., Jurado, E., Corral, J. J., & 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), 77-91.
- Nájera, J. A., Rodríguez, I., Méndez, J., Graciano, J., Rosas, F., & Hernández, F. J. (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxyla* Humb. & Bompl. de El Salto, Durango. *Ra Ximbai*, 2(2), 497-513.
- Nájera, J., Adame, G. H., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F. J., & Aguirre, C. G. (2012). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia*, 20(55), 11-23.
- Nájera-Luna, J. A., Sánchez-Medrano, J. A., & Méndez-Gonzalez, J. (2013). Short communication. Lumber yield and production time in sawmilling of pallets in Durango, Mexico. *Forest Systems*, 22(3), 573-577. <https://doi.org/10.5424/fs/2013223-02693>
- Ortiz, R., Martínez, S., Vázquez, D. E., & 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.
- Quirós, R., Chinchilla, O., & Gómez, M. (2005). Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 7-15.
- Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F., Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1), 333-359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107>
- Rascón-Solano, J., Olivas-García, J. M., Kiessling-Davison, C. M., Hernández-Salas, J., & López-Daumas, G. (2020). Incremento de la rentabilidad de la industria forestal en el Ejido Aboreachi, Chihuahua, México. *Custos e @gronegócio on line*, 15(4), 219-249. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v15/OK%2010%20costos.pdf>
- Reyes, C. (2013). *Cuantificación y aprovechamiento de residuos del proceso de aserrío del parque industrial, Ixtlán de Juárez, Oaxaca*. [Tesis de licenciatura, Universidad de la Sierra Juárez].
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2020). *Anuario estadístico de la producción forestal 2017*.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/542586/2017.pdf>
- Silva, J. A., Ramírez, A. M., Fuentes, F. J., Rodríguez, R., Turrad, J., & Richter, H. G. (2015). Diagnóstico de la industria de transformación primaria de las maderas tropicales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 202-221. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i28.267>
- Valério, Á. F., Watzlawick, L. F., dos Santos, R. T., Brandelero, C., & Koehler, S. H. (2007). Quantificação de resíduos no desdobra de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) O. Kuntze. *Floresta*, 37(3), 387-398. <https://doi.org/10.5380/rf.v37i3.9934>
- Vargas-Sánchez, E., Estrada-Murrieta, O., Olivero-Hernández, A. M., Arreola-García, S. M., Loera-García, F. J., & Coronado-Domínguez, H. A. (2018). *Actualización del estudio de la cuenca de abasto de la región sur del estado de Chihuahua, Mex.* Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1d5fgePcNWeJ:https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/seif_chihuahua/component/phocadownload/category/5-cuencas-abastecimiento%3Fdownload%3D52:descargar-estu
- Vital, B. R., Machado, A., & Ferreira, O. (1989). Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, 41/42, 44-49. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr42-41.aspx>
- Zavala, D., & 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>

Manuscrito recibido el 23 de marzo de 2023

Aceptado el 12 de marzo de 2024

Publicado el 8 de noviembre de 2024

Este documento se debe citar como:

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E., Nájera-Luna, J. A., & Iniguez, J. (2024). Contraste del rendimiento de aserrado e ingresos económicos en aserraderos tradicionales y modernos en el norte de México. *Madera y Bosques*, 30(2), e3022580. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3022580>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.