

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL RENDIMIENTO, CALIDAD
DIMENSIONAL Y CLASES DEL PROCESO DE ASIERRE EN LA SUB-
CUENCA GUACHOCHI, CHIHUAHUA**

POR:

JOEL RASCÓN SOLANO

**Como requisito para obtener el grado de:
DOCTORADO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES**

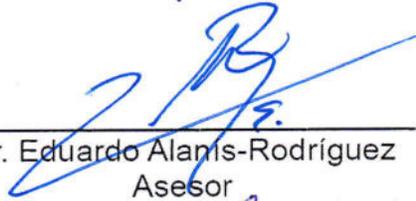
Agosto, 2023

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL RENDIMIENTO, CALIDAD DIMENSIONAL Y
CLASES DEL PROCESO DE ASIERRE EN LA SUB-CUENCA GUACHOCHI,
CHIHUAHUA

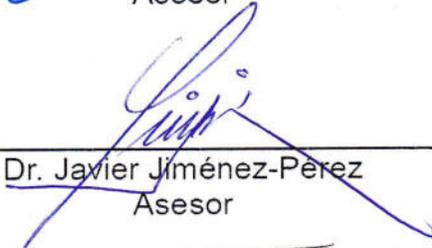
Aprobación de tesis



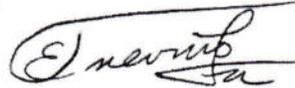
Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Director



Dr. Eduardo Alanís-Rodríguez
Asesor



Dr. Javier Jiménez-Pérez
Asesor



Dr. Eduardo Javier Treviño-Garza
Asesor



Dr. Juan Abel Nájera Luna
Asesor externo

DEDICTORIA

A mi amada esposa M.A. Viridiana Sughey Galván-Moreno, a mi pequeño hijo Joel Rascón Galván y a mi bebe que esta en camino por ser la fuente de mi inspiración en empeñar todos mis esfuerzos al crecimiento personal, académico y científico, por su paciencia y apoyo que día con día me dan la fuerza para seguir adelante con la frente en alto y querer conseguir el éxito y superación personal y profesional.

A mi hermano Eric Rascón Solano por ser quien me inspira el sentimiento de alcanzar la superación profesional de mis metas, a mi madre Virginia Solano Velazco por formarme con educación y valores aplicados en mi vida personal y profesional, a mi padre M.C. Joel Rascón Pérez por ser la fuente de conocimientos aplicados en mi vida profesional y académica aplicados en la honradez, empeño y trabajo profesional.

A todas aquellas personas, compañeros de trabajo y estudios en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, amigos, colegas, que desinteresadamente siempre me dieron apoyo, consejos, confianza, palabras de aliento y su gran amistad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo de la beca de posgrado.

Agradezco en primera instancia a la Universidad Autónoma de Nuevo León por permitir adquirir el conocimiento y valores dentro de su institución, proveyendo de sabiduría, honestidad, respeto y trabajo a mi persona.

Agradezco especialmente a la Facultad de Ciencias Forestales por aceptarme como alumno del programa de Posgrado de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. También agradezco a la unidad académica por otorgarme la oportunidad de concluir mis estudios dentro de su institución, llevando con orgullo los conocimientos adquiridos dentro de sus aulas al campo laboral que me compete.

A mi director de Tesis, el Dr. Oscar Alberto Aguirre-Calderón por el conocimiento, sabiduría y tiempo proporcionado para elaborar este proyecto de tesis y ser fuente de nuevas metas científicas adquiridas durante este periodo. Asimismo, agradezco la confianza y amistad forjada durante esta etapa de mi vida profesional.

A mi asesor externo, el Dr. Juan Abel Nájera-Luna por el apoyo proporcionado para desarrollar este proyecto de tesis con resultados relevantes y bien sustentados, también por el tiempo proporcionado para incrementar mi conocimiento técnico.

A los destacados profesores, doctores, integrantes del comité de tesis, Dr. Eduardo Alanís-Rodríguez, Dr. Javier Jiménez-Pérez y Dr. Eduardo Javier Treviño-Garza, por brindarme su tiempo, darme facilidades, hacerme comentarios y sugerencias, guiar la elaboración y revisión de esta tesis y los manuscritos que la fueron integrando.

A el Ph.D. Jose Iniguez, el Ph.D. Jesús Miguel Olivas-García, la Dra. Wibke Himmelsbach, la Dra. Guadalupe Gerladine García-Espinoza y al Dr. Gerónimo Quiñonez-Barraza, por haberme apoyado en el desarrollo, elaboración y revisión de diferentes manuscritos que integran este proyecto de tesis.

Al M.C. Samuel Alberto García-García por su amistad y apoyo científico en el proceso que compartimos juntos como estudiantes de este programa de doctorado.

A la academia de profesores del programa de Ingeniero Forestal de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma de Chihuahua, por su impulso e importante apoyo mientras avanzaba en mi posgrado, los profesores investigadores Dr. Javier Hernández Salas, Ph.D. Jesús Miguel Olivas-García, Ph.D. Concepción Luján-Álvarez, Dr. Luis Ubaldo Castruita-Esparza, Dra. Luisa Patricia Uranga-Valencia, M.C. José David Armendáriz Escobar, M.C. Samuel Alberto-García García, M.A. Iván Grijalva Martínez, M.C. Raúl Narváez Flores, M.C. Gustavo Alonso Heredia Sapien, Ing. Manuel Bujanda Rico y al Ing. Oscar Daniel Mota Teliz, gracias por todo. A la Dra. Sandra Pérez-Álvarez por su amistad y profesionalismo científico. Agradezco especialmente a la M.C. Lorena Patricia Licón Trillo, ex directora de la facultad y al M.C. Christian Mauricio Kiessling Davison, ex profesor del programa, que me apoyaron y orientaron para iniciar en este proceso académico.

A todas aquellas personas que no he mencionado, pero estuvieron ahí para apoyarme en este importante proceso de crecimiento personal y científico.

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	8
1.2.1. Objetivo general.....	8
1.2.2. Objetivos específicos.....	8
1.3. Hipótesis	8
II. METODOLOGÍA	9
2.1. Ubicación del área de estudio	9
2.2. Población objeto de estudio	9
2.3. Método de muestreo	10
2.4. Métodos	10
2.5. Análisis de la información	20
III. RESULTADOS	24
CAPÍTULO I. ELEMENTOS BÁSICOS DE ADMINISTRACIÓN APLICADOS EN EL SECTOR FORESTAL COMUNITARIO	24
CAPÍTULO II. EFFICIENT USE OF TIMBER RESOURCES IN MEXICO: HISTORICAL DEVELOPMENT AND CURRENT CHALLENGES	47

CAPÍTULO III. EFFICIENT UTILIZATION OF PINE LOGS IN NORTHERN MEXICO THROUGH TRAINING	79
CAPÍTULO IV. PRODUCTIVIDAD DEL ABASTECIMIENTO E INDUSTRIALIZACIÓN MADERABLE EN EL EJIDO ABOREACHI, GUACHOCHI, CHIHUAHUA.....	103
CAPÍTULO V. RENDIMIENTO DE ASERRADO EN EL SURESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	126
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE LA MADERA ASERRADA DE DOS VARIANTES DE ASERRADERO EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA.....	151
CAPÍTULO VII. CONTRASTE DEL RENDIMIENTO DE ASERRADO E INGRESOS ECONÓMICOS EN ASERRADEROS TRADICIONALES Y MODERNOS EN EL NORTE DE MÉXICO.....	172
CAPÍTULO VIII. RENDIMIENTO DE MADERA ASERRADA Y DISTRIBUCIÓN DE CLASES DE PINO EN FUNCIÓN DE LA ESPECIE Y CALIDAD DE LA TROZA .	202
CAPÍTULO IX. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DIMENSIONAL DE LA MADERA ASERRADA DE DOS VARIANTES DE ASERRADERO AL SUROESTE DE CHIHUAHUA, MÉXICO.....	230
IV. CONCLUSIONES GENERALES	259
Conclusión I	259
Conclusión II	259
Conclusión III.....	260

Conclusión IV	261
Conclusión V	263
Conclusión VI	263
Conclusión VII	264
Conclusión VIII	265
Conclusión IX	266
V. REFERENCIAS	267

RESUMEN GENERAL

A nivel nacional la industria forestal tiende a ser diversa, conteniendo desde instalaciones obsoletas hasta otras con equipamiento moderno; sin embargo, en la mayoría de las empresas existentes, se cuenta con limitantes tecnológicas y de competitividad. La industria forestal comunitaria está concentrada principalmente en tres estados: Durango, Chihuahua y Michoacán. En el estado de Chihuahua rige principalmente la propiedad social como es el caso de ejidos y comunidades forestales, los cuales presentan deficiencias de transformación y calidad de sus productos, asimismo, desarrollan en su mayoría venta de madera aserrada denominado "Mill Run". Por este motivo el objetivo del presente estudio es, evaluar el rendimiento volumétrico, calidad dimensional y el impacto económico de la distribución de clases de productos de escuadría en el estado de Chihuahua. Para desarrollar esta investigación se contempló emplear métodos para la evaluación del rendimiento de aserrío, precisión dimensional de la madera, proporción de clases y estimar el impacto económico generado por la industria moderna. Con esta información se desarrollaron planes estratégicos en torno a las oportunidades de mejoría de los centros de asierre de ejidos y empresas privadas con producción maderable. Se generó información que representa la situación industrial forestal actual y futura, los alcances económicos generados y modelos de producción de acuerdo con los procesos de los aserraderos modernos y tradicionales del sureste del estado de Chihuahua.

GENERAL ABSTRACT

At the national level, the forestry industry tends to be diverse, ranging from outdated facilities to those with modern equipment; however, most existing companies face technological and competitiveness limitations. The community forestry industry is mainly concentrated in three states: Durango, Chihuahua, and Michoacán. In the state of Chihuahua, social ownership, such as ejidos and forest communities, prevails, which have deficiencies in processing and product quality. They mostly engage in the sale of sawn wood known as "Mill Run." For this reason, the objective of the present study is to evaluate the volumetric yield, dimensional quality, and economic impact of the distribution of sawn wood product classes in the state of Chihuahua. To carry out this research, methods were considered for assessing sawing yield, wood dimensional accuracy, class proportion, and estimating the economic impact generated by the modern industry. With this information, strategic plans were developed regarding opportunities for improvement in the sawmills of ejidos and private companies involved in timber production. Information was generated that represents the current and future industrial forestry situation, the economic outcomes generated, and production models according to the processes of modern and traditional sawmills in the southeastern part of the state of Chihuahua.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El desarrollo sostenible de las actividades forestales es un proceso dinámico que incluye a los aspectos ecológico, económico, sociocultural, científico-tecnológico y político-institucional (Luján *et al.*, 2016). Adicionalmente, Torres-Rojo *et al.* (2016) mencionan que dichos contextos han generado un aprovechamiento de los bosques con diversos propósitos bajo numerosos esquemas de administración y gestión.

Uno de los retos de los administradores de recursos forestales consiste en determinar cuál es la cantidad adecuada de cada producto que permita aumentar la utilidad del bosque (Marušák *et al.*, 2015). De igual manera, Ortiz *et al.* (2016) comentan que la administración del proceso de aserrío es una de las actividades capitalizadoras más importantes de la industria en las comunidades de México.

Kilborn (2002), Nájera-Luna (2010) & Fuentes-López *et al.* (2018) puntualizan dos factores de suma relevancia orientados a la evaluación en la eficiencia de un sistema de producción forestal, en el cual indica la existencia de dos parámetros elementales a considerar: la productividad y los costos, estos son los únicos factores relevantes tratándose de actividades dependientes de recursos maderables.

De forma general Lustrum (1993) & Nájera-Luna *et al.* (2011a) mencionan que estos componentes son afectados directamente por las capacidades mecánicas del equipo, así como las habilidades y destrezas de los operadores.

Nájera-Luna (2010) menciona que a nivel nacional la industria forestal tiende a ser diversa, conteniendo desde instalaciones obsoletas hasta otras con equipamiento moderno; sin embargo, en la mayoría de las empresas existentes, se cuenta con limitantes tecnológicas y de competitividad (Rascón-Solano, 2018). Estas situaciones crean obstáculos para permanecer en el mercado (Roberts, 2017), extender el potencial de transformación y entablar una competencia (Giraldo *et al.*, 2009).

Dentro de la industria forestal uno de los productos de mayor importancia económica y con volúmenes de producción más altos es la madera aserrada (Hernández-Cruz & Maldonado, 2018). El proceso de asierre de madera consiste en la transformación de una troza a un elemento con dimensiones específicas de ancho, largo y espesor, durante este proceso se deben considerar una serie de variables que permitan generar un producto rentable (Meza & Simón, 2007).

De acuerdo con lo indicado por Valério *et al.* (2009), dentro la industria del aserrío el conocimiento de los indicadores de productividad es de interés en toda administración, posibilitando la toma de decisiones sobre el desempeño industrial y uso eficiente de la madera en rollo. Zavala & Hernández (2000) mencionan que esta actividad ofrece la opción de reducir gastos y pérdidas en el proceso de transformación de maderas.

Dentro de los parámetros con los que se evalúa la efectividad del proceso de aserrío se encuentra el coeficiente de asierre o rendimiento de aserrío. De acuerdo con SFF (1978), Ferreira *et al.* (2004), Aguilera *et al.* (2005) & Valério *et al.* (2007) este se determina a través de relacionar el resultado de volumen de madera aserrada producida sobre el volumen de rollizo industrializado para obtenerla, este resultado debe ser expresado en porcentaje.

Nájera-Luna *et al.* (2011a) mencionan que el rendimiento de aserrío sin corteza en industrias tradicionales de la región de El Salto, Durango es de 57.5 %, equivalente a obtener un metro cubico de escuadría por cada 1.73 m³ de rollizo. Por su parte Loera-García (2016) indica que, para la región de Guachochi, Chihuahua se alcanzaron coeficientes de asierre con corteza de 52.3 % en aserraderos de cierra banda.

Otro parametro que afecta el rendimiento y calidad de la madera al momento de ser utilizada es la dimension de corte de la madera aserrada, López *et al.* (2016) mencionan que una gran parte de la materia prima procesada se pierde por la variabilidad dimensional del aserrado, Nájera *et al.* (2006) especifican que la variación dimensional de las tablas aserradas es un síntoma de baja calidad del producto, dificulta su comercialización y evidencia la baja competitividad del centro de asierre.

Nájera *et al.* (2006) afirman que el rendimiento y calidad de la madera es afectado significativamente por la variación en el proceso de asierre, a consecuencia de esto, el análisis de la variación en grosor por medio de mediciones periódicas es adoptado rápidamente por la industria de aserrío (Gatto, *et al.*, 2004 & Zavala-Zavala, 2003). El control de calidad es de suma importancia para la industria del aserrío, de ahí la necesidad de llevar un control del producto que se genera (Schmincke, 1995).

En un mundo cada día más competitivo en diversos aspectos, Rascón-Solano *et al.* (2019b) indican que, las empresas forestales comunitarias o ejidales tienen que buscar la forma de al menos mantenerse en el mercado regional, por su parte Zavala y Hernández (2000) indican que el proceso asierre es una de las industrias de mayor importancia socioeconómica en el país, esto se debe a que la mayoría de comunidades

con capacidad industrial se encuentran en las regiones boscosas (Flores-Velázquez *et al.*, 2007 & Rascón-Solano *et al.*, 2019a).

Los bosques y productos forestales esencialmente contribuyen a los valores económicos y sociales de algunas comunidades rurales (Guettabi, 2015 & Schmincke, 1995), asimismo, la industria forestal desempeña un papel vital en el desarrollo socioeconómico, particularmente en las comunidades rurales dependientes de bosques, donde existen pocas oportunidades de desarrollo (Lupo, 2010 & Lupo, 2017).

La industria forestal comunitaria está concentrada principalmente en tres estados: Durango, Chihuahua y Michoacán, sin embargo, la producción de madera y la industria forestal mexicanas no están consideradas como internacionalmente competitivas (Bray & Merino-Pérez, 2004), Zavala & Hernández (2000) comentan que para que la industria de aserrío comunal se mantenga competitiva, requiere en buena parte, analizar en forma continua sus procesos y costos de producción.

En el estado de Chihuahua rige principalmente la propiedad social como es el caso de ejidos y comunidades forestales, representando aproximadamente el 80 % de la superficie estatal (SARH, 1994), la superficie forestal en el estado es de aproximadamente 22 millones de hectáreas, cubiertas por bosques de clima templado frío un total de 7.2 millones de hectáreas (CONAFOR, 2018), produciendo el 13.2 % del volumen maderable nacional para el año 2016 (SEMARNAT, 2016).

Ruelas & Dávalos (1999) mencionan que para el final del siglo XX el estado de Chihuahua contaba con capacidades para aumentar la productividad de la industria forestal debido a las existencias maderables, ubicación geográfica e infraestructura de

comunicaciones, por su parte Rascón-Solano (2018) menciona que el aumento a la tecnificación ha sido ventaja presente en la actualidad, sin embargo, a escala estatal, la necesidad de una adecuada administración de recursos prevalece en el sector de la producción de madera aserrada (Rascón-Solano, 2019).

De acuerdo con lo mencionado por Vázquez-Álvarez *et al.* (2017), el Gobierno del estado de Chihuahua, mediante la Dirección de Desarrollo Forestal, a partir del año 2012, inició la aplicación del Programa de Modernización de la Industria Forestal Primaria, encaminado a renovar y mejorar la infraestructura y procesos de transformación de los ejidos forestales del estado.

Esta iniciativa pretende lograr un incremento en los rendimientos de aprovechamiento maderable hasta del 20 %, con la finalidad de maximizar la rentabilidad de las empresas forestales comunitarias y, a la vez, disminuir costos de producción (Gobierno del Estado de Chihuahua *et al.*, 2016), sin embargo, la limitada innovación tecnológica, evaluación técnica y económica de los procesos industriales ha logrado distanciar al sector forestal de Chihuahua con sus principales competidores (Vázquez-Álvarez *et al.*, 2017; Rascón-Solano, 2018 & Rascón-Solano *et al.*, 2019b).

Actualmente los ejidos forestales en Chihuahua presentan el tipo de venta de madera aserrada denominado “Mill Run” (Kiesling-Davison & Licón-Trillo, 2005 & Rascón-Solano *et al.*, 2020), representando una evidente debilidad económica frente a los competidores directos. De acuerdo con Vázquez-Álvarez *et al.* (2017) durante el año 2014 la venta de madera en el estado alcanzó un precio de \$ 6.68 por Pie Tabla, en contraste, en la región de Guachochi para el año 2017 este producto alcanzó \$ 8.70 (Rascó-Solano, 2019) y para el 2018 llegó a \$ 9.20 (Vargas-Sánchez *et al.*, 2018).

Entre los años 2015 y 2018 se contabilizaron a nivel estatal 186 centros de asierre activos en las regiones productoras, la industria forestal de la cuenca Madera-Casas Grandes la integran 26 centros de asierre (Estrada-Murrieta *et al.*, 2015); la región Centro-Occidente cuenta con 94 industrias del aserrío (García-Romero, 2015); en cuanto a la Región Morelos se cuenta con siete aserraderos (Estrada-Murrieta *et al.*, 2017); por su parte la cuenca de abasto de la Región Sur del estado con 59 industrias del aserrío (Vargas-Sánchez *et al.*, 2018).

La sub-cuenca de abasto Guachochi de la Región Sur corresponde geográficamente a la Región de Manejo Silvícola de Guachochi A.C. (Yáñez-Rodríguez *et al.*, 2013 & Martínez & Quiñonez, 2015), cuenta 27 industrias del aserrío de los cuales para el año 2018 el 74 % se encuentra en actividad (Vargas-Sánchez *et al.*, 2018), Rascón-Solano *et al.* reportan que durante el año 2019 se integró un ejido más en actividades industriales con la instalación de un aserradero tradicional, siendo un total de 13 ejidos con industrias de aserrío en actividad.

Los centros de asierre modernos comunitarios del estado de Chihuahua en comparación con la industria privada, se plantea por observaciones empíricas que se encuentran muy alejados de los resultados de productividad mencionados con anterioridad; se identifican diversas causas que provocan esto, pero, sin dudas, se puede estimar mediante análisis de coeficientes de aserrío, calidad dimensional de los productos y rendimientos de clase de madera, actividades que no han sido evaluadas desde el punto de vista de rendimiento económico de transformación y productividad, así como su efecto en el flujo de ingresos.

Bryant (1996) menciona que el rendimiento de madera aserrada obtenida de rollizos de una especie determinada, no es uniforme en los aserraderos de una región específica, Nájera-Luna *et al.* (2011a) indican que esto se debe a que existen diversos factores que influyen en la calidad dimensional de la misma, siendo en parte la calidad y tamaño de la trocería, características del producto y los métodos de aserrado.

Orozco-Contreras *et al.* (2016) afirman que, para predecir la producción de tablas de calidad en una región determinada, es necesario identificar el rendimiento por clase de madera aserrada obtenida de las especies aprovechadas, también influyen el tamaño y curvatura de la madera en rollo (Cown 1984), de esta forma se puede realizar la estimación de la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad.

Según (Somerville, 1988 & Kilborn, 2002), la efectividad del proceso de conversión está estrechamente relacionada con el tipo de aserradero, asimismo, Nájera *et al.* (2006) indican que la proporción de madera aserrada puede ser afectada por el tipo y tamaño del equipo de aserrío, situación que no ha sido analizada previamente en el Estado de Chihuahua.

En la actualidad para que la industria de aserrío del estado de Chihuahua se mantenga competitiva, requiere analizar en forma continua sus procesos productivos, costos de producción y beneficios aparentes (Zavala & Hernández 2000; Rascón-Solano *et al.* 2019a; Rascón-Solano *et al.* 2019b & Rascón-Solano *et al.* 2020). Por su parte López *et al.* (2016) indican que ofrecer beneficios mediante reducción de pérdidas en rendimiento, análisis de productividad, estimación de clases y proveer de menores costos de producción, es una problemática que requiere de mayor investigación en el sector forestal del estado de Chihuahua.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el rendimiento volumétrico, calidad dimensional y el impacto económico de la distribución de clases de productos de escuadría en el estado de Chihuahua.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento de aserrío de los centros modernos de transformación del estado de Chihuahua.
- Determinar la variabilidad de corte y precisión dimensional de los productos de escuadría en los centros modernos de transformación maderable.
- Evaluar y analizar el impacto económico del rendimiento de aserrío y la precisión dimensional en los productos aserrados.
- Evaluar el impacto potencial de la clasificación de productos de escuadría en industrias del aserrío.
- Diseñar y proponer estrategias metodológicas para mejorar los procesos de aserrío en las industrias modernas del estado de Chihuahua.

1.3. Hipótesis

Existen oportunidades de mejora para incrementar la productividad y rendimiento económico de los aserraderos modernos del estado de Chihuahua.

II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del área de estudio

Yáñez-Rodríguez *et al.* (2013) indican que la de la región sur es una de las cuencas que presenta un importante potencial para el impulso a la producción y productividad forestal con una base competitiva y sustentable en el estado de Chihuahua, dicha cuenca de abasto se ubica en las regiones de Guachochi, Balleza y Guadalupe y Calvo, asimismo, Vargas-Sánchez *et al.* (2018) ubican dentro de la cuenca de forma parcial a los municipios de Rosario, Morelos, Batopilas y Urique; del estado de Durango, el norte de los municipios de Tamazula y Guanaseví. Se concentran en la cuenca productores con capacidad de transformación instalada, también denominados productores tipo IV (Merino *et al.*, 2008 & Carrillo Anzures *et al.*, 2017), de los diversos ejidos existentes en la región.

2.2. Población objeto de estudio

El estudio se desarrollará en las industrias forestales modernas de producción primaria de propiedad social ubicadas en el estado de Chihuahua. Los centros de asierre en proceso de evaluación serán aquellos en actividad, estos se encuentran instalados en el ejido Tetahuichi, ejido Aboreachi, ejido Seguerachi, ejido Tonachi, ejido Cienieguita de la barranca, ejido Corareachi, ejido Santa Anita y ejido San Carlos, ejido Samachique y ejido Caborachi; adicionalmente, se evaluaron las industrias privadas Productos Peinado y El Lobito.

2.3. Método de muestreo

Dentro de los centros de aserrío se realizará un muestreo no probabilístico para el análisis y cubicación de la madera en rollo, se discriminará la dimensión de los mismos, limitándolos a largos de ocho y 16 pies más refuerzo (cuatro pulgadas), esto se debe a que, de acuerdo con observaciones empíricas, el 90 % del rollizo transformado en la industria primaria del estado posee esta dimensión, asimismo, se limitará a un diámetro mínimo de 25 centímetros con corteza.

En cuanto a la madera aserrada, se realizará un muestreo probabilístico del 25 % de las tablas generadas con la transformación de la materia prima (madera en rollo). El análisis del producto generado se llevará a cabo de inmediato sea industrializado, para lograr la identificación y cubicación del mismo.

2.4. Métodos

Para efectuar la estimación de las variables de transformación involucradas, Dobie (1975a), Dobie (1975b), Zavala & Hernández (2000), Yang & Pulkki (2002), Nájera-Luna *et al.* (2011a) & Fuentes-López *et al.* (2018) indican que para estimar el tamaño de muestra de las trozas necesarias en la determinación del coeficiente de aserrío y alcanzar un error de muestreo del 5 % y una confiabilidad del 95 %, se emplea la siguiente expresión:

$$n = \frac{t^2 \cdot S^2}{E^2} = \frac{(1.96)^2 \cdot (0.5)^2}{(0.1)^2} = 96.04 = 96 \text{ trozas por aserradero}$$

n = Rollizos necesarios para estimar coeficiente de aserrío de madera aserrada.

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

S^2 = Varianza de la población.

E = Error de muestreo deseado (%).

Para calcular la conicidad de la madera en rollo, se determina la diferencia entre el diámetro menor y el diámetro en relación al largo del trozo (Scanavaca & Garcia, 2003; Vignote Peña & Martínez Rojas, 2006 citados por Nájera-Luna *et al.* 2011a; Leyva *et al.*, 2017), ajustando el cálculo a la medición de diámetros con corteza, por lo que para su determinación se utilizará la siguiente relación:

$$C = \frac{DMcc - Dmcc}{L}$$

C = Conicidad de la madera en rollo (cm/m).

$DMcc$ = Diámetro mayor con corteza (cm).

$Dmcc$ = Diámetro menor con corteza (cm).

L = Largo de la madera en rollo (cm).

Una vez seleccionados y marcados, se procederá a medir los rollizos para determinar su volumen con corteza; en este caso fue utilizada la fórmula de Smalian (Flores Úbeda & González Martínez, 2006; Rodríguez-Reta, 2007 citado por Ortiz *et al.*, 2016; Husch *et al.*, 2003 citado por Nájera-Luna *et al.* 2011a), ajustando el cálculo a la medición de diámetros con corteza, el cual se expresa en la siguiente fórmula:

$$V = \left\{ \frac{(\pi/4 \cdot DMcc^2) + (\pi/4 \cdot Dmcc^2)}{2} \right\} \cdot L$$

V = Volumen (m^3 rollo).

$DMcc$ = Diámetro mayor con corteza (m).

$Dmcc$ = Diámetro menor con corteza (m).

L = Longitud de la troza (m).

Cada tabla producida durante el proceso de aserrío será marcada con el código del rollizo de la cual se originó, con la intención de calcular el volumen aserrado por rollo; posteriormente cada pieza obtenida será medida en milímetros de acuerdo con (Kiesling-Davison & Licón-Trillo, 2005).

Nájera *et al.* (2006), Nájera-Luna *et al.* (2011a), Loera-García (2016), Moya & Córdoba (1995) citados por Acosta-Ramos & Martínez-López (2012) recomiendan realizar seis mediciones en el grueso de la tabla distribuidas en los extremos y parte central de cada canto, asimismo, efectuar tres mediciones en ancho en las mismas posiciones que los gruesos y una medición en por el centro de la pieza para obtener el largo total.

Flores-Velázquez *et al.* (2007), Hernández & Wiemann (2006) Coronel de Renolfi *et al.* (2012), López *et al.* (2016), Loera-García (2016) & Romahn *et al.* (1987) citado por Nájera-Luna *et al.* (2011a) indican que para la cubicación de la madera aserrada se debe considerar a los productos como un paralelepípedo, por lo que el volumen de cada pieza de madera aserrada se determinara con los valores promedio en cada caso y mediante la siguiente relación:

$$V = t_{ijk} \cdot w_{ijk} \cdot l_{ij}$$

V = Volumen de la tabla (m^3).

t = Grueso de la pieza (mm).

w = Ancho de la pieza (mm).

l = Largo de la pieza (mm).

Según Martínez Pastur *et al.* (2001) & Martínez Pastur *et al.* (2004) citados por Coronel de Renolfi *et al.* (2012) el proceso del aserrado se puede describir a partir de dos parámetros que impactan sobre las variables económicas de un aserradero. Uno de ellos es el rendimiento de aserrado, también llamado coeficiente de aserrío (Esteves-Magalhães *et al.*, 2010 & Gualpa *et al.*, 2019).

A partir de los valores de volumen de productos obtenidos en cada etapa del procesamiento industrial primario y el volumen de materia prima transformada, se determina el coeficiente de aserrío o rendimiento para cada troza con corteza a través del siguiente calculo (Scanavaca & Garcia, 2003; Nájera-Luna *et al.*, 2013; López *et al.*, 2016; Pérez Flores, 2018; Quirós *et al.*, 2005 citado por Nájera *et al.*, 2012):

$$CA = \frac{Va}{Vrcc} \cdot 100$$

CA = Coeficiente de aserrío de madera aserrada (%).

Va = Volumen de la madera aserrada (m³).

Vrcc = Volumen del rollizo con corteza (m³ rollo).

La calidad dimensional de la madera aserrada se evaluará con el método de medición de puntos múltiples sugerido por Brown (1986) & Brown (2000) citado por Nájera *et al.* (2011b) que consiste en tomar 10 mediciones por tabla, tres en el ancho de la pieza y

tres por cada canto de la misma, equidistantes a lo largo de esta; la siguiente se realiza en el centro de cada tabla.

Zavala-Zavala (2003) & Loera-García (2016) indican que es necesario determinar la desviación estándar dentro de cada unidad de estudio (S_w), la cual brinda información respecto a la forma de cómo está cortando la sierra, y la desviación estándar entre tablas (S_b) que indica el estado de la alineación de los engranajes y guías de la plataforma de transformación. La variación del corte en el aserrío se estima mediante la desviación estándar total del proceso (S_t), integrada por (S_w) y (S_b) (Zavala, 1991 citado por Nájera *et al.* 2011b).

Para realizar los cálculos Zavala-Zavala (2003), Nájera *et al.* (2011b) & Loera-García (2016) indican emplear medir variables como, el grosor promedio de madera aserrada:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{1=1}^N X_{ij}}{N}$$

\bar{X} = Media total.

X_{ij} = Es el i -ésimo espesor de los distintos puntos medidos a lo largo de una tabla en la j -ésima tabla.

N = Número total de mediciones.

La desviación estándar dentro de las medidas de las tablas se determina con la ecuación (Torrecillas-Silva *et al.*, 2020):

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

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 utiliza la fórmula (Loera-García, 2016):

$$S^2 = \frac{\sum_{1=1}^n X_1^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

S^2 = Varianza de la tabla.

X^2 = Espesor de la tabla.

n = Número de mediciones en cada tabla.

Mediante este cálculo, es posible determinar el número de piezas perdidas por variabilidad de corte (Torrecillas-Silva *et al.*, 2020), ya que, en teoría, el producto que no cumpla con las dimensiones establecidas en la norma NMX-C-18-1986, no llegaría a ser comercializado, en dicha norma se estipula un refuerzo de 3 mm para dimensiones de hasta 25 mm, para las mayores a 38 mm la norma establece un refuerzo de 5 mm, asimismo, los refuerzos correspondientes en anchura y longitud son de 13 mm y de 25 mm respectivamente, indistintamente de las categorías en dimensiones de las piezas (DNG, 1986).

El cálculo de la desviación estándar entre tablas se realiza mediante la fórmula (Zavala & Hernández, 2000):

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

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 efectúa a través de la fórmula de la varianza (Torrecillas-Silva *et al.*, 2020):

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

$S(\bar{x})^2$ = 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.

Para calcular la desviación estándar en tablas se emplea la fórmula (Nájera *et al.* 2011a):

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

S_w = Desviación estándar en tablas.

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

El cálculo de \bar{S}^2 se efectúa a través de la siguiente fórmula (Zavala-Zavala, 2003):

$$\bar{S}^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2}{m}$$

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

S^2 = Varianza de las mediciones en cada tabla.

Con los valores conocidos de S_w y S_b , se procede a determinar la desviación estándar total del proceso o variación del aserrío con la siguiente fórmula (Zavala-Zavala, 2003; Nájera *et al.* 2011a & Torrecillas-Silva *et al.*, 2020):

$$S_t = \sqrt{(S_w)^2 + (S_b)^2}$$

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

S_w = Desviación estándar en tablas.

S_b = Desviación estándar entre tablas.

Nájera *et al.* (2011b) indica que la dimensión óptima de corte en la madera se estima adicionándole a la dimensión nominal una serie de refuerzos para tener una dimensión final específica, que representan el volumen que se pierde por contracciones; para definir la dimensión a la que debe aserrarse la madera verde para obtener tablas con espesor requerido, se utiliza la siguiente fórmula (Zavala-Zavala, 2003; Álvarez-Lazo *et al.*, 2004 & Torrecillas-Silva *et al.*, 2020):

$$DO = \frac{(DF + RC)}{(1 - \%C)} + Z \cdot St$$

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

DF = Dimensión final (mm).

RC = Refuerzo por cepillado (mm).

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

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

St = Desviación estándar del proceso.

Mediante el análisis de los resultados generados en el cálculo del rendimiento de aserrío y precisión dimensional de la madera aserrada, es posible estimar el rendimiento económico generado por la transformación de materia prima. Esto es posible mediante la disociación de dimensiones, en teoría todas aquellas piezas que presenten variabilidad en comparación con la dimensión óptima generan pérdidas económicas para la industria, ya sea por fallas dimensionales, falta o exceso de refuerzo en gruesos, anchos y largos.

Orozco-Contreras *et al.* (2016) mencionan que una información muy útil en la toma de decisiones, es la estimación de la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad en una región determinada, para estimar las clases de madera, Chan M. *et al.* (2002) indican que debe emplearse un método de clasificación visual por defectos,

esto consiste en una inspección de los defectos que cada pieza de madera aserrada presente en todas sus superficies.

Orozco-Contreras *et al.* (2016) indican que para clasificar visualmente la madera aserrada de pino se emplea la norma NMX-C-224-ONNCCE-2001, dicha norma permite juzgar la magnitud y el efecto que tienen las características o defectos de la madera, así como los criterios para agrupar las piezas de madera por grado de calidad (Chávez-Valencia *et al.*, 2010).

Por su parte, Luján-Álvarez (1990), Zavala & Hernández (2000) & Rascón-Solano *et al.* (2020) mencionan que en el estado de Chihuahua la madera aserrada de largas dimensiones se clasifica de acuerdo a la norma antes mencionada, siendo estas clases, 2 y Mejor para maderas moldurables, número 3, número 4 y número 5 para maderas comunes, así mismo, (Quintana-Luna, 2015) especifica que la operación de clasificación de la madera aserrada descansa en gran medida en el buen criterio del clasificador.

Rascón-Solano *et al.* (2019a) realizan un comparativo económico en torno al método de venta de los productos aserrados, confrontando los ingresos monetarios de la comercialización Mill Run y la venta de madera clasificada, asimismo, planteando un cambio en el método de venta, Rascón-Solano (2018) determina los beneficios percibidos por una empresa comunitaria y los alcances económicos potenciales para la misma.

Conociendo la capacidad de transformación de las industrias modernas instaladas, el rendimiento productivo, la calidad dimensional de los productos generados y la

proporción de clases de madera, es posible identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presentan los centros de asierre.

Con esta información se diseñará y propondrá un plan estratégico que permita aumentar la productividad de las industrias y la calidad de los productos generados, este mismo consiste en el desarrollo de programas de capacitación técnica en torno a la transformación de materias primas con equipamiento y maquinaria moderna, así como en el proceso de clasificación de madera de escuadría.

Este programa de acción permitiría que los ejidos productores de madera aserrada aumenten la derrama económica local y regional en mayor escala, en comparación con las actividades y acciones realizadas en la actualidad. El potencial económico industrial forestal de la sub-cuenca no ha sido determinado adecuadamente, asimismo las oportunidades de mejoría mediante el análisis productivo y la elaboración de planes estratégicos se encuentran limitadas en esta misma.

2.5. Análisis de la información

El análisis de la información recabada en las industrias modernas y tradicionales de transformación primaria será llevado a cabo mediante, la generación de bases de datos en el paquete computacional Excel 2016 de Microsoft, asimismo, el procesamiento y análisis de los resultados se realizará en los paquetes estadísticos R Studio, InfoStat y SPSS statistics versión 25.

Para evaluar la normalidad de los datos obtenidos de los diversos aserraderos estudiados y sus diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) se empleará la prueba de

Kolmogorov-Smirnov para parámetros inferiores a 50 observaciones (Kolmogorov, 1933; Smirnov, 1936; Cabrera et al., 2017).

Para probar la hipótesis de normalidad de las variables se empleará la prueba de Shapiro-Wilks por contar con gran número de observaciones en las unidades de análisis (clases de madera aserrada y calidad dimensional entre aserraderos) (Shapiro & Wilks, 1968). Para detectar diferencias estadísticas se realizarán análisis de varianza no paramétrica y pruebas de comparación de rangos de la mediana de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$), en cuanto a pruebas paramétricas se realizarán pruebas de t de Student y pruebas de ANOVA de una y dos vías.

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de rendimiento productivo por aserradero, categorías diamétricas, conicidad de las trozas y distribución de clases se realizará un análisis de varianza y comparaciones de medias mediante pruebas de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 y 95 % de confiabilidad.

III. RESULTADOS

CAPÍTULO I. ELEMENTOS BÁSICOS DE ADMINISTRACIÓN APLICADOS EN EL SECTOR FORESTAL COMUNITARIO (Publicado en e-cucba)

Joel Rascón-Solano, Oscar Alberto Aguirre-Calderón, Eduardo Alanís-Rodríguez, Javier Jiménez-Pérez, Eduardo Javier Treviño-Garza, & Juan Abel Nájera-Luna. (2022). Elementos básicos de administración aplicados en el sector forestal comunitario de México: una revisión. E-CUCBA, (18), 102–113. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi18.246>

Elementos básicos de administración aplicados en el sector forestal comunitario de México: una revisión

Basic elements of administration applied in the community forestry sector of Mexico: a review

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

¹Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

⁶División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto. Calle Tecnológico 101 Col. La Forestal C.P. 34942, Durango, México.

*Autor de correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx; Tel: +52 821 104 2735

Resumen

Gestionar el aprovechamiento de los recursos forestales implica decidir cuándo, dónde y cómo cosechar para satisfacer las demandas del mercado y cubrir las necesidades de la unidad productiva; la organización y la administración de los procesos productivos forestales buscan aumentar la eficiencia de la empresa mediante la racionalización de los recursos existentes. El objetivo de este análisis es proporcionar una revisión actualizada del conocimiento y la variabilidad de los elementos básicos de administración aplicados al sector forestal comunitario en México, mediante la recopilación de información descrita por investigadores nacionales y extranjeros. Para cumplir con lo descrito anteriormente se identificaron las acciones administrativas involucradas en la organización, gestión, transformación y comercialización de productos forestales, para conocer el efecto que la administración ha logrado generar en las cadenas productivas forestales comunitarias. Se encontró que los elementos de

administración permiten a los actores involucrados seleccionar estratégicamente las acciones que desean emprender, para tomar decisiones que habiliten a la empresa forestal comunitaria en el logro de metas establecidas. La implementación y desarrollo de técnicas administrativas impulsarán a las comunidades forestales en el manejo sustentable de los recursos humanos, económicos y naturales.

Palabras clave: Recursos forestales, acciones administrativas, cadenas productivas, empresa forestal comunitaria.

Abstract

Managing the use of forest resources implies deciding when, where and how to harvest to meet market demands and meet the needs of the productive unit; the organization and administration of forest production processes seek to increase the efficiency of the company by rationalizing existing resources. The objective of this analysis is to provide an updated review of the knowledge and variability of the basic elements of administration applied to the community forestry sector in Mexico, through the compilation of information described by national and foreign researchers. To comply with the aforementioned, the administrative actions involved in the organization, management, transformation and commercialization of forest products were identified, in order to know the effect that the administration has managed to generate in the community forest productive chains. It was found that the elements of administration allow the involved actors to strategically select the actions they wish to undertake, to make decisions that enable the community forestry company to achieve the established goals. The implementation and development of administrative techniques will encourage forest communities in the sustainable management of human, economic and natural resources.

Key Words: Forest resources, administrative actions, productive chains, community forestry company.

Introducción

La organización y la administración de los procesos productivos forestales deben estudiarse y tratarse como ciencia, no solo con un enfoque empírico (Taylor, 1994). La improvisación debe dar lugar a la planeación estratégica; y el empirismo, a la ciencia:

“la ciencia de la administración” que busca aumentar la eficiencia de la empresa mediante la racionalización del trabajo del capital humano. Chiavenato (2006) añade que esta conceptualización de la administración, obedece al intento de aplicar métodos científicos a los problemas de la administración para alcanzar una elevada eficiencia en los procesos de producción.

Guerra (1998) considera que los responsables de la administración de empresas agropecuarias requieren estar directamente relacionados con el proceso de producción. Diseñar y ejecutar planes con respecto a un sistema de producción determinado para cada actividad o proceso productivo agropecuario, se consideran parte importante entre las responsabilidades del administrador (García-Pérez, 2017). El rubro agropecuario se clasifica dentro de las actividades empresariales, donde se menciona la actividad silvícola, siendo esta el cultivo de los bosques y aprovechamiento de la vegetación existente en ellos; adicionalmente, se integran las actividades industriales donde se lleva a cabo la transformación de los recursos forestales.

De acuerdo con Serrano-Ramírez *et al.* (2019) gestionar el aprovechamiento de los recursos forestales implica decidir cuándo y dónde cosechar para satisfacer las demandas del mercado y a la vez cumplir con las políticas de conservación. En la actualidad, los retos de los administradores de recursos forestales consisten en determinar cómo maximizar la utilidad del bosque (Marušák *et al.*, 2015) y lograr la comprensión de las principales áreas administrativas que conforman la actividad forestal, para de esta forma complementar los requerimientos que exige la cadena productiva comunitaria.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, el objetivo de este artículo es proporcionar una revisión actualizada del conocimiento y la variabilidad de los elementos básicos de administración aplicados al sector forestal comunitario en México, mediante la recopilación de información descrita por investigadores nacionales y extranjeros.

Desarrollo

Desarrollo organizacional de ejidos forestales

La mezcla de la teoría clásica de la organización y la aplicación moderna de la misma, es un factor determinante para el desarrollo de las empresas en general. Morgan (1990) y Daft (2011) coinciden en que dicha composición de teorías, consiste en sugerir que las organizaciones deben ser sistemas o estructuras racionales que actúen tan eficientemente como les sea posible.

Morejón-Santistevan (2016) sugiere que la estructura organizacional desempeña tres funciones básicas. La primera: las empresas están para producir resultados y alcanzar objetivos organizacionales. La segunda: las estructuras se imponen para garantizar que los individuos se adaptan a las exigencias de la organización y no al contrario. Hall (1996) menciona que la tercera función se fija en el medio en el cual se ejerce el poder, y que son los sistemas que también conforman o determinan qué posiciones tiene y en el cual se toman las decisiones.

Diemer & Álvarez (1995) enfatizan que los procesos participativos representan una alternativa importante para trabajar dentro del riesgo y en campos inestables para la búsqueda de un desarrollo sustentable de las organizaciones forestales. Luján-Álvarez *et al.* (2000) señalan que el sistema social y el ecosistema, son dos elementos complejos involucrados en las actividades forestales comunitarias de México, considerando a la comunidad como un importante componente de desarrollo.

Por su parte, Vázquez-Álvarez *et al.* (2017) mencionan que en el sector forestal los sistemas organizacionales funcionan a largo plazo y su desarrollo depende de la estructura de sus componentes. Gigch (2006) agrega que la forma en que estos sistemas se ordenan depende de criterios de jerarquía; y sus relaciones e interacciones están estrechamente ligadas a los objetivos de la organización en general, conformando así un modelo adaptativo.

En cuanto a jerarquía se refiere, el artículo 22 de la Ley Agraria indica que, “el órgano supremo del ejido es la asamblea, en la que participan todos los ejidatarios” (Ley Agraria, 2018). Rascón-Solano *et al.* (2020) indican que la asamblea ejidal, tiene

la facultad y obligación de tomar las decisiones convenientes para el desarrollo de la organización (como empresa) y los miembros que la integran (como socios).

Adicional a las obligaciones de la asamblea general, se conoce que es quien faculta a específicos actores de ser quienes representan a la comunidad, ya que una empresa forestal comunitaria pertenece a una comunidad agraria o ejido y opera a través de miembros electos mediante asambleas (Bray y Merino-Pérez, 2004); el proceso de dirección, administración y distribución de beneficios de estas empresas las contrasta de aquellas que operan en el rubro privado (Torres-Rojo *et al.*, 2007). Sánchez-Vidaña *et al.* (2018) indican que el comisariado ejidal y el consejo de vigilancia, como representantes, tienen que cumplir con diversas funciones, dentro de las cuales se debe tomar en cuenta la distribución de jornadas y áreas laborales; asimismo, son quienes tienen el contacto directo con el administrador o manejador de los bosques ubicados dentro de la superficie ejidal o comunal.

Gasca-Zamora (2014) menciona que la organización adecuada de las empresas comunitarias forestales promueve la distribución de utilidades y es decisión de la asamblea la inversión de las mismas en obras y servicios en beneficio de la comunidad (camino, agua, luz, hospitales, escuelas, entre otras). Adicionalmente, la organización empresarial comunitaria en algunas regiones, indica parámetros particulares para la toma de decisiones, como lo es la selección de personal laboral, distribución de los puestos de trabajo y determinación de los jornales de operación forestal (Rascón-Solano *et al.*, 2020).

Capital humano comunitario y seguridad laboral

El recurso humano posee características únicas, que se demuestran en sus atributos de acuerdo a la perspectiva de la teoría de los recursos y capacidades, para constituirse en fuente de ventaja competitiva dado que son factores de producción valiosos, no imitables y heterogéneos (Sánchez-Peñaflor y Herrera-Avilés, 2016). Adicionalmente, se considera que el elemento humano como recurso es la habilidad innata o capacidad de los trabajadores para aprender (Boudreau, 1983). Wright *et al.* (2001) indican que es importante observar que, en una empresa, el capital humano puede ser una fuente potencial de ventaja competitiva sostenible.

Vázquez-Álvarez *et al.* (2017) mediante un análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, identifican que los ejidos y comunidades forestales de Chihuahua cuentan con debilidades como, desarticulación en el funcionamiento del sistema de organización forestal y cadenas productivas forestales desintegradas e inoperativas; sin embargo, se cuenta con los recursos humanos y naturales disponibles para ser competitivos y experiencia por parte de los diferentes miembros que integran la empresa.

Estudios como el realizado por Rascón-Solano *et al.* (2020), especifican que las actividades contempladas en la extracción, abasto y transformación de materias primas, se confiere estrictamente a los ejidatarios y sus herederos, esto con la intención de proveer de recursos económicos a la comunidad y elevar el nivel de vida de los mismos. Por su parte, Sánchez-Vidaña *et al.* (2018) expresan que la organización ejidal para el aprovechamiento maderable inicia con la elección de los miembros que van a ocupar los puestos en la extracción, actividad que en su mayoría se realizan por hombres, sin embargo, algunas comunidades presentan interés para que las mujeres se involucren progresivamente en el aprovechamiento forestal. Asimismo, durante los últimos años se han emprendido proyectos exclusivos para mujeres en el sector forestal, con la finalidad de integrar a la comunidad femenina en la cadena productiva (CCMSS, 2018).

Por otra parte, se tiene conocimiento de estudios dirigidos a las condiciones laborales en las que se encuentra el personal empleado en las actividades de industrialización de productos forestales; Aragón-Vásquez *et al.* (2019) evaluaron las posturas de trabajo en la región de El Salto, Durango, encontrando que 52.00 % de los operadores evaluados emplea posturas normales, que no representan riesgos de lesiones musculoesqueléticas. A su vez, Silva-Lugo *et al.* (2019) determinaron la medida de comportamiento seguro por parte de los trabajadores en el uso de equipo de protección personal y las condiciones de seguridad de los puestos de trabajo, identificando graves problemas de seguridad existente en los aserraderos de la región de El Salto, Durango, con un alto porcentaje de condiciones y comportamientos inseguros registrados. Adicionalmente, Silva-Lugo *et al.* (2020) analizaron la exposición de los trabajadores de aserraderos a factores como la temperatura, ruido e

iluminación, determinando que, de las tres variables ambientales evaluadas en las industrias, el ruido representa el mayor riesgo para la salud de los trabajadores. Este tipo de investigaciones cuentan con potencial para ser replicadas y adaptadas a diferentes industrias del sector forestal, el diagnóstico y monitoreo de las actividades permite a las empresas comunitarias desarrollar planes de acción correctiva y preventiva de accidentes laborales.

Gestión de bosques

CONAFOR (2021) indica que de los 29,464 núcleos agrarios con base en el criterio de tener al menos 200 ha con bosques, selvas y matorrales, la propiedad social abarca 53.00 % de los que pueden considerarse forestales. Por su parte, Madrid *et al.* (2009) e INEGI (2014) indican que alrededor del 80.00 % de los bosques templados en México se encuentran en posesión de ejidos y comunidades agrarias, Para el año 2018, el país alcanzó 13,971 autorizaciones de aprovechamiento forestal maderable, distribuidas en una superficie de 6.3 millones de hectáreas, de las cuales, el 16.38 % fueron expedidas a ejidos y comunidades productores (SEMARNAT, 2021).

Respecto al volumen autorizado vigente en 2018, SEMARNAT (2021) Destacan Chihuahua, Durango, Oaxaca, Jalisco, Quintana Roo, Michoacán, Estado de México y Guerrero, que en conjunto suman el 79.00 % del total nacional del volumen total nacional aprovechado principalmente por parte de comunidades forestales.

Siendo el manejo forestal un proceso esencialmente administrativo como indica Aguirre-Calderón (2015), desde sus inicios ha sido una actividad realizada por diversos actores de la sociedad, desde los manejadores del bosque hasta los comercializadores de productos derivados de los ecosistemas; dentro de esta cadena de producción es posible identificar el factor comunitario, siendo este el de mayor proporción en el país. Cabe mencionar que gran parte del proceso administrativo recae directamente en sus actividades internas, y el efecto de las mismas en los sectores ecológico, económico y social.

De forma perpetua y óptima, la gestión sustentable de los recursos forestales ha asegurado proveer de bienes y servicios al demográfico que los demanda, conservando los ecosistemas a largo plazo con el fin de mejorar las condiciones y

calidad de vida de la sociedad (Aguirre-Calderón, 2015). En México, el aprovechamiento sustentable de los montes ha generado un incremento en la calidad de vida de los propietarios de las tierras comunales y ejidales, quienes a menudo obtienen ingresos a partir del aprovechamiento y comercialización de los productos que el ecosistema genera (Rascón-Solano *et al.*, 2019a).

Administración de operaciones forestales

Aguirre-Calderón (2015) plantea una pregunta en torno a la administración forestal de suma importancia, “¿cuáles son los procedimientos operativos y recursos financieros requeridos para ejecutar un plan de acción programado para lograr los objetivos?”, en función de lo anterior, Rascón-Solano *et al.* (2020) indican que comunidades ejidales poseen planes de acción que han sido analizados y mejorados para fijar metas en el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.

En general, los ejidos y comunidades forestales cuentan con planes de operación a corto plazo, estas actividades regularmente son fijadas en términos anuales debido a las políticas internas de la comunidad, estas políticas pueden indicar o no, los periodos laborales de diversos actores del aprovechamiento, transformación y comercialización de los productos generados. Las personas involucradas en la representación comunal como las del presidente, tesorero y secretario del comisariado ejidal, así como consejo de vigilancia, desarrollan planificaciones de acción laboral y política en plazos de tres años. En cambio, las estrategias y decisiones directamente relacionadas con la extracción y transformación, regularmente dependen de los acuerdos tomados por la asamblea general, bajo la orientación de un prestador de servicios técnicos y organismos gubernamentales como la Comisión Nacional Forestal.

Dentro de las operaciones forestales, es necesario indicar cuáles son las actividades llevadas a cabo con regularidad, dichas actividades son las esenciales para lograr la extracción de materias primas y su posterior transporte a los centros de concentración o transformación. Rascón-Solano *et al.* (2019a) indican que para desarrollar la remoción del arbolado es necesario planificar siete actividades fundamentales: construcción y reparación de caminos, dirección de monte, derribo y

troceo de la madera en pie, limpia de la madera en rollo y el área de derribo, arrastre y carga del rollizo, documentado de rollo y transporte de la materia prima.

Rascón-Solano *et al.* (2019b) han documentado que las actividades forestales de campo son llevadas a cabo por los poseedores de derechos ejidales y sus herederos, ya que esto beneficia económicamente a los mismos. Esta decisión tomada por la asamblea ejidal permite tener un control de las actividades realizadas y los actores que intervienen en las mismas, permitiendo administrar los recursos y bienes generados por el ecosistema y la comunidad.

Administración del proceso de transformación

En la actualidad, la industrialización forestal juega un papel determinante en el sector; asimismo, los precios en el mercado y la calidad de los productos afectan directamente a las actividades de manejo (Aguirre-Calderón, 2015). Zavala y Hernández (2000) indican que la industria del asierre es una de las de mayor importancia socioeconómica en el país, debido a que la mayoría de las industrias comunitarias se encuentran en las regiones boscosas (Flores-Velázquez *et al.*, 2007). De igual manera, Orozco-Contreras *et al.* (2016) mencionan que la administración del proceso de aserrío es una de las actividades capitalizadoras de mayor importancia en las organizaciones sociales de México.

La transformación de recursos maderables es un proceso administrativo que se ha efectuado constantemente, sin embargo, no se ha visualizado bajo este concepto ya que con regularidad se ejerce bajo ideales meramente técnicos. En México las técnicas empleadas frecuentemente se basan en estimar los rendimientos o coeficientes de aserrío de diferentes géneros (Nájera *et al.*, 2006), evaluación de la calidad dimensional de los productos (Torrecillas-Silva *et al.*, 2020), estimación de la distribución de clases (Orozco-Contreras *et al.*, 2016), evaluación de los tiempos de transformación (Acosta-Ramos y Martínez-López, 2012), análisis de las condiciones del equipo y procesos (Nájera-Luna *et al.*, 2012) y en menor medida determinar las condiciones económicas del proceso de transformación (Rascón-Solano *et al.*, 2020).

De acuerdo con lo mencionado por García *et al.* (2001), el rendimiento de aserrado es uno de los indicadores de mayor importancia para determinar la eficiencia

de la industria del aserrío. Este indicador permite también diagnosticar los niveles de ingreso obtenidos por la empresa mediante la transformación de madera, ya que estima el volumen de los diversos productos con capacidad de comercialización.

En torno a la calidad de la madera aserrada, Nájera *et al.* (2011b) indican que la calidad dimensional de la madera producida en aserraderos tiene un efecto directamente relacionado con la calidad del producto cepillado o producto final. Esto quiere decir que los productos al no contar con las dimensiones establecidas por el mercado, podrían generar pérdidas económicas a las empresas que los generan, pues en teoría no deberían ser comercializados con regularidad o bajo las mismas condiciones de precio.

Orozco-Contreras *et al.* (2016) desarrollaron un estudio de las principales especies comerciales de pino encontradas en el estado de Durango, evaluando el rendimiento por clase de madera aserrada obtenida de cuatro especies y las características de los rollizos, destacando que conocer esta información es muy útil en la toma de decisiones, como en la estimación de clases disponibles en stock y costo de compra/venta de madera en rollo. De acuerdo con (Vázquez-Álvarez *et al.*, 2017) y (Rascón-Solano *et al.*, 2020) gran proporción de los ejidos forestales realiza la venta de madera tipo “mill run” siendo una de las formas más comunes de comercialización, ya que son escasos los ejidos que deciden clasificar la madera aserrada de pino.

Zavala y Hernández (2000) identifican problemas en el proceso de transformación, el 49.00 % de la materia prima se ubica posicionada como un residuo sólido con potencial de ser transformado en productos alternativos y combustibles, por lo que recomiendan analizar alternativas de industrialización, que permitan aumentar el valor agregado a la madera aserrada y reducir la comercialización tradicional. En la actualidad, esta problemática prevalece en la mayoría de los centros de aserrío del país, siendo este proceso traducido a pérdidas económicas para las empresas comunitarias y generación de contaminantes en áreas aledañas a los centros de transformación.

Por otra parte, Rascón-Solano *et al.* (2020) identifican diversas oportunidades de mejora en las empresas forestales comunitarias, ya que el concepto de dirección o administración industrial forestal cuenta con diversas carencias, producto de una

baja capacitación del personal y reducido conocimiento de oportunidades de mercado. Principalmente, la falta de adiestramiento refleja problemas en la adecuada transformación de madera y su posterior comercialización (Vázquez-Álvarez *et al.*, 2017), provocando ingresos limitados para los ejidatarios que laboran y reciben beneficios dentro de las empresas.

En algunos estados de la república mexicana no se cuenta con suficiente información actualizada que permita conocer las condiciones en las que se encuentran los procesos de transformación de materias primas maderables, permite a los investigadores y organismos competentes incursionar en esta área para generar diagnósticos y programas estratégicos de desarrollo derivados de las oportunidades de mejora encontradas.

Mercadotecnia forestal

Un aspecto relacionado con el marketing y el medio ambiente es el de la certificación de los productos forestales, que está ganando una gran atención por parte de los consumidores; pretende vincular la ordenación sostenible de los recursos forestales con el mercadeo internacional, alentando a los clientes a adquirir principalmente productos fabricados con madera procedente de bosques aprovechados bajo un ordenamiento sostenible (Cruz-Pérez, 2010).

En México no existe un mercado consolidado para madera certificada, ya que se observa que los fabricantes de productos finales no están interesados en exigir a sus proveedores de madera un certificado que elevaría el precio de los artículos (Martínez y Colin, 2003). Tamarit-Urias (2003) menciona que en teoría, la certificación debe mejorar el manejo forestal mediante el acceso seguro al mercado internacional de la madera. Sin embargo, la certificación forestal no establece ninguna garantía ni de mercado ni de precio; de esta forma, si existe incertidumbre en el precio, la rentabilidad se vería afectada y se corre el riesgo de que la producción se destine a mercados convencionales, donde entraría en una competencia con comunidades no certificadas.

La certificación de los ejidos forma parte de un mercado que demanda bienes y garantías en la calidad ambiental, agencias internacionales certificadoras señalan la

importancia de promover la conservación de biodiversidad y crear áreas de protección en las zonas donde existen especies de alto valor de conservación (Martínez y Colin, 2003); no obstante, no existe evidencia de que el proceso de certificación por sí mismo garantice dicha conservación (Kiker y Putz, 1997). De igual manera, ningún régimen de propiedad en sí mismo es suficiente para garantizar la conservación de las áreas naturales (Merino-Pérez, 2018). Por otra parte, Aguirre-Calderón (2015) menciona que los sistemas de certificación exitosos han sido asociados a enfoques participativos para la toma de decisiones en los bosques, abordando aspectos sociales y ambientales.

Los avances teóricos y metodológicos de la economía ambiental, amplían el concepto restringido de valor económico hacia la necesidad de una visión multifuncional del bosque, extendiendo el interés por el mismo a otros campos ajenos al dominio forestal convencional (Ruiz-Pérez *et al.*, 2007). Pearce (1992) al caso de los bosques aplica una tasación económica total, destacando la necesidad de evaluar una serie de servicios ambientales, conocidos por las ciencias naturales como parte del estudio del funcionamiento ecológico de los ecosistemas.

Por otra parte, Hernández y López (2012) puntualizan que es esencial la visión estratégica de la mezcla de marketing ecológico orientada a la proyección de la empresa, guiando a la misma hacia el futuro en un entorno altamente complejo y competitivo; adicionalmente, indican que el marketing ecológico es una tendencia muy importante para la planificación estratégica, que permite a la empresa dirigirse hacia una excelencia ambiental, aprovechando y transformando de forma sostenible los diversos recursos existentes.

El mercado de bonos de carbono, es un mecanismo que ha utilizado la economía ambiental para tratar de mitigar las emisiones de gases efecto invernadero. López-Toache *et al.* (2016) indican que las acciones de mitigación de emisiones y desaceleración del cambio climático es el surgimiento de propuestas de economía verde. La economía verde se ha empleado para redirigir las inversiones económicas al llamado “capital natural” y de esa manera afrontar la crisis financiera, con la finalidad de enfrentar el cambio climático; de esta forma, se dan a las empresas estímulos fiscales para que inviertan en energías limpias (Ribeiro, 2011).

Finanzas forestales

Actualmente en México, debido al escenario de no disminuir las emisiones, ni tampoco pagar un impuesto por las mismas, se tomó la estrategia de compensarlas a través de la inversión de bonos de carbono que generarán estos proyectos; lo que significa que la financiarización del medioambiente comienza a tomar relevancia en nuestro país (López-Toache *et al.*, 2016). Actualmente, existe una Estrategia REDD+ Nacional (Enaredd+) que fue aprobada en 2017 por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Para ejecutar esta estrategia, se cuenta con financiamiento para el proceso de preparación de REDD+ en México, procediendo principalmente del Forest Carbon Partnership Facility (FCPF) del Banco Mundial (Ranero y Covalada, 2018).

Adicionalmente, diversas instituciones bancarias proporcionan financiamiento a las comunidades forestales de México; un ejemplo de esto es la generación del Programa de Inversión Forestal (PROINFOR) que recibe fondos a través de Nacional Financiera, del Banco Alemán de Desarrollo (KfW) y los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). El objetivo del PROINFOR es que las Empresas Forestales Comunitarias certificadas, accedan al crédito para hacer inversiones en operaciones de manejo forestal y redes de valor, incrementando su eficiencia y rentabilidad. De acuerdo con Rascón-Solano (2018) diversas comunidades forestales se han visto beneficiadas con este programa de desarrollo, siendo uno de los intereses particulares de las empresas comunitarias la modernización de las industrias y procesos de transformación.

En cuanto a las evaluaciones financieras, es necesario tomar en cuenta parámetros técnicos enfocados a la rentabilidad de la actividad propuesta. Navarro y Bermúdez (2006) proponen calcular el valor esperado de la tierra (VET), conocida también en la economía forestal como la fórmula de Faustmann. Klemperer (1996) interpreta el resultado del VET como la voluntad de pago máxima por la tierra limpia. Adicionalmente, Navarro y Bermúdez (2006) consideran incluir la estimación del valor del bosque (VB), ya que el ecosistema boscoso y la tierra son bienes de capital íntimamente ligados.

La interpretación financiera de los valores antes mencionada es complementada con diversos indicadores empleados ampliamente para evaluar la capacidad

economica de una actividad, Hernández-Díaz *et al.* (2011) indican la importancia de estimar indicadores financieros como los son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio-Costo (Rel. B/C) en el proceso de determinación de la rentabilidad de los proyectos forestales. Por su parte Arreguín-Sámano *et al.* (2014) recomiendan emplear el indicador de Relación Beneficio-Inversión Neta (N/K) para evaluar el proceso de aprovechamiento de recursos forestales. En cuanto al establecimiento de industrias forestales, Rascón-Solano *et al.* (2020) proponen incluir en los procesos de evaluación el indicador denominado Rentabilidad Económica (R.E.), que es funcional para determinar la viabilidad de la actividad empresarial. Por otra parte, es posible emplear indicadores como lo son el Periodo de Recuperación (PR) y Punto de Equilibrio (PE) para determinar el flujo de efectivo con el que contará la actividad económica bajo estudio. Rascón-Solano *et al.* (2019a) plantean emplear indicadores como la Tasa de Rentabilidad Mínima Aceptable (TREMA), Tasa de Actualización (TA) y Tasa de Descuento (TD) para evaluar el flujo de los ingresos futuros y la Tasa Interna de Retorno Modificada (TIRM) para determinar la rentabilidad de los proyectos de inversión. Empleando en conjunto estos indicadores, es posible determinar con un valor de confianza significativo la rentabilidad de los proyectos de inversión forestal y de las actividades desarrolladas en las comunidades agrarias en general.

Conclusiones

Se identificaron estudios que atienden las actividades productivas del sector forestal con diversas metodologías que constituyen a la administración como una ciencia, esta información permite a los manejadores y poseedores del recurso seleccionar estratégicamente las acciones que desean emprender en el corto y mediano plazo, generando un efecto positivo en los elementos considerados a largo plazo. Adicionalmente, estas decisiones permitirán a la empresa forestal comunitaria alcanzar las metas establecidas con mayor facilidad, empleando y adaptando las tecnologías descritas para el desarrollo socioeconómico de las mismas, logrando en un futuro alcanzar niveles de desempeño y competitividad que atiendan las metas y objetivos planteados en el desarrollo sostenible.

En la actualidad nos encontramos en un entorno cada vez más complejo en el que la competitividad demarca un parteaguas entre las diversas empresas existentes, por tal motivo, es necesario comprender y emplear las diversas técnicas orientadas hacia la administración de las cadenas productivas forestales del sector comunitario. La presencia de los recursos forestales en las futuras generaciones dependerá en una importante proporción de que desarrollemos técnicas de administración forestal conducidas hacia la sostenibilidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada al primer autor para desarrollar sus estudios de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Adicionalmente, se agradece a los revisores anónimos que permiten mejorar la calidad de esta contribución.

Conflicto de interés

Los autores declaran no contar con algún conflicto de interés.

Contribuciones por autor

J. R-S. planificación, redacción y estructuración de la revisión; O. A. A-C. revisión del manuscrito y aplicación de correcciones; E. A-R., J. J-P. y E. J. T-G. Revisión del manuscrito; J. A. N-L. Revisión del manuscrito y aplicación de correcciones.

Literatura citada

Acosta-Ramos, A., y Martínez-López, J. (2012). Productividad del aserrado de machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl), en Tres Garantías, Quintana Roo, México. *Madera y Bosques*, (18)2: 7-26. <https://doi.org/10.21829/myb.2012.182350>

Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y bosques*, 21(SPE), 17-28. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>

Aragón-Vásquez, A. Y., Silva-Lugo, E. D., Nájera-Luna, J. A., Méndez-González, J., Hernández, F. J., y de la Cruz-Carrera, R. (2019). Análisis postural del trabajador forestal en aserraderos de El Salto, Durango, México. *Madera y Bosques*, 25(3), e2531904. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531904>

Arreguín-Sámamo, M., González-Ellas, J. M., Delgado-Henández, J. L., y Carrillo-Espinosa, G. (2014). Evaluación económica del aprovechamiento forestal persistente en comunidad San Miguel Topilejo, Delegación Tlalpan, Distrito Federal. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34: 850-860.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14131514019> (22 de enero de 2021).

Boudreau, J. (1983). Economic considerations in estimating the utility of human resource productivity improvement programs. *Personnel Psychology*, 36(3), 551-5576. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1983.tb02235.x>

Bray, D. B., y Merino-Pérez, L. (2004). *La experiencia de las comunidades forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. Ciudad de México, CDMX, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

https://books.google.com.mx/books?id=vBsNvHoeFEUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Chiavenato, I. (2006). *Introducción a la teoría general de la administración. Séptima edición*. México: McGraw-Hill Companies, Inc.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2021). Estado que Guarda el Sector Forestal en México 2020. CDMX, México: Comisión Nacional Forestal.

Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS). (2018). *Las mujeres de los bosques, una agenda pendiente*. CDMX, México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2018/03/Las-mujeres-del-bosque_agendapendiente_marzo2018.pdf

Cruz-Pérez, Y. (2010). El marketing en el desarrollo sostenible de las empresas forestales: un acercamiento a la concepción cubana. *REDMARKA UIMA-Universidad de A Coruña - CIECID*, 2(4), 3-20.

Daft, R. (2011). *Teoría y diseño organizacional*. Madrid, España: Vanderbilt University.

Diemer, J. A., y Alvarez, R. (1995). Sustainable community, sustainable forestry: a participatory model. *Journal of forestry*, 93(11): 10-14.

<https://doi.org/10.1093/jof/93.11.10>

Flores-Velázquez, R., Serrano-Gálvez, E., Palacio-Muñoz, V. H., y 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>

García, J., Morales, L., y Valencia, S. (2001). *Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. Nota técnica No. 5*. Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

García-Pérez, S. L. (2017). Las empresas agropecuarias y la administración financiera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 40, 583-594.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14152127007>

Gasca-Zamora, J. (2014). Gobernanza y gestión comunitaria de recursos naturales en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y Sociedad*, 26(60), 89-120.

<https://doi.org/10.22198/rys.2014.60.a11>

Gigch, J. P. (2006). *Teoría General de Sistemas. Tercera Edición*. Cd. de México, México: Trillas.

Hall, R. H. (1996). *Organizaciones estructuras y procesos*. Madrid, España: Editorial Dossat.

Hernández, Y., y López, D. (2012). El marketing ecológico y su integración en la planificación estratégica. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14(2): 223-231. <http://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/2009/1890>

Hernández-Díaz, J. C., Pérez-Verdín, G., Corral-Rivas, J. J., y Pinedo-Álvarez, A. (2011). Conceptos económicos y financieros básicos para la toma de decisiones en la actividad forestal. En *Economía en el manejo sustentable de los recursos naturales* (págs. 32-58). Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. Cd. de México. México: INEGI.

Kiker, C., y Putz, F. E. (1997). Ecological certification of forest products: economic challenges. *Ecological Economics*, 20: 37-51. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00076-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00076-6)

Klemperer, W. D. (1996). *Forest Resource Economics and Finance*. Nueva York, USA: McGraw-Hill Inc. 551 p. (Series in Forest Resources).

Ley Agraria. (2018). *Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 1992. Última reforma publicada DOF 25-06-2018*. Ciudad de México, CDMX, México: Congreso de la Unión.

López-Toache, V., Romero-Amado, J., Toache-Bertolini, G., y García-Sánchez, S. (2016). Bonos de carbono: financiarización del medioambiente en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 25(47): 191-215. <https://www.ciad.mx/estudiosociales/index.php/es/article/view/314>

Luján-Álvarez, C., Diemer, J. A., y Stanford, M. L. (2000). Desarrollo de comunidades forestales sustentables en Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 6(2): 29-39. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.621333>

Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G., y Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación Ambiental. Ciencia y política pública*, 1(2): 179-196.

Martínez, A., y Colin, S. (2003). La certificación ambiental de los bosques en México: reporte preliminar. *Gaceta Ecológica*, 67, 45-60.

Marušák, R., Kašpar, J., Hlavatý, R., Kotek, V., Kuželka, K., y Vopěnka, P. (2015). Alternative modelling approach to spatial harvest scheduling with respect to fragmentation of forest ecosystem. *Environmental Management*, 1134-1147. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0558-1>

Merino-Pérez, L. (2018). Comunidades forestales en México. Formas de vida, gobernanza y conservación. *Revista Mexicana de Sociología*, 80(4): 909-940. <http://dx.doi.org/10.22201/iis.01882503p.2018.4.57799>

Morejón-Santistevan, M. E. (2016). La teoría organizacional: análisis de su enfoque en una administración pública y su diferencia en una administración privada. *Revista Enfoques: Ciencia Política y Administración Pública*, 14(25): 127-143.

Morgan, G. (1990). *Imágenes de la organización*. Madrid, España: Editorial RA-MA.

Nájera, J. A., Aguirre, O. A., Treviño, E. J., Jiménez, J., Jurado, E., Corral, J. J., y Vargas, B. (2011b). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 77-91. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i4.610>

Nájera, J. A., Rodríguez, I., Méndez, J., Graciano, J., Rosas, 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. DOI: 10.35197/rx.02.02.2006.11.jn

Nájera, J., Adame, G. H., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F. J., y Aguirre, C. G. (2012). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 20(55): 11-23. <https://investigacion.uaa.mx/RevistalyC/archivo/revista55/Articulo%202.pdf>

Nájera-Luna, J. A., Montañez-Rivera, J. T., Méndez-González, J., Hernández, F. J., Vargas-Larreta, B., Cruz-Cobos, F., y Aguirre-Calderón, 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 de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 54, 17-24. <https://investigacion.uaa.mx/RevistalyC/archivo/revista54/Articulo%204.pdf>

Navarro, G. A., y Bermúdez, G. (2006). *Rentabilidad del manejo de bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, División de Investigación y Desarrollo.

Orozco-Contreras, R., Hernández-Díaz, J. C., Nájera-Luna, J. A., Domínguez-Calleros, P. A., Goche-Telles, J. R., López-Serrano, P. M., y Corral-Rivas, J. J.

(2016). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36): 37-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.58>

Pearce, D. (1992). *Economic valuation and the natural world*. World Bank, Washington D.C. USA: Policy Research Working. Paper 988.

Ranero, A., y Covalada, S. (2018). El financiamiento de los proyectos de carbono forestal: Experiencias existentes y oportunidades en México. *Madera y Bosques*, 24, e2401913. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401913>

Rascón-Solano, J. (2018). *Mejoramiento de la rentabilidad de la industria forestal en la empresa ejidal Aborechi, Guachochi, Chihuahua (Estudio de Caso de Maestría)*. Cd. Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Rascón-Solano, J., Kiessling-Davison, C. M., Villarreal-Ramírez, V. H., Macias-Lopez, M. G., y Hermosillo-Nieto, J. J. (2019b). Fortalecimiento del capital económico del ejido forestal Agostadero de Aguirre, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 123-133. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.56>

Rascón-Solano, J., Kiessling-Davison, C. M., Villarreal-Ramírez, V. H., Uranga-Valencia, L. P., y Palacios-Monarez, A. (2019a). Análisis Comparativo de dos Panoramas Económicos en el Desarrollo de un Proyecto de Inversión para el Ejido Forestal Cieneguita de la Barranca, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 12-21. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.13>

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 on line*, 15(4): 219-249.

<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v15/OK%2010%20costos.pdf>

Ribeiro, S. (2011). *Los verdaderos colores de la economía verde*. Ecuador.

Ruiz-Pérez, M., García-Fernández, C., y Sayer, J. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas*, 16(3): 80-89.

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/95>

Sánchez-Peñaflor, S., y Herrera-Avilés, M. (2016). Los recursos humanos bajo el enfoque de la teoría de los recursos y capacidades. *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 24(2), 133-146. <https://doi.org/10.18359/rfce.2216>

Sánchez-Vidaña, D. L., Valtierra-Pacheco, E., González-Guillén, M., y León-Merino, A. (2018). Capital humano e innovación en el proceso de integración del aprovechamiento forestal maderable en el ejido Gómez Tepeteno, Tlatlauquitepec, Puebla. *Madera y Bosques*, 24(3), e2431654.

<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431654>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018*. Ciudad de México, CDMX: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf>

Serrano-Ramírez, E., Valdez-Lazalde, J. R., De los Santos-Posadas, H. M., Mora-Gutiérrez, R. A., y Ángeles-Pérez, G. (2019). Optimización de la producción forestal maderable y conservación del ecosistema en bosques comunitarios en el sur de México. *Bosque*, 40(2), 195-204. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000200195>

Silva-Lugo, E. D., Aragón-Vásquez, A. Y., Nájera-Luna, J. A., Hernández, F. J., de la Cruz-Carrera, R., y Carrillo-Parra, A. (2020). Analysis of the physical work environment in sawmills in El Salto, Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(2), 207–219.

<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.04.035>

Silva-Lugo, E. D., Aragón-Vásquez, A. Y., Nájera-Luna, J. A., Hernández-Díaz, J. C., Hernández, F. J., y de la Cruz-Carrera, R. (2019). Prácticas de comportamiento seguro en la industria del aserrío de El Salto, Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52), 121-148. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.469>

Tamarit-Urias, J. C. (2003). Análisis del escenario de la certificación forestal en el contexto del desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 9(2), 3-13.

<https://doi.org/10.21829/myb.2003.921282>

Taylor, W. C. (1994). Control in Age of Chaos. *Harvard Business Review*, 72(6): 64-76. <https://doi.org/10.1177/0266382110366956>

Torrecillas-Silva, C. A., Orozco-Contreras, R., Nájera-Luna, 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>

Torres-Rojo, J. M., Guevara-Sanginés, A., & Bray, D. B. (2007). La economía de la administración del manejo comunitario forestal en México: Un estudio de caso en el Balcón, Tecpan, Guerrero. En D. B. Bray, L. Merino-Pérez, & D. Barry, *Los bosques comunitarios en México* (págs. 343-375). México: INE-Semarnat.

Vázquez-Álvarez, S., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., González-Hernández, H. G., & Luján-Álvarez, H. (2017). Prospectiva del sistema organizacional del sector forestal en Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 23(2): 205-222.

<https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321646>

Wright, P., Dunford, B., & Snell, S. (2001). Human resources and the resource based view for the firm. *Journal of Management*, 27: 701-721.

<https://doi.org/10.1177/014920630102700607>

Zavala, D., & Hernández, R. (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 41-55.

<https://doi.org/10.21829/myb.2000.621374>

**CAPÍTULO II. EFFICIENT USE OF TIMBER RESOURCES IN MEXICO:
HISTORICAL DEVELOPMENT AND CURRENT CHALLENGES
(Publicado en Notulae Scientia Biologicae)**

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Himmelsbach, W., Nájera-Luna, J. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., & Treviño-Garza, E. (2023). Efficient use of timber resources in Mexico: Historical development and current challenges. *Notulae Scientia Biologicae*, 15(2), 11508. <https://doi.org/10.55779/nsb15211508>

Historical and current development of the efficient use of timber resources, challenges and opportunities for Mexico

Joel Rascón-Solano¹, Oscar Alberto Aguirre-Calderón², Juan Abel Nájera-Luna³, Wibke Himmelsbach^{2,*}, Eduardo Alanís-Rodríguez², Javier Jiménez-Pérez², Eduardo Treviño-Garza²

¹Autonomous University of Nuevo León, Faculty of Forestry Sciences, Doctoral Program in Sciences with Orientation in Natural Resources Management, National Highway Km 145, ZIP 67700. Linares, Nuevo León, Mexico; #85, Km. 145, Linares, Nuevo León, ZIP 67700, Nuevo León, México; forestal_rascon@hotmail.com

²Autonomous University of Nuevo León, Faculty of Forestry Sciences, National Highway Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León, ZIP 67700, Nuevo León, México; oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx; wibke.himmelsbach@uanl.edu.mx (*corresponding author); eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx;

javier.jimenezpr@uanl.edu.mx; eduardo.trevinogr@uanl.edu.mx

³Division of Postgraduate Studies and Research, Technological Institute of El Salto, Tecnológico Street 101 Col. La Forestal ZIP 34942, Durango, México; jalnajera@itelsalto.edu.mx

Resumen

El uso y consumo de la madera siempre ha capturado la atención de los investigadores forestales, principalmente desde el punto de vista de la gestión forestal y el procesamiento sostenible de materias primas. Por esta razón, la industria maderera no solo se ha preocupado por el mantenimiento de los bosques, sino también por un procesamiento eficiente. El objetivo fue identificar, analizar y discutir los principales elementos que influyen en el uso eficiente de los recursos naturales de madera a nivel global, regional y local, brindando una perspectiva histórica y actual del sector forestal industrial en México. Históricamente, las industrias madereras a nivel mundial se han preocupado por aplicar tratamientos silviculturales intensivos en bosques nativos y plantaciones artificiales, en busca de satisfacer la demanda de un mercado en crecimiento. En este contexto, las industrias evolucionaron a medida que los procesos necesitaban ser más eficientes. Por lo tanto, se hicieron esfuerzos para reducir y

aprovechar los residuos forestales, al mismo tiempo que diversos eventos históricos generaron necesidades adicionales. En la actualidad, la integración de la silvicultura y la transformación forestal permite aumentar y mejorar la calidad de los productos generados. Mediante la aplicación de tratamientos silviculturales intensivos, se obtienen productos de una sola especie. Sin embargo, es posible dirigir la producción hacia un mercado específico a medida que la masa forestal se desarrolla. Por su parte, los tratamientos selectivos en bosques de distintas edades mantienen una producción constante de diversos productos para diferentes mercados especializados. En México, es imperativo analizar y generar productos derivados de la madera innovadores o competitivos para mejorar la eficiencia de la cosecha forestal.

Keywords: Industria maderera, transformación y procesamiento, residuos forestales, silvicultura intensiva, silvicultura selectiva, productos de madera.

Introducción

Históricamente, los bosques han proporcionado a la sociedad humana bienes y servicios esenciales para el sustento y la generación de ingresos. Mucho antes de que se desarrollaran las técnicas y herramientas modernas de corte de madera, los seres humanos recolectaban alimentos, medicinas y otros recursos que satisfacían sus necesidades básicas en los bosques (Sheppard et al., 2020), ecosistemas donde aún se extraen recursos naturales con importantes valores económicos, culturales y ecológicos (Cárdenas et al., 2018). Por esta razón, el sector forestal suele ser económicamente importante en países dotados de bosques (Lundmark et al., 2021; Rascón-Solano et al., 2022a; Hernández et al., 2023).

Actualmente, algunas actividades se enfrentan a productos de madera de bajo valor (Townsend et al., 2019), altos costos de extracción de madera o limitaciones en la productividad operativa (Holzfeind et al., 2021), y cambios en la capacidad utilizada e instalada de las industrias forestales (Fuentes et al., 2006). Por otro lado, la necesidad de establecer políticas y regulaciones estrictas con respecto al uso de los recursos forestales de manera sostenible (Ayala-Mendivil y Sandoval, 2018) y la estructura, competitividad y diversificación del mercado (Coelho Junior et al., 2019)

son factores que añaden complejidad a las actividades industriales. En este sentido, Hurmekoski y Hetemäki (2013) enfatizaron que el éxito del sector forestal para enfrentar estos desafíos depende de mejorar su desempeño y competitividad, así como del desarrollo de nuevos productos, tecnologías mejoradas y la capacidad de adaptarse a las cambiantes condiciones del mercado.

Es importante mencionar que el potencial natural y el manejo adecuado de los bosques permiten aumentar la cosecha de materia prima para satisfacer la creciente demanda de la industria maderera (Tymendorf y Trzciński, 2020). En este sentido, el tratamiento silvicultural es uno de los enfoques más importantes en la gestión forestal (Martínez-Meléndez et al., 2021). Durante años, se han implementado diversos tratamientos silviculturales en todo el mundo para maximizar los rendimientos productivos (Halbritter, 2015), con el objetivo de abastecer, a través de una gestión forestal sostenible, las necesidades tangibles de los productos forestales requeridos por la sociedad (Rojas, 1995). Acompañado de lo anterior, la planificación de la cadena de suministro en la industria de productos forestales abarca una amplia gama de operaciones y decisiones estratégicas y operativas (Bredström et al., 2010).

Dado que los recursos forestales tienen una gran importancia a nivel mundial y nacional, se requiere una gobernanza forestal sólida y un equilibrio de intereses entre la explotación de madera y la industria forestal (Trishkin et al., 2014). A lo anterior se suma que el entorno empresarial de las industrias forestales ha experimentado cambios drásticos (Lähtinen y Toppinen, 2008). Debido a estos cambios, mantener la competitividad y el éxito empresarial aceptable, especialmente en la aserradería tradicional, es más desafiante que nunca (Lähtinen et al., 2008). Los cambios en los patrones de producción y consumo (Hetemäki y Hurmekoski, 2016), los procesos industriales, las demandas de productos finales y las prácticas de gestión (Lauri et al., 2021) son factores que desafían la sostenibilidad de la industria forestal actual (Borz et al., 2021).

Basándonos en lo anterior, el objetivo fue identificar, analizar y discutir los principales elementos que influyen en el uso eficiente de los recursos naturales de madera a nivel global, regional y local, proporcionando una perspectiva histórica y actual del sector forestal industrial en México. Se parte de la premisa de que la

disponibilidad de recursos, los métodos de manejo forestal, la capacidad industrial y el mercado disponible son factores que determinan el uso sostenible de los recursos madereros en México.

Materiales y métodos

A pesar de la importancia socioeconómica de la industria maderera en México, la información disponible sobre esta actividad es en su mayoría fragmentada e incompleta. Por esta razón, para esta revisión se consideró información de 90 investigaciones relacionadas con el manejo forestal orientado a la cosecha de madera y la industria maderera. Se dio preferencia a los estudios que presentaban información precisa sobre las actividades realizadas en el desarrollo de la actividad maderera y se discutió cómo se pueden adaptar los procesos y productos a las condiciones del sector forestal en México a nivel internacional. Se seleccionaron un total de 23 trabajos publicados entre los años 1914 y 2021, en los cuales se menciona cómo se ha dado el manejo histórico de los bosques con fines madereros. Consideramos un total de 14 artículos publicados entre 1930 y 2022 que describen la evolución histórica de las industrias madereras. En relación con el uso de los residuos sólidos resultantes de la transformación de la madera, se seleccionaron 6 publicaciones que abarcan los años 1926 a 1997. Analizamos 16 artículos para describir los desafíos y oportunidades para México en relación con la silvicultura intensiva y los productos a generar en la industria, se consideraron trabajos publicados entre 2008 y 2022. Finalmente, para describir los productos generados a partir de bosques mixtos y los desafíos que presenta para México, se revisaron 31 investigaciones publicadas entre 1999 y 2022.

Resultados

Desarrollo histórico de la silvicultura con fines industriales

El manejo de los recursos forestales durante los últimos dos siglos se ha orientado principalmente hacia la generación de esquemas de producción sostenible de bienes con valor en el mercado, enfocados en la madera (Aguirre, 1997). Por esta razón, la industria maderera no solo se ha preocupado por el sustento de los bosques, sino también por la transformación eficiente (AHEC, 1995). Sin embargo, Dávalos (1996) indica que el desperdicio de los recursos forestales maderables ha tenido y tendrá consecuencias desafortunadas para la sustentabilidad forestal.

Las industrias madereras a nivel mundial se han basado principalmente en la aplicación de tratamientos silviculturales intensivos en bosques nativos y plantados (Kruger y Everard, 1997; Zwolinski, 1998), mediante la integración de prácticas de manejo y mejoramiento de árboles (Daniels, 1984), buscando satisfacer las demandas de un mercado en crecimiento (Clapp, 1995). Inicialmente, se sugería que los bosques naturales tenían la capacidad de producir la materia prima para todas las industrias madereras (Korstian, 1914; Guthrie, 1925; Cox, 1976). Sin embargo, el manejo intensivo de plantaciones forestales ha desempeñado un papel cada vez más importante en la producción de madera (Sedjo, 1984) y productos de bioenergía (Anderson et al., 1983).

En México, históricamente ha habido restricciones gubernamentales bastante estrictas para controlar la tala en terrenos privados (Meyer, 1939). Sin embargo, las primeras experiencias de aprovechamiento forestal comenzaron a principios del siglo XX en el estado de Chihuahua (Estrada y Rodríguez, 2021), donde se practicaba la tala rasa para instalar las vías del ferrocarril que pasaban por los macizos forestales (Musalem, 1982). Mientras que el manejo forestal ya estaba ampliamente extendido en Europa durante la década de 1980, la silvicultura mexicana aún no estaba muy desarrollada (Moreno, 1988). En contraste, el aprovechamiento maderero mexicano se ha enfocado principalmente en la tala selectiva de baja intensidad (Islas et al., 1988), seguida de un manejo intensivo con el tratamiento de cortas de regeneración (Rodríguez, 1997). Además, el aprovechamiento se ha basado en la implementación del Método de Manejo Forestal Mexicano (MFMM) para bosques vírgenes (Ramírez-Maldonado y Romahn de la Vega, 1999) y el Método Mexicano de Manejo de Bosques Irregulares (MMMIF) para rodales de edad desigual (Gadow y Puumalainen, 2000),

ambos casos con tala selectiva. Además, para los bosques de edad uniforme, se ha aplicado la tala intensiva. En este sentido, se ha aplicado el Método de Desarrollo Silvícola (SDM) (Valencia, 1992) y en menor medida el Sistema de Conservación y Desarrollo Silvícola (SICODESY) (Ramírez-Maldonado y Romahn de la Vega, 1999). Principalmente, el manejo forestal se ha implementado con fines comerciales desde un principio de sustentabilidad ambiental y ecosistémica (Dávalos, 1996; Aguirre-Calderón, 2015).

Antecedentes históricos de la industria maderera

El uso y consumo de la madera siempre ha captado la atención de los investigadores forestales, principalmente en el ámbito del manejo forestal y la transformación de materias primas. La primera referencia literaria a un aserradero en funcionamiento proviene de un poeta romano del siglo IV, Ausonio, quien describe un molino de agua cortando madera (Ritti et al., 2007). Más tarde, en el siglo XI, los aserraderos hidráulicos y movidos por animales se utilizaban ampliamente en el mundo islámico, desde España y el norte de África hasta Asia Central (Lucas, 2005).

Los primeros aserraderos eran accionados por energía eólica, alrededor del siglo XIII. En Alemania, los primeros aserraderos movidos por energía hidráulica aparecieron a principios de 1322 (Peterson, 1973). Trabajos como los realizados por Boissiere (1991) y Szasz (1991) indican que en Europa central y oriental, los inicios de la industria maderera se basaban en la producción de carbón vegetal para las forjas y el corte de troncos para la construcción medieval hasta el siglo XVI. Durante la revolución industrial a finales del siglo XVIII y mediados del siglo XIX, la madera adquirió sin duda una mayor relevancia, ya que estaba estrechamente relacionada con algunos de los procesos más significativos de cambio económico (De Molina y Alier, 2001). Parte de este cambio fue la construcción de vías y la fabricación de vagones, la producción de cajones para productos agrícolas y la urbanización para proporcionar soporte y revestimiento en la construcción de edificios (Zapata, 2002).

En América del Norte, durante la colonización europea a mediados del siglo XVII, los primeros aserraderos instalados en el estado de Virginia simplemente

adaptaron la sierra circular a la energía mecánica, generalmente impulsada por corrientes de agua para acelerar el proceso. Más tarde, las compañías forestales integraron aserraderos de doble disco accionados por vapor que se implementaron en el siglo XVIII. Posteriormente, en el siglo XIX, las industrias de sierra de cinta eran impulsadas por motores eléctricos (Peterson, 1973). Los primeros aserraderos en México comenzaron a operar en los bosques de pino del estado de Michoacán a finales del siglo XIX (Musalem, 1982). En cuanto al norte del país, en 1880 se construyó el primer aserradero en Coahuila para abastecer a la industria minera. Poco después, se instaló la primera industria maderera en el estado de Durango en 1893 (Aylor, 1930). Por su parte, el estado de Chihuahua inició la transformación de la madera de pino en aserraderos sobre carros de ferrocarril destinados a aumentar la longitud de las vías del tren. Posteriormente, hubo presencia de compañías madereras estadounidenses en 1905, a las cuales el gobierno estatal les otorgó una concesión para la instalación de aserraderos, una fábrica de papel y una fábrica de muebles (Estrada y Rodríguez, 2021). Además, Zavala (1996), Tamarit et al. (2021) y Rascón-Solano et al. (2022a) indican que el grado de avance tecnológico y adaptación de la industria maderera en México ha sido lento e incluso rezagado en algunas regiones del país (Escárpita, 2002).

Origen del procesamiento de residuos sólidos

En cuanto al manejo y transformación de los residuos del procesamiento de madera, Courtnage (1926) informa que los aserraderos portátiles eran un 10 % menos eficientes que los estáticos. Además, producían cantidades significativas de residuos que no se utilizaban ni se transformaban en otros productos debido a los altos costos de transporte. Más tarde, en Alemania, a finales de la década de 1940, surgió la industria de tableros de partículas debido a la escasez de madera aserrada y a la necesidad de reconstruir ciudades durante el período de posguerra (Borgin, 1958). Los residuos de corte se procesan para obtener una amplia variedad de productos de madera, como paletas, cajas para productos agrícolas y pulpa para la fabricación de papel (Aylor, 1930). Gisborne (1929) menciona que se esperaba que la industria de la

pulpa reemplazara a la industria de los aserraderos debido a su mayor eficiencia y a la generación de un volumen menor de residuos, ya que la corteza era el único desperdicio. Sin embargo, esta transición no ha ocurrido en México. En cuanto a la corteza, que representa hasta el 20% de la madera en rollo, se utilizaba regularmente como combustible para aserraderos y calderas de secado de madera (cita). Además, se utilizaba la corteza para producir fertilizantes y nutrientes para el suelo (AHEC, 1995).

Posteriormente, a fines del siglo XX, prácticamente no quedan residuos en la industria maderera gracias a la creciente investigación para optimizar el procesamiento de la madera (Kauman, 1997). Además, el desarrollo e introducción de máquinas que utilizan láseres y escáneres han contribuido significativamente a la mejora del control de calidad y al uso eficiente de los suministros de madera (AHEC, 1995).

Desafíos actuales en la silvicultura intensiva y la industria maderera de México

En cuanto al manejo de los recursos forestales, diferentes intervenciones silviculturales proporcionan una amplia gama de productos forestales. La Figura 1 muestra un ejemplo hipotético de los diversos productos industriales que se pueden obtener a partir de la aplicación de tratamientos silviculturales intensivos en rodales de pino de edad uniforme, como el tratamiento de árboles semilleros utilizando el Método de Desarrollo Silvícola. Una vez que se ha desarrollado la regeneración, se lleva a cabo la primera intervención del rodal para distribuir adecuadamente los árboles, aumentar la productividad forestal y reducir la competencia por los recursos mediante el manejo de la densidad del rodal a través del raleo. En esta etapa, el bosque genera biomasa que debe ser utilizada para generar bioenergía a través de pellets. Así, las plantaciones de corta rotación (3 a 6 años) y media rotación (5 a 7 años) se han incluido en programas de generación de bioenergía (Santangelo et al., 2015; Ouyang et al., 2022), con el objetivo principal de producir combustible para generar calor y electricidad (Aylott et al., 2008). Sin embargo, esta alternativa aún no se ha explorado ampliamente en México y otros países de América Latina (Borrego-Núñez et al., 2022).

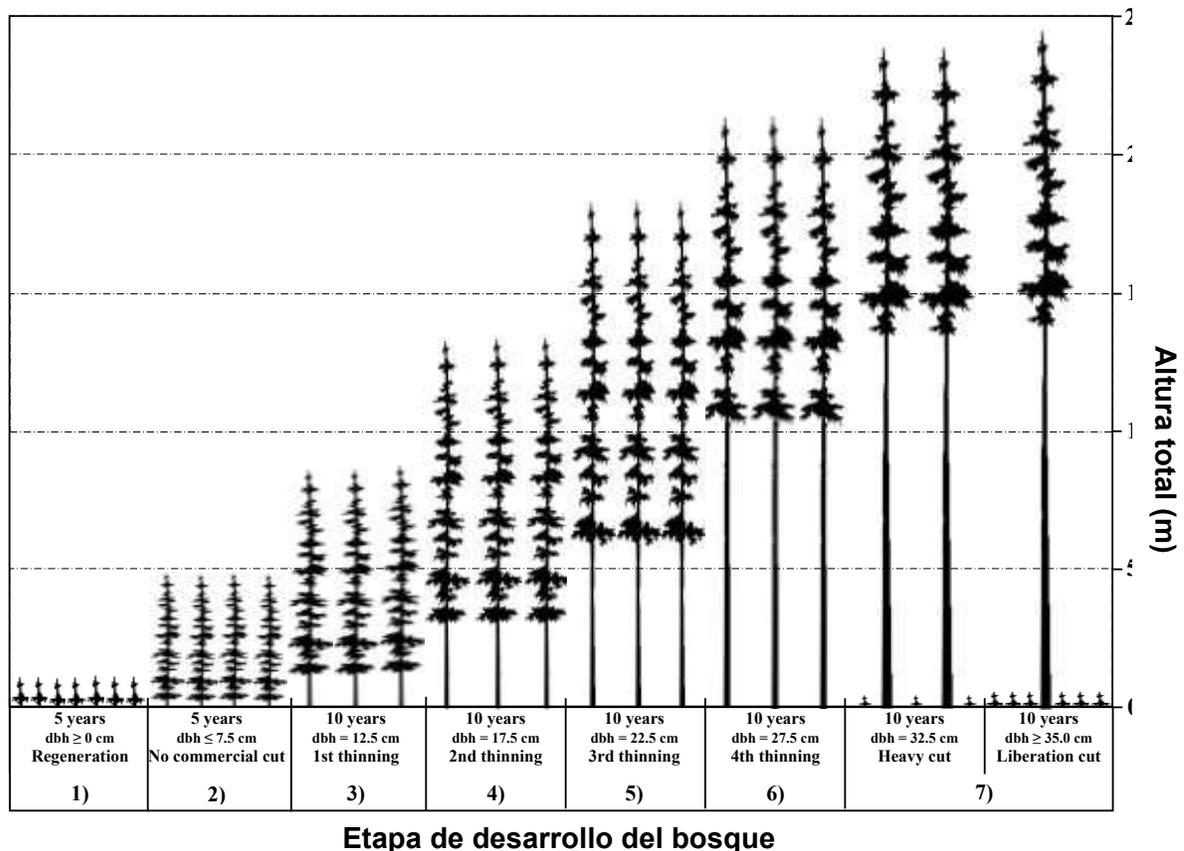


Figura 1. Posibles productos primarios de madera como resultado de diferentes tratamientos silviculturales en rodales forestales de coníferas de edad uniforme en México. Los años mencionados corresponden al período de tiempo entre las intervenciones silviculturales. El DAP (diámetro a la altura del pecho) mencionado se alcanza en el punto de intervención. 1) Regeneración de árboles (materia prima inexistente); 2) Biomasa y material apto para palo de escoba; 3) Biomasa y material apto para palo de escoba, estacas impregnadas para el sector agrícola y viga impregnada; 4) Biomasa, estacas impregnadas para el sector agrícola, troncos para aserrío de diámetro delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía; 5) Biomasa, troncos para aserrío de diámetro delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía; 6) Biomasa, troncos para aserrío de diámetro delgado, troncos para aserrío de diámetro grueso, poste para electrificación, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía y 7) Biomasa, madera redonda para tableros, poste para electrificación, troncos para aserrío de diámetro grueso, troncos para

aserrío de diámetro delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía.

Al presentar los diámetros comerciales, se realiza un primer raleo (Etapa 3), que consiste en reducir la densidad en grupos conglomerados. Esta etapa tiene un mayor número de productos que se pueden extraer del bosque. Por ejemplo, es posible generar vigas rústicas para la construcción y estacas para uso agrícola, mientras que la conservación de los productos permite su uso prolongado. Como describe Román et al. (2014), los individuos con dimensiones similares a las mostradas tienen el potencial de producir postes, leña y construcciones rurales. Además, la madera juvenil se asocia con la contracción y una alta probabilidad de deformación y rajaduras en los productos finales (Ruano y Hermoso, 2021; Ruano et al., 2022). Por lo tanto, no se integran regularmente en los procesos industriales tradicionales. Por otro lado, los residuos de la tala no pueden transformarse fácilmente en productos como la madera aserrada. Sin embargo, cumplen funciones ecológicas, como mantener niveles adecuados de biomasa en el proceso de reintegración al suelo cuando se dejan o se devuelven a los rodales forestales (Villela-Suárez et al., 2018).

Los productos secundarios de madera para procesamiento se obtienen a más tardar durante el segundo o tercer raleo (Etapas 4 y 5), cuando el rodal forestal ha alcanzado cierta madurez. Durante estas operaciones, se obtienen materias primas para la industria del aserrío de diámetro delgado, la fabricación de tableros de fibra de densidad media y tableros de partículas, así como para el suministro de pulpa de celulosa a la industria papelera. Además, las vigas impregnadas pueden ser producto de intervenciones silviculturales durante estas etapas. Asimismo, los troncos de tamaño pequeño tienen el potencial de producir paletas en aserraderos secundarios (Taipe y Rivas, 2021; Haro et al., 2015). Según Eisenbies et al. (2021) y Latterini et al. (2022), la demanda de biomasa lignocelulósica ha aumentado para diferentes fines industriales de papel.

Los productos de madera convencionales se obtienen de rodales de edad uniforme durante el cuarto raleo. En el norte de México (Etapa 6), este tratamiento se aplica cuando los bosques tienen una edad promedio de aproximadamente 50 años.

Con los individuos cosechados que presentan el mejor fenotipo, se debe dar prioridad a la generación de postes para electrificación y telecomunicaciones. De acuerdo con Corvalán (2020), este producto requiere un esquema silvicultural específico para satisfacer el mercado. Las principales industrias que deben beneficiarse con el suministro son los tableros de fibra de densidad media y las industrias de aserrío de diámetro delgado y grueso. En referencia a esto, los bosques maduros se consideran productores potenciales de materia prima para la fabricación de tableros de fibra y aserrío (Grigsby et al., 2015; Borz et al., 2021). Sin embargo, Lauri et al. (2021) mencionan que esto depende principalmente de la demanda del mercado.

Durante la séptima etapa del manejo forestal para abastecer a la industria forestal (Etapa 7), el objetivo es promover la emergencia de la regeneración natural o asistir al bosque a través de la siembra y posteriormente eliminar la capa superior formada por árboles maduros y cultivar este rodal de árboles juveniles. En primer lugar, con la tala de regeneración, se planea eliminar un gran volumen de biomasa de individuos grandes; en segundo lugar, la tala de liberación de la regeneración planea eliminar todos los individuos adultos. Se obtiene materia prima de alta calidad a partir de estos tratamientos, ya que la silvicultura intensiva promueve la autolimpieza y el desarrollo de fustes rectos en el rodal (Ruano y Hermoso, 2021). Se debe dar prioridad a la industria del contrachapado debido a la alta calidad de la materia prima, seguida de la industria del aserrío para diámetros gruesos y delgados. Kallakas et al. (2020) y Fekiač et al. (2021) mencionan que la industria principal a la que se debe abastecer al final del turno de los bosques manejados intensivamente es el contrachapado, debido a la alta calidad de los troncos y un bajo porcentaje de nudos. Finalmente, los productos secundarios del aserrío y la producción de tableros de partículas a partir de serrín y astillas se beneficiarán de la transformación primaria. De esta manera, Mirski y Dziurka (2011) indican que los tableros de partículas son un elemento esencial para mejorar el uso integral de la madera. Los residuos de la tala, como las copas de los árboles y las ramas, tienen el potencial de transformarse en pellets para bioenergía. Villela-Suárez et al. (2018) mencionan funciones similares para los residuos de la tala. La corteza obtenida después de la transformación tiene un potencial energético. AHEC (1995) propone utilizar la corteza como combustible para las calderas que secan la

madera o para producir fertilizantes (Ayipio et al., 2021). Además, la corteza es también una fuente importante de nutrientes para el bosque, además, captura carbono que tiene la capacidad de integrarse en el suelo.

Desafíos actuales en la silvicultura desigual y la industria maderera de México

En rodales de edad desigual tienen el potencial o la deficiencia, según el gestor o el interés industrial, de producir una amplia variedad de materias primas, tan diversas como complejo sea el rodal. El ejemplo hipotético mostrado en la Figura 2 contiene una estructura común de bosques de edad desigual en el norte de México, donde predominan los géneros *Pinus* y *Quercus*, seguidos por los géneros *Juniperus*, *Arbutus* y ocasionalmente el género *Alnus* (Rascón-Solano et al., 2022b). Este tipo de bosques ofrece una solución al cambio climático al almacenar carbono, proporcionar servicios ecosistémicos y productos sostenibles (Lo Monaco et al., 2022; Başkent y Kašpar, 2022; Saklaurs et al., 2022). Por otro lado, tienen el potencial de producir madera blanda y dura, con las cuales es posible abastecer diferentes mercados al mismo tiempo. Asimismo, la presencia de árboles en diferentes etapas de desarrollo abastece a diferentes industrias interesadas en las materias primas contenidas en ellos.

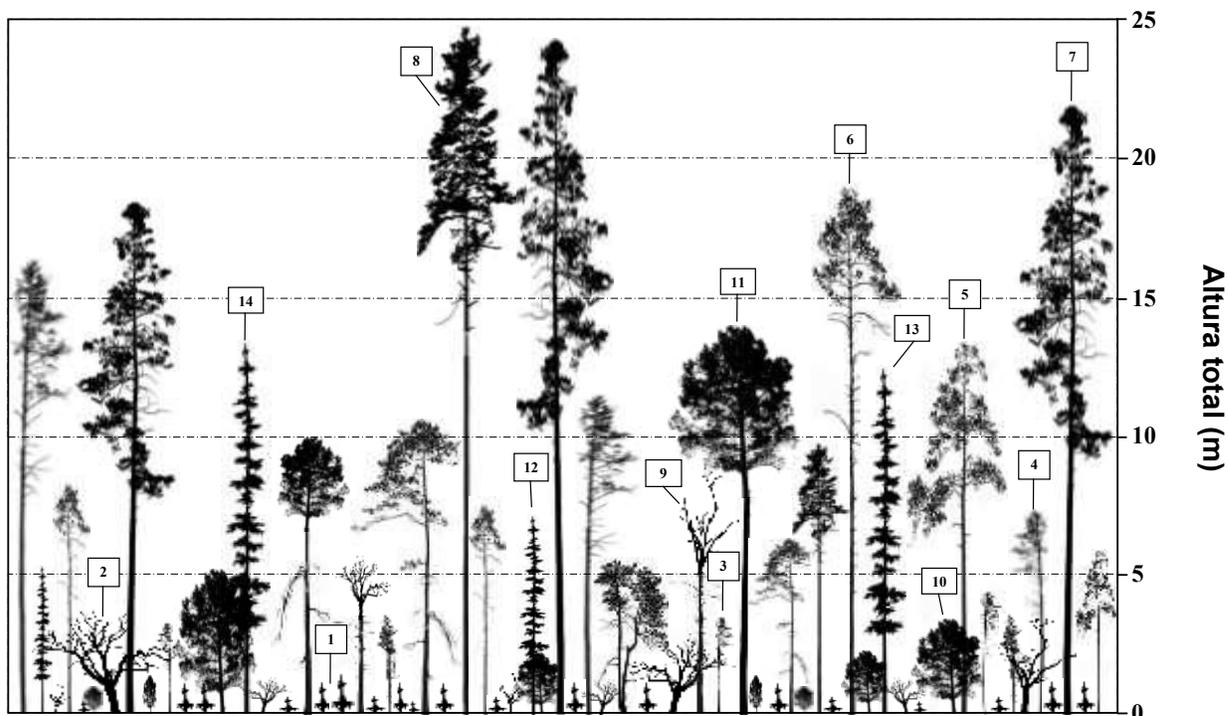


Figura 2. Posibles productos primarios de madera como resultado de la silvicultura selectiva en rodales desiguales de bosques mixtos de pino-encino en México. 1) regeneración (materia prima inexistente); 2) biomasa; 3) biomasa y fabricación de palos de escoba; 4) biomasa, fabricación de palos de escoba, postes agrícolas impregnados y vigas impregnadas; 5) biomasa, vigas impregnadas, aserrado de diámetro delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía o jardinería; 6) biomasa, aserrado de diámetro delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía o jardinería; 7) biomasa, aserrado de diámetro delgado, aserrado de diámetro grueso, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía o jardinería; 8) biomasa, troncos redondos para tableros, aserrado de diámetro grueso y delgado, productos secundarios, fibras para tableros, partículas para tableros y corteza para bioenergía o jardinería; 9) biomasa, fibras para tableros, carbón vegetal y combustible doméstico; 10) biomasa y combustible doméstico; 11) biomasa, aserrado de diámetro grueso y delgado, productos secundarios, carbón vegetal y combustible doméstico; 12) biomasa, combustible doméstico y postes agrícolas impregnados; 13) biomasa, postes agrícolas

impregnados, aserrado de diámetro grueso y delgado; y 14) biomasa, aserrado de diámetro grueso y delgado.

Como se mencionó anteriormente, la regeneración en etapa de establecimiento no tiene un potencial industrial. Sin embargo, se convertirá en la principal fuente de biomasa en este tipo de bosques. Además, es importante mencionar que el género *Pinus* se ha utilizado ampliamente en varios países, y los productos obtenidos de su manejo son similares o incluso los mismos que los indicados en este estudio. Por otro lado, la Figura 2 muestra especies que no se han utilizado comercialmente, como el género *Arbutus*, debido a que sus tallos tienden a tener una forma irregular que es difícil de manejar en la industria. Sin embargo, los individuos de esta especie tienen el potencial de destinarse principalmente a las industrias de energía, para la producción de pellets compuestos con otros géneros del mismo ecosistema. Tovar-Rocha et al. (2014) mencionan que a pesar de que *Arbutus* es un género de importancia ecológica, se ha estudiado poco y su madera se utiliza principalmente para la fabricación de artesanías. Por esta razón, existe una falta de manejo de este género. Los subíndices 9 y 12 en la Figura 2 ilustran los árboles muertos de madera blanda y dura en estos bosques, debido a la competencia, el cambio climático y los ataques de plagas y enfermedades (Pimienta et al., 2007; Trigueros et al., 2018). Los planes para utilizar esta materia prima tienen la intención de abastecer a las industrias de aserrío con troncos. En este sentido, Löwe et al. (2022) encontraron que el uso de madera de árboles infestados de escarabajos de corteza sin la presencia de moho y hongos no presenta problemas para fines de construcción. Por lo tanto, la transformación y comercialización de madera aserrada de árboles muertos es factible (Mackes y Eckhoff, 2015; Loeffler y Anderson, 2018). Con las ramas y los residuos de la cosecha, se producen principalmente combustibles domésticos, y cuando estos residuos no se utilizan, se integran como biomasa en el suelo.

Varios autores mencionan que la leña es el combustible principal para las comunidades, dependiendo del producto que se suministre y cubra sus necesidades diarias (Quiroz-Carranza y Orellana, 2010; Mozo y Silva, 2022). Actualmente, existe la posibilidad de redirigir la materia prima a las industrias de bioenergía y tableros que tienen un crecimiento prometedor a nivel mundial. En cuanto al manejo industrial de

maderas duras como el género *Quercus*, históricamente la materia prima se ha destinado a la industria de aserrío. En las primeras etapas de desarrollo de estas especies, no es posible abastecer a los aserraderos. Sin embargo, Rogers et al. (2022) indican que los enfoques silviculturales para las maderas duras han variado ampliamente, para cumplir tanto con los objetivos silviculturales ecológicos diversificados como con la producción tradicional. Por lo tanto, estos individuos juveniles tienen el potencial de ser transformados en energía y carbón vegetal. Suchomel et al. (2011) mencionan que la creciente demanda de maderas duras juveniles para bioenergía es una importante alternativa económica. Posteriormente, cuando los individuos alcanzan un tamaño comercial, es pertinente abastecer a la industria de aserrío. En este contexto, estudios recientes han señalado que la comercialización de maderas duras en forma de madera aserrada es una importante oportunidad económica (Nicholls y Bumgardner, 2018; Hassler et al., 2019). El potencial de uso de este tipo de madera no se ha incrementado en México debido a la complejidad de procesamiento y las limitaciones tecnológicas de las industrias (Zavala, 2003).

Actualmente, los géneros cosechados de bajo interés comercial, como el *Juniperus*, han sido consumidos por mercados locales como prioridad para la generación de postes agrícolas. De manera similar, Vaughan y Mackes (2017) mencionan que esta alternativa es una oportunidad futura adicional para utilizar la madera de enebro en sistemas de barandas de carreteras, debido a su excelente resistencia a la descomposición natural (Ffolliot et al., 1999). Las propiedades tecnológicas de la madera de esta especie de conífera aún son en su mayoría desconocidas. Sin embargo, el enebro tiene el potencial de producir madera aserrada de alta calidad cuando los individuos alcanzan la madurez o abastecen el sector de la bioenergía, por lo que sus propiedades de la madera deben estudiarse más a fondo. Las industrias forestales se han inscrito en la certificación de manejo forestal y cadena de custodia debido a un aumento percibido en la demanda de productos certificados y la necesidad de aumentar la eficiencia productiva de la tierra forestal (Bond et al., 2014; Sjølie et al., 2015; Hyytiä, 2022). Por lo tanto, las prácticas globales para optimizar el uso de los recursos forestales, basadas en la distribución adecuada de productos y la

planificación del rendimiento de todos los productos a producir, están directamente relacionadas con las pautas internacionales de certificación forestal.

A nivel individual de árbol (considerando árboles maduros de 25 a 30 metros de altura), es posible obtener productos para diversos usos industriales. Principalmente, la producción de contrachapado se obtiene de la base del árbol (longitud de 4.88 metros), ya que es donde se encuentra el mayor diámetro del tronco y la mayor calidad libre de defectos (Fekiač et al., 2021). La madera de alta y mediana calidad se obtiene de la segunda y tercera sección del tronco (longitud de 9.75 metros), ya que los troncos de mayor diámetro tienden a producir un mayor volumen de madera de calidad (Borz et al., 2021; Orozco et al., 2017). La cuarta sección del tronco tiene una calidad adecuada para producir tableros de fibra de densidad media (longitud de 4.88 metros), las características dimensionales y la calidad del tronco resultan en mejores beneficios económicos (Grigsby et al., 2015). La pulpa para la fabricación de papel se obtiene de la penúltima sección del tronco (longitud de 4.88 metros), principalmente porque las dimensiones inferiores y la baja calidad de la madera no avanzan hacia el producto final (Eisenbies et al., 2021; Latterini et al., 2022). La producción de biomasa para generación de energía se origina en la punta del árbol, ya que según (Villela-Suárez et al., 2018), es un producto que generalmente no se utiliza y tiene potencial energético.

Para México y otros países de América Latina, es esencial aumentar las áreas forestales certificadas (Hernández et al., 2023). Además, la investigación debe centrarse en el desarrollo de nuevos productos derivados de la madera, analizándolos y poniéndolos en práctica. De esta manera, existe un gran potencial para atender mercados internacionales atractivos, que incluyen textiles, biocombustibles sólidos y líquidos, productos químicos, bioplásticos y envases (Hurmekoski et al., 2018).

Conclusiones

Con el paso del tiempo, la industria maderera ha logrado mejorar sus procedimientos de procesamiento y aumentar la productividad debido al progreso tecnológico. Eventos históricos relevantes motivaron a los profesionales de la época a

buscar alternativas para diversificar la producción y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, especialmente los residuos sólidos del manejo forestal y del procesamiento de la madera.

La disponibilidad de recursos es crucial para la diversificación de la producción de madera, y los residuos de la cosecha forestal y el procesamiento de la madera tienen un alto potencial para producir productos alternativos. Los métodos de manejo determinan en gran medida la industria que puede ser abastecida. El uso de rodales forestales de edad homogénea es una alternativa para enfocarse en una alta producción para uno o dos mercados específicos. Por otro lado, las estructuras complejas de los árboles tienen el potencial de abastecer una amplia variedad de productos a varios mercados al mismo tiempo. Además, este tipo de bosques tiene un alto potencial para el almacenamiento de carbono, la provisión de servicios ecosistémicos y la generación de productos sostenibles. A su vez, la capacidad industrial instalada delimita la producción de productos de madera, y la diversificación industrial es nuevamente uno de los factores que determinan el uso eficiente de los recursos madereros en cada región forestal.

Los sectores de producción y mercado deben impulsar el futuro de la industria maderera en México, basándose en historias de éxito y programas internacionales. Es necesario promover la inversión nacional y extranjera para el desarrollo de nuevos productos y capacidades de fabricación que puedan ofrecer productos de madera altamente especializados y pulpa. Las instituciones de investigación forestal deben desarrollar procesos avanzados y productos emergentes que sean atractivos para el mercado y que permitan la transformación de los residuos de la cosecha de madera.

Este trabajo de revisión permite ejemplificar de manera sencilla los diferentes productos que las industrias madereras de México pueden producir. Se basa en los bosques de coníferas que se manejan en gran parte del país, considera las especies más representativas en este tipo de ecosistema y brinda recomendaciones con respecto al uso sostenible de las diversas estructuras de los árboles encontrados, guiando el uso diverso en relación con la etapa de desarrollo forestal.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, J.R.S. y O.A.A.C.; metodología, J.R.S., O.A.A.C. y W. H.; validación, J.A.N.L.; análisis formal, E.A.R., J.J.P. y E.T.G.; investigación, J.R.S. O.A.A.C. y W. H.; recursos, J.R.S.; redacción-preparación del borrador original, J.R.S., W.H.; redacción-revisión y edición, O.A.A.C. y J.A.N.L.; supervisión, O.A.A.C. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Aprobación ética (para investigaciones con animales o humanos)

No aplica.

Agradecimientos

Agradecemos a los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar y aclarar este manuscrito. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el apoyo económico brindado para la realización de sus estudios de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con este artículo.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, a través de una beca doctoral otorgada al primer autor.

Referencias

- Aguirre-Calderón OA (2015). Manejo forestal en el siglo XXI [Forest management in the 21st century]. *Madera y Bosques* 21:17-28.
<https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>
- Aguirre OA (1997). Hacia el manejo de ecosistemas forestales [Towards the management of forest ecosystems]. *Madera y Bosques* 3:3-11.
<https://doi.org/10.21829/myb.1997.321369>
- AHEC (1995). Los bosques del futuro [The forests of the future]. *Madera y Bosques* 1:51-55. <https://doi.org/10.21829/myb.1995.121398>
- Anderson HW, Papadopol CS, Zsuffa L (1983). Wood energy plantations in temperate climates. *Forest Ecology and Management* 6:281-306.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(83\)80007-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(83)80007-3)
- Ayala-Mendivil N, Sandoval G (2018). Bioenergía a partir de residuos forestales y de madera [Bioenergy from forest and wood residues]. *Madera y Bosques* 24:e2401877. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401877>
- Ayipio E, Wells DE, Smith M, Blanchard C (2021). Performance of Greenhouse-Grown Beit Alpha Cucumber in Pine Bark and Perlite Substrates Fertigated with Biofloc Aquaculture Effluent. *Horticulturae* 7(6).
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7060144>
- Aylor W (1930). Markets for sawmill and woodworking machinery in Mexico, Guatemala, Panama and Puerto Rico. In U. S. D. o. Commerce (Ed.), (Vol. Trade Information Bulletin No. 675). Washington, USA.
- Aylott MJ, Casella E, Tubby I, Street NR, Smith P, Taylor G (2008). Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist* 178:358-370.
- Başkent EZ, Kašpar J (2022). Exploring the effects of management intensification on multiple ecosystem services in an ecosystem management context. *Forest Ecology and Management* 518:120299.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120299>
- Boissiere J (1991). Forges et Forêts. Recherches sur la consommation proto-industrielle de bois. Sous la direction de Denis Woronoff. 1990. Dix-Huitième

Siècle 485-485. https://www.persee.fr/doc/dhs_0070-6760_1991_num_23_1_1835_t1_0485_0000_3

- Bond B, Lyon S, Munsell J, Barrett S, Gagnon J (2014). Perceptions of Virginia's Primary Forest Products Manufacturers regarding Forest Certification. *Forest Products Journal* 64:242-249. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00021>
- Borrego-Núñez C, Martínez-Álvarez LD, Carrillo-Parra A, Herrera-Ibarra JF, González-Ruiz MaA, (2022). Reflections on Energy Sustainability in Latin America: Biomass and Circular Economy. *International Journal of Arts Humanities and Social Sciences Studies* 7(11):40-46. <https://doi.org/10.3390/su15010169>
- Borgin K (1958). Development of the particle board industry in Europe. *Journal of the South African Forestry Association* 32:56-71. <https://doi.org/10.1080/03759873.1958.9630878>
- Borz SA, Oghnoum M, Marcu MV, Lorincz A, Proto AR (2021). Performance of Small-Scale Sawmilling Operations: A Case Study on Time Consumption, Productivity and Main Ergonomics for a Manually Driven Bandsaw. *Forests* 12. <https://doi.org/10.3390/f12060810>
- Bredström D, Jönsson P, Rönnqvist M (2010). Annual planning of harvesting resources in the forest industry. *International Transactions in Operational Research* 17:155-177. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00749.x>
- Cardenas E, Orellana LH, Konstantinidis KT, Mohn WW (2018). Effects of timber harvesting on the genetic potential for carbon and nitrogen cycling in five North American forest ecozones. *Scientific Reports* 8:3142. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21197-0>
- Clapp RA (1995). Creating Competitive Advantage: Forest Policy as Industrial Policy in Chile. *Economic Geography* 71:273-296. <https://doi.org/10.2307/144312>
- Coelho Junior LM, de Sousa Selvatti T, Vanderlei Alencar F, Lopes da Silva M, Pereira de Rezende JL (2019). Global concentration of MDF (Medium Density Fiberboard) exports. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* XXV:413-424. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.11.084>

- Corvalán P (2020). Consideraciones silvícolas para la producción de postes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile [Silvicultural considerations for the production of poles in *Pinus radiata* D. Don plantations in Chile]. Revista Cubana de Ciencias Forestales 8:375-391.
<https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/521/pdf>
- Courtnage RA (1926). The Utilization of Hardwoods. The Forestry Chronicle 2:4-5.
<https://doi.org/10.5558/tfc2004-2>
- Cox F (1976). Estudio metodológico de inventarios de reconocimiento en bosques naturales [Methodological study of reconnaissance inventories in natural forests]. Bosque 1:75-86. <https://doi.org/10.4206/bosque.1976.v1n2-03>
- Daniels JD (1984). Role of tree improvement in intensive forest management. Forest Ecology and Management 8:161-195. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(84\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0378-1127(84)90052-5)
- Dávalos R (1996). Importancia ecológico-económica del aprovechamiento de los bosques [Ecological-economic importance of forest use]. Madera y Bosques 2:3-10. <https://doi.org/10.21829/myb.1996.221382>
- De Molina MG, Alier JM (2001). Naturaleza transformada: estudios de historia ambiental en España (Vol. 10). Icaria Editorial. 396 Pages.
- Eisenbies MH, Volk TA, DeSouza D, Hallen K, Stanton B..., Zerpa J (2021). An assessment of the harvesting and fuel performance of a single-pass cut-and-chip harvester in commercial-scale short-rotation poplar crops as influenced by crop and weather conditions. Biomass and Bioenergy 149:106075.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106075>
- Escárpita A (2002). Situación actual de los bosques de Chihuahua [Current situation of the forests of Chihuahua]. Madera y Bosques 8:3-17.
<https://doi.org/10.21829/myb.2002.811302>
- Estrada O, Rodríguez SG (2021). Más de 100 años de cultivo al bosque en Chihuahua. Caso Ejido El Largo y Anexos [More than 100 years of forest cultivation in Chihuahua. Case of Ejido El Largo y Anexos]. Dirección Técnica Forestal de Ejido El Largo y Anexos. 143 Pages.

- Fekiač J, Gáborík J, Vojtkuliak M (2021). Properties of Plywood Made from Perforated Veneers. *Forests* 12. <https://doi.org/10.3390/f12121709>
- Ffolliot PE, Gottfried GJ, Kruse WH (1999). Past, present, and potential utilization of pinyonjuniper species. SB Monsen and R Stevens, compilers, Proceedings: Ecology and management of pinyon-juniper communities within the Interior West. Proceedings RMRS-P-9, US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO 254-259.
- Fuentes M, García J, Hernández J (2006). Factores que afectan el mercado de madera aserrada de pino en México [Factors Affecting the Pine Sawn Timber Market in Mexico]. *Madera y Bosques* 12:17-28. <https://doi.org/10.21829/myb.2006.1221240>
- Gadow K, Puumalainen J (2000). Scenario Planning for Sustainable Forest Management. In K. von Gadow, T. Pukkala, and M. Tomé (Eds.), *Sustainable Forest Management* 319-356. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9819-9_9
- Gisborne HT (1929). The Industrial Revolution and Forestry. *Journal of Forestry* 27:347-351. <https://doi.org/10.1093/jof/27.4.347>
- Grigsby WJ, Carpenter JEP, Thumm A, Sargent R, Hati N (2015). Labile Extractable Urea-Formaldehyde Resin Components from Medium-Density Fiberboard. *Forest Products Journal* 65:15-19. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00030>
- Guthrie JD (1925). Forestry on Arizona State Lands. *Journal of Forestry* 23:378-385. <https://doi.org/10.1093/jof/23.4.378>
- Halbritter A (2015). An economic analysis of double-cohort forest resources. *Journal of Forest Economics* 21:14-31. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2014.11.001>
- Haro AJ, Nájera JA, Méndez J, Corral S, Hernández JC, Carrillo A, Cruz F (2015). Factor de conversión de productos forestales en la industria de tarimas en Durango [Conversion factor of forest products in the pallet industry in Durango]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6:90-105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.210>

- Hassler CC, Grushecky ST, Osborn LE, McNeel JF (2019). Hardwood Log Grading in the United States—Part 1: A Historical Perspective. *Forest Products Journal* 69:110-123. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-18-00023>
- Hernández R, Mayett Y, Rodríguez S, Fernández G (2022). Environmental, economic and social challenges in the value chain of the timber sector in Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 14(75):68-96. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i75.1275>
- Hetemäki L, Hurmekoski E (2016). Forest Products Markets under Change: Review and Research Implications. *Current Forestry Reports* 2:177-188. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0042-z>
- Holzfeind T, Kanzian C, Gronalt M (2021). Challenging agent-based simulation for forest operations to optimize the European cable yarding and transport supply chain. *International Journal of Forest Engineering* 32:77-90. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1850074>
- Hurmekoski E, Hetemäki L (2013). Studying the future of the forest sector: Review and implications for long-term outlook studies. *Forest Policy and Economics* 34:17-29. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.05.005>
- Hurmekoski E, Jonsson R, Korhonen J, Jänis J, Mäkinen M, Leskinen P, Hetemäki L (2018). Diversification of the forest industries: role of new wood-based products. *Canadian Journal of Forest Research* 48:1417-1432. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0116>
- Hyytiä A (2022). Sustainable Development—International Framework—Overview and Analysis in the Context of Forests and Forest Products—Competitiveness and Policy. *Forest Products Journal* 72:1-4. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-20-00053>
- Islas F, Elizalde Del Castillo N, Hernández E (1988). La silvicultura en los aprovechamientos maderables de la región central de México [Forestry in timber harvesting in the central region of Mexico]. *Ciencia Forestal en México* 13:3-13. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1154>

- Kallakas H, Rohumaa A, Vahermets H, Kers J (2020). Effect of Different Hardwood Species and Lay-Up Schemes on the Mechanical Properties of Plywood. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/f11060649>
- Kauman W (1997). El panorama a nivel mundial de la investigación en productos forestales [The global outlook for forest products research]. *Madera y Bosques* 3:3-12. <https://doi.org/10.21829/myb.1997.311376>
- Korstian CF (1914). Exploitation of Crossties in Northern New Mexico. *Journal of Forestry* 12:408-424. <https://doi.org/10.1093/jof/12.3.408>
- Kruger FJ, Everard DA (1997). The Sustainable Management of the Industrial Plantation Forests of South Africa: Policy Development and Implementation. *Southern African Forestry Journal* 179:39-44. <https://doi.org/10.1080/10295925.1997.9631153>
- Lähtinen K, Haara A, Leskinen P, Toppinen A (2008). Assessing the Relative Importance of Tangible and Intangible Resources: Empirical Results from the Forest Industry. *Forest Science* 54:607-616. <https://doi.org/10.1093/forestscience/54.6.607>
- Lähtinen K, Toppinen A (2008). Financial performance in Finnish large- and medium-sized sawmills: The effects of value-added creation and cost-efficiency seeking. *Journal of Forest Economics* 14:289-305. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2008.02.001>
- Latterini F, Stefanoni W, Alfano V, Palmieri N, Mattei P, Pari L (2022). Assessment of Working Performance and Costs of Two Small-Scale Harvesting Systems for Medium Rotation Poplar Plantations. *Forests* 13. <https://doi.org/10.3390/f13040569>
- Lauri P, Forsell N, Di Fulvio F, Snäll T, Havlik P (2021). Material substitution between coniferous, non-coniferous and recycled biomass – Impacts on forest industry raw material use and regional competitiveness. *Forest Policy and Economics* 132:102588. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102588>

- Loeffler D, Anderson N (2018). Impacts of the Mountain Pine Beetle on Sawmill Operations, Costs, and Product Values in Montana. *Forest Products Journal* 68:15-24. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-17-00041>
- Lo Monaco A, Macinnis-Ng C, Rajora OP (2022). Forests for a Better Future: Sustainability, Innovation and Interdisciplinarity. *Forests* 13. <https://doi.org/10.3390/f13060941>
- Löwe R, Sedlecký M, Sikora A, Prokúpková A, Modlinger R, Novotný K, Turčáni M (2022). How Bark Beetle Attack Changes the Tensile and Compressive Strength of Spruce Wood (*Picea abies* (L.) H. Karst.). *Forests* 13. <https://doi.org/10.3390/f13010087>
- Lucas AR (2005). Industrial Milling in the Ancient and Medieval Worlds: A Survey of the Evidence for an Industrial Revolution in Medieval Europe. *Technology and Culture* 46:1-30. <http://www.jstor.org/stable/40060793>
- Lundmark R, Lundgren T, Olofsson E, Zhou W (2021). Meeting Challenges in Forestry: Improving Performance and Competitiveness. *Forests* 12. <https://doi.org/10.3390/f12020208>
- Mackes K, Eckhoff M (2015). Determining the Processed Cut Stock Recovery Rate from Standing Dead Beetle-Killed Lodgepole Pine Timber. *Forest Products Journal* 65:173-179. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00017>
- Martínez-Meléndez N, Ramírez-Marcial N, Martínez-Zurimendi P, Cach-Pérez MJ, García-Franco JG (2021). How Timber Harvest Affects the Structure and Diversity of a Montane Forest in Southern Mexico. *Forests* 12:895. <https://www.mdpi.com/1999-4907/12/7/895>
- Meyer HA (1939). Public Forest Regulation in Mexico. *Journal of Forestry* 37:856-858. <https://doi.org/10.1093/jof/37.11.856>
- Mirski R, Dziurka D (2011). The Utilization of Chips from Comminuted Wood Waste as a Substitute for Flakes in the Oriented Strand Board Core. *Forest Products Journal* 61:473-477. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.6.473>
- Moreno R (1988). Modelo de programación por objetivos para la planeación de un sistema de abastecimiento forestal [Programming by objectives model for

- planning a forest supply system]. *Ciencia Forestal en México* 13:175-190.
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1160>
- Mozo A, Silva M (2022). Caracterización del aprovechamiento de leña en una comunidad Me'phaa de la Montaña de Guerrero [Characterization of the use of firewood in a Me'phaa community of the Mountain of Guerrero]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1263>
- Musalem S (1982). Análisis y crítica de los sistemas silvícolas aplicados en México: Problemática Forestal en México [Analysis and critique of silvicultural systems applied in Mexico: Forestry Problems in Mexico], Chapingo, México.
- Nicholls DL, Bumgardner MS (2018). Challenges and Opportunities for North American Hardwood Manufacturers to Adopt Customization Strategies in an Era of Increased Competition. *Forests* 9. <https://doi.org/10.3390/f9040186>
- Orozco R, Hernández JC, Nájera JA, Domínguez PA, Goche JR, López PM, Corral JJ (2017). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino [Yield in quality of sawn pine Wood]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(36):37-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.58>
- Ouyang Y, Dev S, Grace Iii JM, Amatya DM, Leininger TD (2022). Simulating Biomass Production and Water Use of Poplars in a Plantation Using a STELLA-Based Model. *Forests* 13. <https://doi.org/10.3390/f13040547>
- Peterson CE (1973). Sawdust Trail, Annals of Sawmilling and the Lumber Trade from Virginia to Hawaii via Maine, Barbados, Sault Ste. Marie, Manchac and Seattle to the Year 1860. *Bulletin of the Association for Preservation Technology* 5:84-153. <https://doi.org/10.2307/1493399>
- Pimienta DDJ, Aguirre OA, Jiménez J (2007). Índices de competencia dependientes de la distancia en bosques de coníferas de Pueblo Nuevo, Durango [Distance-dependent competition indices in coniferous forests of Pueblo Nuevo, Durango]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 32:129-141.
<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/753>
- Quiroz-Carranza J, Orellana R (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México [Use and management of fuel

- wood in homes in six locations in Yucatan, Mexico]. *Madera y Bosques* 16:47-67. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1621172>
- Ramírez-Maldonado H, Romahn de la Vega CF (1999). Transcendence of understanding, evaluating increase and use in forest management. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* V:173-179. https://revistas.chapingo.mx/forestale/last_issues/?section=articles&subsec=issues&numero=210&articulo=2099
- Rascón-Solano J, Aguirre-Calderón O, Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Treviño-Garza E, Nájera-Luna J (2022a). Productivity of timber supply and industrialization in the ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(71):133-158. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1142>
- Rascón-Solano J, Galván-Moreno VS, Aguirre-Calderón OA, García-García SA (2022b). Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México [Structural characterization and stored carbon in a cold temperate forest surveyed in northwestern Mexico]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1123>
- Ritti T, Grewe K, Kessener P (2007). A relief of a water-powered stone saw mill on a sarcophagus at Hierapolis and its implications. *Journal of Roman Archaeology* 20:139-163. <https://doi.org/10.1017/S1047759400005341>
- Rodríguez F (1997). La silvicultura de *Pinus montezumae* Lamb. en la regeneración central de México [Forestry of *Pinus montezumae* Lamb. In the central regeneration of Mexico]. *Ciencia Forestal en México* 22:91-115. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/978>
- Rogers NS, D'Amato AW, Kern CC, Bédard S (2022). Northern hardwood silviculture at a crossroads: Sustaining a valuable resource under future change. *Forest Ecology and Management* 512:120139. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120139>

- Rojas F (1995). Integración bosque industria: Una necesidad regional [Forest industry integration: A regional need]. *Madera y Bosques* 1:5-7.
<https://doi.org/10.21829/myb.1995.111399>
- Román MAL, Gallegos AN, Mora A, Sánchez M, González GA, Hernández EN (2014). Productos maderables y no maderables de tres especies del sureste de México [Wood and non-wood products of three species from southeast Mexico]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5:40-55.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.318>
- Ruano A, García de Ceca JL, Cabrero JC, Hermoso E (2022). Shrinkage pattern assessment for black pine juvenile wood delimitation. *European Journal of Wood and Wood Products* 80:131-138. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01736-9>
- Ruano A, Hermoso E (2021). Juvenile-mature wood evaluation along the bole considering the influence of silvicultural treatments. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 23:1-10. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100421>
- Tamarit Urias JC, Aguilar Sánchez P, Velázquez RF, Fuentes López ME (2021). INIFAP research contributions in wood technology and its industrialization processes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(Especial-1).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.1086>
- Santangelo E, Scarfone A, Giudice AD, Acampora A, Alfano V, Suardi A, Pari L (2015). Harvesting systems for poplar short rotation coppice. *Industrial Crops and Products* 75:85-92. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.013>
- Saklaurs M, Lībiete Z, Donis J, Kitenberga M, Elferts D, Jūrmalis E, Jansons Ā (2022). Provision of Ecosystem Services in Riparian Hemiboreal Forest Fixed-Width Buffers. *Forests* 13. <https://doi.org/10.3390/f13060928>
- Sedjo RA (1984). An economic assessment of industrial forest plantations. *Forest Ecology and Management* 9:245-257. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(84\)90011-2](https://doi.org/10.1016/0378-1127(84)90011-2)
- Sheppard JP, Chamberlain J, Agúndez D, Bhattacharya P, Chirwa PW, Gontcharov A, Sagona WCJ, Shen H, Tadesse W, Mutke S (2020). Sustainable Forest

- Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products—a Global Perspective. *Current Forestry Reports* 6:26-40. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00107-1>
- Sjølie HK, Bysheim K, Nyrud AQ, Flæte PO, Solberg B (2015). Future Development of the Norwegian Forest Industry, Based on Industry Expectations. *Forest Products Journal* 65:148-158. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00061>
- Suchomel C, Becker G, Pyttel P, (2011). Fully Mechanized Harvesting in Aged Oak Coppice Stands. *Forest Products Journal*, 61, 290-296. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.4.290>
- Szasz, T. 1991. Harvesting and wood utilization. Keresztesi, B (Ed) *Forestry in Hungary, 1920-1985*(Ed), Budapest, Hungary Illus Maps 234-263. <https://eurekamag.com/research/031/649/031649082.php>
- Taipe, L. and Rivas, D. 2021. Mejoramiento de la línea de producción en la fabricación de pallets mediante el estudio de trabajo en Tropical Pallets S.A. [Improvement of the production line in the manufacture of pallets through the work study in Tropical Pallets S.A.]. *Revista Ingeniería e Innovación* 9:66-79. <https://doi.org/10.21897/23460466.2419>
- Tovar-Rocha V, Rocha-Granados MDC, Delgado-Valerio P (2014). Influencia de la maduración del fruto de *Arbutus xalapensis* Kunth sobre la germinación de semillas y embriones cigóticos [Influence of the maturation of the fruit of *Arbutus xalapensis* Kunth on the germination of seeds and zygotic embryos]. *Polibotánica* 37:79-92. <https://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/351/217>
- Townsend L, Dodson E, Anderson N, Worley-Hood G, Goodburn J (2019). Harvesting forest biomass in the US southern Rocky Mountains: cost and production rates of five ground-based forest operations. *International Journal of Forest Engineering* 30:163-172. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1563851>
- Trigueros AG, Villavicencio R, Santiago AL (2018). Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque templado de pino-encino en Jalisco [Tree mortality and recruitment in a temperate pine-oak forest in Jalisco]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5:160-183. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.327>

- Trishkin M, Lopatin E, Karjalainen T (2014). Assessment of motivation and attitudes of forest industry companies toward forest certification in northwestern Russia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29:283-293.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2014.896938>
- Tymendorf Ł, Trzciński G (2020). Multi-Factorial Load Analysis of Pine Sawlogs in Transport to Sawmill. *Forests* 11. <https://doi.org/10.3390/f11040366>
- Valencia J (1992). Análisis de la regeneración después del tratamiento de "árboles padre" en Atenquique, Jalisco [Analysis of the regeneration after the treatment of "seed trees" in Atenquique, Jalisco]. *Ciencia Forestal en México* 17:63-85.
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1096>
- Vaughan DR, Mackes KH (2017). Shrinkage and Static Bending Properties of *Juniperus scopulorum* from the Rocky Mountains. *Forest Products Journal* 67:39-43. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-15-00058>
- Villela-Suárez JM, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ, Vargas-Larreta B (2018). Disponibilidad de residuos forestales y su potencial para la generación de energía en los bosques templados de El Salto, Durango [Availability of forest residues and their potential for energy generation in the temperate forests of El Salto, Durango]. *Madera y Bosques* 24:e2431529.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431529>
- Zapata S (2002). Del suro a la cortiça. El ascenso de Portugal a primera potencia corchera del mundo [From the suro to the cortiça. The rise of Portugal to the first cork power in the world]. *Revista de Historia Industrial* 22:109-137.
<https://raco.cat/index.php/HistoriaIndustrial/article/view/63423/74965>
- Zavala D (1996). Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda [Coefficients of use of pine logs in band sawmills]. *Ciencia Forestal en México* 21:165-181.
<http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1004/230>
- Zavala D (2003). Efecto del sistema de aserrío tradicional en las características de la madera de encinos [Effect of the traditional sawmill system on the

characteristics of oak wood]. *Madera y Bosques* 9:29-39.

<https://doi.org/10.21829/myb.2003.921284>

Zwolinski J (1998). Function and needs of industrial forestry research to optimise land management in South Africa. *Southern African Forestry Journal* 183:36-46.

<https://doi.org/10.1080/10295925.1998.9631199>.

**CAPÍTULO III. EFFICIENT UTILIZATION OF PINE LOGS IN NORTHERN MEXICO
THROUGH TRAINING**

(Publicado en Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca)

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Nájera-Luna, J. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., & Treviño-Garza, E. (2023). Efficient utilization of pine logs in northern Mexico through training. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), 13175. <https://doi.org/10.15835/nbha51213175>

Effect of training on the efficient use of pine logs in southern Chihuahua

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

¹Autonomous University of Nuevo León, Faculty of Forestry Sciences, Doctoral Program in Sciences with Orientation in Natural Resources Management, National Highway Km 145, ZIP 67700. Linares, Nuevo León, Mexico; #85, Km. 145, Linares, Nuevo León, ZIP 67700, Nuevo León, México; forestal_rascon@hotmail.com

²Autonomous University of Nuevo León, Faculty of Forestry Sciences, National Highway Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León, ZIP 67700, Nuevo León, México; oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx; (*corresponding author); eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx; javier.jimenezpr@uanl.edu.mx; eduardo.trevinogr@uanl.edu.mx

³Division of Postgraduate Studies and Research, Technological Institute of El Salto, Tecnológico Street 101 Col. La Forestal ZIP 34942, Durango, México; jalnajera@itelsalto.edu.mx

Resumen

La industria maderera y otros sectores que dependen de la gestión forestal se beneficiarían de una comprensión más profunda del trabajo de extracción realizado por trabajadores debidamente capacitados. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la capacitación del personal operativo en la utilización eficiente de los troncos de pino cosechados en la región sur del estado de Chihuahua, en el norte de México. Se llevaron a cabo dos muestreos de la explotación forestal en el área de corte del ejido Basihuare (tierra comunal), teniendo en cuenta el diámetro con y sin corteza, la calidad visual, la longitud y el uso para refuerzo. El muestreo involucró el registro de 116 troncos antes de un proceso de capacitación en tala direccional y dimensionamiento de troncos, y 336 troncos divididos en tres bloques de muestreo después de la capacitación. Los datos se analizaron con pruebas de homogeneidad de varianza, y se realizaron análisis de ANOVA con un nivel de significancia del 0.05.

Se encontró que la capacitación del personal forestal permite mejorar el proceso de clasificación de los troncos destinados a uso industrial según su dimensión y calidad visual. Además, la capacitación permitió el ajuste adecuado de los refuerzos aplicados en el proceso de dimensionamiento de los troncos, lo que permitió utilizar eficientemente los recursos disponibles, reduciendo significativamente la generación de desperdicios después del redimensionamiento de los productos de madera. Para el avance del sector forestal, es necesario priorizar la capacitación como un elemento impulsor de calidad para elevar los parámetros de eficiencia operativa de la producción y, en consecuencia, promover la evolución del proceso productivo.

Palabras clave: calidad de tronco, destino del tronco, refuerzo del tronco, capacitación, ejido Basihuare.

Introducción

La industria de productos forestales ha entrado en un estado de transición debido a múltiples factores, incluyendo el comercio global, cambios en la demanda de productos y avances en tecnología de procesamiento (Woodall et al., 2011). Las industrias forestales modernas se caracterizan por tener procesos de producción que funcionan de manera continua con volúmenes muy grandes que fluyen constantemente, lo que obliga a las empresas a utilizar su equipo y materias primas de la manera más eficiente para lograr una alta productividad y, por lo tanto, mejores rendimientos económicos (Lundahl y Grönlund, 2010). Además, la calidad de un adecuado dimensionamiento de la materia prima, el tipo de productos demandados por el mercado y la experiencia del personal son factores que añaden complejidad a esta actividad forestal (Lähtinen et al., 2008; Han y Hansen, 2016).

Es un hecho que la demanda de materias primas forestales utilizadas como insumos en el sector industrial para la producción de diversos productos continúa aumentando (França et al., 2019; Vititnev et al., 2021; Borz et al., 2021). En este sentido, durante el procesamiento de la madera, se producen grandes volúmenes de fibras en forma de subproductos y residuos sólidos derivados de la transformación. Sin embargo, el creciente interés en la bioenergía, los bioproductos y la captura de carbono plantea

preguntas sobre la disposición adecuada de estos volúmenes de madera (Blatner et al., 2012) y según Carvalho et al. (2019), algunos factores fundamentales para obtener el mejor rendimiento de la madera de los troncos se encuentran en factores intrínsecos como la especie y las tensiones de crecimiento, así como en factores extrínsecos como el cono y la curvatura del tronco.

En la misma línea, Cesar et al. (2015) mencionan que los troncos de los bosques nativos son difíciles de dimensionar debido a la incidencia de defectos, así como a la conicidad y tortuosidad. Esta heterogeneidad dimensional también es causada por la capacidad operativa del personal de campo, ya que cada tronco debe recibir un tratamiento individual en el modelo de corte, lo que puede prolongar y aumentar el costo del proceso de transformación. La industria forestal y otros sectores que dependen de la cosecha forestal se beneficiarían de una comprensión más profunda del trabajo de extracción realizado por trabajadores debidamente capacitados (Xu et al., 2014). Por esta razón, los investigadores han utilizado herramientas para evaluar hasta qué punto las habilidades de la fuerza laboral coinciden con las necesidades de la industria, ya que estas evaluaciones pueden ayudar a orientar los programas de capacitación mediante la identificación de las brechas actuales entre las necesidades de la industria y la preparación de los trabajadores (Bernsen et al., 2020).

Considerando la capacitación como una respuesta a la necesidad de las empresas de contar con personal calificado y productivo, a la vez que se mejoran las habilidades, actitudes y conocimientos de los trabajadores, se destacan los beneficios económicos de la capacitación operativa, así como los beneficios de una adecuada conceptualización del sistema de producción forestal basado en madera (Meza y Solano, 2004). Por lo tanto, la capacitación es una de las múltiples herramientas que la industria forestal tiene para combatir incidentes y aumentar la productividad (Cabezas y Elgueta, 2018).

Para el avance del sector forestal, es necesario aplicar métodos que mejoren los parámetros de eficiencia operativa de producción, que puedan definir factores no considerados que determinan la evolución del proceso de producción. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la capacitación del personal operativo

en la utilización eficiente de los troncos de pino cosechados en la región sur del estado de Chihuahua, en el norte de México.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el ejido Basihuare, ubicado en la región centro-oeste del estado de Chihuahua, México, al norte del municipio de Guachochi, en la subprovincia fisiográfica de la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses de la provincia de la Sierra Madre Occidental. El área corresponde a un bosque mixto con diversas especies de árboles comerciales como *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham., *Pinus strobiformis* Engelm., *Juniperus deppeana* Steud. y *Quercus sideroxyla* Bonpl. (Rascón-Solano et al., 2022). Los suelos son Luvisol Crómico, Litosol y Regosol Eútrico, con textura media a fina, y el clima es Cb'(w2)x', que corresponde a un clima semifrío templado con una temperatura media anual entre 10 ° y 13 °C y una precipitación media anual de 586.75 a 673.02 mm (INEGI, 2014)).

Características de los registros y tamaño de la muestra

De las áreas de corte del ciclo anual 2021 del ejido Basihuare, se incluyeron en esta investigación un total de 448 registros de trozas seleccionadas al azar. Las trozas tenían una longitud inicial fija de 4.88 metros más el refuerzo (el refuerzo se refiere a una sección adicional de la troza que permite proteger la integridad de la madera que se obtendrá después del proceso de transformación; en México, el refuerzo es de hasta 15.2 cm adicionales en la longitud de la troza). En cuanto al diámetro de la troza, la mayoría de las trozas tenían como objetivo tener un diámetro de 35 cm en el extremo más pequeño. Se buscó tener una cierta proporcionalidad en el número de trozas entre las especies involucradas para evitar sesgos.

Las 448 trozas de pino se dividieron en dos muestras: la primera consistió en 116 trozas medidas antes del proceso de capacitación, y la segunda estuvo compuesta por 332 trozas medidas después de capacitar al personal de campo, que se distribuyeron

en tres bloques de muestreo (112, 108 y 112 trozas, respectivamente) (Tabla 1). El tamaño de la muestra se estimó en 87 trozas a través de un pre-muestreo de 45 trozas de las especies *Pinus arizonica*, *P. durangensis* y *P. leiophylla*. Para ello, se utilizó la desviación estándar de la longitud de las trozas muestreadas (0.2382) como estimador del número de trozas necesarias para lograr un error de muestreo del 5.00% y una confiabilidad del 95.00% (Barnes, 1968).

Tabla 1. Características de los registros observados por bloque de muestreo.

Observation	Group	Species	N	MDwb (cm)		mdwb (cm)		Conicity (cm)		Length (m)		Volwb (m ³)	
				Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
Before training	X	<i>P. arizonica</i>	45	38.7	10.1	32.9	8.0	0.58	0.36	5.03	0.07	0.5827	0.32
		<i>P. durangensis</i>	35	41.4	10.1	33.6	7.8	0.43	0.37	5.04	0.07	0.6160	0.33
		<i>P. leiophylla</i>	36	37.2	10.0	31.1	7.8	0.51	0.37	5.01	0.07	0.5051	0.33
After training	A	<i>P. arizonica</i>	30	44.4	10.5	39.0	9.9	0.65	0.35	4.97	0.07	0.8126	0.37
		<i>P. durangensis</i>	43	39.6	10.3	33.6	9.9	0.48	0.33	4.98	0.07	0.5933	0.37
		<i>P. leiophylla</i>	39	39.9	10.2	32.6	9.7	0.49	0.32	4.99	0.07	0.5624	0.37
	B	<i>P. arizonica</i>	50	42.9	10.9	35.6	9.0	0.63	0.37	4.96	0.06	0.6721	0.33
		<i>P. durangensis</i>	38	45.2	11.3	37.6	9.5	0.67	0.37	4.95	0.06	0.7616	0.32
		<i>P. leiophylla</i>	20	40.7	10.8	33.8	9.0	0.63	0.36	4.97	0.06	0.6072	0.32
	C	<i>P. arizonica</i>	24	42.0	10.3	38.9	9.3	0.49	0.36	4.97	0.06	0.7628	0.34
		<i>P. durangensis</i>	36	42.3	10.2	38.2	9.1	0.61	0.35	4.96	0.06	0.7397	0.35
		<i>P. leiophylla</i>	52	46.5	10.3	41.7	9.1	0.73	0.35	4.96	0.06	0.8811	0.35

* Número de observaciones; MDwb: Diámetro mayor con corteza; mdwb: Diámetro menor con corteza; Volwb: Volumen con corteza; Sd: Desviación estándar.

Métodos

Dos semanas antes del proceso de capacitación, se llevó a cabo la medición de 116 trozas en el área de tala antes de ser cargadas y transportadas a la aserradora del ejido Aboreachi (ejido vecino). Se tomaron en consideración los parámetros previamente establecidos por la Dirección General de Normas [DGN] (1988) y Orozco et al. (2016), los cuales determinan la calidad visual de las trozas de pino de al menos 2.44 metros de longitud, que pueden variar desde alta calidad hasta la clase cinco para trozas con un gran número de defectos. Estos parámetros incluyen la forma de la

sección transversal del tronco, excentricidad del médula, curvatura y conicidad del tronco, grietas, abultamientos, nudos del árbol, quemaduras y ataques de insectos. Además, las trozas se clasificaron según su destino industrial final, en el caso de este análisis, trozas destinadas al aserrado de diámetros grandes. Finalmente, también se consideraron los parámetros utilizados en estudios como los desarrollados por Nájera et al. (2011) y Ortiz et al. (2016), quienes registraron los diámetros con y sin corteza y la longitud de cada troza. Posteriormente, se estimó el volumen de cada troza con y sin corteza utilizando un software en un análisis de escritorio. Se calculó la conicidad de las trozas y se determinó el volumen y el porcentaje de refuerzo con respecto a las dimensiones de la troza. Para este último parámetro, se consideraron trozas de 2.44 metros o más, con al menos 5.1 cm y un máximo de 10.2 cm de refuerzo, según lo indicado por Barrera y Cuervo (2010).

Se brindó capacitación a 12 miembros del ejido, con edades comprendidas entre 24 y 49 años. Todos los participantes pertenecen al grupo étnico indígena "Tarahumara" (también conocido como Rarámuri). Durante el proceso de capacitación para el personal encargado de cortar y dimensionar los productos de madera, se llevó a cabo un curso/taller de 30 horas, que consistió en seis horas de teoría donde se explicaron los elementos de técnicas de tala y corte, el destino final de la madera en función de sus dimensiones y los procedimientos para clasificar las trozas de pino según la NMX-C-359-1988 (Dirección General de Normas, 1988). Posteriormente, se realizaron prácticas de campo durante un total de 24 horas, con el fin de aplicar técnicas de tala direccional, dimensionamiento y clasificación de las trozas.

Durante la práctica de dimensionamiento, se consideró como enfoque principal el dimensionamiento correcto de la longitud de la madera y el manejo adecuado de los refuerzos de rollo. Dos semanas después del curso/taller, se registraron datos de tres grupos de muestreo, con un total de 112, 108 y 112 piezas respectivamente. Se consideraron los mismos parámetros del primer análisis para comparar ambas muestras y medir la eficiencia de la capacitación y el desarrollo de habilidades del personal de campo del mencionado ejido.

Procedimiento estadístico

El paquete estadístico IBM-SPSS versión 25 se utilizó para realizar el análisis de datos y determinar los resultados (IBM Corp., 2017). La homogeneidad de las varianzas de las variables analizadas se evaluó mediante pruebas de Levene a un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Posteriormente, los datos se sometieron a la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de las observaciones ($p \leq 0.05$). En caso de encontrar normalidad en los datos, se realizó un análisis de varianza a un nivel de significancia de 0.05. Las variables incluidas se trataron con la prueba de Duncan para comparar las medias de los niveles de un factor a un nivel de significancia ≤ 0.05 . Se tuvo en cuenta el efecto de la capacitación en la clasificación de la troza según su diámetro menor (con fines de aserrado primario), la clasificación del tronco según su calidad visual, el ajuste del refuerzo dentro de un rango de 5.1 a 10.2 cm y la eficiencia del dimensionamiento de la madera con respecto al volumen de refuerzo.

Resultados y discusión

Clasificación de diámetro

Con base en el análisis del diámetro de los troncos, se estimó que antes del proceso de capacitación (grupo X), el diámetro promedio era de 32.6 cm, lo cual indica que el personal de campo mezcla materias primas de diferentes diámetros sin considerar adecuadamente el tamaño de los troncos. Esto puede afectar directamente el rendimiento de las industrias forestales, como lo señalan Murara et al. (2005), ya que el rendimiento se ve afectado por el diámetro de los troncos, siendo que a mayor diámetro, mayor rendimiento de aserrado. Sin embargo, estudios como el desarrollado por Zavala y Hernández (2000) no atribuyen un aumento significativo en el rendimiento de aserrado basado en que el diámetro de la madera redonda sea mayor. En este sentido, Robson et al. (2021) mencionan que este fenómeno está principalmente asociado a la falta de aumentos lineales en el espesor de los troncos estudiados.

Después del proceso de capacitación, se logró un incremento en el diámetro promedio de los troncos seleccionados para el aserrado primario, llegando a un promedio de 36.8 cm. El grupo de muestreo A presentó un promedio de 35.1 cm, el grupo B presentó 35.7 cm y el grupo C presentó 39.6 cm. Con base en lo anterior, el diámetro

aumentó en 4.2 cm en comparación con la primera etapa de análisis, lo que representa un aumento del 12.88% en la eficiencia dimensional. En este sentido, Borz et al. (2021) encontraron que el aumento de los diámetros de los troncos de *Picea abies* y *Abies alba* permitió incrementar la productividad en las industrias del condado de Harghita, Rumania, con resultados que van desde un rendimiento del 38.80% hasta una utilización máxima (95.00%) para troncos con diámetros superiores a 70.0 cm. Según estudios como el desarrollado por Wang et al. (2003), el diámetro y la calidad de los troncos son factores importantes a considerar con respecto al destino final de la materia prima. Por otro lado, Haro et al. (2015) indican que los troncos con diámetros inferiores a 35.0 cm pueden tener rendimientos superiores a lo esperado en la industria de la madera de dimensiones largas cuando se utilizan en la fabricación de tarimas de madera, utilizadas para transportar o soportar cargas específicas. Además, Braz et al. (2014) y Villela-Suárez et al. (2018) señalan que los troncos con diámetros más pequeños y los residuos de la utilización de la madera son materias primas potenciales para generar bioenergía a partir de biomasa, fuentes de energía renovable que no han sido consideradas de interés en el norte de México.

Como se muestra en la Figura 1, los diámetros analizados oscilan entre 15.0 y 65.0 cm. En general, la mayoría de los troncos se concentran entre 25.0 y 40.0 cm de diámetro. Los resultados muestran que la capacitación tuvo un efecto significativo en nueve de las 11 categorías de diámetro registradas en los muestreos ($p < 0.05$). Además, se encontró que después de la capacitación del personal de campo, los troncos de menor diámetro tendieron a disminuir, lo que indica que fue posible clasificar y distribuir de manera más eficiente la materia prima hacia el proceso de aserrado de mayores diámetros. Por otro lado, los troncos con diámetros de 35.0 y 45.0 cm no mostraron diferencias significativas en la proporción porcentual de la muestra ($p > 0.05$); sin embargo, estas categorías no representan un problema específico ya que se encuentran dentro de un rango aceptable para los fines mencionados.

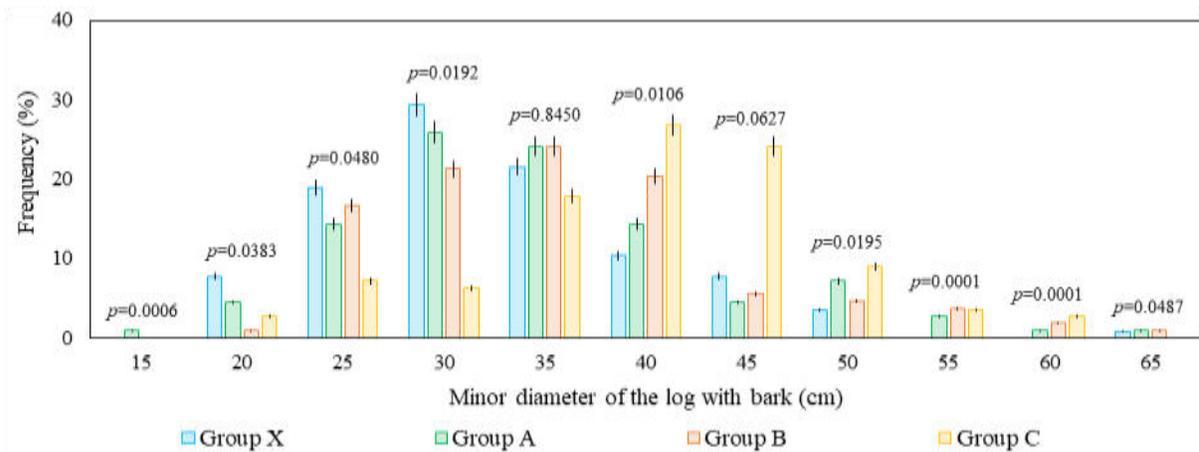


Figura 1. Frecuencia de la distribución porcentual del diámetro más pequeño con corteza de la madera para el análisis previo y posterior al entrenamiento. La parte superior de las barras indica la significancia estadística en relación con la prueba de análisis de varianza.

Clasificación de la calidad visual de los registros

La calidad visual de la madera redonda se ve principalmente afectada por las condiciones del rodal, ya que el área de corte del ejido Basihuare corresponde a un bosque mixto en proceso de regeneración. Silvícilmente, la aplicación de cortas selectivas en el rodal y la ausencia de podas de árboles resultan en un aumento de defectos físicos en la madera, lo que conlleva a una diversidad en la calidad visual de la materia prima.

En este sentido, Wang et al. (2003) encontraron que una densa aclareo en plantaciones de *Taiwania cryptomerioides* resulta en más y mayores nudos en comparación con aclareos moderados o sin aclareo; además, la poda permite un menor número de nudos que la ausencia de poda. Además, Locho et al. (2000) indicaron que el número y tamaño de defectos en la madera están principalmente relacionados con la poda de árboles y el grado de aclareo aplicado al rodal, y estos factores tienen un efecto directo en la promoción de la calidad de la madera aserrada en las industrias taiwanesas.

Por otro lado, Monserud et al. (2004) argumentan que la curvatura y torsión también conducen a un mayor número de defectos visuales en la madera redonda, lo que

provoca una disminución en el rendimiento del aserrado. Por su parte, Gorges et al. (2021) atribuyen la variabilidad de la calidad visual a la velocidad de corte de las coníferas y al tipo, cantidad y ubicación de los defectos presentes en los troncos.

En este estudio, se tuvieron en cuenta el número de nudos, la excentricidad del corazón, la conicidad del tronco y la curvatura de la madera para analizar la calidad de las piezas. Se cree que estos factores intrínsecos se complementan con factores extrínsecos, como la capacidad del operador para decidir la ubicación longitudinal para hacer cortes en el tronco, lo que aumenta el volumen de madera de mayor calidad destinada al aserrado primario.

Con base en lo anterior, se encontró que el entrenamiento para el personal forestal tiene un efecto significativo en cuatro de las seis clases de madera redonda de 4.88 m de longitud. Principalmente, fue posible aumentar el volumen de madera de alta calidad y de clase 1 hasta en un 60.06% ($p \leq 0.05$), lo que representaría un aumento en la producción de madera aserrada de alta calidad (Figura 2); por otro lado, la proporción de clases más bajas de troncos (calidad 4 y 5) se redujo significativamente, con una reducción del 37.12% y 29.95% respectivamente, lo que permite disminuir los volúmenes de madera aserrada de baja calidad. Los resultados son similares a los descritos por Orozco et al. (2016), quienes encontraron que el mayor rendimiento del aserrado para la madera de clase selecta se registró en troncos de alta calidad, y altos volúmenes de madera aserrada de baja calidad se asocian con un mayor número de defectos en los troncos.

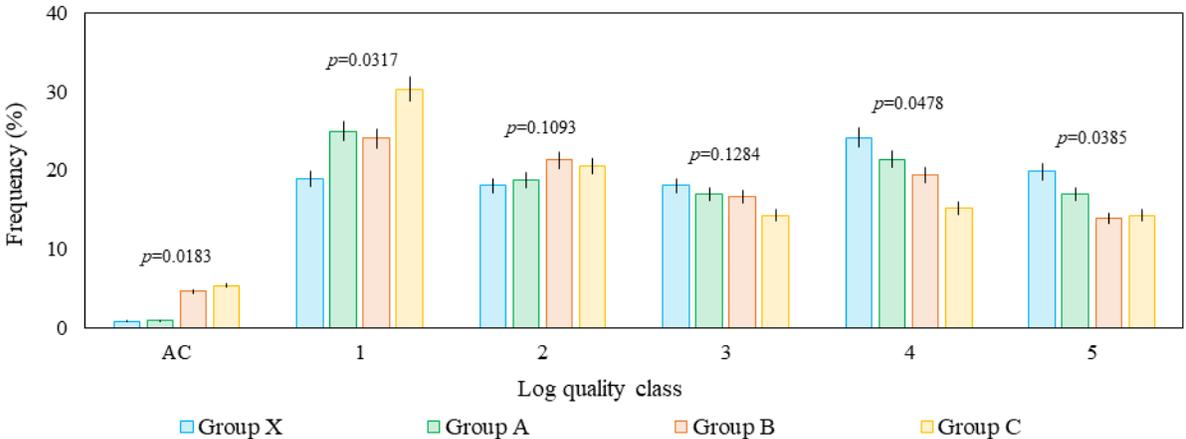


Figura 2. Frecuencia de la distribución porcentual de las clases de calidad visual de la madera en rollo para el análisis previo y posterior al entrenamiento. La parte superior de las barras indica la significación estadística en relación con la prueba de análisis de varianza.

Ajuste eficiente del refuerzo en madera en rollo

La longitud promedio de los troncos antes del entrenamiento fue de 5.03 m (grupo X), lo cual resultó ser mayor que la longitud promedio después del entrenamiento en 7.1 cm, equivalente al 1.42%. Esto indica que el refuerzo aplicado a los troncos fue mayor en la primera muestra, posiblemente debido a la falta de información requerida por el personal. Esta condición representa un uso ineficiente de la materia prima debido a un exceso de refuerzo en las piezas aserradas.

Según Wade et al. (1992) y Lin et al. (2011), el rendimiento de los troncos en el proceso de aserrado se ve afectado por la longitud. Por lo tanto, una forma de aumentar el rendimiento volumétrico es optimizando el dimensionamiento de las piezas, produciendo madera aserrada de las dimensiones requeridas (Fernando-Egas et al., 2001). Según Sessions (1988) y Garland et al. (1989), el uso de programas de optimización para el corte de troncos permite obtener troncos con características favorables, lo que puede aumentar la eficiencia del procesamiento primario de madera en aserraderos.

Erber et al. (2020) afirman que el dimensionamiento con motosierra no cuenta con soporte tecnológico, y por lo tanto, la recuperación del volumen depende de la competencia del operador de la motosierra; por esta razón, el uso de dispositivos móviles como la aplicación "T4E Bucking App" puede ayudar a maximizar la precisión del corte, ya que se encontró que la aplicación tiene una precisión superior en comparación con operadores experimentados. Sin embargo, Wang et al. (2009) y Akay et al. (2010) mencionan que el uso de equipos tecnológicos no necesariamente supera las habilidades de un operador debidamente capacitado. Por lo tanto, es necesario explorar alternativas disponibles para aumentar la eficiencia en el corte de troncos.

Los resultados sobre la evaluación del refuerzo y su proporción con respecto a la longitud del tronco mostraron una disminución significativa ($p = 0.0001$) basada en el

aumento de las capacidades del operador de la motosierra. Antes del entrenamiento, el exceso de refuerzo tenía un promedio de 2.40% (11.7 cm) por encima del rango máximo aceptable. Sin embargo, el valor máximo fue hasta un 7.92% más alto (38.8 cm), lo que significa que los troncos podrían producir piezas de aproximadamente 5.18 m de longitud, una dimensión que no se ha registrado en otros estudios de investigación mexicanos.

Por otro lado, los valores mínimos alcanzaron hasta un 3.68% (17.9 cm) por debajo de la dimensión nominal, un resultado que indica que la madera aserrada tendría que reducirse a 4.27 metros (14 pies) de longitud, principalmente debido a la falta de mercados para dimensiones impares, como indican Rascón-Solano et al. (2020) y Rascón-Solano et al. (2022).

Además, se demostró que el entrenamiento del personal de cosecha forestal permite el ajuste adecuado de los refuerzos aplicados en los cortes longitudinales de los troncos aserrados (Figura 3), ya que los valores promedio de refuerzo se encontraron dentro de un rango aceptable (5.1 a 10.2 cm). Este resultado indica que la pérdida de materia prima durante el proceso de transformación se minimizará y la actividad será más eficiente. Estos resultados son consistentes con lo descrito por Wang et al. (2004), quienes indican que los operadores experimentados de motosierra o aquellos con formación profesional pueden lograr patrones de corte óptimos. En este contexto, Olsen et al. (1991) enfatizan la importancia de desarrollar las competencias del personal de campo, al menos con conocimiento de las reglas para clasificar y dimensionar la madera redonda.

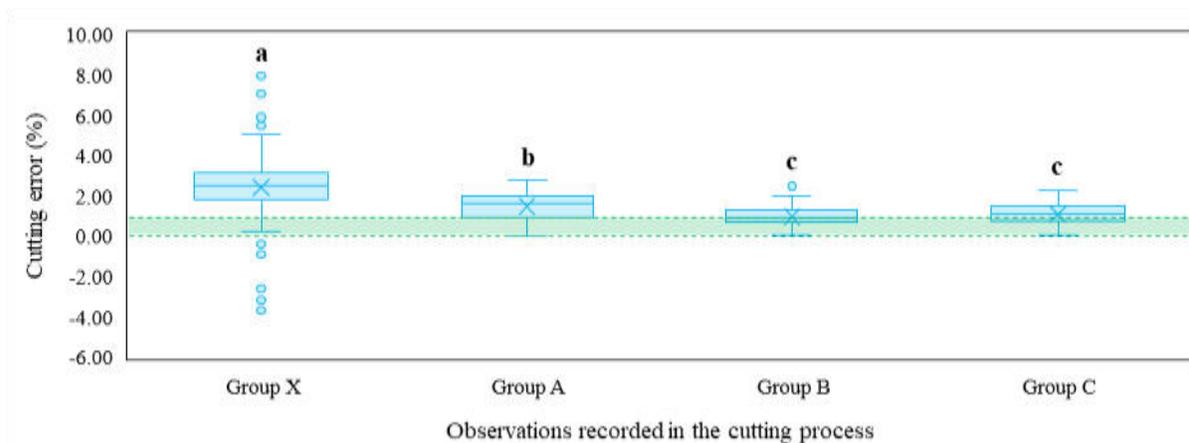


Figura 3. Porcentaje de refuerzo con respecto a la longitud del tronco en análisis pre y post entrenamiento. La banda verde indica el rango de error de corte aceptable en relación con el refuerzo de los troncos. los grupos con las mismas letras no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en relación con la prueba de separación de medias de Duncan.

Proporción volumétrica del refuerzo con respecto al volumen del tronco

Las aserraderos y otros fabricantes de productos de madera producen grandes cantidades de biomasa leñosa en forma de sobrantes, astillas, aserrín, virutas y corteza, conocidos colectivamente como residuos de la industria o desechos sólidos (Kim et al., 2015).

Según los hallazgos de este estudio, el exceso de refuerzo en la longitud de los troncos antes del proceso de entrenamiento resultó en un 6.08% del volumen total del tronco generado en forma de desechos sólidos o escombros. Además, se obtuvieron resultados negativos, lo que indica que algunos troncos y sus correspondientes productos de madera no cumplieron con la dimensión nominal esperada de 4.88 m, con valores que van desde -3.04% hasta -0.32% fuera de un rango aceptable en relación con la longitud nominal deseada, como se mencionó anteriormente, esto conduce a una pérdida volumétrica, lo que provoca una reducción en la productividad industrial, como señalan Caldera y Amarasekera (2015), quienes atribuyen estos desperdicios a la ineficiencia en la utilización de los recursos maderables, identificados como uno de los principales factores que afectan la baja rentabilidad y productividad. Por otro lado, Himandi et al. (2021) han destacado que la ineficiencia y los desperdicios en la producción de madera pueden abordarse mediante intervenciones de capacitación en las áreas de cosecha e industria. En este sentido, el efecto del entrenamiento del personal de campo en el ejido Basihuare permite una reducción promedio en el volumen que se transformará en desechos sólidos del 0.90%, con un valor máximo del 2.13% en relación con el volumen total del tronco.

Este resultado coincide con lo encontrado por Olandoski et al. (1997) y Barbosa et al. (2014), quienes indican que la proporción de desperdicios resultante del corte longitudinal excesivo del tronco es aproximadamente del 3.00% del volumen total sin

considerar la corteza. La Figura 4 muestra que a través del entrenamiento y la preparación técnica del personal que realiza el derribo y dimensionamiento de la madera, es posible reducir significativamente el volumen de desperdicios que se desperdiciarán en el procesamiento de la materia prima ($p = 0.0001$).

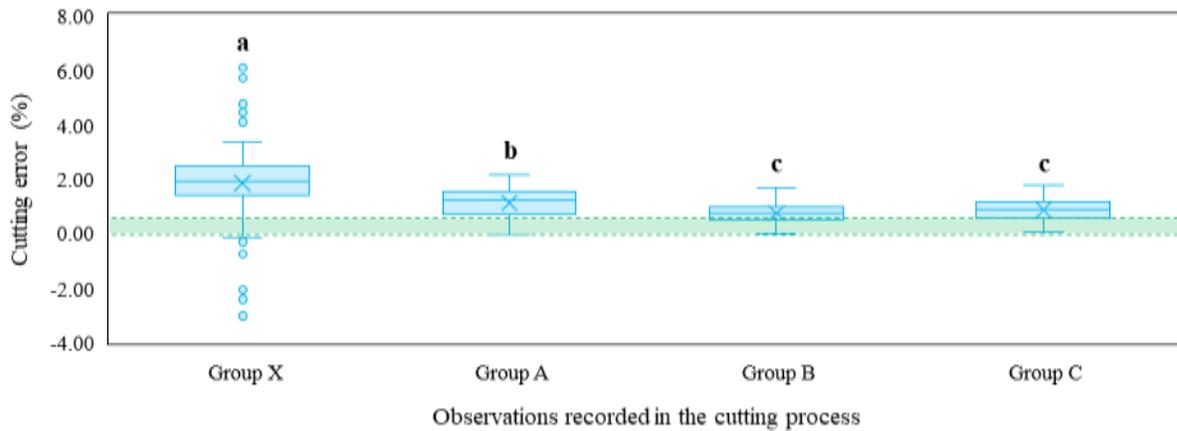


Figure 4. Volumen de refuerzo en relación al volumen total del tronco en el análisis previo y posterior al entrenamiento. La banda verde indica el rango de error de corte aceptable en relación al refuerzo de los troncos. Grupos con las mismas letras no difieren significativamente ($p > 0.05$) según la prueba de separación media de Duncan.

Finalmente, es necesario realizar análisis para identificar si el factor de reducir y ajustar los refuerzos en la madera de pino aumenta significativamente la productividad de las industrias madereras. Además, es imperativo dirigir la actividad industrial forestal hacia la sostenibilidad, con la recuperación de materias primas que puedan ser destinadas a otras industrias como la generación de celulosa, tableros de fibra y bioenergía (Barbosa et al., 2014; Braz et al., 2014; de Araújo et al., 2021).

Conclusiones

Los resultados muestran que el entrenamiento tuvo un efecto directo en gran parte de las categorías de diámetro registradas en las muestras. Asimismo, se encontró que después del entrenamiento del personal de campo, los troncos de diámetros más

pequeños tendieron a disminuir; por lo tanto, fue posible clasificar y distribuir el material de manera más eficiente para el proceso de corte de troncos de diámetros más grandes. Se encontró que el entrenamiento del personal de extracción forestal tiene un efecto significativo en cuatro de las seis clases de troncos de 16 pies de largo. También fue posible aumentar el volumen de madera de alta calidad y clase 1, y disminuir la proporción de troncos de menor calidad, factores que, en conjunto, permiten la reducción de volúmenes de madera aserrada de baja calidad.

El entrenamiento del personal de cosecha forestal demostró permitir el ajuste adecuado de los refuerzos aplicados en los cortes dimensionales de la madera. Este resultado indica que se minimizará la pérdida de materia prima durante el proceso de transformación y la actividad será más eficiente. Mediante el entrenamiento y la preparación técnica del personal que realiza las actividades de tala y dimensionado de la madera, es posible reducir significativamente el volumen de desechos que se descartarán durante el procesamiento de la materia prima.

Para avanzar en la industria maderera, es necesario aplicar métodos que aumenten los parámetros de eficiencia operativa de la producción y, en consecuencia, promover la evolución del proceso de producción. Además, es imprescindible orientar la actividad industrial forestal hacia la sostenibilidad, con la recuperación de materias primas y residuos que puedan dirigirse hacia otros destinos industriales.

Contribuciones de los autores

Conceptualización de la idea de investigación, diseño del experimento y redacción del borrador original, J.R.S.; análisis formal, validación y discusión, O.A.A.C. y J.A.N.L.; recursos, curación de datos y revisión y edición de la escritura, E.A.R., J.J.P. y E.J.T.G.; supervisión, J.R.S. y J.A.N.L. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Aprobación ética (para investigaciones con animales o humanos)

No aplica.

Agradecimientos

Agradecemos a los revisores anónimos cuyos comentarios ayudaron a mejorar y aclarar este manuscrito. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el apoyo económico brindado para la realización de sus estudios de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con este artículo.

Financiamiento

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, a través de una beca doctoral otorgada al primer autor.

Referencias

- Akay AE, Sessions J, Serin H, Pak M, Yenilmez N (2010). Applying Optimum Bucking Method in Producing Taurus Fir (*Abies cilicica*) Logs in Mediterranean Region of Turkey. *Baltic Forestry* 16(2):273-279.
[https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2010-16\[2\]/Abdulach_etal_2010%2016\(2\)_273_279.pdf](https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2010-16[2]/Abdulach_etal_2010%2016(2)_273_279.pdf)
- Barbosa LC, Pedrazzi C, da Silva É, Schneid GN, Wille VK (2014). Avaliação dos resíduos de uma serraria para a produção de celulose <i>kraft</i> [Evaluation of residues from a sawmill for the production of <i>kraft</i> pulp]. *Ciência Florestal* 24(2):491-500. <https://doi.org/10.5902/1980509814589>
- Barnes RM (1968). *Motion and time study: design and measurement of work*. New York, NY, USA: John Willey & Sons. 799 p.

- Barrera JM, Cuervo S (2010). Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales [Manual of good practices in sawmills of forest communities]. Ciudad de México, México: Rainforest Alliance. 59 p.
<https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/Manual-de-buenas-practicas-en-aserraderos-de-comunidades-forestales.pdf>
- Bernsen NR, Crandall MS, Leahy JE (2020). An educational needs assessment of workforce supply and readiness in Maine's forest products industry. *Forest Products Journal* 70(1):22-27. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-19-00046>
- Blatner KA, Keegan CE, Daniels JM, Morgan TA (2012). Trends in lumber processing in the Western United States. Part III: Residue recovered versus lumber produced. *Forest Products Journal* 62(6):429-433.
<https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00024.1>
- Borz SA, Oghnoum M, Marcu MV, Lorincz A, Proto AR (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>
- Braz RL, Nutto L, Brunsmeier M, Silva DA (2014). Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia – uma análise da cadeia produtiva [Waste from forest harvesting and wood processing in the Amazon – an analysis of the production chain]. *Journal of Biotechnology and Biodiversity* 5(2):168-181. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v5n2.braz>
- Cabezas A, Elgueta F (2018). Metodologías de capacitación y su efecto sobre variables psicolaborales en trabajadores de cosecha forestal [Training methodologies and their effect on psycho-labour variables in forest harvest workers]. Undergraduate thesis. Los Ángeles, Chile: Universidad de Concepción.
- Caldera H, Amarasekera HS (2015). Investigation of sawmill management and technology on waste reduction at selected sawmills in Moratuwa, Sri Lanka. *Journal of Tropical Forestry and Environment* 5(1):71-82.
<https://doi.org/10.31357/jtfe.v5i1.2499>

- Carvalho DE, Pereira M, Klitzke RJ, Gonzalez PH (2019). Eficiência operacional da serra de fita no desdobro de eucalipto [Operational efficiency of the bandsaw in the cutting of eucalyptus]. *Tecno-Lógica* 23(1):36-41. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v23i1.12571>
- Cesar D, Missia JG, de Paula WS, Baptista G (2015). Desempenho operacional de uma serraria de pequeno porte do município de Alegre, Espírito Santo, Brasil [Operational performance of a small sawmill in the city of Alegre, Espírito Santo, Brazil]. *Floresta* 45(3):487-496. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i3.34441>
- de Araújo L, Oliveira RV, Nogueira Á, Boechat CP, Santos M, Soares L (2021). Optimization and economic analysis of multiproducts obtained from wood of eucalyptus stands under different productive capacity classes and rotation ages. *Floresta* 51(2):293-302. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i2.63729>
- Dirección General de Normas [DGN]. (1988). Norma Mexicana NMX-C-359-1988. Industria Maderera - Trocería de Pino – Clasificación [Mexican Standard NMX-C-359-1988. Timber Industry - Pine Logging – Classification]. Ciudad de México, México: DGN. SECOFI. 23 p.
- Erber G, Stelzer S, Stampfer K (2020). Evaluation of a novel mobile device app for value-maximized bucking by chainsaw. *International Journal of Forest Engineering* 32(Sup 1):63-73. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1927362>
- Fernando-Egas A, Álvarez-Lazo DA, Estévez-Valdés I (2001). Factores fundamentales para aumentar el rendimiento volumétrico en los aserraderos de Cuba [Fundamental factors to increase volumetric yield in Cuban sawmills]. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(2):163-168. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues&numero=24&articulo=360>
- França MC, Francisco CG, Pereira M, Klitzke RJ, Moreira JR, ... Monnerat AG (2019). Qualidade da tora e da madeira de clones de Eucalyptus para utilização na indústria de madeira serrada [Log and wood quality of Eucalyptus clones for use in the lumber industry]. *Ciência da Madeira, Brazilian Journal of Wood Science* 10(1):8-17. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n1p8-17>

- Garland J, Sessions J, Olsen ED (1989). Manufacturing logs with computer-aided bucking at the stump. *Forest Products Journal* 39(3):62-66.
- Gorges J, Huber M, Sauter UH, Dormann CF (2021). Curvature of Logs-Development of and Comparison between Different Calculation Approaches. *Forests* 12(857):1-15. <https://doi.org/10.3390/f12070857>
- Han X, Hansen E (2016). Marketing sophistication in private sawmilling companies in the United States. *Canadian Journal of Forest Research* 46(2):181-189. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0242>
- Haro AJ, Nájera JA, Méndez J, Corral S, Hernández JC, Carrillo A, Cruz F (2015). Factor de conversión de productos forestales en la industria de tarimas en Durango [Conversion factor of forest products in the pallet industry in Durango]. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 6(30):90-105. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.210>
- Himandi S, Perera P, Amarasekera H, Rupasinghe R, Vlosky RP (2021). Wood residues in the moratuwa woodworking industry cluster of Sri Lanka: Potential for sector synergies and value-added products. *Forest Products Journal* 71(4):379-390. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-21-00042>
- IBM Corp. (2017). IBM SPSS Statistics para Windows, versión 25.0. Armonk, Nueva York: IBM Corp.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]. (2014). Conjunto de datos vectorial edafológico escala 1: 250000 Serie II (Continuo Nacional) [Edaphological vector data set scale 1: 250000 Series II (National Continuum)]. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_serieii.aspx
- Kim D, Anderson NM, Chung W (2015). Financial performance of a mobile pyrolysis system used to produce biochar from sawmill residues. *Forest Products Journal* 65(5-6):189-197. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00052>
- Lähtinen K, Haara A, Leskinen P, Toppinen A (2008). Assessing the relative importance of tangible and intangible resources: Empirical results from the forest industry. *Forest Science* 54(6):607–616. <https://doi.org/10.1093/forestscience/54.6.607>

- Lin W, Wang J, Wu J, DeVallance D (2011). Log Sawing Practices and Lumber Recovery of Small Hardwood Sawmills in West Virginia. *Forest Products Journal* 61(3):216-224. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.3.216>
- Locho C-N, Chiu C-M, Chen Y-C (2000). Effects of thinning and pruning on taiwania plantations in the tengchih area. *Taiwan Journal of Forest Sciences* 15(2):399-409.
https://www.tfri.gov.tw/main/science_in.aspx?siteid=&ver=&usid=&mnuid=5470&modid=3&mode=&noframe=&cid=157&cid2=892&nid=3192
- Lundahl CG, Grönlund A (2010). Increased yield in sawmills by applying alternate rotation and lateral positioning. *Forest Products Journal* 60(4):331-338.
<https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.4.331>
- Meza A, Solano R. (2004). Efecto de la capacitación técnica en los costos de las operaciones de aprovechamiento forestal de plantaciones [Effect of technical training on the costs of plantation forest harvesting operations]. *Kurú: revista forestal*, 1(3):36-46. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/562>
- Monserud RA, Parry DL, Todoroki CL (2004). Recovery from simulated sawn logs with sweep. *New Zealand Journal of Forestry Science* 34(2):190-205.
https://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0003/59160/05_Monserud_Todoroki.pdf
- Murara MI, Pereira M, Timofeiczuk R (2005). Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro [Yield in sawn wood of *Pinus taeda* for two sawing methodologies]. *Floresta* 35(3):473-483.
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v35i3.5186>
- Nájera JA, Aguirre OA, Treviño E, Jiménez J, Jurado E, ... Vargas B (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango [Volumetric yield and dimensional quality of sawn wood in sawmills in El Salto, Durango]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4):77-92. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i4.610>
- Olandoski DP, Brand MA, Gorniak E (1997). Avaliação do rendimento, quantidade, qualidade e aproveitamento de resíduos no desdobro de *Pinus spp* [Evaluation of yield, quantity, quality and use of residues in cutting *Pinus sp*]. 5º EVINCI -

Evento de Iniciação Científica da UFPR (pág. 379 p). Curitiba, Brasil:
Universidade Federal do Paraná.

- Olsen ED, Pilkerton S, Garland J, Sessions J (1991). Questions about optimal bucking. Research Bulletin 71. Corvallis, Oregon, U.S.A: Forestry Research Lab, Oregon State University. 24 p.
- Orozco R, Hernández JC, Nájera JA, Domínguez PA, Goche JR, ... Corral JJ (2016). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino [Yield in quality of sawn pine wood]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(36):37-50.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.58>
- Ortiz R, Martínez SD, Vázquez DE, Juárez WS (2016). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México [Determination of the coefficient and quality of sawmilling of the genus *Pinus* in the Sierra Sur region, Oaxaca, Mexico]. *Colombia Forestal* 19(1):79-93.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>
- Rascón-Solano J, Galván-Moreno VS, Aguirre-Calderón OA, García-García SA (2022). Caracterización estructural y carbono almacenado en un bosque templado frío censado en el noroeste de México [Structural characterization and stored carbon in a cold temperate forest surveyed in northwestern Mexico]. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(70).
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1123>
- Rascón-Solano J, Magaña-Magaña JE, Kiessling-Davison CM, Licón-Trillo LP, Portillo-Vázquez M, Galván-Moreno VS (2022). Viabilidad técnica, financiera y económica de establecer un aserradero privado en el Noroeste de México [Technical, financial and economic viability of establishing a private sawmill in the Northwest of Mexico]. *Custos e @gronegocio online* 17(4):332-357.
<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v17/OK%2016%20aserradero.pdf>
- Rascón-Solano J, Olivas-García JM, Kiessling-Davison CM, Hernández-Salas J, López-Daumas G (2020). Incremento de la rentabilidad de la industria forestal en el Ejido Aboreachi, Chihuahua, México [Increase in the profitability of the forestry industry in the Ejido Aboreachi, Chihuahua, Mexico]. *Custos e*

@gronegocio online 15(4):219-249.

<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v15/OK%2010%20costos.pdf>

Robson B, Caraciolo RL, Aleixo JA, Carneiro M, Silva DA, ... Da Cruz LF (2021).

Effect of species and log diameter on the volumetric yield of lumber in northern Brazilian Amazonia: preliminary results. *Journal of Sustainable Forestry* 23(4):4924-4948. <https://doi.org/10.1080/10549811.2019.1636661>

Sessions J (1988). Making better tree bucking decisions in the woods. An introduction to optimal bucking. *Journal of Forestry* 86(10):43-45.

<https://doi.org/10.1093/jof/86.10.43>

Villela-Suárez M, Aguirre-Calderón OA, Treviño-Garza EJ, Vargas-Larreta B (2018).

Disponibilidad de residuos forestales y su potencial para la generación de energía en los bosques templados de El Salto, Durango [Availability of forest residues and their potential for energy generation in the temperate forests of El Salto, Durango]. *Madera y Bosques*, 24(3): e2431529.

<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431529>

Vititnev A, Alashkévich Y, Marchenko R, Zyryanov M, Mokhirev A (2021). Use of logging waste in technologies for deep chemical processing of wood. *Wood Research* 66(5):821-832. doi.org/10.37763/wr.1336-4561/66.5.821832

Wade MW, Bullard SH, Steele PH, Araman PA (1992). Estimating Hardwood Sawmill Conversion Efficiency Based on Sawing Machine and Log. *Forest Products Journal* 42(11):21-26. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_wade004.pdf

Wang J, LeDoux CB, McNeel J (2004). Optimal tree-stem bucking of northeastern species of China. *Forest Products Journal* 54(2):45-52.

Wang J, Liu J, LeDoux CB (2009). A Three-Dimensional Bucking System for Optimal Bucking of Central Appalachian Hardwoods. *International Journal of Forest Engineering* 20(2):26-35. <https://doi.org/10.1080/14942119.2009.10702580>

Wang S-Y, Lin CJ, Chiu C-M (2003). Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of *Taiwania (Taiwania cryptomerioides)* planted in the Lu-Kuei

area. *Journal of Wood Science* 49:444-449. <https://doi.org/10.1007/s10086-002-0495-5>

Woodall CW, Ince PJ, Skog KE, Aguilar FX, Keegan CE, ... Smith WB (2011). An Overview of the Forest Products Sector Downturn in the United States. *Forest Products Journal* 61(8):595-603. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.8.595>

Xu Y, Smidt M, Zhang Y (2014). Logging worker wage, performance, and experience. *Forest Products Journal* 64(5/6):210-216. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00035>

Zavala D, Hernández R (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino [Analysis of the performance and usefulness of the sawing process of pine logs]. *Madera y Bosques*, 6(2): 41-55. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.621374>

**CAPÍTULO IV. PRODUCTIVIDAD DEL ABASTECIMIENTO E
INDUSTRIALIZACIÓN MADERABLE EN EL EJIDO ABOREACHI, GUACHOCHI,
CHIHUAHUA**

(Publicado en Revista Mexicana de Ciencias Forestales)

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, Óscar A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., & Nájera-Luna, J. A. (2022). Productividad del abastecimiento e industrialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 13(71). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1142>

Productividad del abastecimiento e industrialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua

Supply productivity and timber industrialization in ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua

Joel Rascón-Solano¹

Oscar Alberto Aguirre-Calderón^{2*}

Eduardo Alanís-Rodríguez²

Javier Jiménez-Pérez²

Eduardo Javier Treviño-Garza²

Juan Abel Nájera-Luna³

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

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

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto. Durango, México.

*Autor por correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la evolución productiva de una década de abastecimiento, industrialización y comercialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. En este trabajo se consideraron 10 anualidades de aprovechamiento forestal maderable, desde enero del año 2010 a diciembre de 2019, fueron analizadas 9 327 remisiones de madera en rollo y 2 040 reembarques de madera aserrada. La prueba de *Shapiro-Wilks* fue empleada para determinar la normalidad de las observaciones; la homogeneidad de las varianzas se determinó con la prueba de *Levene*; para evaluar la productividad de las anualidades se realizaron pruebas de *Kruskal-Wallis*; y se realizaron análisis de *correlación de Pearson* para evaluar el incremento de los fletes en función del volumen autorizado. Todos los estadísticos se realizaron a un nivel de significancia $\alpha=0.05$. La extracción forestal con animales de tiro permite aumentar los puestos de trabajo, pero limitan la productividad de abastecimiento en conjunto con la calidad de los vehículos. Se encontró un incremento en el número de fletes de madera en rollo y aserrada en relación con el aumento de volumen autorizado ($r = 0.775$ y 0.495 respectivamente). El análisis de *Kruskal-Wallis* muestra que las diferencias en los flujos de abastecimiento de madera en rollo y egresos de abastecimiento resultaron significativas ($\alpha < 0.05$). Por su parte, el transporte de madera aserrada, egresos de transformación e ingresos por venta presentan diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) entre anualidades. La renovación

tecnológica industrial logró aumentar el rendimiento volumétrico de madera aserrada 9.45 % y por consiguiente la productividad del ejido Aboreachi.

Palabras clave: Aprovechamiento, extracción, madera en rollo, madera aserrada, rendimiento volumétrico.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the productive evolution of a decade of timber supply, industrialization and commercialization in the Aboreachi ejido, Guachochi, Chihuahua. In this work, 10 annuities of timber harvesting were considered, from January 2010 to December 2019, 9,327 remissions of round wood and 2,040 reshipments of sawn wood were analyzed. The *Shapiro-Wilks* test was used to determine the normality of the observations; the homogeneity of the variances was determined with the *Levene* test; *Kruskal-Wallis* tests were carried out to evaluate the productivity of the annuities; and *Pearson correlation* analyzes were carried out to evaluate the increase in freight rates as a function of the authorized volume. All statistics were performed at a significance level $\alpha=0.05$. Logging with draft animals increases jobs, but limits supply productivity in conjunction with the quality of vehicles. An increase in the number of shipments of round and sawn wood was found in relation to the increase in authorized volume ($r = 0.775$ and 0.495 respectively). The *Kruskal-Wallis* analysis shows that the differences in roundwood supply flows and supply expenditures were significant ($\alpha < 0.05$). On the other hand, the transport of sawn wood, processing expenses and sales income show significant differences ($\alpha < 0.05$) between annuities. The industrial technological renovation managed to increase the volumetric yield of sawn wood by 9.45 % and consequently the productivity of the Aboreachi ejido.

Key words: Harvesting, forest extraction, round wood, sawn wood, volumetric yield.

Introducción

El aprovechamiento sustentable en la extracción y transformación de productos en comunidades forestales persigue la reducción de pobreza y conservación de los ecosistemas (Carrillo-Anzures *et al.*, 2017). Los bosques de México aportan bienes y servicios a la población; de ellos, los recursos maderables han sido desde la perspectiva económica, el bien más importante que han aportado a través del tiempo (Caballero, 2017). Durante el período 2010-2017 la producción forestal maderable nacional ha variado de 5.6 millones de metros cúbicos rollo (m^3r) a 9.0 millones m^3r respectivamente, presenta un incremento del 60.71 %; en cuanto a los volúmenes de madera aserrada para el último periodo, se reporta una producción de 5.59 millones de metros cúbicos, aumenta el volumen 30.60 % con respecto al año 2010 (SEMARNAT, 2011; SEMARNAT, 2020). Acuña-Carmona y Drake-Arana (2003), proponen que debido a la tendencia creciente de la actividad forestal es necesario el

monitoreo constante del recurso, ya que la toma de decisiones debe partir por un profundo conocimiento de la actividad.

La gestión sostenible de los recursos forestales involucra decidir la estrategia más adecuada para su aprovechamiento (Serrano-Ramírez *et al.*, 2019); por su parte Marušák *et al.* (2015), indican que los administradores de recursos forestales determinan las cantidades y tipo de productos generados que permitan aumentar la utilidad del bosque, sin crear dependencias difíciles que pongan en peligro la integridad de los ecosistemas bajo aprovechamiento (Pérez-Verín, 2006); asimismo, tienen como reto definir las oportunidades de mejora en los sistemas silvícolas y operaciones forestales (Aguirre-Calderón, 2015).

Dentro de las operaciones forestales se distingue el abastecimiento de materias primas forestales y envío de productos (Rascón-Solano *et al.*, 2020), donde el transporte terrestre es el más empleado, debido a su alta versatilidad y variedad de vehículos (Andalaft *et al.*, 2005) para la entrega de bienes en los centros procesadores y puntos de comercialización (Cranic y Laporte, 1997).

El objetivo de la presente aportación es evaluar la evolución productiva de una década de abastecimiento, industrialización y comercialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua, a partir del supuesto de que los indicadores de producción en cada operación se encuentran acordes con la realidad tecnológica y el potencial económico del ejido.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el ejido Aboreachi ubicado a 56 km de la ciudad de Guachochi, el centro de población de mayor tamaño en el ejido se denomina Laguna de Aboreachi (Rascón-Solano *et al.*, 2020), donde se cuenta con el centro de transformación de materia primas maderables en las coordenadas 27°07'31.22" N 107°18'05.35" O. El ejido cuenta con una superficie bajo aprovechamiento de 10 946.18 hectáreas, las cuales contienen un volumen autorizado del género *Pinus* por 181 423.62 metros cúbicos en volumen total árbol, distribuidos en 15 anualidades de corta.

Metodología

En el análisis se consideraron 10 anualidades de aprovechamiento forestal maderable, se tomó en cuenta desde enero del año 2010 a diciembre de 2019. El criterio de análisis se debe a que en el año 2015 el ejido actualizó su programa de manejo, en función de lo anterior se decidió registrar cinco anualidades previas a la actualización del programa de manejo forestal y cinco posteriores al mismo. Adicionalmente, dentro del periodo seleccionado se cuenta con bases de datos digitales con la documentación que legaliza los abastos y reembarques de productos.

Para realizar el análisis y posterior evaluación de la información referente al abastecimiento de materias primas, se analizaron 9 327 remisiones de madera en rollo, en las que se consideró como factor de comparación la anualidad y como variable el volumen transportado en camión de ocho toneladas de capacidad con intervalos de 3.61 a 21.71 metros cúbicos rollo, costo de la materia prima y número de fletes realizados en cada año de actividad; los rangos de los volúmenes de abasto entre anualidades fueron evaluados con cuartiles (Q1, Q2 y Q3), con este análisis es posible identificar los valores atípicos o errores de entrada de datos, donde el primer cuartil (Q1) representa el 25 %, el segundo cuartil (Q2 o mediana) el 50 % y el tercer cuartil (Q3) el 75% de las observaciones, ordenados y divididos en cuatro partes iguales. En cuanto a la transformación de materias primas, se analizaron 2 040 reembarques de madera aserrada, se consideraron los volúmenes transportados con rangos desde 1.05 metros cúbicos (ventas al menudeo) hasta 60.65 metros cúbicos (ventas al mayoreo), el costo de transformación y su valor en el mercado en cada año como variables por evaluar y las anualidades como factor de referencia.

Los flujos de abasto y transformación del género *Pinus* fueron comparados durante las anualidades 2010 a 2019, se contabilizaron los volúmenes presentados por los reembarques del ejido en ese periodo. Posterior a ello se realizó la estimación de rendimiento de transformación de las materias primas, considerando los volúmenes de madera aserrada como producto y los embarques de aserrín y astilla como residuo sólido, a este último concepto se le añade el volumen de residuos no comercializados. En este punto, se realizó un comparativo productivo entre el periodo de tiempo que el

ejido empleaba equipos de transformación de sierra banda y posteriormente la adquisición de un aserradero tecnificado de corte fino, con el cual se pretende determinar si la transición tecnológica del ejido tiene un efecto en la productividad de aserrado.

Análisis estadístico

Para probar la hipótesis de normalidad (H_a = las variables número de fletes de madera en rollo, egresos generados por abastecimiento, flujo de ventas de madera aserrada, egresos de transformación e ingresos de comercialización de madera aserrada presentan una distribución diferente a la normal) se empleó la prueba de Shapiro-Wilks ($\alpha=0.05$), con la identificación de normalidad de las unidades de análisis mediante la identificación de curtosis y asimetría. Se evaluó la homogeneidad de las varianzas de las variables mediante la prueba de Levene a un valor de significancia del $\alpha=0.05$. Para determinar las diferencias estadísticas con un intervalo de confianza del 95 % y una significancia del 5 %, se realizaron análisis de Kruskal-Wallis en las variables número de fletes de madera en rollo, egresos generados por abastecimiento, flujo de ventas de madera aserrada, egresos de transformación e ingresos de comercialización de madera aserrada, en función de la anualidad de actividad, para corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre los rangos de grupos de una variable se empleó la prueba H de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, se realizó un análisis de coeficientes de correlación de Pearson (r) ($\alpha=0.05$) entre los valores medios por variable, para determinar si los incrementos de volumen se relacionan con el aumento de fletes por año. De acuerdo con Martínez-González *et al.* (2006), los valores de $r = 0$ indican nula correlación entre las variables, valores de $r < 0.30$ corresponden a una asociación débil, mientras que, valores de $0.30 \leq r \leq 0.70$ representan una asociación moderada y valores de $r > 0.70$ denotan una correlación fuerte. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Resultados y discusión

Estadísticos descriptivos y de normalidad de los flujos de transporte

De acuerdo con la prueba de normalidad de las variables, el índice de curtosis y el coeficiente de asimetría calculados en diferentes casos, resultó fuera del intervalo estadístico para ser considerados como de distribución normal (-2 y 2) (George y Mallery, 2010). Por otra parte, la prueba de homogeneidad de varianzas resultó con valores $p < 0.05$ en todos los casos sometidos análisis, debido a que las varianzas entre grupos (anualidades) no presentaron diferencias significativas se considera que los procedimientos de Kruskal-Wallis a partir de esta base de datos son válidos a un nivel de significancia < 0.05 en la productividad, egresos e ingresos de los años integrados en este análisis. En el Cuadro 1 se muestran los estadísticos descriptivos, índice de curtosis, coeficiente de asimetría, factores analizados y número de observaciones presentes en el estudio.

Cuadro 1. Observaciones realizadas en el abastecimiento y comercialización de productos del Ejido Aboreachi.

Año	Volumen autorizado(m ³)	95% del intervalo de confianza para la media								N
		Media (m ³ r)	Desv. Std. (m ³ r)	Límite inferior (m ³ r)	Límite superior (m ³ r)	Mínimo (m ³ r)	Máximo (m ³ r)	IC	CA	
Transporte de madera en rollo de <i>Pinus</i> spp.										
2010	8428	9.47	0.06	9.36	9.59	6.46	16.71	2.57	1.72	888
2011	8422	10.15	0.06	10.05	10.26	3.61	17.82	2.47	1.26	829
2012	8479	9.51	0.05	9.41	9.60	4.86	16.16	2.53	1.08	889
2013	8373	10.14	0.09	9.97	10.32	5.09	19.82	1.98	1.49	825
2014	8399	9.96	0.09	9.78	10.14	6.18	19.63	1.95	1.55	843
2015	16 678	10.27	0.06	10.15	10.39	3.99	18.76	2.40	1.46	1 276
2016	13 490	10.50	0.09	10.31	10.68	5.12	20.30	0.31	1.19	1 002
2017	11 962	10.54	0.10	10.34	10.75	4.04	21.52	0.12	1.02	892
2018	11 888	10.57	0.13	10.32	10.83	4.81	21.71	0.56	1.40	881
2019	14 574	11.33	0.11	11.12	11.54	6.23	21.52	-0.29	0.93	1 002
Transporte de madera aserrada de <i>Pinus</i> spp.										
2010	8428	19.31	0.51	18.31	20.32	4.93	46.63	2.73	1.53	185
2011	8422	23.22	0.73	21.77	24.67	3.53	44.32	-0.85	-0.14	164
2012	8479	21.60	0.68	20.27	22.93	2.88	45.04	-0.27	0.42	180

2013	8373	18.86	0.56	17.77	19.95	2.10	47.95	1.31	0.73	246
2014	8399	25.77	0.96	23.88	27.67	2.11	54.98	-0.67	0.12	176
2015	16 678	26.12	0.75	24.63	27.60	1.56	60.18	-0.36	0.12	276
2016	13 490	26.26	0.92	24.45	28.08	1.12	60.65	-0.58	0.07	219
2017	11 962	24.91	0.89	23.15	26.67	1.05	59.71	-0.09	0.21	206
2018	11 888	29.71	1.04	27.65	31.77	2.61	57.47	-0.64	0.03	174
2019	14 574	29.60	1.16	27.31	31.90	1.16	59.42	-1.10	-0.13	214

*IC: Índice de curtosis; CA: Coeficiente de asimetría; N: Número de fletes realizados en madera en rollo y madera aserrada.

Abastecimiento de madera en rollo de *Pinus* spp.

El ejido Aboreachi realiza en mayor proporción las actividades de arrastre y carga de trocería de pino con animales de tiro, que de acuerdo con lo reportado por Bray *et al.* (2016), es una alternativa que distribuye el capital económico a un mayor número de ejidatarios en forma de salarios. Adicionalmente, es una opción que reduce el impacto al arbolado residual, ya que la extracción mecanizada llega a dañar hasta el 48.00 % del remanente (Jackson *et al.*, 2002; Nájera-Luna *et al.*, 2012). Sin embargo, esta técnica es limitada por la baja productividad de carga en los vehículos que transportan el rollizo, en este sentido, Nájera–Luna *et al.* (2011c) estiman que la carga mecanizada tiene rendimientos entre 19.83 metros cúbicos por hora ($m^3 \cdot h^{-1}$) y $35.27 m^3 \cdot h^{-1}$ en el estado de Durango, este método resulta ser más eficiente y permite cargar una capacidad mayor en comparación con los volúmenes empleados en el ejido Aboreachi, que oscilan entre los $3.611 m^3r$ y a $21.712 m^3r$, presentando la mayor frecuencia de carga (51.47 % del total) entre los 8.72 y $10.95 m^3r$ (Figura 1).

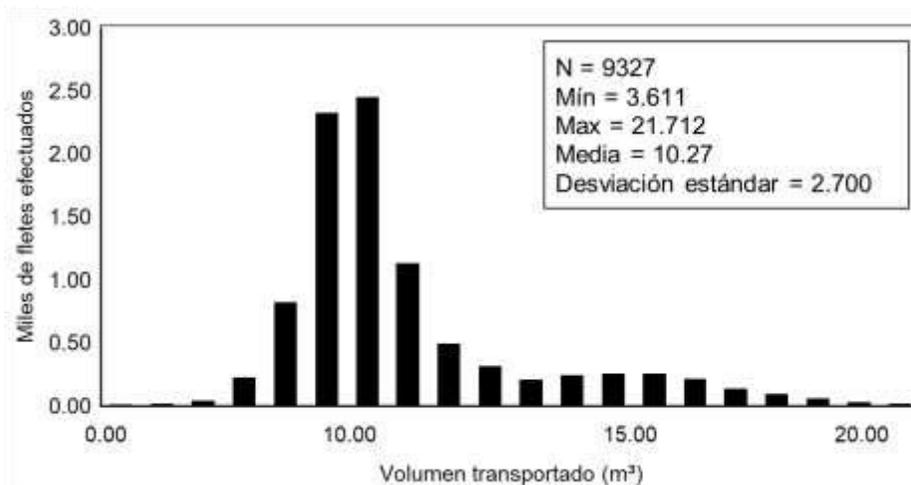


Figura 1. Frecuencia del volumen transportado en 10 años de actividad.

Otro factor que influye en los limitados volúmenes de transporte es el tipo de vehículo disponible. Principalmente se emplean camiones con capacidad de ocho toneladas de modelo antiguo y en condiciones críticas de funcionamiento mecánico; en menor proporción se emplean camiones con capacidad de 15 toneladas, bajo condiciones mecánicas similares. En relación con lo anterior, Colegio de Profesionales Forestales de Oaxaca, A.C. (CPFO) (2015) indica que en el sistema de abasto de trocería empleado en la sierra de Oaxaca, presenta camiones de carga similares a los expuestos en este estudio, los volúmenes transportados por vehículos de ocho y 15 toneladas corresponden a 10 a 12 m³r y 20 a 22 m³r respectivamente, siendo estas capacidades de carga similares a las registradas en el Ejido Aboreachi, de 9.47 a 11.33 m³r en promedio. Lo anterior se debe a que los caminos de extracción y vías de abastecimiento, en los puntos de la república antes mencionados, tienden ser estrechos y encontrarse en malas condiciones que deterioran el equipo, lo que provoca que, en su mayoría, los vehículos de transporte de grandes dimensiones no tengan posibilidad de ingresar por la materia prima.

En la Figura 2 gráfico a, se observa un incremento en el volumen total anual en el año 2015 lo cual demandó una mayor cantidad de fletes de madera en rollo, esto se debe a la actualización del Programa de Manejo Forestal del ejido que permitió incrementar la posibilidad anual de madera, en cumplimiento de los objetivos planteados por la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (Gómez-Puente, 2014; ENAIPROS, 2018). Mediante el análisis de correlación de Pearson, se encontró un incremento en el número de fletes en relación del aumento de volumen autorizado, con un valor $r = .775$. Dado que los fletes no presentaron un incremento significativo en el volumen transportado, fue necesario incrementar el número de cargas por año.

Los valores expuestos en el gráfico b de la Figura 2, indican que la anualidad 2010 concentra una mayor agrupación en las observaciones analizadas entre el primer cuartil y el tercer cuartil (Q1-Q3). Por su parte, el año 2018 cuenta con una mayor proporción de valores atípicos (fletes que presentaron volúmenes superiores a lo que

se considera una distribución agrupada en función del volumen medio estimado) mientras que la anualidad 2019 tuvo la totalidad de las observaciones dentro de los intervalos superior e inferior de la dispersión. Se demostró que la media de las observaciones que obtuvo un mayor ajuste en torno a la mediana fue para el año 2012, con una diferencia de 0.22 m^3 , mientras que el año 2018 presentó un valor promedio fuera del tercer intercuartil, este último resultado es una desviación del volumen medio, por efecto de la gran cantidad de fletes que excedían los rangos de volumen considerados típicos.

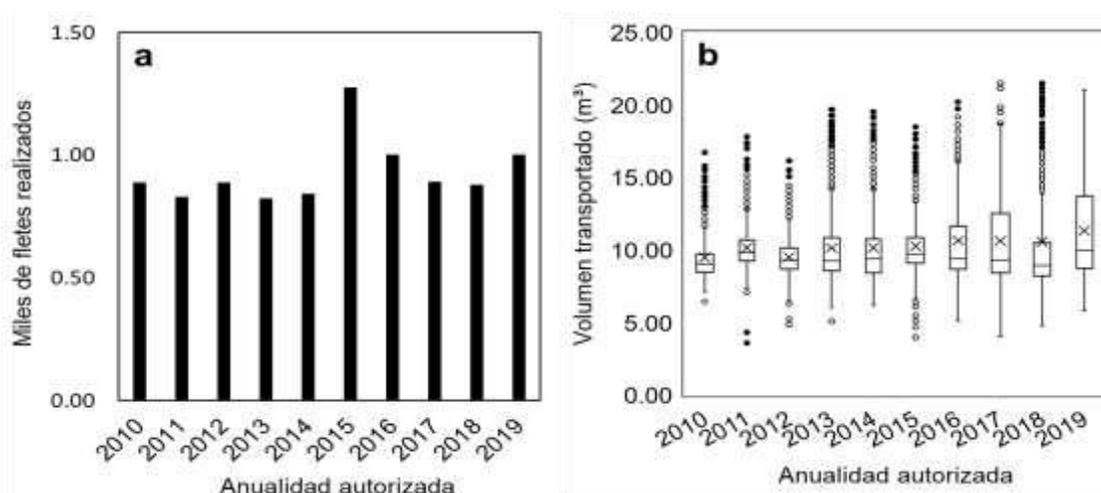


Figura 2. Comparativo anual del abastecimiento de trozas en ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua, a) número de transportes de materia prima efectuados en cada anualidad y b) diagrama de cajas que muestra la distribución de los volúmenes observados en 10 anualidades.

La información del Cuadro 2 muestra que las diferencias en los flujos de abastecimiento de madera en rollo resultaron significativas ($p \leq 0.05$). El mayor volumen transportado se registró en la anualidad 2019 con un promedio de 11.33 m^3 . El año 2015 mostró ser el de mayor aproximación a la media total de las 10 anualidades con un promedio de 10.27 m^3 . Por otra parte, el menor volumen promedio transportado al centro de transformación ejidal corresponde al año 2010 con un total de 9.47 m^3 ; esta anualidad presentó una alta similitud en el volumen medio en comparación con el año 2012 que cuenta con 9.51 m^3 .

Cuadro 2. Condiciones de los flujos y costos de abastecimiento en 10 anualidades de extracción del género *Pinus* en Ejido Aboreachi.

Anualidad	N	Medias	Desviación estándar	Error estándar	Medianas	Promedio de rangos	gl	H	p	
Flujo de abastecimiento de madera en rollo (m³r)										
2010	888	9.47	1.71	0.06	9.04	3 800.45	9	369	0.000	a
2012	889	9.51	1.44	0.05	9.29	4 258.16				a
2011	829	10.15	1.58	0.06	9.85	5 406.98				b
2013	825	10.14	2.60	0.09	9.24	4 490.98				b
2014	843	9.96	2.61	0.09	9.34	4 378.56				b
2015	1 276	10.27	2.19	0.06	9.74	5 127.12				bc
2018	881	10.57	3.85	0.13	8.92	4 060.66				bcd
2017	892	10.54	3.06	0.11	9.23	4 572.40				cd
2016	1 002	10.50	2.94	0.10	9.42	4 739.22				d
2019	1 002	11.33	3.39	0.11	9.96	5 504.32				e
Egresos generados en el abastecimiento (\$ m³r)										
2010	888	4 053.31	732	0.06	3 867.22	2 585.83	9	1 444	0	a
2012	889	4 281.63	649.6	0.05	4 183.38	3 807.51				a
2011	829	4 343.46	678.03	0.06	4 213.73	4 013.91				b
2013	825	4 567.53	1 169.87	0.09	4 162.67	4 108.72				b
2014	843	4 484.64	1 175.33	0.09	4 205.90	3 980.80				b
2015	1 276	4 867.42	1 037.65	0.06	4 616.15	5 485.04				bc
2018	881	5 331.57	1 939.53	0.13	4 497.08	5 354.38				bd
2017	892	4 998.13	1 449.68	0.11	4 377.25	4 920.38				cd
2016	1 002	4 975.40	1 395.19	0.1	4 463.04	5 097.82				d
2019	1 002	5 715.46	1 708.56	0.11	5 023.54	6 520.84				e

*Promedio de los rangos con la misma letra en cada anualidad no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$). N: número de observaciones; gl: grados de libertad; H: estadístico de pruebas no corregido por empates; p : valor de significancia.

En cuanto al número de fletes de madera en rollo realizados, la anualidad con mayor cantidad de transportes corresponde a la 2015 con 1 276 fletes, ese año también presenta el mayor volumen de posibilidad de extracción registrada; el año con la menor cantidad de fletes realizados fue el 2013 con 825, similar al año 2011 que presentó 829 entregas efectuadas.

La variación entre los volúmenes transportados y la cantidad de fletes realizados se debe a la capacidad de los vehículos de carga (10 a 12 m³r y 20 a 22 m³r), la disponibilidad de cargar la madera en rollo con equipo mecanizado o animales de tiro, la calidad de los caminos de extracción y las distancias recorridas para colocar la materia prima en el centro de transformación, que varían desde 500 metros hasta 55 kilómetros, tomando en cuenta para este último, un recorrido de 18 kilómetros en

brechas forestales de terracería. Adicionalmente, el incremento de los beneficios obtenidos por concepto de flete, que de acuerdo con Rascón-Solano *et al.* (2020) es de \$ 209.68 m⁻³r, impulsa a los transportistas a incrementar el volumen de abasto.

Los egresos generados en el abastecimiento de materia prima presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El año 2010 contó con el menor flujo de egresos con \$ 3 599 337.36, debido a que la posibilidad de aprovechamiento autorizada para ese año fue menor, para este mismo año la inversión de capital (costo total por flete) mostró una media de \$ 4 053.31 entregado en el aserradero al transportar 9.47 m⁻³r, en conjunto con el año 2011 la inversión fue de \$ 427.79 m⁻³r. El año que presentó el mayor flujo de egresos por concepto de abastecimiento de madera en rollo de pino fue el 2015 con \$ 6 210 827.92 bajo concepto de costos totales. El año con la distribución media de dividendos más alta corresponde a la anualidad 2019, ya que se aumentó el volumen medio de los fletes y se incrementó el salario de extracción y abastecimiento a \$ 504.27 m⁻³r. Los egresos reportados corresponden con lo indicado por Rascón-Solano *et al.* (2020), quienes estimaron un precio medio de \$ 482.27 m⁻³r; sin embargo, son inferiores en comparación con otros estudios de la región desarrollados por Rascón-Solano *et al.* (2019a) y Rascón-Solano *et al.* (2019b) que manifiestan costos de extracción y abasto por \$ 889.83 m⁻³r y \$ 1 101.69 m⁻³r respectivamente; por otra parte, los egresos son superiores con respecto a la inversión involucrada en la extracción en bosques naturales de Costa Rica por \$ 115.44 m⁻³r (Navarro y Bermúdez, 2006).

Transformación de madera aserrada de *Pinus* spp.

En el Cuadro 3 se muestra que las diferencias en los flujos de ventas de madera aserrada son significativas ($p \leq 0.05$). El año 2010 el volumen medio de madera aserrada comercializada fue inferior a los promedios del resto de las anualidades, fue de 19.31 m³ con una desviación estándar de ± 6.94 m³ transportados. El valor promedio más alto de transporte de madera aserrada fue en el 2018, se obtuvo como resultado 29.71 m³ con una desviación estándar de ± 13.78 m³. Por otra parte, en 2019 la desviación estándar respecto a la media fue de ± 17.03 m³, siendo el año con menor ajuste de valor promedio en las observaciones realizadas. Adicionalmente, el análisis

de correlación de Pearson presenta una relación entre el aumento del volumen maderable autorizado y el aumento en el número de fletes de madera aserrada realizados con un valor $r = .495$, lo que indica una asociación moderada positiva entre las variables, lo anterior demuestra que se incrementará la cantidad de transportes a realizar, pero dada la variabilidad de vehículos empleados en la actividad, el aumento no presentará una pendiente similar a la de abasto de madera en rollo.

Cuadro 3. Condiciones de los flujos de venta, egresos e ingresos en 10 anualidades de transformación del género *Pinus* en Ejido Aboreachi.

Anualidad	N	Medias	Desviación estándar	Error estándar	Medianas	Promedio de rangos	gl	H	p	
Flujo de ventas de madera aserrada (m³)										
2010	185	19.31	6.94	0.51	16.46	736.52	9	174	0.001	a
2013	246	18.86	8.71	0.56	17.55	745.32				a
2012	180	21.6	9.06	0.68	19.84	885.64				ab
2011	164	23.22	9.39	0.73	24.79	981.89				b
2017	206	24.91	12.82	0.89	24.55	1 053.84				b
2014	176	25.77	12.74	0.96	27.19	1 093.30				bc
2015	276	26.12	12.54	0.75	26.71	1 121.97				bd
2016	219	26.26	13.63	0.92	26.33	1 118.82				be
2018	174	29.71	13.78	1.04	29.84	1 252.03				cde
2019	214	29.6	17.03	1.16	29.47	1 213.64				cde
Egresos calculados por proceso de aserrió (\$ m³)										
2010	185	4 987.78	1 793.40	132.5664	4 249.93	673.57	9	267	0.001	a
2013	246	5 021.50	2 318.34	147.8119	4 672.55	714.51				ac
2011	164	5 996.88	2 424.06	189.2871	6 402.78	905.99				b
2012	180	5 750.67	2 411.42	179.737	5 281.07	848.03				bc
2014	176	7 073.88	3 497.68	263.6477	7 464.21	1 078.53				cd
2015	276	7 168.34	3 441.00	207.1241	7 331.22	1 101.24				d
2016	219	7 587.73	3 939.15	266.1833	7 607.24	1 152.01				d
2017	206	7 196.35	3 703.56	258.0391	7 093.66	1 100.78				d
2018	174	9 035.36	4 189.89	317.6346	9 075.23	1 339.42				e
2019	214	9 003.96	5 180.14	354.1071	8 964.07	1 281.96				e
Ingresos obtenidos por venta de madera aserrada (\$ m³)										
2010	185	57 321.05	20 610.23	1 523.49	48 841.41	706.47	9	216	0.000	a
2013	246	56 776.43	26 212.68	1 671.26	52 831.01	731.86				a
2012	180	64 105.11	26 881.16	2 003.60	58 870.28	851.97				ab
2011	164	68 917.90	27 857.98	2 175.34	73 582.66	946.95				b
2014	176	77 583.87	38 361.35	2 891.56	81 864.82	1 071.36				bc
2017	206	79 203.97	40 761.82	2 840.01	78 073.77	1 098.25				bc
2015	276	80 834.46	38 802.81	2 335.65	82 671.24	1 128.57				cd
2016	219	81 284.56	42 198.69	2 851.52	81 493.52	1 124.78				ce

2019	214	94 142.80	54 162.06	3 702.44	93 725.73	1 241.69	de
2018	174	94 471.17	43 808.26	3 321.10	94 888.02	1 287.94	e

*Promedio de los rangos con la misma letra en cada anualidad no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$). N: número de observaciones; gl: grados de libertad; H: estadístico de pruebas no corregido por empates; p : valor de significancia.

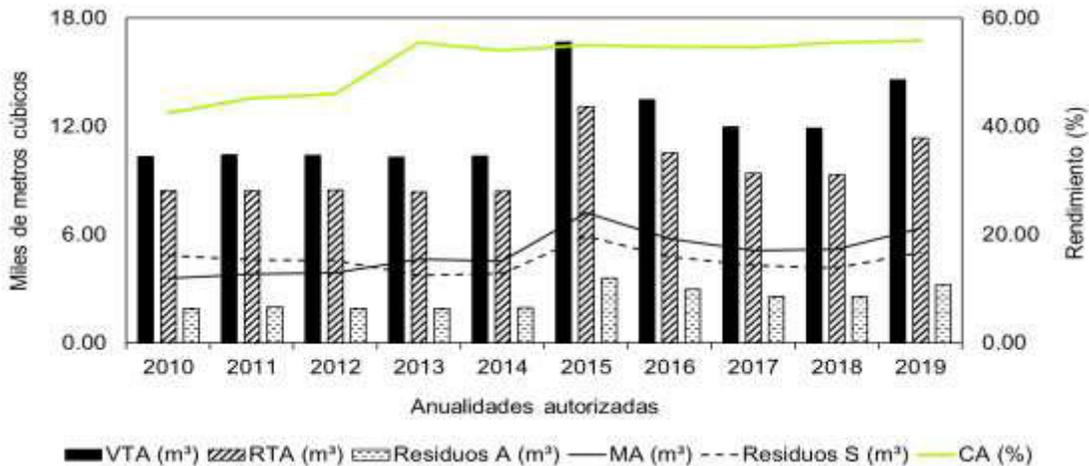
Los egresos calculados de las anualidades por concepto de proceso de aserrío reflejaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). en cuanto a los egresos, fue calculada una media de 55.20 % superior para el año 2018 con respecto al año 2010, años que presentan el egreso medio más alto y bajo respectivamente; el año 2015 demandó mayor inversión unitaria en comparación con el resto de anualidades, a un costo de aproximado de \$ 0.65 por pie tabla (PT); las anualidades con el costo por PT más alto fueron 2018 y 2019 con una inversión aproximada de \$ 0.72 por PT; por último, el mayor egreso se estimó por \$ 9 228 83.69 para el año 2010 a un costo de \$ 0.61 por PT. La diferencia de volumen de madera procesada y el costo de transformación estimado para cada periodo influyó en el resultado de los egresos estimados.

Los ingresos obtenidos de las anualidades por concepto de venta de madera aserrada también resultaron en diferencias significativas ($p \leq 0.05$). El periodo 2018 presentó el mayor incremento económico en la totalidad de anualidades, en comparación, el año 2013 (menor ingreso) es un 60.01 % inferior. Durante el año 2015 se obtuvo un ingreso de capital por \$ 22 306 953.20 bajo el concepto de venta de madera aserrada, caso contrario es la anualidad 2010 que presentó un beneficio bruto de \$ 10 606 053.60 que fue la anualidad de menor ingreso. En los años 2017, 2018 y 2019 se ofertó la madera a \$ 7.50 por PT mill run y los periodos 2010, 2011 y 2012 en \$ 7.00 por PT mill run, precios que con el rendimiento de aserrado y volumen de producción tienen un efecto en los ingresos obtenidos. Adicionalmente, estos resultados indican un crecimiento en el precio de la madera, lo cual está relacionado con el alza de precios de los insumos requeridos para su transformación y un incremento de la demanda de estos productos.

Comparación de flujos de abasto y transformación

En la Figura 3, se muestran los flujos del proceso de abastecimiento y comercialización de madera aserrada del género *Pinus* durante las anualidades 2010 a 2019. Es posible

identificar que existe variabilidad en los volúmenes de aprovechamiento de la totalidad de las anualidades; por el contrario, los volúmenes rollo total árbol presentan una proporción constante respecto al volumen total árbol; de igual forma el residual del aprovechamiento, debido a que los permisos de extracción consideran un aproximado del 15.00 % bajo concepto de “desperdicio”.



*VTA: Volumen Total Árbol; RTA: Rollo Total Árbol; Residuos A: Residuos del Aprovechamiento; MA: Madera Aserrada; Residuos S: Residuos Sólidos; CA: Coeficiente de Aserrío.

Figura 3. Comparativo de los flujos de materias primas, productos, residuos y rendimientos de transformación de 10 anualidades estudiadas.

En cuanto a los volúmenes obtenidos por el proceso de transformación se demostró que el tipo de industria de transformación tiene un efecto en la proporción de madera aserrada y los residuos sólidos generados. El ejido Aboreachi efectuó un cambio de equipo de transformación de madera aserrada, adoptando maquinaria y equipo con capacidad de aserrar hasta 16 mil PT por turno de ocho horas; el equipo de corte está provisto de cintas de 1.1 mm de grosor desde el año 2013, anualidad en que la industria moderna del aserrío comenzó su actividad, en función de este cambio, el volumen de madera aserrada aumentó con respecto a los residuos generados. Asimismo, la adquisición de tecnología generó un efecto en el rendimiento medio anual calculado por medio de los reembarques y remisiones utilizados en ejido Aboreachi; se logró mejorar el rendimiento de aserrío en un 9.45 % del año 2012 al 2013. Aparentemente la productividad media ha permanecido constante de acuerdo con los registros de entradas de madera en rollo y salidas madera de escuadría.

Los productos generados en el centro de aserrío de ejido Aboreachi corresponden a madera aserrada de gruesos 7/8, 5/4 y 6/4 de pulgada; en cuanto a los anchos producidos, se tienen registrados 4, 6, 8, 10 y 12 pulgadas; el largo de las tablas generadas es de 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y en ocasiones por pedido especial 18, 20 y 24 pies de largo. Leyva *et al.* (2017), Ortiz *et al.* (2016) y Nájera-Luna *et al.* (2011b) reportan dimensiones similares en aserraderos de los estados de Oaxaca y Durango respectivamente, este tipo de productos son los más frecuentes y de mayor demanda en el mercado de la madera aserrada en todo el país.

A pesar de que los registros del flujo de abastecimiento y transformación indican que la producción y productividad de la madera aserrada han incrementado con los años, es necesario evaluar directamente la transformación de productos y determinar la veracidad de esta información, ya que la estimación del rendimiento de madera aserrada fue determinado con respecto a los flujos de abastecimiento de madera en rollo (remisiones) realizados por el ejido Aboreachi, donde se estimó un coeficiente de aserrado del 51.87 % con un intervalo de 42.47 a 55.79 % (en este caso se está considerando el volumen de corteza en el cálculo). Nájera-Luna *et al.* (2011a) y Nájera *et al.* (2011b) indican rendimientos en industrias tradicionales en la región de El Salto, Durango de 57.50 %; Zavala y Hernández (2000) estimaron un rendimiento de 51.00 %; y Orozco-Contreras *et al.* (2016) un 47.47 % promedio en diferentes especies de pino. En cuanto a industrias con cintas de corte fino se refiere, un estudio de rendimiento en la región de Paraná, Brasil, obtuvo como resultado un coeficiente de asierre del 66.00 % en trozas de *Pinus ellioti* empleando un prototipo de aserradero portátil (Esteves-Magalhães *et al.*, 2010); por su parte Murara *et al.* (2013) obtuvieron rendimientos por 52.14 % empleando cintas de 1.1 mm de grosor, sierra de calibre similar a la empleada en la industria actual del ejido.

Conclusiones

Durante los 10 años puestos en análisis se identifican periodos de alta y baja posibilidad de aprovechamiento de madera de pino, lo que causa una variación en el número de fletes realizados para ejecutar las actividades de abastecimiento. De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson ($r = 0.775$) se encontró un

incremento en el número de fletes en relación de que el volumen autorizado fue incrementado, sin embargo, el volumen autorizado no influye en el volumen medio transportado por los vehículos del ejido Aboreachi, la prueba de Kruskal-Wallis muestra que las diferencias en los flujos de abastecimiento de madera en rollo resultaron significativas ($p = 0.000$) con rangos medios de 9.47 a 11.33 m³r transportados. La variabilidad de los volúmenes transportados y el aumento de los costos de extracción y abastecimiento a lo largo de 10 años, provocan que los egresos generados relacionados con la materia prima presenten diferencias significativas ($p = 0.000$), no obstante, el egreso medio tiende a ser homogéneo en los primeros cinco años de actividad dado principalmente por la estabilidad de los volúmenes autorizados.

En cuanto a los fletes involucrados en el transporte de madera aserrada se presentaron diferencias significativas ($p = 0.001$) en el volumen medio transportado. Por su parte, el análisis de correlación de Pearson indica una relación positiva entre el aumento del volumen maderable autorizado y el aumento en el número de fletes de madera aserrada realizados con un valor $r = 0.495$. Los egresos estimados de las anualidades por concepto de proceso de aserrío reflejaron diferencias significativas ($p = 0.001$), en este mismo sentido, el año con el costo más alto fue 2019 con una inversión aproximada de \$ 0.72 por PT, esto se debe al incremento anual de los salarios y pago por servicios involucrados en el proceso de transformación maderable. Por otra parte, los ingresos obtenidos por la venta de madera aserrada en las anualidades también resultaron en diferencias significativas ($p = 0.000$). El periodo 2018 presentó el mayor incremento económico en la totalidad de anualidades, en comparación, el año 2013 (menor ingreso) es un 60.01 % inferior. Es evidente que los volúmenes de aprovechamiento, el constante incremento de los costos y el aumento de precio de los productos aserrados, son variables que influyen en el ingreso medio por flete del ejido Aboreachi. Por último, el incremento de la posibilidad anual maderable y la adquisición de equipos de asierre modernos permiten a esta empresa comunitaria aumentar su productividad, se encontró que el cambio tecnológico industrial logró aumentar el rendimiento volumétrico de madera aserrada 9.45 % del año 2012 al 2013, a partir de este año el rendimiento tiende a ser constante.

El presente estudio destaca la importancia de mantener un monitoreo constante de las actividades realizadas en las empresas forestales en producción. La evaluación inmutable de los volúmenes de abastecimiento de materias primas y los productos obtenidos en la posterior transformación, permite a los organismos gestores de recursos naturales conocer las acciones realizadas por los productores forestales. Adicionalmente, se plantea como una herramienta útil en el proceso de certificación forestal.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento, a través de una beca de los estudios de Doctorado en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales del primer autor. Adicionalmente, los autores agradecen a los revisores anónimos, que con sus sugerencias contribuyeron a mejorar la calidad de este artículo.

Conflictos de interés

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés.

Contribución por autor

Joel Rascón-Solano, procesamiento y análisis de los datos y redacción del manuscrito; Oscar Alberto Aguirre-Calderón, análisis de resultados, edición y revisión del manuscrito; Eduardo Alanís-Rodríguez, Javier Jiménez-Pérez y Eduardo Javier Treviño-Garza, revisión y corrección del manuscrito; Juan Abel Nájera-Luna, revisión del manuscrito y discusión de resultados.

Referencias

Acuña-Carmona, E. y F. Drake-Arana. 2003. Análisis del riesgo en la gestión forestal e inversiones silviculturales: una revisión bibliográfica. *Bosque*, 24(1): 113-124.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002003000100009>.

Aguirre-Calderón, O. A. 2015. Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21(SPE): 17-28. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210423>.

Andalaft, A., R. Landeros y J. Perret. 2005. Caracterización de la industria de servicios de transporte forestal en Chile y estrategias competitivas de las firmas. *Bosque*, (26)3: 137-148. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002005000300016>.

Bray, D., E. Durán, J. Hernández-Salas, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García and I. Grijalva-Martínez. 2016. Back to the Future: The Persistence of Horse Skidding in Large Scale Industrial Community Forests in Chihuahua, Mexico. *Forests*, 7(11): 283. <https://doi.org/10.3390/f7110283>.

Caballero, M. 2017. Tendencia histórica de la producción maderable en el México contemporáneo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43): 4-26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i43.63>.

Carrillo-Anzures, F., M. Acosta-Mireles, E. Flores-Ayala, J. M. Torres-Rojo, D. M. Sangerman-Jarquín, L. González-Molina y E. Buendía-Rodríguez. 2017. Caracterización de productores forestales en 12 estados de la República Mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7): 1561-1573. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.512>.

Colegio de Profesionales Forestales de Oaxaca, A.C. (CPFO). 2015. Estudio para determinar los costos de producción y transporte de madera en rollo en el estado de Oaxaca. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México: Comisión Estatal Forestal Oaxaca. 183 p. https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/seif_oaxaca/images/Estudios/ECPyT.pdf. (18 de octubre de 2020).

Cranic, T. G. and G. Laporte. 1997. Planning Models for Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*, 97(3): 409-438. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00298-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00298-6).

Di Rienzo, J. A., M. Balzarini, L. González, F. Casanoves, M. Tablada y C.W. Robledo. 2018. InfoStat Software Estadístico. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>. (12 de septiembre de 2020).

Esteves-Magalhães, W. L., G.I. Bolzon-Muniz, M.G. Lomelí-Ramírez y D.C. Batista. 2010. Estudio de la productividad de corte en madera de *Pinus ellioti* utilizando un prototipo de aserradero portátil. Maderas. Ciencia y tecnología, 12(1): 43-52. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2010000100005>.

Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS). 2018. Memoria documental. Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad. Ciudad de México, México: Comisión Nacional Forestal. 78 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=7617&grupo=1>. (25 de octubre de 2020).

George, D. and M. Mallery. 2010. SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update (10a ed.) Boston: Pearson. (28 de septiembre de 2021).

Gómez-Puente, A. F. 2014. Costo de transacción y cadena de producción forestal en la ladera oriental del volcán Cofre de Perote, Veracruz. Revista pueblos y fronteras digital, 9(18): 91-109. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2014.18.25>.

Jackson, S., T.S. Fredericksen and J.R. Malcolm. 2002. Area disturbed and residual stand damage following logging in a Bolivian tropical forest. Forest Ecology and Management, 166(1-3): 271-283. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00681-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00681-8).

Leyva, I., A. Rojas y Y. Segurado. 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. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/212>. (15 de noviembre de 2020).

Martínez-González, M. A., A. Sánchez-Villegas y J. Faulin-Fajardo. 2006. Bioestadística amigable. 2ª Edición. Barcelona, España: Editorial Díaz de Santos. 919 p.

Marušák, R., J. Kašpar, R. Hlavatý, V. Kotek, K. Kuželka y P. Vopěnka. 2015. Alternative modelling approach to spatial harvest scheduling with respect to

fragmentation of forest ecosystem. *Environmental Management*, 133(2): 1134-1147. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00294-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00294-0).

Murara Junior , M. I., M. Pereira da Rocha y P.F. Trugilho. 2013. Estimativa do rendimento em madeira serrada de *Pinus* para duas metodologias de desdoble. *Floresta e Ambiente*, 20(4): 556-563. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.037>.

Nájera, J.A., Ó.A. Aguirre, E.J. Treviño, J. Jiménez, E. Jurado, J.J. Corral y B. Vargas. 2011b. Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 77-91. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i4.610>

Nájera-Luna, J.A., Ó.A. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez y E. Jurado-Ybarra. 2011c. Tiempos y rendimientos del aprovechamiento forestal en el salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1): 49-58. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.031>.

Nájera-Luna, J.A., Ó.A. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra, J.J. Corral-Rivas y B. Vargas-Larreta. 2011a. Tiempos y rendimiento de aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2): 199-213. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.034>.

Nájera-Luna, J. A., Ó.A. Aguirre-Calderón, E.J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra, J.J. Corral-Rivas y B. Vargas-Larreta. 2012. Impactos de las operaciones forestales de derribo y arrastre en El Salto Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(10): 51-64. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i10.524>

Navarro, G. A. y G. Bermúdez. 2006. Rentabilidad del manejo de bosques naturales y su competitividad respecto a otros usos de la tierra en Costa Rica. *Serie de Cooperación Técnica Economía y Gobernanza Forestal*. https://www.researchgate.net/publication/313748138_Rentabilidad_del_manejo_de_bosques_naturales_y_su_competitividad_respecto_a_otros_usos_de_la_tierra_en_Cost. (24 de octubre de 2020).

Orozco-Contreras, R., J.C. Hernández-Díaz, J.A. Nájera-Luna, P.A. Domínguez-Calleros, J.R. Goche-Telles, P.M. López-Serrano y J.J. Corral-Rivas. 2016. Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36): 37-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.58>.

Ortiz, R., S. Martínez, D.E. Vázquez y W.S. Juárez. 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/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>

Pérez-Verín, G. 2006. Los recursos forestales maderables y el desarrollo social y económico en el estado de Durango. *Madera y Bosques*, (12)1: 3-15.

<https://doi.org/10.21829/myb.2006.1211246>.

Rascón-Solano, J., C.M. Kiessling-Davison, V.H. Villarreal-Ramírez, M.G. Macias-Lopez y J.J. Hermosillo-Nieto. 2019b. Fortalecimiento del capital económico del ejido forestal Agostadero de Aguirre, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7(2): 123-133. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.56>.

Rascón-Solano, J., C.M. Kiessling-Davison, V.H. Villarreal-Ramírez, L.P. Uranga-Valencia y A. Palacios-Monarez. 2019a. Análisis Comparativo de dos Panoramas Económicos en el Desarrollo de un Proyecto de Inversión para el Ejido Forestal Cieneguita de la Barranca, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7(2): 12-21. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.13>

Rascón-Solano, J., J.M. Olivas-García, C.M. Kiessling-Davison, J. Hernández-Salas y G. López-Daumas. 2020. Incremento de la rentabilidad de la industria forestal en el Ejido Aboreachi, Chihuahua, México. *Custos e @gronegocio online*, 15(4): 219-249. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v15/OK%2010%20costos.pdf>. (18 de octubre de 2020).

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2010. México D.F., México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición 20XX. 226 p.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282944/2010.pdf>. (11 de octubre de 2020).

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2017. Ciudad de México, CDMX: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición 2020. 284 p.

<http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf>. (11 de octubre de 2020).

Serrano-Ramírez, E., J.R. Valdez-Lazalde, H.M. De los Santos-Posadas, R.A. Mora-Gutiérrez y G. Ángeles-Pérez. 2019. Optimización de la producción forestal maderable y conservación del ecosistema en bosques comunitarios en el sur de México. *Bosque*, 40(2): 195-204. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000200195>.

Zavala, D. y R. Hernández. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 6(2): 41-55.

<https://dx.doi.org/10.21829/myb.2000.621374>.

CAPÍTULO V. RENDIMIENTO DE ASERRADO EN EL SURESTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

(Publicado en Revista Mexicana de Ciencias Forestales)

Rascón-Solano J. & Aguirre-Calderón O. A. (2023). Rendimiento de aserrado en el sureste del estado de Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, Número especial.

Rendimiento de aserrado en el sureste del estado de Chihuahua

Sawing performance in the southeast of the state of Chihuahua

Joel Rascón-Solano¹

Oscar Alberto Aguirre-Calderón^{2*}

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

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

*Autor por correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

Resumen

Los objetivos de esta investigación fueron: a) conocer la distribución de las especies de pino aserradas y estimar una distribución de clases de calidad visual de las trozas; b) determinar la frecuencia de rendimiento de aserrado y evaluar el efecto del diámetro menor con corteza y la conicidad de la troza en el mismo; y c) estimar el rendimiento volumétrico y la distribución de productos aserrados en el suroeste del estado de Chihuahua. Se integraron en el proceso de aserrado 182 trozas a las que se les determinó la especie, la calidad, el rendimiento por categoría de diámetro menor y conicidad con corteza. Se evaluó el rendimiento volumétrico de los espesores, anchos, largos y calidad de madera aserrada obtenida de 1,348 trozas. Las variables fueron evaluadas con pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas de correlación, con la finalidad de identificar diferencias significativas ($p < 0.05$). Se encontró que *Pinus arizonica* Engelm. es la principal especie que se transforma al representar 45.70% del total; la madera en rollo de calidad 5 es la más común con un 27.67% del total; el rendimiento de aserrado más frecuente es del 50.00%; la categoría de diámetro y la conicidad de la troza son variables que determinan el rendimiento de aserrado. Las principales dimensiones que se generan en el sureste del estado de Chihuahua son de 7/8" de espesor, 8" de ancho y 16' de largo.

Palabras clave: aserradero, industria, madera, *Pinus arizonica* Engelm., rendimiento volumétrico, trozas.

Abstract

The objectives of this research were: a) to know the distribution of sawn pine species and estimate a distribution of visual quality classes of the logs; b) determine the frequency of sawing performance and evaluate the effect of the smaller diameter with bark and the conicity of the log in it; and c) estimate the volumetric yield and distribution of sawn products in the southwest of the state of Chihuahua. 182 logs were integrated into the sawing process for which the species, quality, yield by category of minor diameter and taper with bark were determined. The volumetric yield of the thicknesses, widths, lengths and quality of sawn wood obtained from 1,348 logs was evaluated. The variables were evaluated with normality tests, analysis of variance and correlation tests, in order to identify significant differences ($p < 0.05$). It was found that *Pinus arizonica* Engelm. It is the main species that is transformed, representing 45.70% of the total; quality 5 round wood is the most common with 27.67% of the total; the most frequent sawing yield is 50.00%; the diameter category and the conicity of the log are variables that determine the sawing performance. The main dimensions that are generated in the southeast of the state of Chihuahua are 7/8" thick, 8" wide and 16' long.

Key words: sawmill, industry, lumber, *Pinus arizonica* Engelm., volumetric yield, logs.

Introducción

Los aserraderos son componentes importantes e indispensables de la cadena de suministro de madera (Makkonen, 2018). Por tal motivo, los aserraderos suelen ser económicamente importantes en los países dotados de bosques (Lundmark, Nolander y Olofsson, 2021), los bosques producen más de 5,000 tipos de productos derivados de la madera y generan un Producto Interno Bruto (PIB) anual de poco más de 600,000 millones de dólares, aproximadamente el 1.00% del PIB mundial (IFPRI y World Bank,

2022). En México, la producción forestal del año 2022 representa un PIB estimado en 41,803 millones de pesos (CONAFOR, 2022). La industria del aserrío es considerada la actividad económica de mayor importancia en regiones con actividad forestal maderable (Rascón-Solano *et al.*, 2022a); debido a que son microempresas estratégicas que abonan a la producción nacional (Moctezuma y Flores, 2020), donde la escuadría y durmientes suman el 70.10% de la producción nacional (5.8 millones de m³r) (SEMARNAT, 2021).

Lähtinen *et al.* (2016) indican que las microempresas madereras tienen un papel crucial en la mejora de la productividad y competitividad de una región. Sin embargo, los conflictos de comunicación y la materia prima sin certificación son factores que afectan a la industria (Hernández *et al.*, 2023). Asimismo, esta actividad presenta problemas en función de la calidad y actualización de los equipos de aserrío, limitado conocimiento en el manejo de la materia prima, así como cambios en los patrones de producción y consumo de madera en escuadría (Lauri *et al.* 2021).

Afortunadamente, la identificación de estas limitaciones y determinación de la eficiencia pueden analizarse mediante la evaluación del rendimiento volumétrico del proceso de aserrío en función de variables como el diámetro, la longitud y la conicidad de las trozas (Stragliotto *et al.* 2019), ya que, para medir la eficiencia productiva, se han desarrollado metodologías que se basan en estimaciones de los coeficientes de conversión (Gonçalves *et al.*, 2018). En este sentido, es necesario calcular la eficiencia productiva al emplear la relación de madera aserrada obtenida en función del volumen de madera en rollo (Borz *et al.*, 2021); asimismo, es importante identificar variables intrínsecas (longitud, diámetro, conicidad y calidad de la troza), así como las variables extrínsecas (distribución de productos aserrados primarios) que determinan los coeficientes de aserrado.

En función de lo descrito anteriormente, se plantearon como objetivos de esta investigación, a) conocer la distribución de las especies de pino aserradas y estimar una distribución de clases de calidad visual de las trozas; b) determinar la frecuencia de rendimiento de aserrado y evaluar el efecto del diámetro menor con corteza y la conicidad de la troza en el mismo; y c) estimar el rendimiento volumétrico y la

distribución de productos aserrados en el suroeste del estado de Chihuahua. Se parte del supuesto de que las características dimensionales y calidad de la materia prima, así como la distribución de productos aserrados presentan un efecto en la eficiencia productiva de las industrias.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Occidental”, en los municipios de Balleza, Guachochi y Urique ubicados en el suroeste del estado de Chihuahua, los municipios considerados se encuentran ubicados en una de las regiones forestales de mayor importancia maderable en el estado (Rascón-Solano *et al.*, 2022). La toma de datos se efectuó en los años 2021 y 2022 en aserraderos de sierra banda de tres empresas privadas y los ejidos Cieneguita de la Barranca, Corareachi y Samachique; adicionalmente, se integraron aserraderos horizontales de los ejidos Aboreachi, Caborachi, San Carlos, Santa Anita, Sehuerachi, Tecorichi, Tetahuichi y Tónachi.

Descripción técnica de los aserraderos

Los aserraderos de las tres empresas particulares y de los ejidos Cieneguita de la Barranca, Corareachi y Samachique cuentan con una sierra banda vertical con volantes de 1,473 milímetros (mm) de diámetro, cintas de corte de 203.2 mm de ancho, calibre 17 (1.37 mm). La capacidad instalada de los seis aserraderos es de 10,000 pies tabla (pt) por turno de ocho horas.

Los aserraderos de los ejidos Aboreachi, Caborachi, Tecorichi y San Carlos poseen equipo de fabricación americana Wood-Mizer® modelo MW3500 de corte horizontal con volantes de 635 mm de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 35 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Los cuatro ejidos presentan aserraderos iguales con capacidad de 8,000 pt por turno.

Los ejidos Sehuerachi y Tónachi utilizan un equipo Select Sawmill Co. de doble corte (corte frontal y en retroceso) de fabricación canadiense, el es corte horizontal con volantes de 914 mm de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 152 mm de ancho y 1.20 mm de espesor. Cuentan con aserraderos iguales con una capacidad instala de 8,000 pt por turno.

Ejido Tetahuichi emplea un aserradero Baker de fabricación estadounidense con cinta de corte horizontal con volantes de 711 mm de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 38 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Este aserradero tiene una capacidad productiva de 8,000 pt por turno.

Finalmente, el ejido Santa Anita cuenta con un equipo MEBOR fabricado en Eslovenia que es capaz de cortar horizontalmente en dirección frontal y en retroceso, la sierra es de 140 mm de ancho y 1.1 mm de espesor, los volantes son de 1,120 mm de diámetro, este equipo de aserrado puede producir 10,000 pt por turno.

Métodos

Se realizó un muestreo de 15 trozas por cada aserradero (14 industrias). De las 210 trozas muestreadas se seleccionó un total de 182 trozas distribuidas en los diferentes centros de asierre, donde se registraron los diámetros con y sin corteza (cm), la longitud (m), calidad visual y especie de cada troza; se registró la especie de acuerdo con muestras botánicas de follaje, características físicas de la corteza y coloración de albura y duramen. El Cuadro 1 muestra los datos generales de cada especie registrada.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de la materia prima integrada en el proceso de aserrado.

Esp	N	D med (cm)	DS (cm)	Var	CV (%)	Volccm (m³)	Volscm (m³)	Volcom (m³)
<i>P. ari</i>	68	32.2	7.7	59.7	23.9	14.6	12.1	1.9
<i>P. dur</i>	62	33.0	7.8	60.5	23.6	14.5	13.1	1.4
<i>P. lei</i>	15	27.6	7.9	63.4	28.6	2.4	2.1	0.4
<i>P. eng</i>	14	31.3	7.6	57.8	24.3	3.0	2.6	0.4
<i>P. lum</i>	5	29.6	8.8	78.1	29.7	0.9	0.8	0.1
<i>P. str</i>	10	38.8	9.1	82.8	23.5	2.9	2.7	0.3
<i>P. chi</i>	8	24.9	7.9	62.2	31.7	1.1	0.8	0.3
TOTAL	182	31.1	8.1	66.4	26.0	39.6	34.8	4.8

*Esp: especie; N: número de muestras; D med: diámetro medio; DS: desviación estándar; Var: varianza; CV: coeficiente de variación; Volccm: volumen con corteza medio; Volscm: volumen sin corteza medio; Volcom: volumen de corteza medio. *P. ari*: *Pinus arizonica* Engelm.; *P. dur*: *Pinus durangensis* Ehren.; *P. lei*: *Pinus leiophylla* Schltld. & Cham.; *P. eng*: *Pinus engelmannii* Carrière; *P. lum*: *Pinus lumholtzii* B.L.Rob. & Fernald; *P. str*: *Pinus strobiformis* Engelm; *P. chi*: *Pinus leiophylla* var. *chihuahuana* (Engelm.) Shaw.

Para estimar la distribución de clases las 182 muestras, las trozas se clasificaron como alta calidad, calidad 1, calidad 2, calidad 3, calidad 4 y calidad 5 de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988); estos parámetros incluyen la forma de la sección transversal del tronco, la excentricidad de la médula, la curvatura y la conicidad del tronco, grietas, protuberancias, nudos, quemaduras y ataques de insectos. Donde, la calidad alta es la que cuenta con el menor número de defectos visuales y la calidad 5 es la que cuenta con mayor número de defectos.

El Cuadro 2 muestra el número de trozas analizadas por aserradero (1,348 en total), el tamaño de muestra se estimó con un pre-muestreo de 15 trozas por industria. Se empleó el coeficiente de variación del rendimiento de aserrado como estimador del número de trozas necesarias para lograr un error de muestreo de 5.00% y una confiabilidad de 95.00% (Barnes, 1968).

Cuadro 2. Número de trozas por aserradero y características dimensionales de la trocería de pino.

Aserradero	N	D med (cm)	DS (cm)	L med (m)	DS (m)	Conicidad (cm)	DS (cm)
Privado 1	108	36.1	8.2	4.9	0.2	1.5	0.8
privado 2	108	39.0	5.8	4.9	0.1	1.3	0.6
Privado 3	87	39.6	10.6	5.1	0.1	0.8	0.7
E. Cieneguita	101	38.2	8.4	4.9	0.1	1.2	0.7
E. Corareachi	102	39.4	5.7	4.9	0.1	1.3	0.6
E. Samachique	96	37.4	7.6	5.0	0.0	1.4	0.7
E. Aboreachi	91	40.3	10.8	5.0	0.1	0.8	0.7
E. Caborachi	94	38.8	7.8	4.9	0.1	0.9	0.7
E. San Carlos	104	40.9	8.6	5.0	0.1	1.6	0.9
E. Santa Anita	72	37.5	7.3	4.9	0.1	1.4	0.7
E. Sehuerachi	79	38.7	9.2	4.9	0.1	1.7	1.2
E. Tecorichi	117	36.9	8.9	4.9	0.1	1.5	1.0
E. Tetahuichi	108	36.6	8.1	4.9	0.1	1.5	0.9
E. Tónachi	81	44.1	15.3	4.9	0.1	2.1	1.2
TOTAL	1,348	38.8	8.7	4.9	0.1	1.4	0.8

*N: número de muestras; D med: diámetro medio; DS: desviación estándar; L med: longitud media.

Para estimar el volumen de cada troza se empleó la fórmula de Smalian (Husch, Beers y Kershaw, 2003). Se calculó la conicidad de las trozas, la cual hace referencia a la diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor con la distancia que los separa. Una vez aserrada la madera, se clasificó de acuerdo con los parámetros empleados en el estado de Chihuahua en las clases 2 y mejor, clase 3, clase 4 y clase 5, en apego a la Norma Mexicana NMX-C-224-ONNCCE-2001 (DGN, 2001); donde, la clase 2 y mejor es la que presenta las mejores características visuales y la clase 5 es la que cuenta con mayor número de defectos; los defectos considerados son la presencia de nudos, bolsas de resina, corteza, grietas, albura y manchas. Se registraron los productos de acuerdo a sus dimensiones nominales (sin refuerzo): tabla [espesor de 22.23 mm (7/8")], tablón [espesores de 31.75, 38.10 y 44.45 mm (5/4", 6/4" y 7/4")] y polín [espesores de 88.90 y 108.00 mm (3 1/2" y 4 1/4")]. Para determinar el

rendimiento porcentual por grueso nominal, ancho nominal, largo nominal y clases de calidad de escuadría se empleó una muestra de 1,348 trozas.

El rendimiento en madera aserrada por grueso, ancho y largo nominales y distribución de clases se determinó con la siguiente relación (Quirós *et al.*, 2005):

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

Donde:

R% = Rendimiento porcentual de madera aserrada.

V_a = Volumen de los productos (m³).

V_r = Volumen de madera en rollo sin corteza (m³ r).

Procedimiento estadístico

En la muestra de 182 trozas las variables a evaluar fueron distribución de especies aprovechadas, la distribución de calidad visual de las trozas, la frecuencia del coeficiente de aserrado y el efecto del diámetro y la conicidad en el rendimiento. Estas variables fueron evaluadas con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$), que permitió contrastar la normalidad de un conjunto de datos, los cuales resultaron paramétricos. Se realizaron análisis de varianza y la prueba de separación de medias de Duncan para identificar las variables que presentan diferencias estadísticamente significativas a un $p < 0.05$. Se realizaron pruebas de correlación de Pearson ($p < 0.05$) para determinar el efecto del diámetro y conicidad en el rendimiento de aserrado.

En la muestra total de 1,348 trozas se evaluaron las variables categoría de espesor nominal, ancho nominal, largo nominal y clases de calidad visual de la madera aserrada (2 y mejor, clase 3, clase 4 y clase 5) y su distribución de rendimiento volumétrico. La normalidad de las variables fue tratada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$). Al comprobar que las variables presentan una distribución normal

se realizaron análisis de varianza con pruebas de comparación de medias de Duncan ($p < 0.05$) para identificar las categorías de cada variable que presentan diferencias significativas entre categorías. Estas pruebas se realizaron para determinar las categorías que presentan una distribución de rendimiento similar. Se empleó el paquete estadístico IBM-SPSS versión 25 para desarrollar los análisis de información (IBM Corp, 2017).

Resultados

Características de las trozas muestreadas

De acuerdo con los datos registrados las principales especies aprovechadas y transformadas en productos de madera son *Pinus arizonica* Engelm y *Pinus durangensis* Ehren. Estas especies representaron el 45.70 y 40.95 % de las existencias procesadas y mostraron un rango similar de presencia en los aserraderos estudiados ($p > 0.05$) como se observa en la Figura 1a. En cuanto a la distribución de clases de calidad de madera en rollo, se encontró que las calidades 3 y 5 fueron las más abundantes y presentaron una distribución similar ($p > 0.05$), donde la calidad 5 fue la más importante con un 27.67 % de las trozas procesadas. Por su parte, en las calidades 1, 2 y 4 se detectó una proporción similar ($p > 0.05$), donde la calidad 1 fue la menos representativa del total de la muestra registrada (14.84 %) como se observa en la Figura 1b.

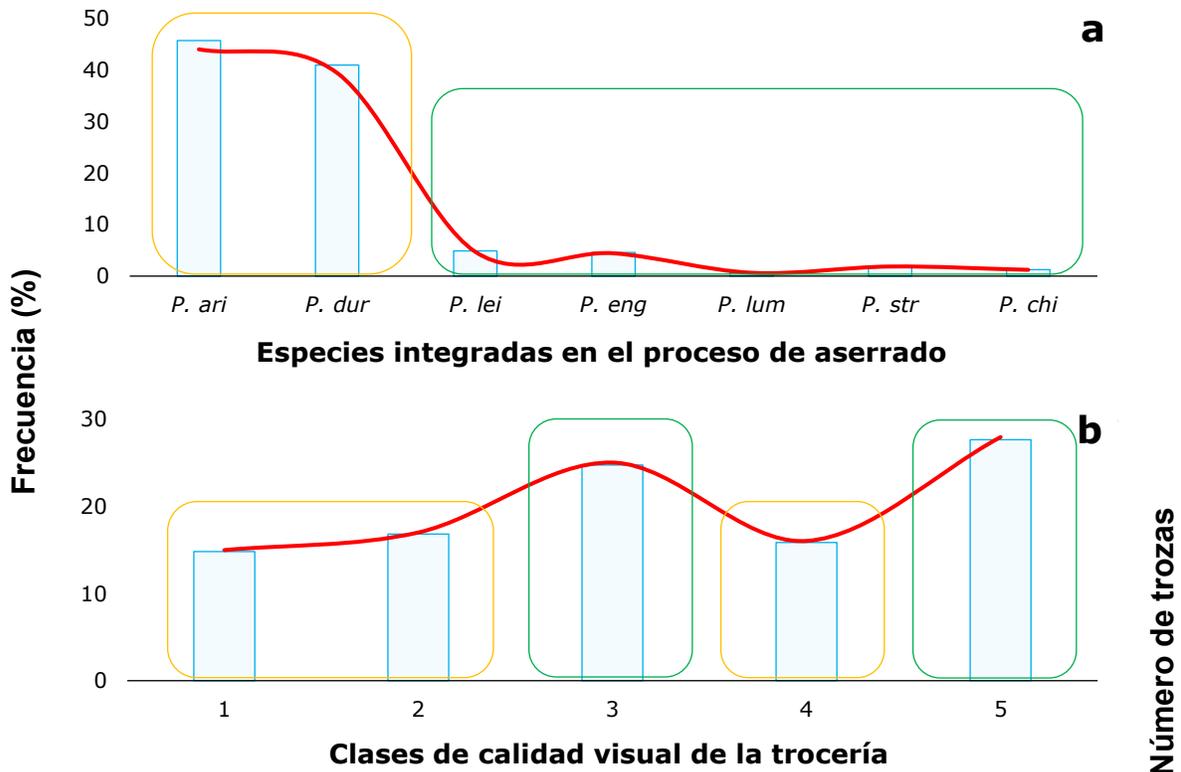


Figura 1. Características de las trozas muestreadas: a) distribución de especies registradas en el proceso y b) distribución de clases de calidad de madera en rollo. Estimado en de acuerdo a una muestra de 182 trozas de *Pinus spp.* Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Coeficiente de aserrado

El coeficiente de aserrado (rendimiento) promedio global corresponde al 45.01 % en un rango de 40.53 a 50.87% al tomar en cuenta la presencia de corteza en la troza y sin corteza el rendimiento (coeficiente de aserrado) se incrementa a 51.10 % con un rango de 46.67 a 57.68%, lo que representa una influencia de la corteza del 6.09 %. La información anterior indica que es posible obtener 190.84 y 216.66 pies tabla (pt) respectivamente al transformar un metro cúbico de madera en rollo de pino (m^3r), al considerar que un metro cúbico rollo cuenta con 424 pies tabla (pt) sin refuerzo.

De acuerdo con la Figura 2, se obtuvieron rangos de rendimiento de aserrado de 35.00 a 70.00 %. Los rendimientos más frecuentes son 50.00 y 45.00 %, los rendimientos extremos (35.00, 65.00 y 70.00 %) representaron la menor frecuencia de aserrado, esto indica una distribución normal ($p>0.05$) del coeficiente de aserrado en las industrias de aserrío del sureste de Chihuahua.

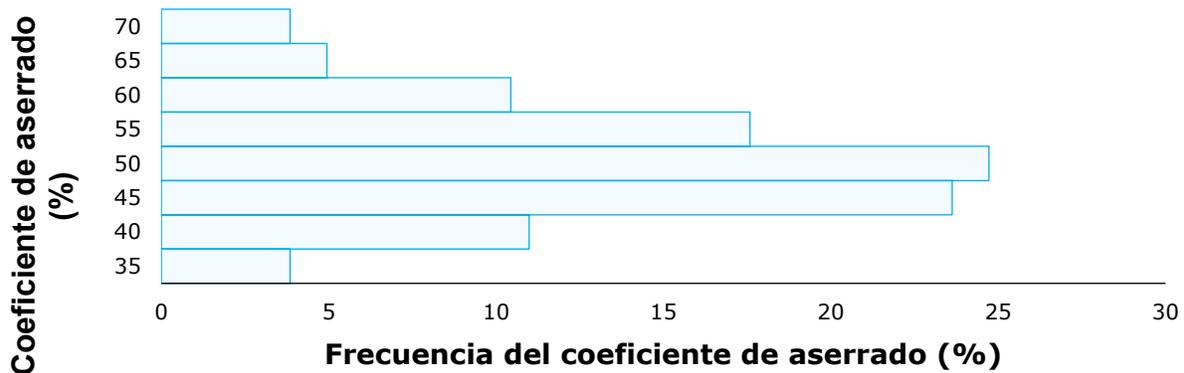


Figura 2. frecuencia relativa del coeficiente de aserrado estimado en función de una muestra de 182 trozas de *Pinus spp.*

El rendimiento de aserrado presentó diferencias significativas en cuanto a las categorías de diámetro menor con corteza ($p<0.05$). El rendimiento medio de las categorías de diámetro de 20 a 70 cm no presentó diferencias significativas. La correlación de Pearson indica que existe una relación positiva entre el diámetro de la trocería y el rendimiento como se muestra en la Figura 3a, lo que revela que un mayor diámetro incrementará la productividad. Por su parte, la Figura 3b muestra que se encontraron diferencias significativas en el rendimiento por categorías de conicidad ($p<0.05$). La categoría de conicidad de 0 cm muestra los rendimientos más altos y son significativamente diferentes a las categorías de 0.5 a 5 cm. La tendencia de los datos y el análisis de correlación de Pearson indican que el incremento de la conicidad de la trocería, llegará a reducir significativamente el rendimiento de aserrado. El valor $r=-0.429$ indica un decremento del rendimiento en relación al aumento de la conicidad.

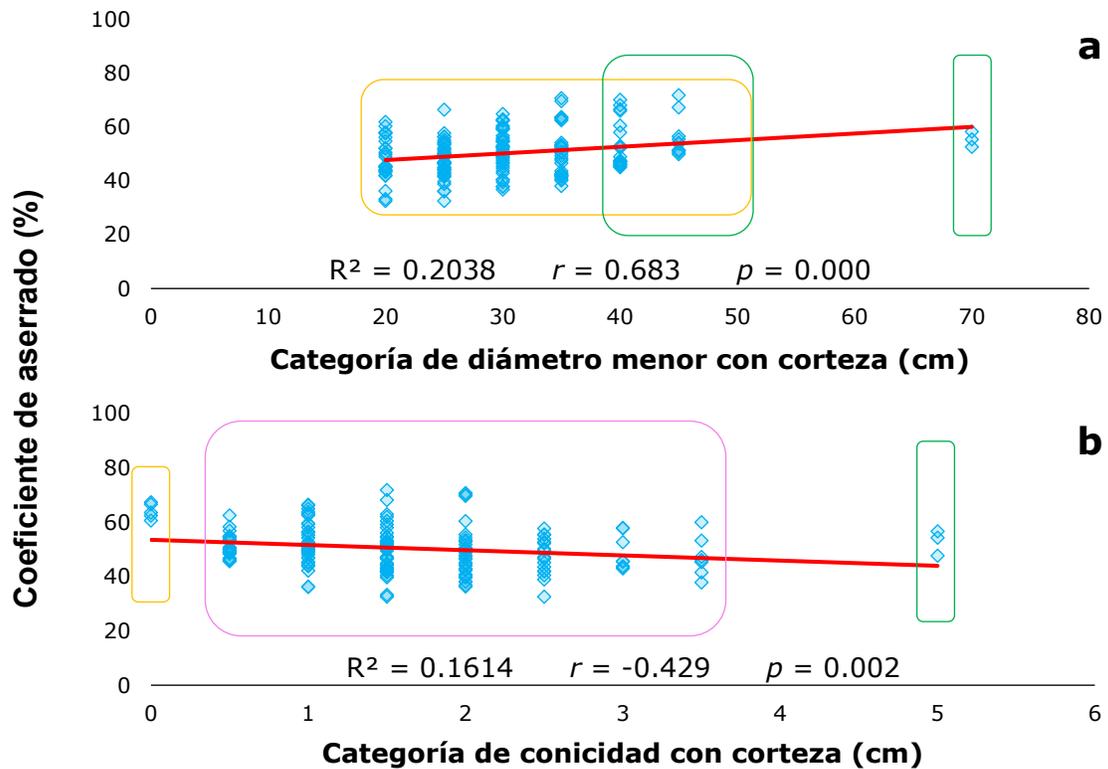


Figura 3. a) rendimiento de aserrado por categoría de diámetro menor con corteza y b) rendimiento de aserrado por categoría de conicidad con corteza estimado en función de una muestra de 182 trozas de *Pinus spp.* Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Rendimiento de aserrado por espesor nominal

De acuerdo con el análisis de varianza realizado se presentaron diferencias significativas en el rendimiento por grueso nominal de madera aserrada ($p < 0.05$), como muestra la Figura 4. La producción de escuadría se concentra principalmente en el espesor nominal de 7/8" (54.12 %), seguido de la madera de 5/4, 6/4 y 3 1/2", que representan un aporte volumétrico similar ($p > 0.05$). Por su parte, la madera de 7/4 y 4 1/4" no representan un rendimiento significativo. Así, por cada metro cúbico de madera en rollo que se asierra, se tiene una producción de 117.26 pt con espesor nominal de

7/8", 90.05 pt de 5/4, 6/4 y 3 1/2" y solo 5.35 pt para los gruesos de 7/4 y 4 1/4" (sin refuerzo).

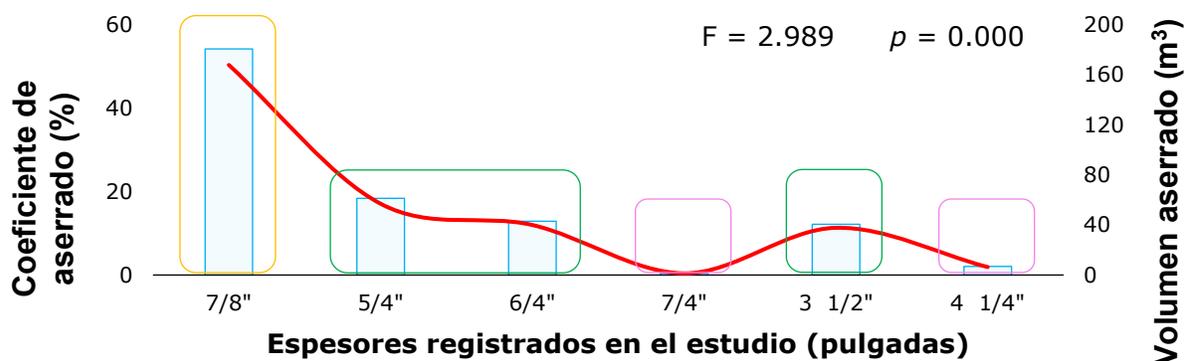


Figura 4. Rendimiento de aserrado por espesor de los productos estimado en función de una muestra de 1,348 trozas de *Pinus spp.* procesadas en 14 aserraderos del sureste del estado de Chihuahua. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Rendimiento de aserrado por ancho nominal

El rendimiento volumétrico por ancho nominal se muestra en la Figura 5, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la distribución de anchos. Las categorías de 4 a 8" contribuyeron en una proporción similar en el proceso, con rangos de rendimiento de 23.10, 30.78 y 32.48% de la producción ($p > 0.05$). Por su parte, los anchos de 10 y 12" son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Se estima que por cada metro cúbico de madera en rollo sin corteza resulta la producción de 187.11 pt de 4, 6 y 8" de ancho nominal; la madera de 10" aporta 24.09 pt y el ancho nominal de 12" no contribuye significativamente al rendimiento, debido a que es probable obtener solo 5.46 pt de este producto.

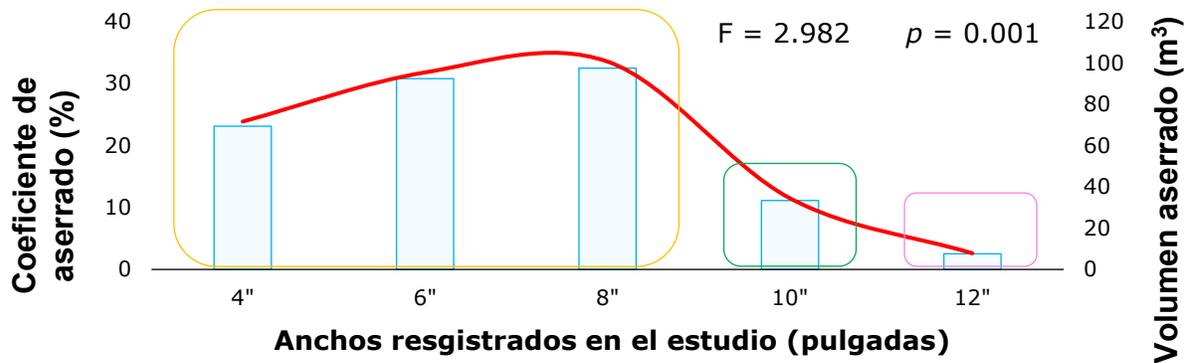


Figura 5. Rendimiento de aserrado por ancho de los productos estimado en función de una muestra de 1,348 trozas de *Pinus spp.* procesadas en 14 aserraderos del municipio de Guachochi, Chihuahua. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Rendimiento de aserrado por largo nominal

Los resultados indican que el rendimiento en largo nominal presenta diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Los largos de madera aserrada de 4 a 7' son las categorías que representan el menor rendimiento y no son significativamente diferentes entre sí ($p > 0.05$). Las clases de largo de 8 a 14' cuentan con un rendimiento que no es significativamente diferente ($p > 0.05$). Por último, la madera de 16' de largo es el principal producto que se genera, es la única clase que es significativamente diferente del resto de clases de largo ($p < 0.05$). En conjunto, la madera de 4 a 7' de largo, representa una producción de 4.54 pt por metro cúbico de madera en rollo aserrada; las clases de 8 a 14' de largo cuentan con una producción de 55.64 pt; por último, la madera de 16' de largo, al ser la de mayor importancia, aporta 156.72 pt por cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrada.

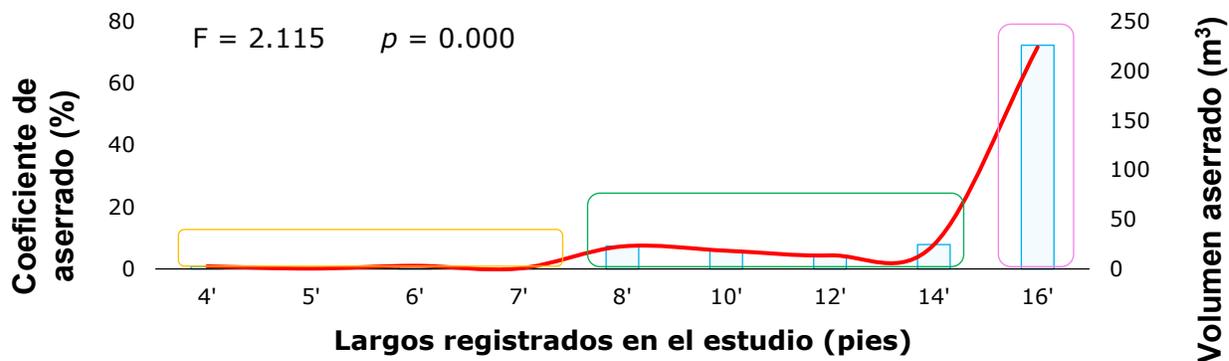


Figura 6. Rendimiento de aserrado por longitud de los productos estimado en función de una muestra de 1,348 trozas de *Pinus spp.* procesadas en 14 aserraderos del municipio de Guachochi, Chihuahua. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Rendimiento de aserrado por clases de calidad

La Figura 7 muestra que se presentaron diferencias significativas en cuanto al rendimiento entre las diversas clases de madera aserrada obtenida ($p < 0.05$). La madera de calidad 2 y mejor y clase (5.35%) número 3 (7.29%) no son significativamente diferentes en cuanto al rendimiento por metro cúbico de trocería aserrada sin corteza y aportan el menor volumen a la producción (12.64 % del total). La clase número 4 y el polín mostraron un rendimiento similar (15.21 y 14.20% respectivamente), en conjunto representan una producción del 29.41% (63.73 pt). Mientras que el 57.95% restante lo conforma la madera de clase número 5 y el tablón, productos que tienen un menor valor económico unitario (precio). En conjunto, la madera de clases 2 y mejor y número 3 representan una producción promedio de 27.39 pt con refuerzo por cada metro cúbico de madera en rollo; la madera de clase número 4 y el polín aportan 63.73 pt con refuerzo; por último, la clase número 5 y el tablón aportan el mayor volumen, 125.55 pt con refuerzo por cada metro cúbico de madera en rollo procesada, obteniéndose en total 216.67 pt/m³r sin corteza, lo que representa un coeficiente de aserrío con dimensiones nominales de 51.10% en promedio.

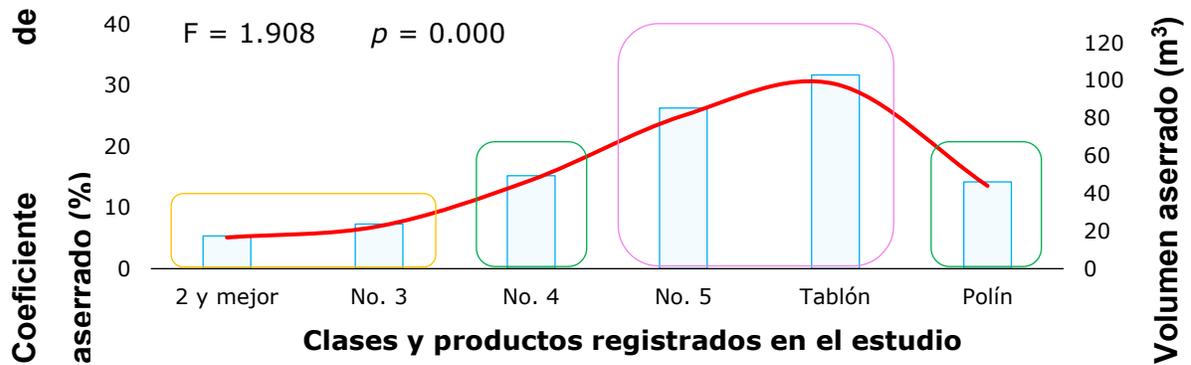


Figura 7. Rendimiento de aserrado por clases y productos registrados de acuerdo con la NMX-C-224-ONNCCE-2001 estimado en función de una muestra de 1,348 trozas de *Pinus spp.* procesadas en 14 aserraderos del municipio de Guachochi, Chihuahua. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Discusión

De acuerdo con los resultados de este estudio las especies de pino transformadas con mayor frecuencia fueron *Pinus arizonica* Engelm y *Pinus durangensis* Ehren. Esto se debe principalmente a que las especies antes mencionadas son las que presentan la mayor abundancia en los bosques templados del estado de Chihuahua como lo indican Hernández-Salas *et al.* (2018) y Holguín-Estrada *et al.* (2021).

Se encontró que las calidades 3 y 5 de la trocería son las más abundantes, lo anterior se debe a que la madera en rollo con presencia de defectos físicos, es propia de los bosques naturales que no cuentan con podas que permitan incrementar la calidad de la madera. En este sentido Jelonek *et al.* (2022) mencionan que aplicar podas en el arbolado de pino de bosques naturales permite incrementar la calidad de la madera, debido a que esta práctica reduce el número de nudos y aumenta el volumen de madera limpia en el tronco. Por su parte, Krajnc, Farrelly y Harte (2019) indican que para aumentar la calidad de la madera es necesario aplicar aclareos a las masas, basados en concentrar mayores densidades, lo cual induce la poda natural.

El coeficiente de aserrado promedio de los aserraderos del sureste del estado de Chihuahua es de 45.01% al considerar la corteza, sin corteza el rendimiento se incrementa a 51.10%. Rascón-Solano *et al.* (2022a) estimaron un coeficiente de aserrado del 51.87% con corteza, con un intervalo de 42.47 a 55.79% en un aserradero del sureste de Chihuahua, resultado que se aproxima a lo encontrado en esta investigación. En cambio, Nájera-Luna *et al.* (2011) estimaron rendimientos con corteza en aserraderos de la región de El Salto, Durango de 57.50%; y Orozco-Contreras *et al.* (2016) estimaron un rendimiento con corteza promedio de 47.47 % en diferentes especies de pino, también en el estado de Durango. En este estudio se encontró que el rendimiento de aserrado con corteza oscila entre 35.00 y 70.00%, los resultados indican que existe una distribución normal de los coeficientes de aserrado, donde el rendimiento del 50.00% es el más frecuente. Ortiz *et al.* (2016) encontraron una distribución normal en el coeficiente de aserrado de pino en el estado de Oaxaca, indican que la probabilidad estimada del rendimiento volumétrico medio es del 48.27%, dentro de un intervalo de 21.87 a 62.71%. Por su parte, Borz *et al.* (2021) evaluaron el rendimiento de abeto noruego (*Picea abies* Lam. (Limk.)) y abeto plateado (*Abies alba* Mill.) en un aserradero en Rumania, el coeficiente de aserrado varió entre 38.80 y 95.00% por troza, con un promedio de aproximadamente 69.00%, donde consideraron solo la producción de madera aserrada (producto primario). La amplia variación de los rendimientos del aserradero rumano se relaciona principalmente con la dimensión de la materia prima, debido a que variables como el diámetro y la conicidad influyen significativamente en la productividad.

De acuerdo con los resultados de este estudio, se aumenta significativamente el rendimiento de madera aserrada conforme incrementa el diámetro de los troncos de pino. Borges de Lima *et al.* (2020) encontraron que no se presenta un incremento lineal entre el diámetro y el rendimiento de madera aserrada para diez especies comerciales de la Amazonía en el estado de Amapá en Brasil. En cambio, Nájera-Luna *et al.* (2011a) y Leyva *et al.* (2020) indican que el tamaño de los troncos es uno de los factores que más afecta el rendimiento de la madera aserrada, ya que a medida que aumenta el diámetro, también aumenta el rendimiento, y por lo tanto esta variable tiene un efecto significativo. De acuerdo con la tendencia de los datos y el análisis de

correlación, en este estudio se encontró que el incremento de la conicidad de la trocería reduce el rendimiento de aserrado. Asimismo, Zavala y Hernández (2000) mencionan que la conicidad de la troza es un factor importante en la productividad maderable. En este sentido, Ortiz *et al.* (2016) encontraron que las categorías de conicidad de 1 y 6 cm fueron superiores en el rendimiento de madera aserrada. En este estudio la conicidad de mayor valor cuenta con rendimientos altos debido al efecto del diámetro de las trozas (fue la troza de mayor diámetro).

El rendimiento por grueso nominal fue representado principalmente por la madera de 7/8" (54.12%). En este estudio se encontró que la importancia de esta dimensión es superior a lo descrito por Nájera *et al.* (2011b), quienes observaron que la producción de escuadría en la región de El Salto, Durango se concentra en el grueso nominal de 7/8" con 38.82%. Las categorías de 4, 6 y 8" (23.10, 30.78 y 32.48%) de ancho contribuyeron en una proporción similar a la producción de los aserraderos analizados en este estudio, que suman un 86.36% del total. Caso contrario, Ortiz *et al.* (2016) encontraron que el ancho de 12" representa el 54.18%. La diferencia existente se atribuye principalmente al diámetro medio de la trocería. Con respecto a la distribución del rendimiento volumétrico por largo nominal, la madera de 16' de largo, al ser la de mayor importancia, contribuye con un 72.33% a la producción total de los aserraderos considerados en este estudio. Nájera *et al.* (2011b) encontraron que el largo de 16' tuvo el valor más alto con 47.30% del volumen total aserrado. Por último, en cuanto a la calidad de la madera aserrada, la clase número 5 y el tablón aportan la mayor cantidad de volumen respecto al rendimiento (26.27 y 31.68%). Ortiz *et al.* (2016) encontraron que la madera de calidad inferior llega a representar hasta el 50.98% del total. Orozco *et al.* (2016) estimaron un rendimiento de madera de clase 5 por 46.98%. Estos resultados se relacionan principalmente con la calidad de la madera en rollo, que como se mencionó anteriormente, está representada por trozas de calidad 5.

Conclusiones

En el estado de Chihuahua, las principales especies aprovechadas y transformadas en productos de madera son *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus durangensis* Ehren. En conjunto, estas especies representan hasta el 86.65 % de las existencias en los aserraderos estudiados. En la distribución de clases de madera en rollo, las calidades 3 y 5 son las más abundantes y presentan una distribución similar en ambas especies.

Para los centros de asierre estudiados, el coeficiente de aserrado promedio corresponde al 45.01 % al tomar en cuenta la presencia de corteza en la troza y sin corteza el rendimiento se incrementa a 51.10 %. Este parámetro cuenta con una distribución normal, con rangos de rendimiento de aserrado de 35.00 a 70.00 %. Los rendimientos más frecuentes son 50.00 y 45.00 %. Existe una relación positiva entre el diámetro de la trocería y el rendimiento de aserrado, asimismo, se identificó que el incremento de la conicidad de la trocería reduce significativamente el rendimiento de aserrado. Esto quiere decir que existe un efecto significativo en el rendimiento de aserrado en relación a el diámetro menor y la conicidad.

Se identificó que el principal producto que se genera en los aserraderos es la madera de 7/8" de espesor. La madera de 8" es el principal ancho que se produce, no obstante, no es significativamente diferente a los anchos de 4 y 6". El principal largo nominal que se produce es la madera de 16' de longitud. La madera de clase número 5 y los tablonés son los principales productos que se generan.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los aserraderos particulares y de propiedad social que permitieron la toma de datos de campo. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para realizar sus estudios de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Los Autores

agradecen los comentarios de los revisores anónimos que permitieron mejorar este manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Joel Rascón-Solano: diseño de la investigación, toma de datos, elaboración del manuscrito y generación de resultados; Oscar Alberto Aguirre-Calderón: diseño de la investigación, edición y discusión de resultados.

Referencias

- Borges De Lima, B., R. Caraciolo, J. Aleixo Da Silva, M. Carneiro, D. Silva, C. Pereira, F. Galvão y L. Da Cruz Silva. 2020. Effect of species and log diameter on the volumetric yield of lumber in northern Brazilian Amazonia: preliminary results. *Journal of Sustainable Forestry* 39(3):283-299. DOI: 10.1080/10549811.2019.1636661.
- Barnes, R. M. 1968. *Motion and time study: design and measurement of work*. New York, NY, USA: John Willey & Sons. 799 p. (24 de mayo de 2023).
- Borz, S. A., M. Oghnoum, M. V. Marcu, A. Lorincz y A. R. Proto. 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):180. DOI: 10.3390/f12060810.

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. 2022. PIB Forestal. Comisión Nacional Forestal. (24 de mayo de 2023).

Dirección General de Normas (DGN). 1988. Norma Mexicana NMX-C-359-1988. Industria Maderera - Trocería de Pino - Clasificación. Ciudad de México, México: DGN. SECOFI. 23 p. (24 de febrero de 2023).

Dirección General de Normas (DGN). 2001. NMX-C-224-ONNCCE-2001. Industria de la Construcción - Vivienda de Madera y Equipamiento Urbano - Dimensiones de la Madera Aserrada para Su uso en la Construcción. Ciudad de México, México: SECOFI. (24 de febrero de 2023).

Gonçalves, A. L., A. Negrão, S. Silva y E. Leite. 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. (25 de febrero de 2023).

Hernández-Salas, J., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza, G. T. González-Tagle, C. Luján-Álvarez, J. M. Olivas-García y L. A. Domínguez-Pereda. 2018. Growth dynamics of a managed temperate forest in northwestern Mexico. *Madera y Bosques* 24(2):e2421767. DOI: 10.21829/myb.2018.2421767.

Hernández, R., Y. Mayett, S. Rodríguez y G. Fernández. 2023. Retos ambientales, económicos y sociales, en la cadena de valor del sector maderero de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 14(75):68–96. DOI: 10.29298/rmcf.v14i75.1275.

Holguín-Estrada, V. A., E. Alanís-Rodríguez, O. A. Aguirre-Calderón, J. I. Yerena-Yamallel y M. Á. Pequeño-Ledezma. 2021. Structure and floristic composition of a gallery forest in an altitudinal gradient in the northwest of México. *Madera y Bosques*, 27(2):e2722123. DOI: 10.21829/myb.2021.2722123.

Husch, B., T. W. Beers y J. A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. Fourth edition. New York, N.Y., U.S.A.: John Wiley and Sons, Inc. (24 de febrero de 2023).

IBM Corp. 2017. IBM SPSS Statistics para Windows, version 25.0. Armonk, Nueva York: IBM Corp. (23 de febrero de 2023).

IFPRI y World Bank. (2022). Global Gridded Agricultural Gross Domestic Product (AgGDP) [data set]. DOI: 10.57966/0j71-8d56.

Jelonek, T., J. Kopaczyk, M. Neumann, A. Tomczak, W. Pazdrowski, W. Grzywiński, K. Klimek, B. Naskrent, R. Kuźmiński y T. Szwed. 2022. How Wood Quality Can Be Shaped: Results of 70 Years of Experience. *Forests* 13(12):2103. DOI: 10.3390/f13122103.

Krajnc, L., N. Farrelly y A. M. Harte. 2019. The influence of crown and stem characteristics on timber quality in softwoods. *Forest Ecology and Management* 435:8-17. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.12.043.

Lähtinen, K., A. Toppinen, M. Mikkilä, M. Toivio y O. Suur-Uski. 2016. Corporate responsibility reporting in promoting social license to operate in forestry and sawmilling industries. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 89(5):525–541. DOI: 10.1093/forestry/cpv055.

Lauri, P., N. Forsell, F. Di Fulvio, T. Snäll y P. Havlik. 2021. Material substitution between coniferous, non-coniferous and recycled biomass – Impacts on forest industry raw material use and regional competitiveness. *Forest Policy and Economics* 132:102588. DOI: 10.1016/j.forpol.2021.102588.

Leyva, I., D. Álvarez, Y. La O Mundis, G. Céspedes y Y. Segurado. 2020. Yield and dimensional quality of *Samanea saman* Jacq. Sawn timber at Guantanamo Agroforestry Enterprise sawmill. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3):507-518. (26 de febrero de 2023).

Lundmark, R., T. Lundgren, E. Olofsson y W. Zhou. 2021. Meeting Challenges in Forestry: Improving Performance and Competitiveness. *Forests* 12(2). DOI: 10.3390/f12020208.

- Makkonen, M. 2018. Stakeholder perspectives on the business potential of digitalization in the wood products industry. *BioProducts Business*, 3(6):63-80. DOI: 10.22382/bpb-2018-006.
- Moctezuma, G. y A. Flores. 2020. Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 11(60):161-185. DOI: 10.29298/rmcf.v11i60.720.
- Nájera-Luna, J.A., O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, E. Jurado-Ybarra, J. J. Corral-Rivas y B. Vargas-Larreta. 2011a. Tiempos y rendimiento de aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2):199-213. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.034.
- Nájera, J. A., O. A. Aguirre, E. Treviño, J. Jiménez, E. Jurado, J. J. Corral y B. Vargas. 2011b. Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4):77-92. DOI: 10.29298/rmcf.v2i4.610.
- Orozco-Contreras, R., J. C. Hernández-Díaz, J. A. Nájera-Luna, P. A. Domínguez-Calleros, J. R. Goche-Telles, P. M. López-Serrano y J. J. Corral-Rivas. 2016. Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(36):37-50. DOI: 10.29298/rmcf.v7i36.58.
- Ortiz, R., S. Martínez, D. E. Vázquez y W. S. Juárez. 2016. Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal* 19(1):79-93. DOI: 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06.
- Quirós, R., O. Chinchilla y M. Gómez. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*, 29(2):7-15. (25 de febrero de 2023).
- Rascón-Solano, J., O. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. Treviño-Garza y J. Nájera-Luna. 2022a. Productividad del abastecimiento e

industrialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13 (71):133-158. DOI: 10.29298/rmcf.v13i71.1142.

Rascón-Solano, J., J. E. Magaña-Magaña, C. M. Kiessling-Davison, L. P. Licón-Trillo, M. Portillo-Vázquez y V. S. Galván-Moreno. 2022c. Viabilidad técnica, financiera y económica de establecer un aserradero privado en el Noroeste de México. *Custos e @gronegocio online*, 17(4):332-357.

<https://doi.org/http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v17/OK%2016%20aserradero.pdf>. (24 de mayo de 2023).

Rascón-Solano, J., J. M. Olivas-García, O. A. Aguirre-Calderón, J. Hernández-Salas, M. Portillo-Vázquez, S. A. García-García y V. S. Galván-Moreno. 2022b. Proyecto de inversión industrial: Una alternativa para el desarrollo comunitario del ejido forestal Basihuare, Chihuahua, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 28(2):169–187. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2020.12.070.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. 2021. Anuario estadístico de la producción forestal 2018 (Primera edición). Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. (24 de mayo de 2023).

Stragliotto, M. C., J. Melo, A. Costa y B. L. Corradi. 2019. Yield in sawn wood and residue utilization of *qualea Paraensis* ducke and *Erismia uncinatum* warm. *Floresta* 49(2):257-266. DOI: 10.5380/rf.v49i2.57284.

Zavala, D. y R. Hernández. 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6(2):41-55. DOI: 10.21829/myb.2000.621374.

**CAPÍTULO VI. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO
DE LA MADERA ASERRADA DE DOS VARIANTES DE ASERRADERO EN EL
ESTADO DE CHIHUAHUA**

(Publicado en Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente)

Rascón-Solano J., Aguirre-Calderón O. A., Nájera-Luna J. A., Olivas-García J. M., Alanís-Rodríguez E., Jiménez-Pérez J. & Treviño-Garza E. (2023). Análisis comparativo del rendimiento volumétrico de la madera aserrada de dos variantes de aserradero en el estado de Chihuahua. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 29(3). <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.09.069>

Análisis comparativo del rendimiento volumétrico de la madera aserrada de dos variantes de aserradero en el estado de Chihuahua

Comparative analysis of the volumetric yield of sawn wood from two sawmill variants in the state of Chihuahua

Joel Rascón-Solano¹, Oscar Alberto Aguirre-Calderón², Juan Abel Nájera-Luna*³, Jesús Miguel Olivas-García⁴, Eduardo Alanís-Rodríguez², Javier Jiménez-Pérez², Eduardo Treviño-Garza²

¹Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto. Calle Tecnológico 101 Col. La Forestal C.P. 34942, Durango, México.

⁴Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. km 2.5 carretera Delicias-Rosales. C. P. 33000. Delicias, Chihuahua, México.

*Corresponding author: jalnajera@itelsalto.edu.mx; Tel: +52 618 158 7940

Ideas destacadas:

- La tecnología empleada y las necesidades del mercado influyen en la productividad del aserrado.
- El rendimiento del aserrío es diferente al contrastar la tecnología moderna y tradicional.
- Los aserraderos tecnificados presentan un mayor rendimiento que los aserraderos de sierra banda.

- La pericia y capacidad de los operarios repercute en el rendimiento volumétrico del aserrío.
- En este estudio, el diámetro y conicidad de la trocería no afectaron el coeficiente de aserrío.

Resumen

Introducción: El aserrío es la labor industrial de mayor relevancia en el sector forestal, dado que es la metodología más empleada para la conversión de madera en rollo.

Objetivo: Contrastar estadísticamente el rendimiento volumétrico y la distribución de productos aserrados, al tomar como factor de comparación dos tecnologías industriales empleadas en aserraderos ejidales del estado de Chihuahua.

Materiales y métodos: Se estudiaron tres industrias ejidales con tecnología de corte fino y dos con sierra banda, se estimó el coeficiente de aserrado con y sin corteza, se determinó el rendimiento volumétrico de madera aserrada por grueso, ancho y largo. El comparativo estadístico entre tipo de industria fue realizado mediante prueba contraste de *t* de *Student*.

Resultados y discusión: El rendimiento sin corteza presenta diferencias significativas entre tipo de industria ($p=0.007$) con coeficientes de 60.93 y 53.09% para industrias modernas y tradicionales respectivamente. La distribución de grueso nominal indica que la madera de 88.90 mm es la que presenta las diferencias más importantes de producción en función del tipo de industria, sin embargo, es no significativa ($p=0.345$). No existen diferencias significativas en los principales anchos nominales (101.60, 152.40 y 203.20 mm), con valores p de 0.484, 0.477 y 0.237 respectivamente. Los largos de 2.44 a 4.88 m no presentaron diferencias significativas, con valores p de 0.457, 0.187, 0.739, 0.360 y 0.297 respectivamente.

Conclusión: El conocimiento de los operarios, la tecnología empleada y las necesidades del mercado, son variables que influyen en la productividad de las industrias.

Palabras clave: Aserrío, productos aserrados, coeficiente de aserrado, prueba de contraste, tipos de industria.

Introducción

Mucho antes de que se desarrollaran técnicas y herramientas para cortar madera, los humanos recolectaban alimentos, medicamentos y otros recursos que cubrían sus necesidades básicas en los bosques (Sheppard et al., 2020; Tymendorf y Trzciński, 2020), ecosistemas de donde aún se extraen recursos naturales con importantes valores económicos, culturales y ecológicos (Cardenas, Orellana, Konstantinidis y Mohn, 2018). Por tal motivo el sector forestal suele ser económicamente importante en los países dotados de bosques (Lundmark, Lundgren, Olofsson y Zhou, 2021).

La industria del aserrío se ha considerado una de las actividades económicas de mayor importancia en diversas regiones (Marchesan, Rocha, Silva y Klitzke, 2014; Ortiz, Martínez, Vázquez y Juárez, 2016; Makkonen, 2018; Lundmark et al., 2021). En el norte de México es la labor industrial de mayor relevancia en las organizaciones sociales para procesar la madera en rollo (Zavala y Hernández, 2000).

Rascón-Solano, Olivas-García, Kiessling-Davison, Hernández-Salas y López-Daumas (2020) y Rascón-Solano et al. (2022) mencionan que el estado de Chihuahua ha presentado cambios en las tecnologías de transformación maderable durante la última década. Además, se reporta que la transición tecnológica industrial se da principalmente por la necesidad de ser cada vez más competitivos y eficientes en los procesos (Herrera-Medina y Leal-Pulido, 2012).

Actualmente, algunas actividades se ven desafiadas por los productos de madera de bajo valor (Townsend et al., 2019), elevados costos de extracción de madera o limitaciones en la productividad operativa (Holzfeind, Kanzian y Gronalt, 2021) y cambios en la capacidad utilizada e instalada de las industrias forestales.

Melo, Silva, Lopes, Brito y Santos (2012) y Rascón-Solano et al. (2022) identifican que la actividad maderera presenta problemas en función de la antigüedad de los equipos, poco conocimiento de la materia prima y cambios en los patrones de producción y consumo (Lauri, Forsell, Di Fulvio, Snäll y Havlik, 2021).

Pero la identificación de estas carencias y determinación de la eficiencia pueden realizarse mediante la evaluación del coeficiente de aserrado y rendimiento volumétrico (Stragliotto, Melo, Costa y Corradi, 2019; Borz, Oghnoum, Marcu, Lorincz y Proto, 2021), lo cual se refiere a la relación entre el volumen de madera en rollo y el volumen resultante en diversos productos (Rascón-Solano et al., 2022).

Lähtinen, Toppinen, Mikkilä, Toivio y Suur-Uski (2016) indican que las pequeñas y medianas empresas en el sector productor de madera aserrada tienen un papel crucial en la mejora de la productividad y competitividad de una región. Para esto, es necesario evaluar la eficiencia en empresas que comparten procesos de producción similares que revelen información sobre el éxito relativo en función a la elección de conjuntos óptimos de tecnologías (Hetemäki y Hurmekoski, 2016).

El objetivo de esta investigación fue contrastar estadísticamente el rendimiento volumétrico y la distribución de productos aserrados, al tomar como factor de comparación dos tecnologías industriales empleadas en aserraderos ejidales del estado de Chihuahua.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La investigación se realizó en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, en los municipios de Balleza, Guachochi y Urique en el estado de Chihuahua. La toma de datos se efectuó durante el primer trimestre del año 2021 en aserraderos de sierra banda de los ejidos Cieneguita de la Barranca y Corareachi, así como en aserraderos 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, cinta de corte fino y diente trabado de 35 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Presentan una plataforma de transformación con rodillos de nivelación, rodillos dentados traccionados, gatos de bloqueo y cadena bidireccional para girar los

troncos. En este estudio se considera este tipo de industrias como aserraderos modernos.

Por su parte, los aserraderos de los ejidos Cieneguita de la Barranca y Corareachi, se instalaron en la década de 1970 por Productos Forestales de la Tarahumara (PROFORTARAH), cuentan con una sierra banda vertical con volantes de 1,473 mm de diámetro, cintas de corte de 203.2 mm de ancho, calibre 17 (1.37 mm), paso de diente de 44.45 mm y 15.88 mm de profundidad de garganta y 30° de ángulo de corte. Las industrias con estas características se consideran como aserraderos tradicionales para esta investigación.

Rendimiento de aserrado

A una muestra de al menos 90 trozas por aserradero se les midió el diámetro mayor y menor con y sin corteza y la longitud. Con dicha información se determinó el volumen total con corteza, volumen de madera, volumen de corteza y conicidad del tronco. Para determinar el volumen se empleó la fórmula de Smalian (Husch, Beers y Kershaw, 2003), que se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = \frac{S_0 + S_1}{2} \times L$$

Donde:

V = Volumen del tronco.

S₀ = Superficie de diámetro mayor del tronco.

S₁ = Superficie del diámetro menor del tronco.

L = Largo del tronco.

El rendimiento en madera aserrada por grueso, ancho y largo nominales se determinó con la siguiente ecuación (Quirós et al., 2005):

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

Donde:

R% = Rendimiento porcentual de madera aserrada.

Va = Volumen de las tablas por grueso, ancho y largo nominal (m³).

Vr = Volumen de madera en rollo sin corteza (m³ r).

Dimensionado de la madera

Los gruesos que se producen con mayor frecuencia son: 22.23, 31.75 y 38.10 mm (7/8", 5/4", 6/4"), más refuerzo, que regularmente es de 3.17 mm (1/8") para los gruesos nominales de 22.23 y 31.75 mm; a partir de 38.10 mm el refuerzo es de 6.36 mm (1/4"). También se producen polines de 88.90 x 88.90 mm (3 1/2" x 3 1/2"). 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"). El volumen de cada pieza se estimó con la siguiente expresión:

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

Donde:

V = Volumen de la tabla (m³).

t = Grueso (m).

w = Ancho (m).

l = Longitud (m).

Análisis estadístico

La identificación de diferencias estadísticas en el coeficiente de conversión de madera en rollo a madera aserrada y el rendimiento volumétrico de grueso, ancho y largo entre tipo de industria, fue realizada mediante prueba contraste de *t* de *Student* a un nivel de significancia de 0.05. El paquete estadístico IBM-SPSS versión 25 se empleó para desarrollar los análisis de información y determinación de resultados.

Resultados

Descripción de la materia prima

En este análisis, de los 486 troncos de pino fueron ingresados al proceso de aserrado en las diferentes industrias, las categorías de diámetro menor sin corteza entre aserraderos presentan diferencias significativas ($p = 0.0000$). Se encontró que el aserradero propiedad del ejido Tecorichi integró en el proceso de aserrío trozas de

menor dimensión (media de 28.34 cm); por su parte, el resto de los ejidos contaron con diámetros muy semejantes entre sí (Cieneguita de la barranca [31.25 cm], Corareachi [31.97 cm], San Carlos [33.81 cm] y Aboreachi [36.20 cm]). La Tabla 1 indica los valores estimados para cada una de las industrias evaluadas.

Tabla 1. Valores medios de la materia prima por aserradero.

Industria	No. Trozas (n)	Error de muestreo (%)	Diámetro mínimo con corteza (cm)		Conicidad (cm/m)		Volumen total con corteza (m ³ r)
			Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	
Aboreachi	102	9.70	36.20	6.2300	1.26	0.6381	53.90
Tecorichi	95	10.06	28.34	6.8476	1.28	0.5992	45.79
San Carlos	91	10.27	33.81	9.7128	0.79	0.5462	56.50
Corareachi	94	10.11	31.97	7.3161	0.90	0.6304	51.06
Cieneguita	104	9.61	31.25	6.1872	1.38	0.8014	59.27

En cuanto a la materia prima integrada aserrada entre tipo de tecnología involucrada en el proceso, las diferencias son no significativas como se muestra en la tabla 2. Estos resultados indican que el diámetro de la trocería no es un factor que afecte el coeficiente de aprovechamiento de los aserraderos evaluados en la presente investigación.

Tabla 2. Contraste de categorías de diámetro menor sin corteza entre industrias.

Variable	Industria	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	p	Dif [‡]
Categoría de diámetro menor sin corteza	Aboreachi	1	102	31.32	5.49	30	0.0001	a
	Corareachi	3	94	32.13	7.46	30		acd
	Cieneguita	2	104	31.73	5.98	30		ad
	Tecorichi	5	96	28.13	6.85	25		b
	San Carlos	4	91	33.79	9.81	35		c
	Moderna	1	289	31.04	7.84	30	0.0842	a
	Tradicional	2	198	31.92	6.71	30		a

[‡]Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); N trat: número de tratamiento; N: número de trozas.

En la tabla 3 se observa que los aserraderos ubicados en los ejidos de San Carlos y Corareachi presentaron el promedio de conicidad más bajo entre los ejidos, 0.80 y 0.91

centímetros de conicidad por metro lineal en el largo de la troza. Esto deriva en diferencias significativas en comparación con los otros aserraderos ($p = 0.0000$). Sin embargo, la conicidad de la trocería presenta valores similares en la comparación entre tipo de industria ($p = 0.6620$). El análisis indica que la conicidad no afecta el rendimiento de madera aserrada en los aserraderos sometidos al estudio. Factores como la capacitación del personal, tendencias del mercado y capacidad de los equipos de transformación, son variables que pueden presentar un efecto significativo en los resultados de rendimiento de madera aserrada.

Tabla 3. Contraste de categorías de conicidad entre industrias.

Variable	Industria	N trat	N	Medias	D.E.	Medianas	p	Dif [‡]
Categoría de conicidad	Aboreachi	1	102	1.25	0.64	1	0.0000	a
	Tecorichi	2	96	1.29	0.61	1		ab
	Cieneguita	5	104	1.38	0.83	1		ab
	San Carlos	3	91	0.80	0.55	1		c
	Corareachi	4	94	0.91	0.65	1		c
	Moderna	1	289	1.12	0.64	1	0.6620	a
	Tradicional	2	198	1.16	0.79	1		a

[‡]Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); N trat: número de tratamiento; N: número de trozas.

Coeficiente de aprovechamiento

Los aserraderos modernos considerados en esta investigación procesaron un total de 156.19 metros cúbicos de madera en rollo (m^3r) con corteza o 138.00 m^3r sin corteza que generaron 83.72 m^3 de madera aserrada. El coeficiente de aserrado promedio corresponde al 53.63 % al tomar en cuenta la presencia de corteza en la troza y sin corteza el rendimiento se incrementa a 60.93 %, lo que representa una influencia de corteza por 7.55 %; lo anterior indica que es posible obtener 227.27 y 257.23 pies tabla (pt) respectivamente al transformar un m^3r de pino, dado de que un metro cúbico rollo cuenta con 424 pies tabla (pt).

Por su parte, los aserraderos tradicionales estudiados generaron un total de 51.60 m^3 de madera aserrada, producto de transformar 110.33 m^3r con corteza o 97.09 m^3 de

madera en rollo sin corteza. El coeficiente de aprovechamiento sin corteza promedio para estas industrias fue de 53.09 %, de acuerdo con la influencia de corteza (6.36 %) se determina un rendimiento con corteza de 46.73 %. Los resultados indican la posibilidad de generar 225.33 pt al transformar un metro cúbico de madera en rollo sin considerar la corteza, o 198.29 pt al realizar la estimación en función de transformar un metro cúbico de madera en rollo con corteza.

La prueba de contraste de *t* de *Student* reflejó diferencias altamente significativas ($p = 0.0006$) en la comparación de coeficientes de transformación con corteza de ambos tipos de industria. Al realizar la prueba en rendimiento sin corteza se obtuvieron diferencias significativas ($p = 0.0074$). Por último, el porcentaje de corteza estimado no presentó diferencias significativas ($p = 0.4415$), este valor indica que el volumen de corteza no genera una influencia en el rendimiento de aserrado de las dos variantes de industrias analizadas.

Rendimiento de grueso nominal

En la Figura 1a se observa que la producción del aserrío en las industrias modernas se concentra en el grueso nominal de 22.23 mm (7/8") con una media de 57.05 % y desviación estándar (DS) de ± 25.45 % del volumen total aserrado, seguido por 31.75 mm (5/4") con 21.39 % y DS de ± 18.63 %, la medida de 38.1 mm (6/4") presenta una producción del 9.67 % con una DS de ± 4.18 %. Por último, los polines de 88.90 mm (3 1/2") representan un 11.89 % con DS de ± 6.01 % del volumen aserrado. Por su parte, las industrias tradicionales principalmente producen grueso nominal de 7/8" con una media de 39.33 % y DS de ± 5.38 %, seguido por 5/4" con 15.15 % y DS de ± 16.89 %. La de 6/4" representa un 23.59 % con una DS de ± 26.30 % y los polines de 3 1/2" un 21.93 % con DS de ± 14.78 % del volumen total aserrado (Figura 1b).

Las diferencias encontradas en la producción volumétrica por cada aserradero se atribuyen principalmente a las demandas del mercado donde comercializan sus productos aserrados. Sin embargo, esta diferencia volumétrica no genera un efecto en los contrastes porcentuales de producción entre el tipo de tecnología industrial empleada, ya que la DS de los gruesos generados permite mejorar el ajuste de contraste en las estimaciones estadísticas realizadas.

La prueba de t indica que no existen diferencias significativas ($p = 0.424$) en la comparación de producción de grueso nominal de 7/8" en ambos tipos de industria; el grueso nominal de 5/4" presenta la menor diferencia significativa en la producción proporcional de madera ($p = 0.731$) y las dimensiones 6/4 y 3 1/2" presentaron valores de p no significativos, de 0.594 y 0.345 respectivamente.

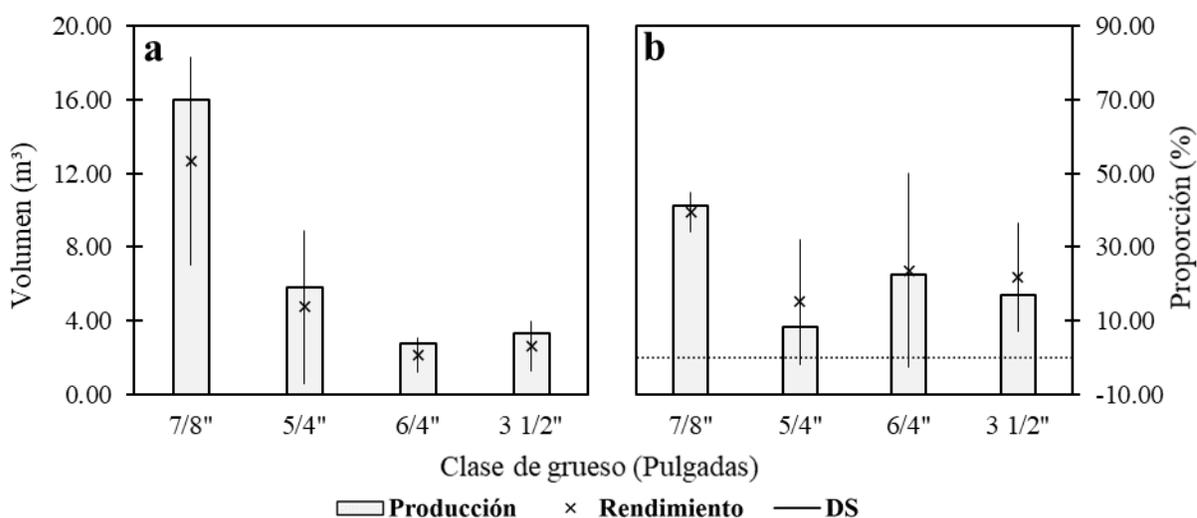


Figura 1. Frecuencia volumétrica media en la producción de grueso nominal, proporción (rendimiento) de los productos y desviación estándar (DS) de la misma; a) aserraderos modernos y b) aserraderos tradicionales.

Rendimiento de ancho nominal

En las industrias modernas el rendimiento volumétrico por ancho nominal sobrepasa la producción de 101.60, 152.40 y 203.20 mm (4, 6 y 8") con 83.83 % con DS de ± 1.44 , 7.73 y 3.12 % respectivamente; en tanto que los anchos nominales de 254.00 y 304.80 mm (10 y 12") sólo representan en conjunto 16.17 %, con una DS de ± 5.21 y 1.46 % respectivamente (Figura 2a). De igual manera, en promedio (Figura 2b), las industrias tradicionales principalmente producen los anchos nominales de 4, 6 y 8" con una producción del 91.53 %. Estas dimensiones presentaron DS de ± 4.62 , 8.52 y 2.42 % por clase de ancho; en cuanto a la producción de anchos nominales de 10 y 12", se generó un rendimiento en conjunto de 8.47 % con DS de ± 1.19 y 0.29 % respectivamente.

La prueba de t indica que no existen diferencias significativas en los anchos nominales de 4, 6, 8 y 10" con valores p de 0.484, 0.477, 0.237 y 0.344 para cada medida; en cuanto a la madera de 12", esta obtuvo un valor $p = 0.057$, diferencia no significativa; no obstante, los rendimientos calculados son de 3.89 y 0.59 %, con una DS de ± 1.46 y 0.29 % respectivamente, se presentaron diferencias porcentuales evidentes en la producción de este ancho nominal. Se plantea que la diferencia estadística calculada puede verse afectada por la baja proporción de este producto.

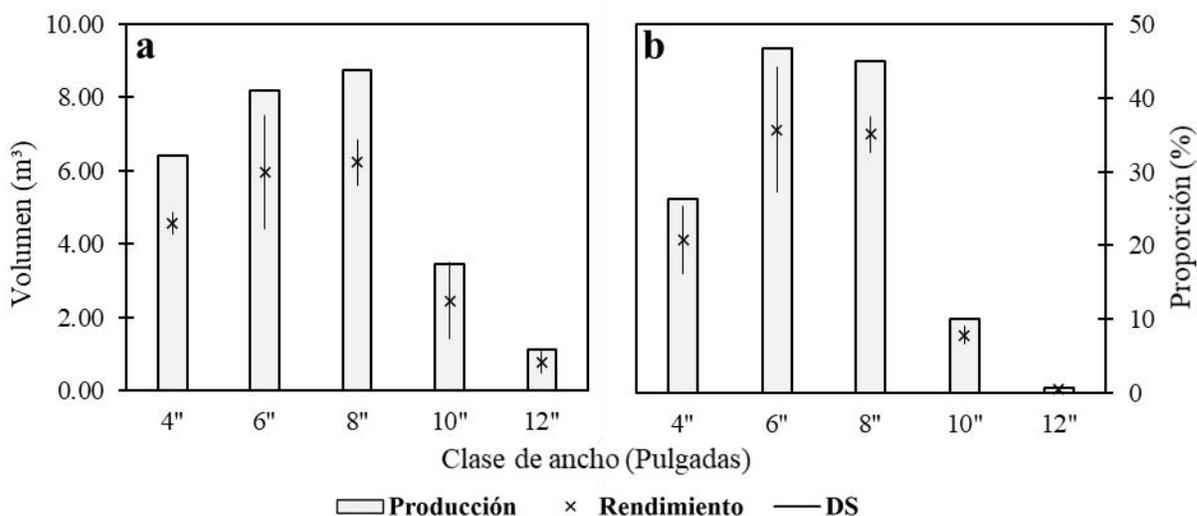


Figura 2. Frecuencia volumétrica media en la producción de ancho nominal, proporción (rendimiento) de los productos y desviación estándar (DS) de la misma; a) aserraderos modernos y b) aserraderos tradicionales.

Rendimiento de largo nominal

Respecto a la distribución del rendimiento volumétrico por largo nominal, los aserraderos modernos presentaron una producción media del 77.08 % con una DS de ± 2.32 % en la madera de 4,876.80 mm (16'), las dimensiones de 1,219.20 a 4,267.2 mm (4 a 14") solo representan el 22.92 % del rendimiento total (Figura 3a). El promedio estimado de producción por parte de los aserraderos tradicionales (Figura 3b) presenta valores similares a lo descrito anteriormente, el largo de 16' representa el 73.63 % del rendimiento total con una DS de ± 4.03 %, el resto de dimensiones suman 26.37 % del total.

En cuanto al largo nominal de la madera se encontraron diferencias significativas en las dimensiones de 1,219.2 y 1,828.8 mm (4 y 6') con valores de p iguales a 0.038 y 0.045 respectivamente; por otra parte, los largos de 8 a 16' no presentaron diferencias significativas con valores p de 0.457, 0.187, 0.739, 0.360 y 0.297 por clase producida en el proceso de aserrado.

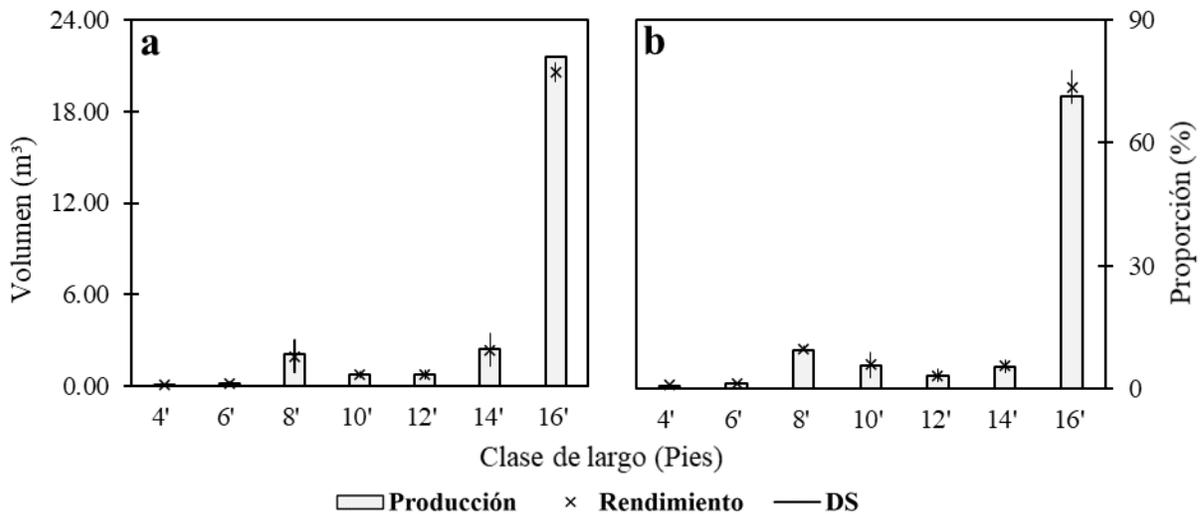


Figura 3. Frecuencia volumétrica media en la producción de largo nominal, proporción (rendimiento) de los productos y desviación estándar (DS) de la misma; a) aserraderos modernos y b) aserraderos tradicionales.

Discusión

Al analizar las características dimensionales de la materia prima, Zavala y Hernández (2000) mencionan que no encontraron un incremento del coeficiente de aserrío en función del diámetro y calidad de las trozas. Nájera et al. (2012b) determinaron el rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México; en su investigación concluyen que el rendimiento en madera aserrada no es afectado por el diámetro, pero sí por el largo y conicidad de las trozas. Grigsby et al. (2015) mencionan que las características dimensionales y alta calidad de la troza resultan en mejores beneficios económicos. Por su parte, Murara, Pereira y Timofeiczky (2005) evaluaron dos sistemas de aserrío en función del diámetro de la trocería, comprobaron que el rendimiento es afectado por el sistema de aserrío, en el

sistema tradicional no observaron un aumento del rendimiento con el incremento del diámetro de la troza, pero con un sistema optimizado el rendimiento mejoró a medida que aumentó el diámetro de las trozas. Sin embargo, Vaughan, Mackes y Webb (2018) y Fekiač, Gáborík y Vojtkuliak (2021) indica que el deterioro continuo de la materia prima en campo puede afectar el rendimiento potencial y la calidad de los productos forestales obtenidos; asimismo, Monserud, Parry y Todoroki (2004) mencionan que, en la industria de los aserraderos, los troncos torcidos o curvos presentan un rendimiento potencialmente menor.

Resultados manifestados en algunas investigaciones coinciden con lo descrito en este trabajo. Al considerar un valor p de 0.0842 en el contraste de diámetro de la troza, los resultados indican que el diámetro de la trocería no es un factor que afecte el coeficiente de aprovechamiento de madera aserrada; asimismo, la conicidad no influye en el rendimiento de aserrío entre tipo de tecnología empleada, con un valor p de 0.6620 en el contraste realizado.

En cuanto al rendimiento por aserraderos de sierra banda (tradicionales en este estudio), Gatto, Santini, Haselein, Durlo y Calegari (2005) evaluaron micro y pequeños aserraderos con baja industrialización en Brasil, encontraron que muchos aspectos tecnológicos se desconocen o se descuidan, lo que ocasiona un mal manejo de la materia prima, bajo rendimiento y baja calidad de los productos finales. Por su parte, Ortiz, Martínez, Vázquez y Juárez (2016) realizaron un amplio estudio en un aserradero tradicional en el estado de Oaxaca, calcularon un coeficiente de aprovechamiento del 44.18 % al considerar un volumen con corteza y 48.27 % sin corteza; asimismo, indican que se observó un incremento directo del coeficiente de aserrío en función del diámetro de las trozas y un mayor rendimiento en menor conicidad.

En cuanto a los aserraderos de corte fino (modernos en este estudio), Kehinde, Awoyemi, Omonona y Akande (2010) evaluaron 170 aserraderos de pequeña (aserraderos portátiles) y mediana escala (similares a los del presente estudio) en Nigeria, encontraron una tasa de conversión de trozas de aproximadamente 58.00 %, sin embargo, los resultados indican que los aserraderos de mediana escala son más

eficientes que los de pequeña escala. Hyytiäinen, Viitanen y Mutanen (2011) estimaron un coeficiente de aserrío del 61 al 66 % en la producción de los aserraderos privados de mediana escala finlandeses, lo que representa una productividad heterogénea; adicionalmente, indican que es posible aumentar la producción al integrar el uso de la tecnología de transformación actual. Adicionalmente, Borz, Oghnoum, Marcu, Lorincz y Proto (2021) evaluaron el aprovechamiento de abeto noruego (*Picea abies* Lam. (Limk.)) y abeto plateado (*Abies alba* Mill.) en un aserradero de pequeña escala en Rumania, consideraron la transformación de 26 m³ de madera en rollo, lo que resultó en un volumen de madera aserrada de aproximadamente 18 m³, esto representó un rendimiento de aserrado que varió ampliamente entre 38.80 y 95.00 % por troza, con un promedio de aproximadamente 69.00 %.

Los resultados encontrados en otras investigaciones son consistentes con lo descrito en el presente estudio, a excepción del trabajo desarrollado por Oghnoum, Marcu, Lorincz y Proto (2021), cuyo equipo supera el rendimiento de las industrias modernas evaluadas por 8.00 % aproximadamente. De acuerdo con estos trabajos, la materia prima, el conocimiento de los operarios, la capacidad de los equipos de aserrado y la tecnología empleada son variables que influyen en la productividad y eficiencia de las industrias.

El rendimiento por grueso nominal respecto al coeficiente de conversión (60.93 %), se encontró que las industrias modernas concentran su producción en el grueso de 22.23 mm con una media de 34.76 %, seguido por 31.75 mm con 13.00 % y la medida de 38.1 mm presenta una producción del 5.89 %. De forma similar, las industrias tradicionales con un coeficiente de aserrado del 53.09 %, principalmente producen grueso nominal de 22.23 mm con una media de 20.88 %, seguido por 31.75 mm con 8.04 % y 38.1 mm representa 12.52 % del total. En este estudio se encontró que la distribución porcentual de los productos es similar a lo descrito por Nájera et al. (2011b), quienes observaron que la producción de madera aserrada en la región de El Salto se concentra en el grueso nominal de 22.23 mm con 22.40 % del volumen total aserrado, seguido por el de 31.75 mm con 13.90 % y 38.1 mm con 7.50 %; estos valores son en función de un coeficiente de aserrado del 57.50 %.

En cuanto al rendimiento en ancho, Ortiz, Martínez, Vázquez y Juárez (2016) encontraron que el ancho de 304.80 mm sobresale con el 54.18 %, los anchos nominales de 152.40, 203.20 y 254.00 mm representan el 40.30 %, mientras que el de 101.6 mm solo representa el 5.50 %. Caso contrario a lo descrito en este estudio, donde se encontró que la producción se concentra principalmente en las dimensiones inferiores. En las industrias modernas el rendimiento volumétrico por ancho nominal sobresale la producción de 101.60, 152.40 y 203.20 mm con 83.83 %, los anchos nominales de 254.00 y 304.80 mm sólo representan en conjunto el 16.17 %. De igual manera, las industrias tradicionales principalmente producen los anchos nominales de 101.60, 152.40 y 203.20 mm con una producción del 91.53 %. La distribución de estos productos está relacionada principalmente con el diámetro medio de la trocería (≈ 30 cm) y con los requerimientos del mercado.

Con respecto a la distribución del rendimiento volumétrico por largo nominal, Nájera et al. (2011b) encontraron que el largo de 4.87 m tuvo el valor más alto con 27.20 % del volumen total aserrado, respecto a un rendimiento de aserrado del 57.50 %. En esta investigación se determinó que los aserraderos modernos (rendimiento 60.93 %) presentaron una producción media del 46.96 % en la madera de 4.87 m; el promedio estimado por parte de los aserraderos tradicionales (rendimiento 53.09 %) presenta valores similares a lo descrito anteriormente, el largo de 4.87 m representa el 39.09 % del rendimiento total. Esto se debe a que la mayor parte de la materia prima que se abastece en el norte de México corresponde a largo de 16 pies más refuerzo.

Conclusiones

Los aserraderos modernos presentaron un coeficiente de aserrado sin corteza promedio del 60.93 %; por otra parte, en los aserraderos tradicionales se estimó un coeficiente de aprovechamiento sin corteza promedio de 53.09 %. En rendimiento sin corteza se obtuvieron diferencias significativas, al presentar un valor p de 0.0074 al contrastar el tipo de tecnología empleada.

Las categorías de grueso, ancho y largo nominal presentan diferencias significativas en la mayoría de los productos generados. La distribución de grueso nominal indica que la madera de 88.90 mm es la que presenta las diferencias más importantes de

producción en función del tipo de industria, sin embargo, la diferencia es no significativa ($p = 0.345$). En cuanto al ancho nominal, no existen diferencias significativas en los principales anchos nominales (101.60, 152.40 y 203.20 mm), con valores p de 0.484, 0.477 y 0.237 respectivamente. Por último, los largos de 2.44 a 4.88 m (madera de largas dimensiones) no presentaron diferencias significativas por largo producido en el proceso de aserrado, con valores p de 0.457, 0.187, 0.739, 0.360 y 0.297.

De acuerdo con este estudio y lo descrito por otros autores, la materia prima, el conocimiento de los operarios, la capacidad de los equipos de aserrado, la tecnología empleada y las necesidades del mercado, son variables que influyen en la productividad y eficiencia de las industrias del aserrío.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

- Borz, S. A., Oghnoum, M., Marcu, M. V., Lorincz, A. y 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>.
- Cardenas, E., Orellana, L. H., Konstantinidis, K. T. y Mohn, W. W. (2018). Effects of timber harvesting on the genetic potential for carbon and nitrogen cycling in five North American forest ecozones. *Scientific Reports*, 8(1), 3142. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21197-0>.
- Fekiač, J., Gáborík, J. y Vojtkuliak, M. (2021). Properties of Plywood Made from Perforated Veneers. *Forests*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/f12121709>.
- Gatto, D. A., Santini, E. J., Haselein, C. R., Durlo, M. A. y Calegari, L. (2005). Produção madeireira na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 15(2): 177-189. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1835/1099>.

- Grigsby, W. J., Carpenter, J. E. P., Thumm, A., Sargent, R. y Hati, N. (2015). Labile Extractable Urea-Formaldehyde Resin Components from Medium-Density Fiberboard*. *Forest Products Journal*, 65(1-2), 15-19. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00030>.
- 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. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2012.2.a07>.
- Hetemäki, L. y Hurmekoski, E. (2016). Forest Products Markets under Change: Review and Research Implications. *Current Forestry Reports*, 2(3): 177-188. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0042-z>.
- Holzfeind, T., Kanzian, C. y Gronalt, M. (2021). Challenging agent-based simulation for forest operations to optimize the European cable yarding and transport supply chain. *International Journal of Forest Engineering*, 32(1), 77-90. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1850074>.
- Husch, B., Beers, T. W. y Kershaw, J. A. (2003). *Forest Mensuration. Fourth edition*. New York, N.Y., U.S.A.: John Wiley and Sons, Inc.
- Hyytiäinen, A., Viitanen, J. y Mutanen, A. (2011). Production efficiency of independent Finnish sawmills in the 2000's. *Baltic Forestry*, 17(2): 280-287.
- Kehinde, A. L., Awoyemi, T. T., Omonona, B. T. y Akande, J. A. (2010). Technical efficiency of sawnwood production in Ondo and Osun states, Nigeria. *Journal of Forest Economics*, 16(1): 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2009.04.001>.
- Lähtinen, K., Toppinen, A., Mikkilä, M., Toivio, M. y Suur-Uski, O. (2016). Corporate responsibility reporting in promoting social license to operate in forestry and sawmilling industries. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89(5): 525–541. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpv055>.
- Lauri, P., Forsell, N., Di Fulvio, F., Snäll, T. y Havlik, P. (2021). Material substitution between coniferous, non-coniferous and recycled biomass – Impacts on forest

- industry raw material use and regional competitiveness. *Forest Policy and Economics*, 132: 102588. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102588>.
- Lundmark, R., Lundgren, T., Olofsson, E. y Zhou, W. (2021). Meeting Challenges in Forestry: Improving Performance and Competitiveness. *Forests*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/f12020208>.
- Makkonen, M. (2018). Stakeholder perspectives on the business potential of digitalization in the wood products industry. *BioProducts Business*, 3(6): 63-80. <https://doi.org/10.22382/bpb-2018-006>.
- 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/rf.v44i4.26537>.
- Melo, L., Silva, C., Lopes, K., Brito, P. y Santos, I. (2012). Resíduos de Serraria no Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada. *Floresta e Ambiente*, 19(1): 113-116. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2012.012>.
- Monserud, R. A., Parry, D. L. y Todoroki, C. L. (2004). Recovery from simulated sawn logs with sweep. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 34(2): 190-205. https://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0003/59160/05_Monserud_Todoroki.pdf (12 de marzo de 2022).
- Murara, M. I., Pereira, M. y Timofeiczky, R. (2005). Rendimiento em madeira serrada de Pinus taeda para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, 35(3): 473-483. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v35i3.5186>.
- Nájera, J. A., Adame, G. H., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F. J. y Aguirre, C. G. (2012b). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (55) 11-23. <https://investigacion.uaa.mx/RevistaIyC/archivo/revista55/Articulo%202.pdf>.

- Nájera, J. A., Aguirre, O. A., Treviño, E., Jiménez, J., Jurado, E., Corral, J. J. y Vargas, B. (2011b). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 77-92. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i4.610>.
- 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/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>.
- Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. y Nájera-Luna, J. (2022). Productividad del abastecimiento e industrialización maderable en el ejido Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13 (71): 133-158. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i71.1142>.
- 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. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v15/OK%2010%20costos.pdf>.
- Sheppard, J. P., Chamberlain, J., Agúndez, D., Bhattacharya, P., Chirwa, P. W., Gontcharov, A., Sagona, W. C. J., Shen, H.-I., Tadesse, W. y Mutke, S. (2020). Sustainable Forest Management Beyond the Timber-Oriented Status Quo: Transitioning to Co-production of Timber and Non-wood Forest Products—a Global Perspective. *Current Forestry Reports*, 6(1), 26-40. <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00107-1>.
- Stragliotto, M. C., Melo, J., Costa, A. y Corradi, B. L. (2019). Yield in sawn wood and residue utilization of qualea Paraensis ducke and Erisma uncinatum warm. *Floresta*, 49(2): 257-266. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v49i2.57284>.

- Townsend, L., Dodson, E., Anderson, N., Worley-Hood, G. y Goodburn, J. (2019). Harvesting forest biomass in the US southern Rocky Mountains: cost and production rates of five ground-based forest operations. *International Journal of Forest Engineering*, 30(2), 163-172. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1563851>.
- Tymendorf, Ł. y Trzciński, G. (2020). Multi-Factorial Load Analysis of Pine Sawlogs in Transport to Sawmill. *Forests*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/f11040366>.
- Vaughan, D., Mackes, K. y Webb, J. B. (2018). Time-Since-Death and Its Effect on Wood from Beetle-Killed Engelmann Spruce in Southwest Colorado. *Forest Science*, 64(3): 316–323. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxx017>.
- 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. https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nrs_2007_wiedenbeck_001.pdf.
- 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>.

**CAPÍTULO VII. CONTRASTE DEL RENDIMIENTO DE ASERRADO E INGRESOS
ECONÓMICOS EN ASERRADEROS TRADICIONALES Y MODERNOS EN EL
NORTE DE MÉXICO
(Enviado a Madera y Bosques)**

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-Calderón², Eduardo Alanís-Rodríguez², Javier Jiménez-Pérez², Eduardo Treviño-Garza², Juan Abel Nájera-Luna³, Jose Iniguez⁴

¹Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional 85, Km 145, Linares 67700, México

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional 85, Km 145, Linares 67700, México

³Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de El Salto (ITES). Mesa del Tecnológico s/n., El Salto 34942, México

⁴USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2500 S. Pine Knoll Drive, Flagstaff, AZ 86001, USA

*Autor para correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos luego de un análisis de contraste de cuatro aserraderos ubicados en el estado de Chihuahua. Se evaluaron los aserraderos modernos de los ejidos Tónachi, Tetahuichi, Santa Anita y el aserradero tradicional de la empresa Productos Peinado con el objetivo de determinar las diferencias estadísticas en el coeficiente de aserrado, rendimiento del producto e ingresos obtenidos por la venta de la madera y residuos sólidos. Mediante un análisis de contraste de medias en pruebas T, se encontró que el promedio del coeficiente de aserrío de los ejidos (53.32 %) fue estadísticamente diferente ($p = 0.008$) al promedio de Productos Peinado (45.82 %). Asimismo, el aserrín promedio generado por las industrias ejidales fue de 17.92% y de la empresa privada 25.00%, con un valor de p de 0.009, esta diferencia se atribuye al calibre promedio de las sierras utilizadas, 1.05 y 1.6 mm respectivamente. Adicionalmente, los principales ingresos que reciben las empresas presentan diferencias estadísticas en la prueba de contraste, la venta de productos primarios estuvo representada por tres variables (tabla, tablón y viga), donde

Productos Peinado obtuvo un ingreso de 1 649.62 USD y los ejidos 2 209.39 USD en promedio, esto se debe al bajo rendimiento de madera que presenta la empresa en particular, estos ingresos representan diferencias en un valor de $p = 0.012$. 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.

Palabras clave: aserradero tradicional, aserradero moderno, coeficiente de aserrío, rendimiento, ingresos.

Abstract

This article presents the results obtained after a contrast analysis of four sawmills located in the state of Chihuahua. The modern sawmills of the Tónachi, Tetahuichi, Santa Anita ejidos and the traditional sawmill of the Productos Peinado company were evaluated with the objective of determining the statistical differences in the sawing coefficient, product yield and income obtained from the sale of wood and Solid waste. Through a contrast analysis of means in T tests, it was found that the average of the sawmill coefficient of the commons (53.32%) was statistically different ($p = 0.008$) from the average of Combed Products (45.82%). Likewise, the average sawdust generated by ejido industries was 17.92% and 25.00% by private companies, presenting a p value of 0.009. This difference is attributed to the average caliber of the saws used, 1.05 and 1.6 mm respectively. Additionally, the main income received by the companies present statistical differences in the contrast test, the sale of primary products was represented by three variables (table, plank and beam), where Productos Peinado obtained an income of 1 649.62 USD and the ejidos 2 209.39 USD on average, this is due to the low yield of wood presented by the company in particular, these incomes represent differences in a value of $p = 0.012$. The solid residues that presented differences were the broomstick and firewood with p values of 0.030 and 0.000 respectively.

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

Introducción

A nivel microempresarial, la transformación de madera en rollo en 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 (SEMARNAT, 2020). De acuerdo con Flores-Velázquez et al. (2007) históricamente la producción de madera ha estado geográficamente concentrada en el estado de Chihuahua, Durango y Michoacán (Ortíz 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, Pérez-Torres, y Sánchez-Rojas, 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, Machado y Ferreira 1989). García, Morales y Valencia (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 (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, Reyes-Inca y Bocanegra-Dávila, 1993). Nájera et al. (2011b) 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 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) Identificar los tipos de productos y subproductos generados en la industria maderera, estimar su distribución volumétrica y determinar su valor económico. 2) Comparar la producción de aserraderos tradicionales y modernos en función del coeficiente de aserrado, el rendimiento total del producto y los ingresos económicos generados.

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 1 400 y los 2 700 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2014). El clima predominante en la

región es semifrío húmedo con una temperatura media anual entre 5° 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 aserradero. El primer tipo, a menudo denominado "aserradero de sierra banda", 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 denominada "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" ubicado en la ciudad de Guachochi, Chihuahua. De igual manera, también 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 1 473 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. 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. 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	Tecnología
Productos Peinado	Sierra banda	Unidireccional	230 x 1.6 mm	Tradicional
Ejido Tónachi	Select 4221	Bidireccional	152 x 1.2 mm	Modern
	Dimsa GRHZ		32 x 1 mm	
Ejido Tetahuichi	Baker 3650E	Unidireccional	38 x 1 mm	Modern
	Baker CX		32 x 1 mm	
Ejido Santa Anita	Mebor HTZ1100	Bidireccional	140 x 1.1 mm	Modern
	Dimsa GRHZ		32 x 1 mm	

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 m³ rollo (m³ r) con corteza y 181,74 m³ 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	Std.	Media	Std.	Media	Std.	Media	Std.
*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

*Denota el aserradero tradicional de sierra banda; ^ Denota los aserraderos modernos de corte fino horizontal.

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; Ortíz et al., 2016):

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

Donde:

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

VA = Volumen de madera en escuadría generada tras el proceso de aserrado (m³).

VRsc = Volumen de madera en rollo sin corteza (m³).

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., 2011b):

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

Donde:

R = Rendimiento de aserrado.

PV = Volumen del producto obtenido tras el proceso de aserrado (m³).

VRsc = Volumen de madera en rollo sin corteza (m³).

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

empaquete (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 2021 (20.45 MXN por 1.00 USD) (BANXICO, 2021).

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 (IBM Corp, 2017).

Resultados

Coefficiente 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 y un rendimiento de 231.14 pies tabla (pt) por m³ de troncos de pino; esto representa un coeficiente de aserrado del 45.67 % al considerar el volumen inicial de trozas con corteza y del 51.45 % sin corteza, lo que significa que la influencia de la corteza disminuye el coeficiente de aprovechamiento un 5.98 %.

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 205.04 pt por m³ 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 factor de conversión de 52.63%, lo que resultó en 26.06 m³ de madera y 235.51 pt por m³ 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 244.49 pt por m³. 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 52.72% y una productividad de 235.89 pt por m³ de madera en rollo industrializada en el proceso aserrado.

El 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 3 1/2 pulgadas. La mayor longitud promedio (5 159.66 mm) facilitó más productos de longitud nominal de 16 pies. Este aserradero también produjo el valor más bajo en términos de conicidad o ahusamiento del tronco (Cuadro 2), lo que resultó en una mayor utilización 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 de más cortas y variables (4 783.19 mm) y mayor conicidad (1.45). Además, este aserradero no genera vigas de 3 1/2 pulgadas que permitirían aumentar los rendimientos debido a los mayores espesores nominales.

Rendimiento volumétrico por espesor nominal

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 el 11.88% y la de 38.10 mm (6/4") tablones que representan el 1.98% de la producción total. Finalmente, las vigas (3 1/2") representan el 3.54% del volumen total aserrado dentro de estos centros de transformación. Así, por cada metro cúbico de materia prima de madera en rollo aserrada, se tiene un rendimiento de 147.45 pt con espesor nominal de 7/8", 50.26 pt de 5/4", 8.78 pt de tablones de 6/4" y 17.52 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 (3 1/2”).

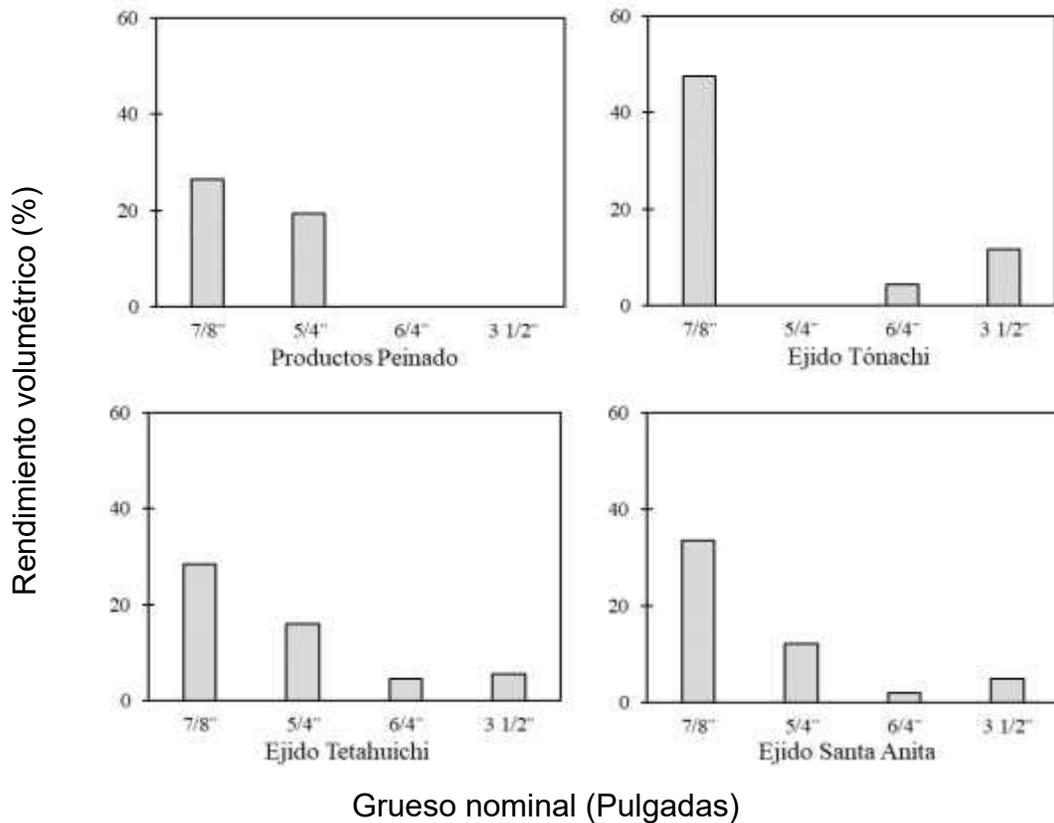


Figura 1. Rendimiento de las clases de diámetro nominal de la madera generada dentro de cada aserradero.

Rendimiento volumétrico por ancho nominal

El rendimiento volumétrico general por ancho nominal se muestra en la Figura 2, donde la categoría de 8" se compone del 16.72% de la producción, el ancho nominal de 6" representa el 15.78% y las categorías de ancho nominal de 4, 10 y 12 pulgadas representan el 18.96 % de la producción total. Con base en esta información se estima que por cada metro cúbico de madera en rollo resulta la producción de 82.84 pt de 4" de ancho nominal; 137.21 pt de madera de 6" de ancho; 145.40 pt en el ancho de 8"; 65.96 pt en 10" de ancho y 16.07 pt en 12" de ancho.

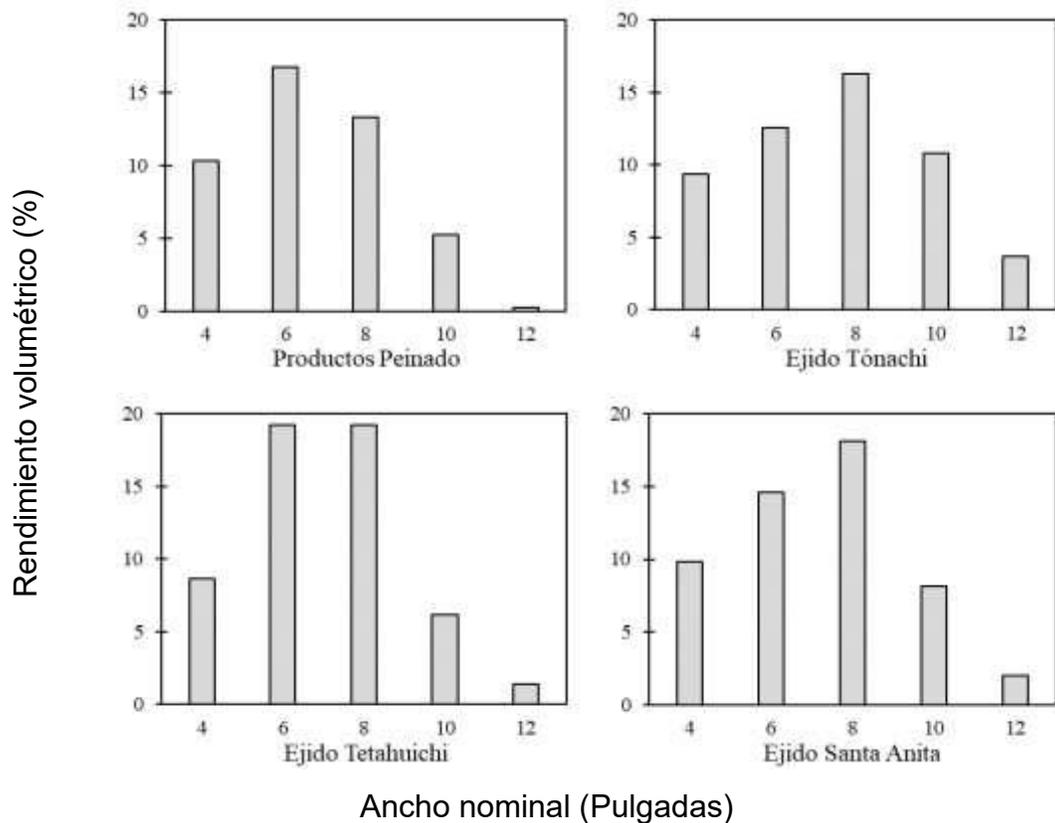
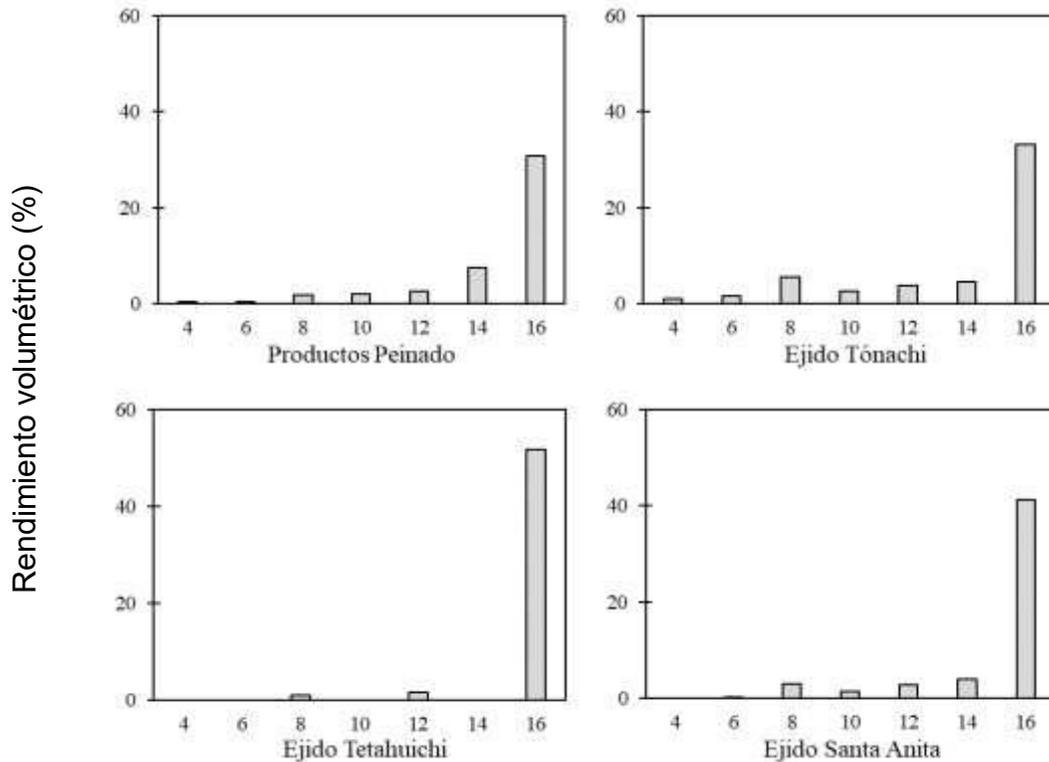


Figura 2. Distribución del rendimiento de clases de ancho nominal en madera aserrada generada en los aserraderos analizados.

Rendimiento volumétrico por longitud nominal

La distribución del rendimiento volumétrico por longitud nominal varió de 4' a 16', con piezas de madera de 16' (4.87 m) lo que resulta en el valor más alto representando el 39.32% del volumen aserrado total (Figura 3). Los largos que produjeron menor volumen corresponden a 4' y 6' (1.22 y 1.83 m) lo que representa 0.35 y 0.54% respectivamente. Todos los aserraderos tienen la distribución de longitudes nominales en promedio por un metro cúbico de madera en rollo genera 3.04 pt en longitudes de 4'; 4.68 pt en longitudes de 6'; 25.12 pt en longitudes de 8'; 13.49 pt en longitudes de 10'; 23.78 pt en longitudes de 12'; 35.42 pt con 14' de longitud y 341.94 pt con 16' de longitud. En general, los ejidos y la empresa Productos Peinado generan principalmente madera de 16 pies de largo; por su parte, el ejido Tetahuichi es la única empresa que no genera productos de 4, 6, 10 y 14 pies de largo.



Largo nominal (Pies)

Figura 3. Rendimientos de madera aserrada por clases de longitud nominal en la generada en los aserraderos analizados.

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 reportó la cantidad de productos secundarios generados, se estimó un volumen total de 4.57 m³ transformados en cajas habilitadas para empaque agrícola (tableta), equivalente al 2.51% del rendimiento total. Por su parte, los productos de palo de escoba (palillo) generaron un volumen final de 6.13 m³, lo que representa el 3.37% del rendimiento total. El aserradero tradicional Productos Peinado fue el que

produjo el mayor volumen de cajas de madera con 1.13 m³. El aserradero moderno del ejido Tetahuichi tuvo la mayor producción de palos de escoba con 1.86 m³ (Figura 4).

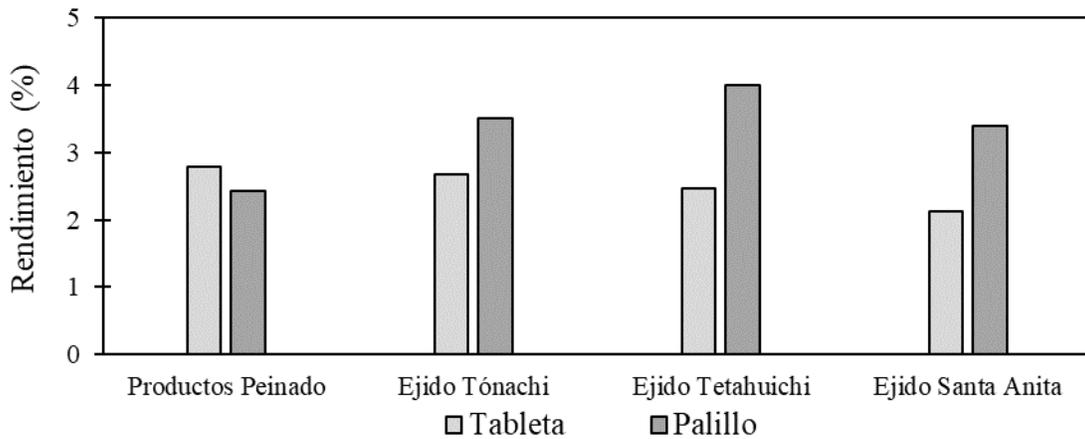


Figure 4. Rendimiento de habilitado para caja de empaque y palo para escoba de los aserraderos evaluados.

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 bioenergía. La corteza asociada a la troza de pino representa el 11.63% del volumen total. El ejido Tónachi generó un 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 el 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 el 16.58% del volumen total de producción. Por tanto, en conjunto, las empresas generaron un rendimiento de aserrín del 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 el 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 el 4.40% (1,77 m³) del rendimiento en Productos Peinado (Figura 5).

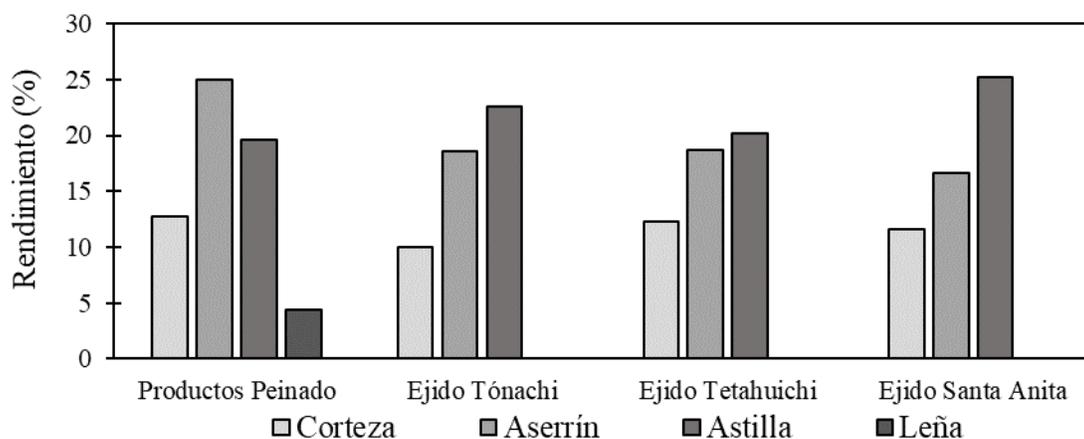


Figura 5. Rendimiento de partículas y residuos sólidos en los aserraderos evaluados en base al volumen total de producción.

Contraste de productos y residuos sólidos

Según el análisis de varianza mediante la prueba de t de Student, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cinco de las 10 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% del coeficiente de aserrado. 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 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 fueron diferentes 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.

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

Variable	Aserradero	Media	LI (95)	LS (95)	T	p
Coefficiente de aserrado	Tradicional	0.46	-0.103	-0.047	-11.457	0.008
	Modernos	0.53				
Tablas (7/82")	Tradicional	0.46	-0.041	0.038	-0.163	0.886
	Modernos	0.46				
Tablón (5/4 y 6/4")	Tradicional	0.00	-0.068	0.015	-2.746	0.111
	Modernos	0.03				
Vigas (3 1/2")	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				

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 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).

Tabla 5. Ingresos monetarios de producción secundaria para 4 aserraderos en Chihuahua México.

Aserradero	Caja de empaque	Ingreso	Palillo	Ingreso
	Piezas	(USD)	Piezas	(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

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 sólo Productos Peinado obtiene ingresos por la venta de leña y obtenidos por la venta de aserrín (la sierra es un 65.62% más gruesa que la media del resto).

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

Aserradero	Corteza	Ingreso	Aserrín	Ingreso	Astilla	Ingreso	Leña	Ingreso
	m ³	(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	-	-

Contraste del ingreso monetario

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre cinco de las 10 variables del producto evaluadas. Los productos primarios aserrados fueron los que representaron las principales diferencias estadísticas, las tablas (7/8") se generaron en todas las industrias, los tablones (5/4 y 6/4") y la viga (3 1/2") 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 7. Análisis comparativo de los ingresos obtenidos entre aserradero tradicional y tres aserraderos modernos.

Variable	Aserradero	Media (%)	LI (95)	LS (95)	T	p
Tablas (7/82")	Tradicional	1 662.02	-834.77	-293.18	-0.44	0.012
	Modernos	2 225.99				
Tablón (5/4 y 6/4")	Tradicional	0.00	-351.12	80.06	-0.13	0.015
	Modernos	135.53				
Vigas (3 1/2")	Tradicional	0.00	-279.79	-90.25	-0.41	0.014
	Modernos	185.02				
Tableta	Tradicional	44.80	-27.95	14.29	-0.07	0.299
	Modernos	51.63				
Palillo	Tradicional	54.06	-65.88	-8.91	-0.28	0.0300
	Modernos	91.46				
Corteza	Tradicional	10.10	-2.35	1.93	-0.02	0.715
	Modernos	10.31				
Aserrín	Tradicional	24.83	-1.06	9.04	0.17	0.077
	Modernos	20.84				
Astilla	Tradicional	46.59	-33.47	0.31	-0.21	0.052
	Modernos	63.17				
Leña	Tradicional	27.95	27.95	27.95	8.77E+21	0.000
	Modernos	0.00				

Discusión

Basado en un aserradero tradicional en el estado de Durango, Nájera et al. (2012) reportaron 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) reportó 43.00% de rendimiento de madera en base a 1 328 trozas de pino procesadas. Finalmente, Borz et al. (2021) evaluaron la cosecha de píceas 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 de 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 205.04 pt por m³ 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 244.49 pt por m³ de madera en rollo. Estos resultados son similares a los encontrados en otros estudios, con la excepción del trabajo realizado por el equipo rumano, cuyo equipo 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 son de mayor dimensión que las trozas involucradas en el proceso de aserrado efectuado por este análisis.

Manhica, Pereira da Rocha y Júnior (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, Sánchez-Medrano y Méndez-González (2013) encontraron que la conicidad de las trozas de diámetro pequeño no tiene un efecto directo sobre el rendimiento maderable. Como se describe en esta investigación, el coeficiente de aserrado se ve afectado por diferentes factores, uno de los cuales es la conicidad o ahusamiento del tronco, las características de la materia prima, el diámetro y la calidad de los troncos. Sin embargo, la conicidad del mismo fue un factor importante en la productividad maderera de los aserraderos. Por su parte, 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, Rojas y Segurado (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 a su diámetro y longitud, sin embargo, no clasifican de acuerdo a 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.

En comparación con otros estudios, los resultados de este estudio varían según el espesor nominal de la madera. En comparación, Nájera et al. (2011b) reportan 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 38.1 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 rendimiento de ancho nominal proviene principalmente de madera de 12 pulgadas, que comprende el 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 6", 8" y 10" representan el 40.30%, mientras que los de 4" representan solo el 5.50%. En comparación, esta investigación encontró que las categorías de 6 y 8" representan el 63.15% de la producción, mientras que las categorías de ancho nominal de 4, 10 y 12" representan el 36.84% de la producción, 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 ocho pies y el estado de Chihuahua de 16 pies 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. (2011b), el porcentaje promedio de generación de residuos se estima en 42.50 %. De igual forma, Ortiz et al. (2016) reportaron un 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, el cual es un equipo más eficiente, ya que genera menor volumen de residuos.

Alcântara 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 nuestros resultados, el estudio 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 del 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 principalmente 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 un 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 tableros de madera laminada, madera contrachapada y madera laminada. Además, las vigas tienen el mayor valor de mercado, mientras que los productos 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, Tana y ÅF-Industri (2012) mencionan que, durante el procesamiento de la madera en rollo, alrededor del 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, el 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 permite 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, por otro lado, los aserraderos tradicionales cumplen con su principal objetivo, sin embargo, es necesario buscar y aplicar alternativas que permitan incrementar 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 el 2.13 y el 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. y de Freitas, L. C. (2012). Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. *Floresta e Ambiente*, 19(4): 506-510.
<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.051>.
- Balderrama-Castañeda, S., Luján-Álvarez, C., Lewis, D. K., Ortega-Gutiérrez, J. A., de Jong, B. y 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). (2021). *Sistema de Información Económica*. Retrieved from Expectativas del Tipo de Cambio al Cierre del Año 2021:
<https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=24&accion=consultarCuadroAnalitico&idCuadro=CA241&locale=es>
- Biasi, C. P. y Pereira da Rocha, M. (2007). Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais . *Floresta*, 37(1): 95-108.
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i1.7845>.
- Borz, S. A., Oghnoum, M., Marcu, M. V., Lorincz, A. y 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. y 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. y Cassella, N. (2019). Analysis of wood products from an added value perspective: The Uruguayan forestry case.

- Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(3): 305-316. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000303>.
- Ferreira, S., Lima, J. T., da Silva, S. C. y 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. y 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. https://www.researchgate.net/publication/338111423_Sistema_de_planeacion_para_la_produccion_de_madera_aserrada.
- Flores-Velázquez, R., Serrano-Gálvez, E., Palacio-Muñoz, V. H. y 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. y 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. y Valencia, S. (2001). *Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco*. Saltillo, Coahuila, México: UAAAN. Nota técnica No. 5. 12 p.
- Gonçalves, A. L., Negrão, A., Silva, S. y 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. y 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. y 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. y Kershaw Jr., J. A. (2003). *Forest Mensuration. Fourth edition*. New York, N.Y., U.S.A.: John Wiley and Sons, Inc.
- IBM Corp. (2017). IBM SPSS Statistics para Windows, versión 25.0. Armonk, Nueva York: IBM Corp.
- 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/reccat/edafologia/vectorial_serieii.aspx.
- Leyva, I., Álvarez, D., La O, Y., Céspedes, G. y Segurado, Y. (2020). Rendimiento y calidad dimensional de la madera aserrada de *Samanea saman* Jacq. en el Aserradero de la Empresa Agroforestal 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. y 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. y 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. y 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/tjfn/article/view/217006>.

- Manhiça, A. A., Pereira da Rocha, M. y Júnior, R. T. (2012). Rendimiento no desdoble de Pinus sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. *Floresta*, 42(2): 409-420. <http://dx.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. <http://dx.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. y Vargas, B. (2011b). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 77-91. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n4/v2n4a7.pdf>.
- Nájera, J. A., Rodríguez, I., Méndez, J., Graciano, J., Rosas, 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.
- Nájera, J., Adame, G. H., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F. J. y 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. y Méndez-Gonzalez, J. (2013). Short communication. Lumber yield and production time in sawmilling of pallets in Durango, Mexico. *Forest Systems*, 22(3): 573-577. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2013223-02693>.
- Ortíz, R., Martínez, S., 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://www.redalyc.org/jatsRepo/4239/423943446006/html/index.html>.
- Quirós, R., Chinchilla, O. y 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., . . . 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. y López-Daumas, G. (2020). Incremento de la rentabilidad de la industria forestal en el Ejido Aboreachi, Chihuahua, México. *Custos e @gronegocio 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*. Ixtlán de Juárez, Oaxaca: Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2017*. Ciudad de México, CDMX: 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. y 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. y Koehler, S. H. (2007). Quantificação de resíduos no desdobro de *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) O. Kuntze. *Floresta*, 37(3): 387-398.
<http://dx.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. y Coronado-Domínguez, H. A. (2018). *Actualización del Estudio de la Cuenca de Abasto de la Región Sur del estado de Chihuahua, Mex.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:1d5fgEpCnWcJ:https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/seif_chihuahua/component/phocadownload/category/5-cuencas-abastecimiento%3Fdownload%3D52:descargar-estu.
- Vital, B. R., Machado, A. y 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. 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>.

CAPÍTULO VIII. RENDIMIENTO DE MADERA ASERRADA Y DISTRIBUCIÓN DE CLASES DE PINO EN FUNCIÓN DE LA ESPECIE Y CALIDAD DE LA TROZA
(Publicado en Colombia Forestal)

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J. & Nájera-Luna, J. A. (2023). Rendimiento y distribución de clases de madera aserrada de pinos del norte de México. *Colombia Forestal*, 26(2), 60-76.
<https://doi.org/10.14483/2256201X.20082>

Rendimiento y distribución de clases de madera aserrada de pinos del norte de México

Yield and distribution of sawn wood classes of pines from northern Mexico

Rendimiento de madera aserrada en México

Sawn lumber yield in Mexico

Joel Rascón-Solano¹ <https://orcid.org/0000-0002-2541-4176>, Oscar Alberto Aguirre-Calderón^{2*} <http://orcid.org/0000-0001-5668-8869>, Eduardo Alanís-Rodríguez² <http://orcid.org/0000-0001-6294-4275>, Javier Jiménez-Pérez² <http://orcid.org/0000-0003-4684-1086>, Eduardo Javier Treviño-Garza² <http://orcid.org/0000-0002-8921-857X>, Juan Abel Nájera-Luna³ <http://orcid.org/0000-0002-3989-3323>

¹Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. Carretera Nacional #85, Km. 145, Linares, Nuevo León. C.P. 67700, Nuevo León, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de El Salto. Calle Tecnológico 101 Col. La Forestal C.P. 34942, Durango, México.

*Autor de correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx; Tel: +52 821 104 2735

Resumen

En esta investigación se planteó determinar el rendimiento de madera aserrada y distribución de clases de pino en función de la especie, dimensión y calidad de la troza. Se analizaron 101 trozas de pino, tomando datos de especie, clase, diámetro, conicidad y longitud, clasificadas con la NMX-C-359-1988. Fueron contabilizados los productos obtenidos y se clasificaron con la NMX-C-224-ONNCCE-2001, para determinar el rendimiento volumétrico por troza. Se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas, pruebas de ANOVA, prueba de Shapiro-Wilk y análisis de correlación de Pearson a significancia ≤ 0.05 . Se encontró que cuanto mayor sea el

diámetro de la troza y menor sea la conicidad, el rendimiento por clases de madera aserrada incrementa; la calidad de la troza presenta un efecto altamente significativo en la calidad de la madera aserrada. Las variables antes mencionadas, son buenos predictores para estimar el rendimiento volumétrico y proporción de clases de madera aserrada de pino.

Palabras clave: Calidad de la troza, calidad de madera, madera de pino, aserradero.

Abstract

In this research, it was proposed to determine the yield of sawn wood and distribution of pine classes depending on the species, size and quality of the log. 101 pine logs were analyzed, taking data on species, class, diameter, taper and length, classified with NMX-C-359-1988. The products obtained were counted and classified with the NMX-C-224-ONNCCE-2001, to determine the volumetric yield per log. Homogeneity of variance tests, ANOVA tests, Shapiro-Wilk test and Pearson's correlation analysis were performed at significance ≤ 0.05 . It was found that the larger the diameter of the log and the smaller the taper, the yield per class of sawn wood increases; Log quality has a highly significant effect on sawnwood quality. The aforementioned variables are good predictors to estimate the volumetric yield and proportion of classes of sawn pine wood.

Keywords: Log quality, wood quality, pine wood, sawmill.

Introducción

Los aserraderos son componentes importantes e indispensables de la cadena de suministro de madera porque conectan el flujo de conversión de materias primas en productos finitos (Grigolato, Bietresato, Asson y Cavalli, 2011; Makkonen, 2018), asimismo, la industria del aserrío es considerada una de las actividades económicas de mayor importancia en las regiones con actividad forestal maderable (Zavala y Hernández, 2000; Polanco, 2002; Hansen *et al.*, 2011; Marchesan, Rocha, Silva y Klitzke, 2014; Ortiz, Martínez, Vázquez y Juárez, 2016). El aserrado, suele ser visto por muchos como un proceso de fabricación simple, sin embargo, es un flujo de trabajo técnico bastante complejo caracterizado por una cantidad sustancial de elementos de procesamiento diferentes (Borz, Oghnoum, Marcu, Lorincz y Proto, 2021). En el sector

forestal industrial, ejemplos de recursos como lo son la calidad de la materia prima o las especies y dimensiones correctas de las materias primas, tipo de productos que demanda el mercado, la experiencia del personal y características de los equipos de transformación, son factores que añaden complejidad a la actividad maderera (Lähtinen, Haara, Leskinen y Toppinen 2008; Han y Hansen, 2016).

En cuanto a la calidad de la materia prima, Vaughan, Mackes y Webb (2018) indica que el deterioro continuo de los árboles en campo puede afectar el rendimiento potencial y la calidad de los productos forestales obtenidos. Además, para la industria de los aserraderos, los troncos torcidos o curvos presentan un rendimiento potencialmente menor (Dobie y Middleton, 1980; Monserud, Parry y Todoroki, 2004), especialmente en los aserraderos de madera blanda de funcionamiento rápido, los defectos del tronco provocan una velocidad de corte más baja en el proceso para evitar defectos en la madera dimensional (Edlund y Warensjö, 2005; Gorges, Huber, Sauter y Dormann, 2021). Zavala y Hernández (2000) mencionan que la calidad de las trozas presenta un efecto en la proporción de las calidades de la madera aserrada y en la rentabilidad del proceso de aserrío.

De acuerdo con Zhang, Gosselin y Chauret (1997) la calidad de la madera dimensionada puede definirse como todas las características y propiedades de la madera que afectan la cadena de recuperación de valor y la capacidad de servicio de los productos finales. En la construcción, las características clave de la madera aserrada son el tamaño, las propiedades mecánicas y la estabilidad dimensional en el secado (Reynolds y Holland, 2005). Para los usos finales de carpintería y mueblería, las propiedades mecánicas de la madera no suelen ser críticas, pero la apariencia de la madera y sus características de manejo son importantes (BSI, 1996), como indica la NMX-C-224-ONNCCE-2001, donde se toma en cuenta el número, tamaño y ubicación de los nudos, si los nudos están vivos, pegados o sueltos, la presencia de fracturas, rajaduras y duramen en las tablas (DGN, 2001).

Actualmente se cuenta con muy pocos estudios publicados que aborden específicamente el impacto de la calidad de los troncos y la transformación en las propiedades visuales de la madera aserrada (Macdonald, Gardiner y Mason, 2010);

en este mismo sentido, Zavala y Hernández (2000) recomiendan analizar el proceso de aserrío de la trocería de clase con la finalidad de incrementar el coeficiente de aprovechamiento de madera de clase, a través del análisis de las dimensiones de la madera aserrada que se genera. Por su parte, Thomas (2008) señala que conocer con precisión aspectos sobre el tamaño, forma y localización de defectos internos de la troza permite mejorar el valor y la calidad de la madera aserrada. Adicionalmente, es muy útil en la toma de decisiones, como en la comercialización de la trocería o la estimación de la disponibilidad de madera aserrada de una cierta calidad en determinada región (Orozco *et al.*, 2016).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el rendimiento de madera aserrada y distribución de clases de pino en función de la especie, dimensión y calidad de la troza, partiendo del análisis comparativo de *Pinus durangensis* Mtz. y *Pinus arizonica* Engelm. como las especies comerciales más importantes en el estado de Chihuahua. Fueron planteadas dos hipótesis, i) la especie, el diámetro, la conicidad y la clase de madera en rollo son variables que presentan un efecto en el rendimiento de aserrado; y ii) la distribución de clases de madera aserrada es dada por la especie, el diámetro, la conicidad y la clase de madera en rollo como variables explicativas.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

Las pruebas de aserrado se realizaron en el ejido Aboreachi municipio de Guachochi, Chihuahua, donde se cuenta con el centro de transformación de materia primas maderables en las coordenadas 27°07'31.22" N 107°18'05.35" O. El equipo de aserrío consta de un cabezal principal Wood-Mizer® modelo MW3500 de corte horizontal con volantes de 635 milímetros (mm) de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 35 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Presentan una plataforma de transformación con rodillos de nivelación, rodillos dentados traccionados, gatos de bloqueo y cadena bidireccional para girar los troncos. El calibre 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,

patrón de 16 cortes consecutivos o de referencia, con el cual se mantiene la posición original del último corte realizado.

Muestreo y tamaño de muestra

Se realizó un pre muestreo en dos aserraderos regionales y un patio de abastecimiento, en ellos se registraron 354 trozas de pino en diferentes dimensiones de largo para determinar las especies más representativas de la región de Guachochi, se tomaron datos de especie, clase, diámetros con y sin corteza, conicidad y longitud. En el proceso de experimentación se analizaron 48 trozas de *Pinus durangensis* y 53 de *Pinus arizonica*, lo anterior en función de un tamaño de muestra estimado de 33 y 38 trozas respectivamente, mediante la aplicación de una prueba piloto de 10 trozas por especie. Para estimar el número de trozas necesarias en la determinación del rendimiento y alcanzar un error de muestreo del 5.00 % y una confiabilidad del 95.00 % (Barnes, 1968). Las trozas incluidas en esta investigación tuvieron una longitud inicial fija de 16 pies más refuerzo (4.88 m), fueron seleccionadas al azar de las áreas de corta de la anualidad 2021 del ejido Aboreachi en dos periodos de extracción, tratando de tener cierta proporcionalidad en el número de trozas entre las especies estudiadas, sin considerar la calidad de las mismas para evitar sesgos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Características descriptivas de las trozas analizadas por especie.

Especie	Diámetro (cm)		Conicidad (cm)		Número de trozas por clase					Volumen sin corteza (m ³)	N
	Media	Std.	Media	Std.	1	2	3	4	5		
<i>Pinus durangensis</i> Mtz.	36.28	2.74	1.22	0.70	15	9	4	8	12	23.74	48
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	34.18	3.08	1.17	0.76	13	8	11	8	13	19.25	53

Métodos

Las trozas involucradas en la investigación tuvieron una longitud inicial fija de 16 pies más refuerzo, fueron seleccionadas al azar de las áreas de corta de la anualidad 2021 del ejido Aboreachi en dos periodos de extracción, tratando de tener cierta

proporcionalidad en el número de trozas entre las especies estudiadas, sin considerar la calidad de las mismas para evitar sesgos. Posteriormente, de acuerdo con lo recomendado por Orozco *et al.* (2016) cada troza se marcó con pintura en diversos colores para diferenciarlas e identificarlas, se midieron la longitud y los diámetros con y sin corteza en ambos extremos de cada troza. Para la clasificación de la trocería de pino se utilizó la Norma Mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988), mediante la siguiente clasificación: México 1 = primera calidad; México 2 = segunda calidad; México 3 = tercera calidad; México 4 = cuarta calidad; México 5 = quinta calidad. Una vez aserrada la madera se clasificó en las clases 2 y mejor, clase 3, clase 4, clase 5 de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-224-ONNCCE-2001 (DGN, 2001), tablón y polín, mismos productos que fueron analizados.

Análisis estadístico

El paquete estadístico IBM-SPSS versión 25 fue empleado para desarrollar los análisis de información y determinación de resultados (IBM Corp, 2017). Se evaluó la homogeneidad de las varianzas de las variables analizadas mediante las pruebas de Tukey y Levene a un valor de significancia del $p \leq 0.05$. Posteriormente, se realizaron análisis de ANOVA a un nivel de significancia del 0.05, las variables que presentaron desigualdad de varianzas fueron tratadas con test de ANOVA con corrección de Welch a un nivel de significancia ≤ 0.05 . Se tomó en cuenta el efecto de la especie, diámetro menor, conicidad y clase de trocería en el rendimiento de aserrado. También se determinó el efecto de la especie, diámetro menor, conicidad y clase de la troza en la distribución de rendimiento de clases de madera aserrada. Por último, se empleó la prueba de Shapiro-Wilks ($p \leq 0.05$) para determinar la normalidad de las observaciones incluidas en las variables de análisis, posteriormente, se realizaron análisis de coeficientes de correlación de Pearson (r) ($p \leq 0.05$) entre las variables tomadas en cuenta y el rendimiento obtenido de cada uno de los productos aserrados.

Resultados

Rendimiento de aserrado

El coeficiente de transformación promedio fue de 52.99 %, las dos especies evaluadas no mostraron diferencias estadísticas ($p = 0.8864$) en este coeficiente. La [Figura 1a](#) muestra que *Pinus durangensis* obtuvo un rendimiento de 53.19 % partiendo de un volumen de madera en rollo de 23.74 metros cúbicos en rollo (m^3r), referente a producir 225.51 pies tabla (pt) por metro cubico rollizo. Por su parte, *Pinus arizonica* alcanzó un rendimiento de aserrado de 52.79 %, equivalente a producir 10.16 metros cúbicos (m^3) de madera aserrada en función del volumen de materia prima, con esta relación se estima una producción de 223.82 $pt^{-1}m^{-3}r$.

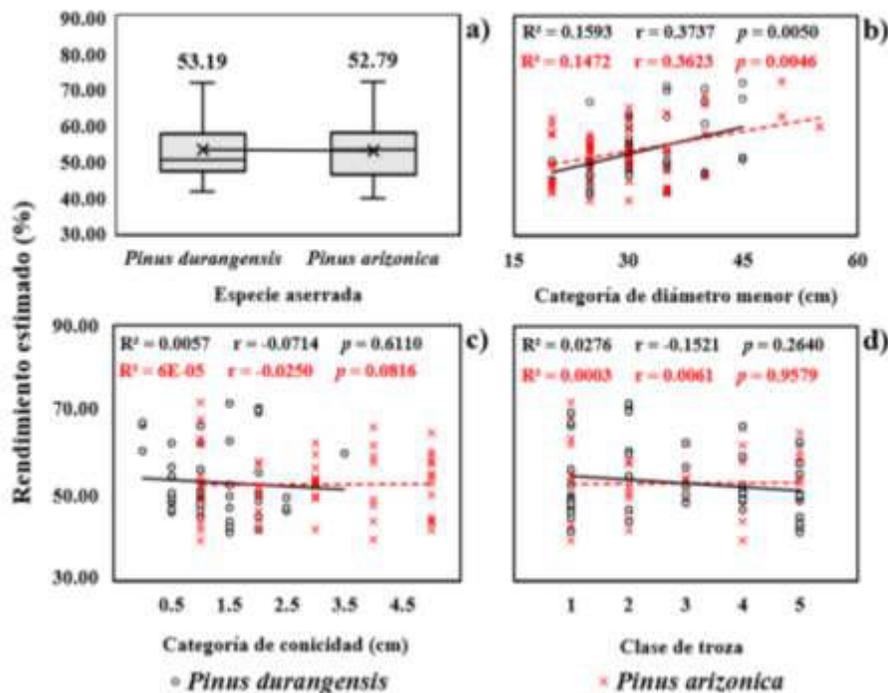


Figura 1. Demostración gráfica de la asociación de las variables con el rendimiento de asierre.

El rendimiento por diámetro menor de la troza mostró diferencias estadísticas entre las especies estudiadas con un valor p de 0.0103. El rendimiento de aserrado de *P. durangensis* presentó diferencias ($p = 0.0169$) entre las categorías de diámetro aserradas; al correlacionar las variables diámetro y rendimiento se estimó un valor r de 0.3737 y valor $p = 0.0050$, lo cual indica que conforme se incrementa el diámetro

de la troza es posible obtener un mayor porcentaje de madera aserrada (Figura 1b). Por su parte, *P. arizonica* durante el proceso de aserrado presentó diferencias ($p = 0.0233$) en el rendimiento de aserrado en función de la categoría diamétrica de las trozas; la asociación entre las variables de esta especie fue moderada con un valor $r = 0.3623$ y p de 0.0046, estos resultados indican que *P. arizonica* también presenta un incremento de rendimiento de aserrado cuando el diámetro de la troza es mayor.

P. durangensis obtuvo rangos de conicidad de 0.00 a 3.50 centímetros (cm) por metro de longitud, por su parte, *P. arizonica* obtuvo categorías de conicidad de 1.00 a 5.50 cm (Figura 1c). El análisis estadístico del coeficiente de transformación por categoría de conicidad e las trozas en función de las especies estudiadas no cuenta con diferencias significativas ($p = 0.0822$). El rendimiento de *P. durangensis* por categoría de conicidad no presentó diferencias significativas ($p = 0.1894$), sin embargo, la correlación de Pearson indica un valor $r = -0.0714$ con valor de $p = 0.6110$, al ser una relación débil negativa, se asume que el rendimiento de aserrado disminuye en función de que la conicidad de la troza aumenta. *P. arizonica* por su parte, no mostró diferencias significativas en esta relación ($p = 0.2507$), el valor de correlación fue de -0.0250 con significancia de 0.0816. En comparación, *P. durangensis* presenta con mayor claridad la disminución del rendimiento en torno al aumento de la conicidad de la trocería.

Las dos especies evaluadas no presentaron diferencias estadísticas en función del rendimiento de aserrado por clase de trocería ($p = 0.8518$), lo anterior indica que la calidad de la madera en rollo no es una variable que pueda indicar el comportamiento del coeficiente de transformación en comparación con el diámetro y la conicidad. *P. durangensis* no mostró diferencias en el rendimiento por clase de madera en rollo ($p = 0.1492$); en la Figura 1d se aprecia que la correlación de variables es de -0.1521 a una significancia de 0.2640. El resultado indica que existe una relación débil entre los factores de análisis, cuando la calidad de la troza disminuye el rendimiento tiende a ser menor, se asume que esto se debe a que la conicidad es una variable que afecta indirectamente al resultado (la clase de la troza se ve afectada por el ahusamiento de la pieza). La calidad de la madera en rollo en *P. arizonica* no es un factor que muestra

significancia en el rendimiento ($p = 0.8934$), asimismo, la correlación es no significativa con $r = 0.0061$ a un valor p de 0.9579.

Rendimiento en calidad de madera aserrada

Los resultados de las pruebas de ANOVA muestran diferencias significativas en el rendimiento medio por clase en tres de los seis productos aserrados evaluados. El análisis indica que *P. durangensis* tuvo el mayor rendimiento volumétrico en la calidad 2 y mejor con 7.01 %, la diferencia estadística estimada fue de 0.0493. *P. arizonica* presentó un mayor rendimiento de aserrado en la clase 3 con 9.36 %, el valor de p estimado para esta calidad fue de 0.0052. La distribución porcentual media de madera aserrada de calidad 4 no presentó diferencias significativas entre especies ($p = 0.1937$), se asume que esta clase no llega a mostrar diferencias estadísticas debido a que es complejo para el clasificador determinar con precisión la calidad a la que pertenece la pieza. La mayor producción media de calidad 5 corresponde a la especie *P. arizonica*, se produjo 30.92 % del volumen en torno a un coeficiente de transformación de 52.79 %, este resultado indica que las especies evaluadas difieren significativamente en el rendimiento de esta clase ($p = 0.0002$). *P. arizonica* en condiciones medias de desarrollo tiende a producir una mayor cantidad de ramificaciones en comparación con *P. durangensis*, especie que regularmente cuenta con una poda natural excepcional, lo que permite producir un mayor porcentaje de madera de calidad. Por último, la producción de tablón y polín no cuenta con diferencias estadísticamente significativas, $p = 0.1525$ y 0.1715 respectivamente (Figura 2). El tablón generalmente es la última pieza que se genera en los métodos de corte tradicionales (diagrama de cuatro caras), debido a que las capacidades y dimensiones de los equipos principales no permiten obtener productos de menor espesor. En este caso, el cabezal principal habilita materia prima a la reaserradora para obtener este producto o genera en el último corte polines y vigas.

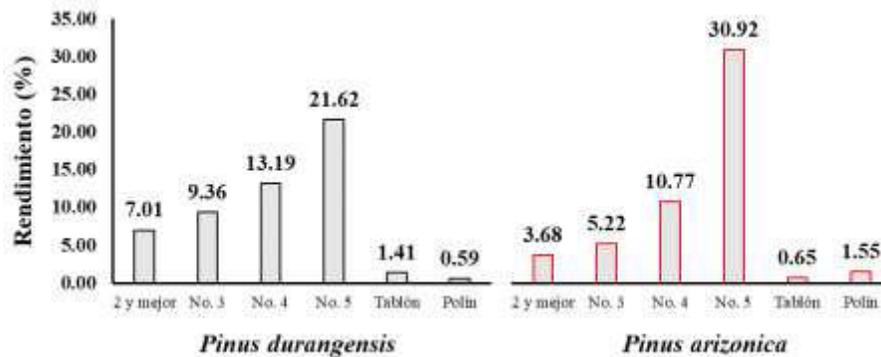


Figura 2. Distribución del rendimiento de clases de madera aserrada por especie.

Rendimiento de calidad por diámetro menor de la troza

Se obtuvo como resultado que *P. durangensis* no presenta rendimientos similares de clase 2 y mejor en función del diámetro menor de la troza ($p = 0.0316$). Por su parte, el asierre de *P. arizonica* mostró que el diámetro no es un factor que aumente significativamente el rendimiento de madera selecta ($p = 0.2818$). Derivado de los resultados anteriores se comparó el rendimiento de madera 2 y mejor entre ambas especies, lo cual indica que existen diferencias estadísticas ($p = 0.0268$) en la distribución de este producto en función del diámetro de la troza. Por otra parte, los análisis de correlación indican que en ambas especies que a medida que el diámetro de la pieza se incrementa es posible aumentar el volumen de madera de alta calidad (Figura 3a), se calculó un valor $r = 0.2786$ y $p = 0.0396$ para *P. durangensis* y $r = 0.1627$ con $p = 0.2110$ para *P. arizonica*.

El rendimiento de clase 3 por especie en función del diámetro presentó diferencias altamente significativas ($p = 0.0023$). *P. durangensis* no contó con rendimientos similares de esta calidad entre las categorías de diámetro ($p = 0.0857$), asimismo, la asociación de variables mostró una relación moderada positiva con un valor r de 0.3062 con valor p de 0.0224 como se muestra en la Figura 3b. Por su parte, *P. arizonica* no presenta diferencias estadísticas en este análisis ($p = 0.178$), sin embargo, así como la especie antes mencionada, muestra que el diámetro de la troza tiene un efecto positivo en el rendimiento de madera clase 3 con un valor $r = 0.2224$ y $p = 0.0846$.

La [Figura 3c](#) muestra que en *P. durangensis*, el rendimiento de la clase 4 de madera aserrada tiende a disminuir en función del aumento del diámetro de la trocería ($r = -0.1953$ $p = 0.1517$), sin embargo, la categoría de diámetro de la troza no muestra diferencias estadísticas en el rendimiento de esta clase ($p = 0.1313$). Por su parte, *P. arizonica* presenta un incremento en el volumen producido de madera número 4 en función del incremento del diámetro con una correlación de 0.1146 y valor p de 0.3841, pero el rendimiento no presenta diferencias entre categorías de diámetro ($p = 0.2095$). Por último, no se encontraron diferencias estadísticas ($p = 0.3927$) en el rendimiento de esta clase comparando el diámetro por especie evaluada.

El ANOVA realizado para comparar el rendimiento de clase 5 empleando como factor en la categoría de diámetro y como covariable de comparación la especie, presentó diferencias altamente significativas ($p = 0.0029$). *P. durangensis* no mostró diferencias en el rendimiento de clase 5 en la distribución del diámetro ($p = 0.4603$), adicionalmente, el análisis de correlación ([Figura 3d](#)) indica que se puede aumentar el volumen de esta clase en función del incremento del diámetro ($r = 0.0709$ $p = 0.6124$). En cambio, *P. arizonica* mostró un decremento de volumen en función del aumento del diámetro ($r = -0.2183$ $p = 0.0920$), esto posiblemente se debe a la producción de polín y tablón con las trozas que presentan una mayor cantidad de nudos, sin embargo, el diámetro no presenta un efecto significativo en el incremento del volumen de esta clase ($p = 0.1346$).

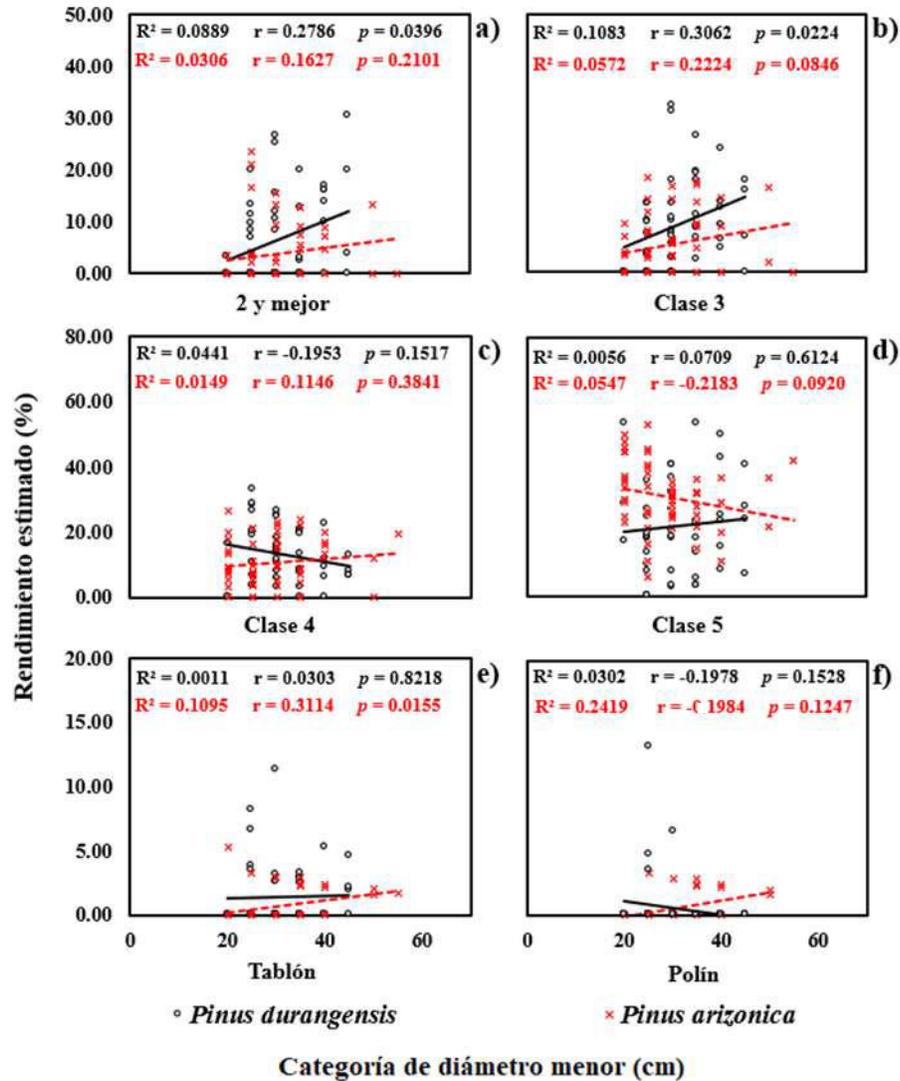


Figura 3. Correlación de las variables rendimiento por clase y categoría de diámetro de la troza.

El volumen producido de tablón no presentó diferencias entre especie por categoría de diámetro ($p = 0.5759$). De la misma forma, las dos especies evaluadas no presentan un incremento significativo de rendimiento por efecto del diámetro ($p = 0.8585$ y 0.3009 respectivamente). Las correlaciones realizadas (Figura 3e) indican que *P. durangensis* no cuenta con correlación significativa entre el diámetro y el rendimiento estimado de este producto ($r = 0.0303$ y $p = 0.8212$) y *P. arizonica* tiene una asociación positiva moderada entre variables ($r = 0.3114$ y $p = 0.0155$). El rendimiento de polín no muestra diferencias entre especie por categoría de diámetro ($p = 0.1902$). *P. durangensis* contó con diferencias no significativas en el volumen producido por categoría de diámetro

con un valor p de 0.4285 y una correlación de -0.1978 con valor p de 0.1528, la cual indica que se produjo polín principalmente con los diámetros inferiores. *P. arizonica* cuanta con resultados similares a los anteriormente expuestos ($p = 0.4398$), sin embargo, la correlación indica que el volumen de polín se incrementó en función del aumento de diámetro con un valor $r = 0.1984$ y valor p de 0.1247 como se muestra en la [Figura 3f](#).

Rendimiento de calidad por categoría de conicidad

La productividad estimada por categoría de conicidad en función de la especie aserrada fue no significativa en la producción de madera 2 y mejor ($p = 0.4333$). *P. durangensis* no mostró diferencias en la producción de esta clase en función del ahusamiento de la troza ($p = 0.5967$), sin embargo, la correlación de Pearson indica que, a mayor conicidad, el rendimiento de madera selecta tenderá a ser menor ($r = -0.1894$ y $p = 0.1645$) como se muestra en la [Figura 4a](#). Por su parte, *P. arizonica* presenta un resultado similar, la productividad de la troza no presenta significancia en torno a la conicidad de la troza ($p = 0.9526$), resultado que coincide con la asociación de variables al estimar un valor $r = -0.0493$ y significancia de 0.7056.

Se estimó un valor $p = 0.4052$ en la producción de madera de clase 3 en comparación de la conicidad de la troza, al emplear la especie como covariable de contraste. La clase evaluada presentó valores de rendimiento volumétrico similares ($p = 0.9848$) en las diferentes conicidades evaluadas en *P. durangensis*, asimismo, el análisis de correlación indica que el rendimiento tiende a disminuir ligeramente en función del aumento de la conicidad ($r = -0.0194$) sin embargo este decremento es no significativos ($p = 0.8940$). Por otra parte, *P. arizonica* no presenta diferencias ($p = 0.5878$) en el rendimiento medio de las categorías de conicidad, sin embargo, la relación de variables indica que el rendimiento de clase 3 disminuye en función de que la conicidad aumenta, se estimó un $r = -0.2514$ con un valor de significancia de 0.0416 como se muestra en la [Figura 4b](#).

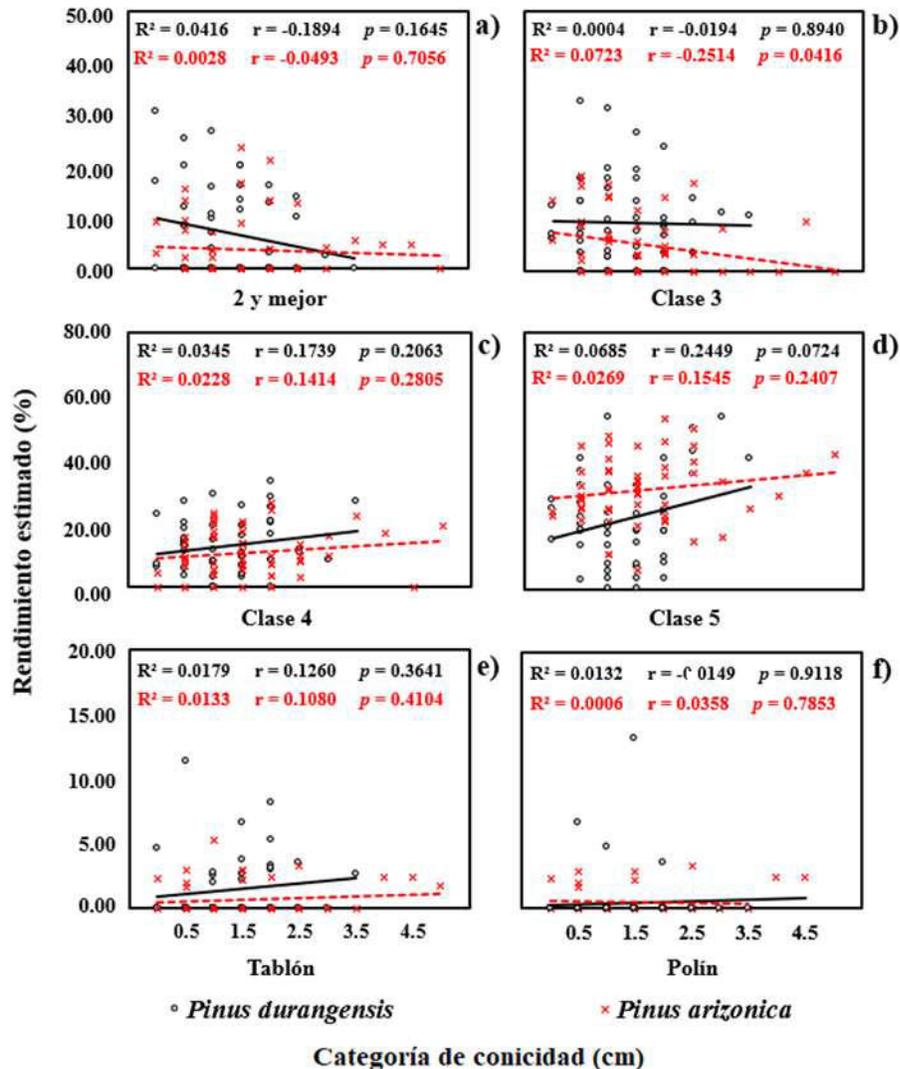


Figura 4. Correlación de las variables rendimiento por clase y categoría de conicidad de la troza.

El rendimiento de clase 4 no muestra diferencias entre especie por categoría de conicidad ($p = 0.1635$). Se estimó que la productividad volumétrica media de esta clase de madera aserrada en *P. durangensis* no presenta diferencias en las categorías de conicidad ($p = 0.1532$), por otra parte, el análisis de asociación de variables incide que el rendimiento aumenta en medida de que la conicidad de la pieza es mayor, se obtuvo como resultado un valor r de 0.1739 y valor p de 0.2063. Asimismo, *P. arizonica* no presenta diferencias en el rendimiento volumétrico de clase 4 ($p = 0.2627$), adicionalmente, la correlación obtuvo un valor r de 0.1080 con significancia de 0.4104 (Figura 4c). La producción de esta calidad de madera aumenta ligeramente debido a

la pérdida de volumen de la troza por efecto del ahusamiento y los métodos de transformación empleados.

El rendimiento volumétrico de madera de baja calidad visual entre especies, fue estadísticamente diferente por efecto de la categoría de conicidad de la troza con un valor p de 0.0054, *P. arizonica* generó un volumen significativamente superior de esta clase de madera. Se estimó que la producción de madera de clase 5 en *P. durangensis* presenta diferencias por efecto del ahusamiento de la troza ($p = 0.0043$), este resultado es evidente en la [Figura 4d](#), el valor de r es de 0.2449 con un valor de $p = 0.0724$, lo cual indica que en medida de que la troza es más cónica la madera de mala calidad tiende a ser más abundante. Este tipo de materia prima regularmente corresponde a la punta del árbol, por lo cual es cónica y presenta nudos en abundancia. *P. arizonica* no mostró diferencias importantes de rendimiento por categoría de conicidad ($p = 0.8510$), de la misma forma, el coeficiente de correlación indica que el incremento del volumen de clase 5 ($r = 0.1545$) no es significativo, con valores de $p = 0.2407$. Lo anterior se da por efecto de la presencia de una mayor cantidad de nudos en el total del fuste de esta especie.

La producción de tablón no presentó diferencias entre especies al evaluar la conicidad de la troza ($p = 0.6378$). *P. durangensis* cuenta con rendimientos similares ($p = 0.8193$), sin embargo, la correlación de Pearson indica que a medida que la conicidad aumenta, el volumen de este producto será mayor ($r = 0.1260$ y $p = 0.3641$). Por su parte, *P. arizonica* mostró resultados similares con un valor $p = 0.7550$, al evaluar la relación de variables se encontró que el rendimiento de este producto puede aumentar ligeramente en función de la conicidad de la troza, con un valor $r = 0.1008$ y una significancia de correlación de 0.4104 como se muestra en la [Figura 4e](#). El rendimiento de polín no muestra diferencias entre especie por categoría de conicidad ($p = 0.3530$). El rendimiento medio de *P. durangensis* mostró como resultado un valor $p = 0.9656$, en cuanto a la asociación de variables se estimó un valor r de 0.0149 con una significancia de 0.9118, lo cual indica un ligero aumento del rendimiento en función de la conicidad. Por último, en *P. arizonica*, la conicidad no es un factor que tenga efecto en la producción volumétrica de polín ($p = 0.4320$), en la [Figura 4f](#) se muestra que el

coeficiente de correlación presenta un valor $r = 0.0358$ con un valor $p = 0.7853$, lo cual representa un ligero aumento de rendimiento en función del ahusamiento de la troza. Se debe considerar que el aumento en rendimiento de este producto también es influido por el diámetro y calidad de la trocería.

Rendimiento de calidad por clase de madera en rollo

El coeficiente de conversión de madera aserrada de clase 2 y mejor producida por diferentes clases de trocería mostró diferencias significativas en función de la especie estudiada ($p = 0.0001$). *P. durangensis* presentó un mayor rendimiento para este análisis y las diferencias estadísticas de rendimiento por clase de troza fue significativas con un valor $p = 0.0001$. Los resultados de la [Figura 5a](#) indican que el rendimiento de madera aserrada 2 y mejor disminuye en función de que los defectos naturales en la troza se incrementan ($r = -0.5141$ y $p = 0.0001$). De la misma forma, *P. arizonica* cuenta con rendimientos diferentes en función de la calidad de la troza ($p = 0.0001$), el análisis de correlación define que existe una asociación negativa fuerte entre variables ($r = -0.6020$ y $p = 0.0001$), el rendimiento de madera de alta calidad es mayor en las trozas con mejores características físicas externas.

Se encontró que las especies presentan diferencias en el rendimiento de madera aserrada de clase 3 ($p = 0.0005$) tomando como variable de comparación la calidad de la madera en rollo. *P. durangensis* tuvo diferencia ($p = 0.0194$) en la productividad de esta clase en función de las características de la trocería, lo anterior se demuestra con los valores de la [Figura 5b](#), se aprecia que al disminuir la calidad de la madera en rollo se reduce la producción de madera clase 3 ($r = -0.2624$ y $p = 0.0431$). Asimismo, *P. arizonica* mostró que la calidad de la trocería no mantiene un rendimiento similar de esta clase de madera aserrada ($p = 0.0479$), como el caso anterior, la asociación de variables describe que el rendimiento de calidad decrece en función del aumento de defectos de la madera en rollo ($r = -0.2597$ y p de 0.0446).

El análisis estadístico desarrollado para determinar la significancia de la calidad de la troza en el rendimiento de madera aserrada clase 4 por especie indica que no se presentan diferencias ($p = 0.3168$). *P. durangensis* mostró que no existe una diferencia importante en la productividad de esta clase con un valor p de 0.431 , sin embargo, el

análisis de correlación muestra un valor r de 0.1765 y valor p de 0.1963 como se presenta en la [Figura 5c](#), lo cual indica que el rendimiento de esta clase tiende a aumentar en función de que se incrementan los defectos de la trocería. Por su parte, *P. arizonica* mostró un comportamiento similar, la significancia del rendimiento fue de 0.6873, de la misma forma, el coeficiente de relación presentó un ligero incremento de la productividad ($r = 0.1088$) sin diferencias significativas en relación las clases de las trozas aserradas ($p = 0.3997$).

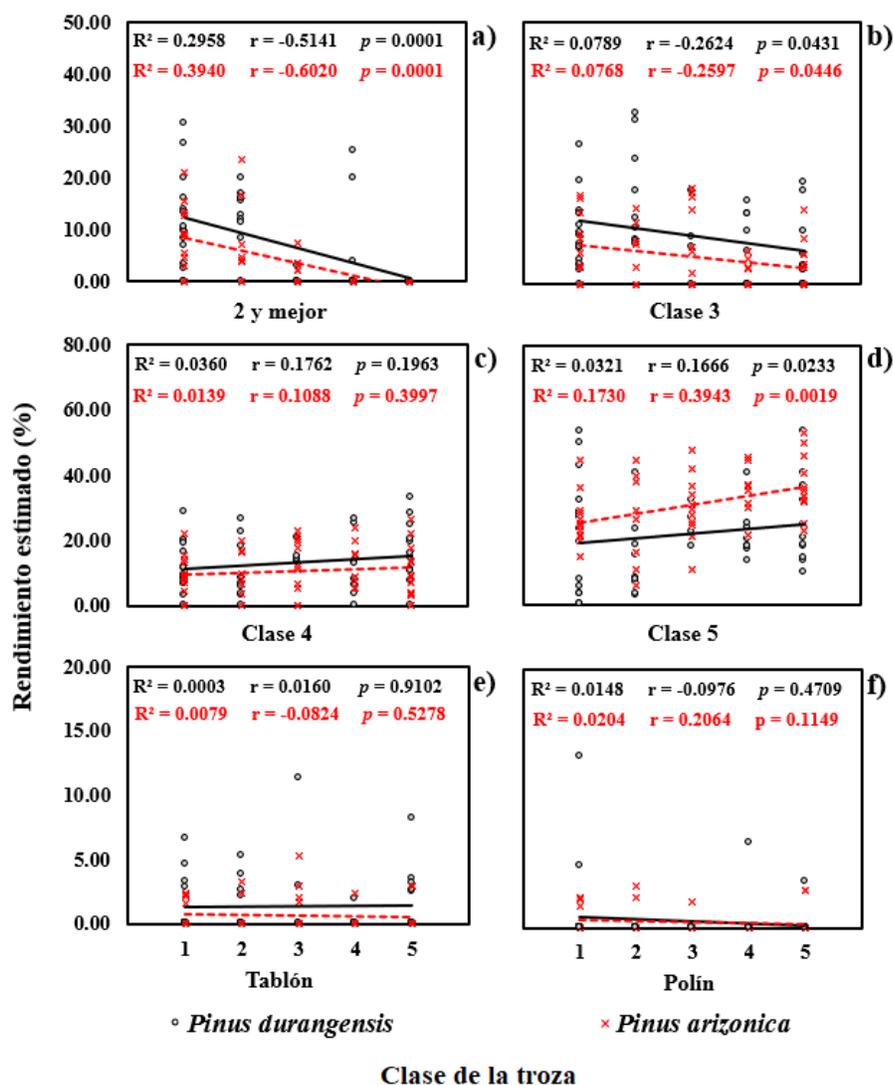


Figura 5. Asociación de variables rendimiento por clase de madera aserrada y clase de la troza.

El rendimiento de clase 5 empleando como factor en la categoría la calidad de la madera en rollo y como covariable de comparación la especie, presentó diferencias altamente significativas ($p = 0.0002$). *P. durangensis* no mostró diferencias en el rendimiento de clase 5 en la distribución de clases de la troza ($p = 0.2923$), adicionalmente, el análisis de correlación ([Figura 5d](#)) indica que se puede aumentar el volumen de esta clase en función del incremento de los defectos naturales de la madera en rollo ($r = 0.1666$) con una alta significancia de correlación ($p = 0.0233$). En cambio, *P. arizonica* mostró que el diámetro presenta un efecto significativo en el incremento del volumen de esta clase ($p = 0.0373$), adicionalmente, la asociación de variables muestra un incremento moderado del rendimiento en función de que la calidad de la trocería decae ($p = 0.3943$) con una significancia de 0.0019.

La producción de tablón no presentó diferencias entre especies al evaluar la calidad de la troza ($p = 0.0799$). *P. durangensis* cuenta con rendimientos similares ($p = 0.1754$) entre clases, de la misma forma, la correlación de Pearson indica un valor de $r = 0.0160$ y un valor p de 0.9102, lo cual indica que la asociación de variables no es importante. Por su parte, *P. arizonica* mostró resultados similares con un valor $p = 0.7480$, al evaluar la relación de variables se encontró que el rendimiento de este producto puede disminuir ligeramente en función que los defectos de la troza aumentan, con un valor $r = -0.0824$ y una significancia de correlación no significativa de 0.5278 como se muestra en la [Figura 5e](#). El rendimiento de polín no presenta diferencias entre especie por clases de madera en rollo procesada ($p = 0.5319$). El rendimiento medio de *P. durangensis* mostró como resultado un valor $p = 0.6971$, con una asociación de variables estimado de $r = -0.0976$ con una significancia de 0.4709, lo cual indica un ligero decremento del rendimiento en las clases de trocería inferiores. Por último, en *P. arizonica*, la calidad de la madera en rollo no es un factor que tenga efecto en la producción volumétrica de polín ($p = 0.3683$), en la [Figura 5f](#) se muestra que el coeficiente de correlación presenta un valor $r = 0.2064$ con un valor no significativo ($p = 0.1149$) en la asociación de variables.

Discusión

En cuanto a estudios de coeficiente de aserrado como el desarrollado por Reyes (2013), se reportan rendimientos de madera aserrada con un mínimo de 45.82 %, equivalente a 205.04 pt⁻¹ por m³ de trozas de pino y un coeficiente de aserrado máximo de 54.64 %, equivalente a obtener 244.49 pt⁻¹ por m³ de madera en rollo. Por su parte, los resultados de esta investigación indican que el coeficiente de transformación promedio fue de 52.99 % y que las dos especies evaluadas no mostraron diferencias estadísticas en este coeficiente, lo anterior se debe principalmente a que ambos taxones presentan dimensiones diamétricas de desarrollo natural similares. *Pinus durangensis* obtuvo un rendimiento de 53.19 % partiendo de un volumen de madera en rollo de 23.74 metros cúbicos en rollo (m³r), referente a producir 225.51 pt⁻¹ por metro cubico rollizo. Por su parte, *Pinus arizonica* alcanzó un rendimiento de aserrado de 52.79 %, equivalente a producir 10.16 metros cúbicos (m³) de madera aserrada en función del volumen de materia prima, con esta relación se estima una producción de 223.82 pt⁻¹ por m³r. La estrecha diferencia porcentual que presentan estas especies en rendimiento se debe a factores como la conicidad de las trozas, los defectos físicos presentados, los métodos de corte empleados y la variabilidad de las destrezas de los operadores. En este mismo sentido, Nájera-Luna *et al.* (2006) indican que el sistema de asierre empleado puede presentar un efecto en el rendimiento de madera aserrada, describen que el rendimiento en madera aserrada entre el sistema de asierre tangencial y el mixto fue estadísticamente similar, por su parte, el sistema de asierre radial presentó, significativamente, un rendimiento en madera aserrada menor a los anteriores.

En la distribución de clases de madera aserrada, Orozco *et al.* (2016) encontraron que *Pinus durangensis* registró el mayor rendimiento de madera aserrada de clase 2 y mejor, mientras que *Pinus strobiformis* obtuvo el rendimiento más bajo de esta clase; *Pinus durangensis* contó con el menor rendimiento de madera de clase 5 y el mayor se estimó para la especie *Pinus teocote* en la región de San Diego de Tezains, Durango. Adicionalmente, resaltan que la especie tuvo un efecto significativo en el rendimiento por clase de madera y que las variables calidad y diámetro promedio de trozas, resultaron buenos predictores para definir la distribución de clases de madera aserrada. La región bajo estudio presentó diferencias significativas en el rendimiento

medio por clase en tres de los seis productos aserrados evaluados. El análisis indica que *P. durangensis* tuvo el mayor rendimiento volumétrico en la calidad 2 y mejor con 7.01 %, lo que representa un resultado similar al descrito anteriormente y diferencias estadísticas con respecto a la especie de contraste. *P. arizonica* presentó un mayor rendimiento de aserrado en la clase 3 con 9.36 % y la diferencia en torno a *P. durangensis* fue significativa. La mayor producción media de calidad 5 corresponde a la especie *P. arizonica*, se produjo 30.92 % del volumen en función a un coeficiente de transformación de 52.79 %, este resultado indica que las especies evaluadas difieren significativamente en el rendimiento de esta clase. *P. arizonica* en condiciones medias de desarrollo tiende a producir una mayor cantidad de ramificaciones en comparación con *P. durangensis*, esta última especie regularmente cuenta con una poda natural excepcional, lo que permite producir un mayor porcentaje de madera de calidad.

En cuanto al rendimiento por clase diámetro, Borz, Oghnoum, Marcu, Lorincz y Proto (2021) evaluaron el aprovechamiento de abeto noruego (*Picea abies* Lam. (Limk.)) y abeto plateado (*Abies alba* Mill.) en un aserradero en Rumania, obtuvieron un volumen de madera aserrada de aproximadamente 18 m³ consideraron la transformación de 26 m³ de madera en rollo, los resultados indican un rendimiento de aserrado que varió ampliamente entre 38.80 y 95.00 % por troza, atribuyen la variabilidad del rendimiento principalmente al efecto del diámetro de las trozas aserradas por encima del sistema de corte empleado. Por su parte, Murara, Pereira y Timofeiczuk (2005) evaluaron dos sistemas de aserrío en función del diámetro de la trocería, comprobaron que el rendimiento es afectado por el sistema de aserrío, en el sistema tradicional no observaron un aumento del rendimiento con el incremento del diámetro de la troza, pero con un sistema optimizado el rendimiento mejoró a medida que aumentó el diámetro de las trozas. Caso contrario, Nájera *et al.* (2012b) no observaron un incremento del rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas; sin embargo, mencionan que la productividad sí experimenta un incremento con el aumento del diámetro, mientras que la velocidad del proceso disminuye con piezas de diámetros grandes. Este estudio presenta rendimientos de aserrado menores que oscilan de 39.56 a 72.04 % por cada una de las trozas involucradas de las dos especies bajo estudio. Los rendimientos inferiores son principalmente en trocería delgada de *Pinus*

arizonica, *Pinus durangensis* contó con rendimientos mayores en las categorías de diámetro superiores a 25 centímetros e inferiores a 45 centímetros. Los resultados resaltan que las diferencias estadísticas en el rendimiento de aserrado y calidad de la madera aserrada por clase de diámetro son significativas, los análisis de correlación hacen evidente que el diámetro de la troza está significativamente relacionado con el coeficiente de aserrado y con el aumento de la calidad de madera aserrada, cuanto mayor sea el diámetro, mayores serán el rendimiento y la calidad de la madera aserrada.

Al analizar las características de la materia prima, Zavala y Hernández (2000) mencionan que no encontraron un incremento del coeficiente de aserrado en función del diámetro y calidad de las trozas, sin embargo, la conicidad de la misma fue un factor importante en la productividad maderable. Ortiz, Martínez, Vázquez, y Juárez (2016) estimaron diferencias significativas en el rendimiento por categorías de conicidad en el estado de Oaxaca, indican que solo las categorías de conicidad de 1 y 6 cm fueron estadísticamente diferentes en el rendimiento de madera aserrada con y sin corteza, explican también que, conforme incrementa la conicidad y curvatura de las trozas se requiere de más tiempo para cumplir con el proceso. Nájera-Luna *et al.* (2011a) comentan que, en la evaluación del proceso maderable de la región de El Salto, Durango, encontraron una disminución del rendimiento con el aumento en la conicidad de las trozas de *Pinus* spp. de diversos diámetros y largos, mostrando una conicidad máxima de 6 cm; lo cual concluye que con el aumento de la conicidad se disminuye el rendimiento. En esta investigación, el análisis estadístico del coeficiente de transformación por categoría de conicidad e las trozas en función de las especies estudiadas no cuenta con diferencias significativas. El rendimiento de *P. durangensis* por categoría de conicidad no presentó diferencias significativas, sin embargo, la correlación indica una relación débil negativa de las variables, por lo tanto, se asume que el rendimiento de aserrado disminuye en función de que la conicidad de la troza aumenta. *P. arizonica* por su parte, no mostró diferencias significativas en esta relación y el valor de correlación cuenta con un resultado similar al anterior. En comparación, *P. durangensis* presenta con mayor claridad la disminución del rendimiento en torno al aumento de la conicidad de la trocería.

González (2017) menciona que no se puede vincular directamente los defectos de la madera en rollo con los de la madera aserrada, parten del supuesto que existe un efecto de los problemas en el arbolado de pino sobre la madera aserrada; la presencia de nudos y rajaduras en la trocería reduce la distribución porcentual de madera de mayor calidad. Por su parte García y Chinchilla (2004), encontraron que el mayor rendimiento de aserrío promedio fue registrado por las trozas de calidad alta; por lo tanto, las trozas de mejor calidad deben tener una excelente rectitud y ausencia de protuberancias. De acuerdo con los resultados por Orozco *et al.* (2016), la aplicación de una función lineal discriminante clasificó de manera correcta las observaciones dentro de las calidades 2 y mejor, clases 3, 4, y 5, respectivamente, utilizando a la calidad de troza y al diámetro promedio como variables predictivas o independientes. En este estudio se encontró que las dos especies evaluadas no presentaron diferencias estadísticas en función del rendimiento de aserrado por clase de trocería, lo anterior indica que la calidad de la madera en rollo no es una variable que pueda indicar el comportamiento del coeficiente de transformación en comparación con el diámetro y la conicidad. Sin embargo, la calidad de la troza resulta como un excelente predictor de la distribución de clases de madera aserrada 2 y mejor clase 3 y clase 5, sobre todo cuando el análisis se realiza por especie.

Conclusiones

El rendimiento de madera aserrada es afectado principalmente por el diámetro de la troza; la conicidad y la calidad de la troza no son variables significativas en el coeficiente de transformación de la materia prima, sin embargo, la correlación de Pearson indica que influyen en el rendimiento a medida que se incrementa el ahusamiento y los defectos; por otra parte, la especie no es un factor significativo en el rendimiento de la madera aserrada. La distribución de clases de madera aserrada si presenta diferencias significativas en función de la especie involucrada en el proceso de aserrío, principalmente en las clases 2 y mejor, clase 3 y clase 5. En este sentido, *P. durangensis* presentó mayor rendimiento en las clases con mayor calidad; por su parte *P. arizonica*, resultó superior en la producción de madera aserrada de baja calidad; el resto de variables no mostraron diferencias significativas de rendimiento

entre especies. Los resultados encontrados indican que cuanto mayor sea el diámetro de la troza y menor sea la conicidad el rendimiento por clases de madera aserrada se incrementa; la calidad de la madera en rollo presenta un efecto altamente significativo en la calidad de la madera generada tras el proceso de aserrado y llega a definir la distribución porcentual de la misma. Las variables antes mencionadas, son buenos predictores para estimar el rendimiento volumétrico y distribución porcentual de clases de madera aserrada. Los hallazgos de esta investigación permiten diseñar y proponer estrategias metodológicas para mejorar los procesos de aserrío en las industrias del estado de Chihuahua; los procedimientos metodológicos pueden ser adaptados y replicados en otro tipo de aserraderos de distintas regiones del país y el extranjero.

Contribuciones por autor

J.R.S. y O.A.A.C. idearon la investigación, realizaron los análisis estadísticos y escribieron el artículo. E.A.R., J.J.P. y J.E.T.G. realizaron la revisión del manuscrito y metodología para plantear mejoras. J.A.N.L. supervisó los procedimientos metodológicos, analizó y describió resultados.

Referencias bibliográficas

- Barnes, R. M. (1968). *Motion and time study: design and measurement of work*. New York, NY, USA: John Willey & Sons. 799 p.
- 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>.
- British Standards Institution (BSI). (1996). *Timber in Joinery – General Classification of Timber Quality*. London, UK: British Standards Institution.
- Dirección General de Normas (DGN). (1988). *Norma Mexicana NMX-C-359-1988. Industria Maderera - Trocería de Pino - Clasificación*. Ciudad de México, México: DGN. SECOFI. 23 p.
- Dirección General de Normas (DGN). (2001). *NMX-C-224-ONNCCE-2001. Industria de la Construcción - Vivienda de Madera y Equipamiento Urbano -*

- Dimensiones de la Madera Aserrada para Su uso en la Construcción*. Ciudad de México, México: SECOFI.
- Dobie, J., & Middleton, G. R. (1980). Lumber Yields from Sweezy Lodgepole Pine. *The Forestry Chronicle*, 56(2): 66-67. <https://doi.org/10.5558/tfc56066-2>.
- Edlund, J., & Warensjö, M. (2005). Repeatability in automatic sorting of curved Norway spruce saw logs. *Silva Fennica*, 39(2): 265-275. <https://doi.org/10.14214/sf.388>.
- García, M., & Chinchilla, O. (2004). Calidad y tamaño de trozas de melina y rendimiento del aserrío. *Revista de Ciencias Ambientales Tropical Journal Environmental Sciences*, 28(1): 64-70. <https://doi.org/10.15359/rca.28-1.7>.
- González, A. (2017). *Control de calidad de madera en pie y madera aserrada para el mercado de construcción del Grupo Empresarial El Almendro*. Tesis de Licenciatura. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Escuela de Ciencias Ambientales.
- Gorges, J., Huber, M., Sauter, U. H., & Dormann, C. F. (2021). Curvature of Logs—Development of and Comparison between Different Calculation Approaches. *Forests*, 12(857): 1-15. <https://doi.org/10.3390/f12070857>.
- Grigolato, S., Bietresato, M., Asson, D., & Cavalli, R. (2011). Evaluation of the manufacturing of desk and stringer boards for wood pallets production by discrete event simulation. *Biosystems Engineering*, 109(4): 288-296. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.04.009>.
- Han, X. (., & Hansen, E. (2016). Marketing sophistication in private sawmilling companies in the United States. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(2): 181-189. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0242>.
- Hansen, E. N., Nybakk, E., Lyndall, T., Crespell, P., Jélvez, A., & Knowles, C. (2011). A multinational investigation of softwood sawmilling innovativeness. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(3): 278-287. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.553198>.
- IBM Corp. (2017). IBM SPSS Statistics para Windows, versión 25.0. Armonk, Nueva York: IBM Corp.

- Lähtinen, K., Haara, A., Leskinen, P., & Toppinen, A. (2008). Assessing the relative importance of tangible and intangible resources: Empirical results from the forest industry. *Forest Science*, 54(6): 607–616.
<https://doi.org/10.1093/forestscience/54.6.607>.
- Macdonald, E., Gardiner, B., & Mason, W. (2010). The effects of transformation of even-aged stands to continuous cover forestry on conifer log quality and wood properties in the UK. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83(1): 1–16. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp023>.
- Makkonen, M. (2018). Stakeholder perspectives on the business potential of digitalization in the wood products industry. *BioProducts Business*, 3(6): 63-80.
<https://doi.org/10.22382/bpb-2018-006>.
- Marchesan, R., Rocha, M., Silva, J. B., & 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/rf.v44i4.26537>.
- Monserud, R. A., Parry, D. L., & Todoroki, C. L. (2004). Recovery from simulated sawn logs with sweep. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 34(2): 190-205.
https://www.scionresearch.com/_data/assets/pdf_file/0003/59160/05_Monserud_Todoroki.pdf.
- Murara, M. I., Pereira, M., & Timofeiczuk, R. (2005). Rendimento em madeira serrada de Pinus taeda para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, 35(3): 473-483. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v35i3.5186>.
- Nájera, J. A., Adame, G. H., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F. J., & Aguirre, C. G. (2012b). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (55) 11-23.
<https://investigacion.uaa.mx/RevistalyC/archivo/revista55/Articulo%202.pdf>.
- Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J. J., & Vargas-Larreta, B. (2011a). 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.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.034>.
- Nájera-Luna, J. A., Rodríguez-Reta, I., Méndez-González, J., Graciano-Luna, J., Rosas-García, F., & Hernández, F. J. (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxyla* Humb & Bompl. de el salto, Durango. *Ra Ximhai*, 2(2): 497-513. <http://www.uaaim.edu.mx/webraximhai/Ej-05articulosPDF/11%20aserrio.pdf>.
- Orozco, R., Hernández, J. C., Nájera, J. A., Domínguez, P. A., Goche, J. R., López, P. M., & Corral, J. J. (2016). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36): 37-50.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.58>.
- Ortiz, R., Martínez, S. D., 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.
<https://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>.
- Reyes, C. (2013). *Cuantificación y aprovechamiento de residuos del proceso de aserrío del parque industrial, Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura*. Ixtlán de Juárez, Oaxaca: Universidad de la Sierra Juárez.
- Reynolds, T., & Holland, C. (2005). *Timber grading and scanning Digest 492*. Building Research Establishment.
- Thomas, R. E. (2008). Predicting Internal Yellow-Poplar Log Defect Features Using Surface Indicators. *Wood and Fiber Science*, 40(1): 14–22.
<https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/86/86>.
- Vaughan, D., Mackes, K., & Webb, J. B. (2018). Time-Since-Death and Its Effect on Wood from Beetle-Killed Engelmann Spruce in Southwest Colorado. *Forest Science*, 64(3): 316–323. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxx017>.

- 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>.
- Zhang, S. Y., Gosselin, R., & Chauret, G. (1997). Timber management toward wood quality and end product value. En *Proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop* (págs. pg. 17-39). Quebec, Canada: CTIA/IUFRO.

**CAPÍTULO IX. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CALIDAD DIMENSIONAL DE LA
MADERA ASERRADA DE DOS VARIANTES DE ASERRADERO AL SUROESTE
DE CHIHUAHUA, MÉXICO**

(Publicado en Revista de la Facultad de Agronomía)

Rascón-Solano, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J. & Nájera-Luna, J. A. (2023). Análisis comparativo de la calidad dimensional de la madera aserrada de dos variantes de aserradero al suroeste de Chihuahua, México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 122(1).

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 southwestern Chihuahua, Mexico

Rascón-Solano Joel ^a; Oscar Alberto Aguirre-Calderón ^b; Juan Abel Nájera-Luna ^{c*}; Eduardo Alanís-Rodríguez ^b; Javier Jiménez-Pérez ^b; Eduardo Javier Treviño-Garza ^b

^a 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.

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

*Autor de correspondencia: c Instituto Tecnológico de El Salto, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Calle Tecnológico 101 Col. La Forestal C.P. 34942, El Salto, Durango, México, tel: +52 618 158 7940, 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. Por último, el 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 típicos, variabilidad dimensional, puntos múltiples, aserraderos tecnificados, aserraderos 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. Lastly, the 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: typical cuts, dimensional variability, multiple points, technified sawmills, 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 & Rönnqvist, 1999).

Nájera-Luna *et al.* (2011a), 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 & 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 los núcleos agrarios del estado de Chihuahua durante la última década 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. (2011b) 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 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, patrón de 16 cortes consecutivos o de referencia, con el cual se mantiene la posición original del último corte realizado. Cuentan con un equipo de reaserrado de la marca Wood-Mizer modelo HR1000 de cabezal doble de corte horizontal, los volantes son de 863 mm de diámetro, el equipo está habilitado para dos cierras cintas de 35 mm de

ancho y 1.07 mm de espesor, este equipo 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), 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 nombran 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, de rodales manejados con el sistema silvícola de selección individual, el turno de corta establecido es 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 Schltdl. & 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, se midieron 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*.

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.

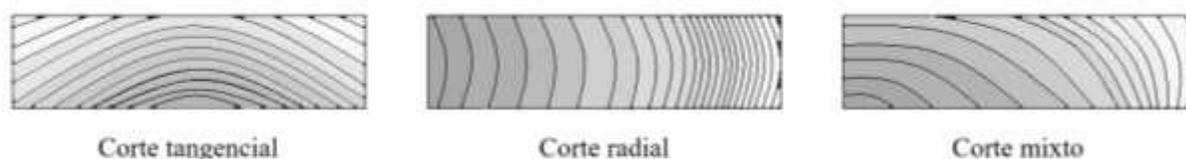


Figura 2. Diferentes cortes presentes en la sección transversal de una pieza de madera aserrada (elaboración propia).

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 (Figura 3).

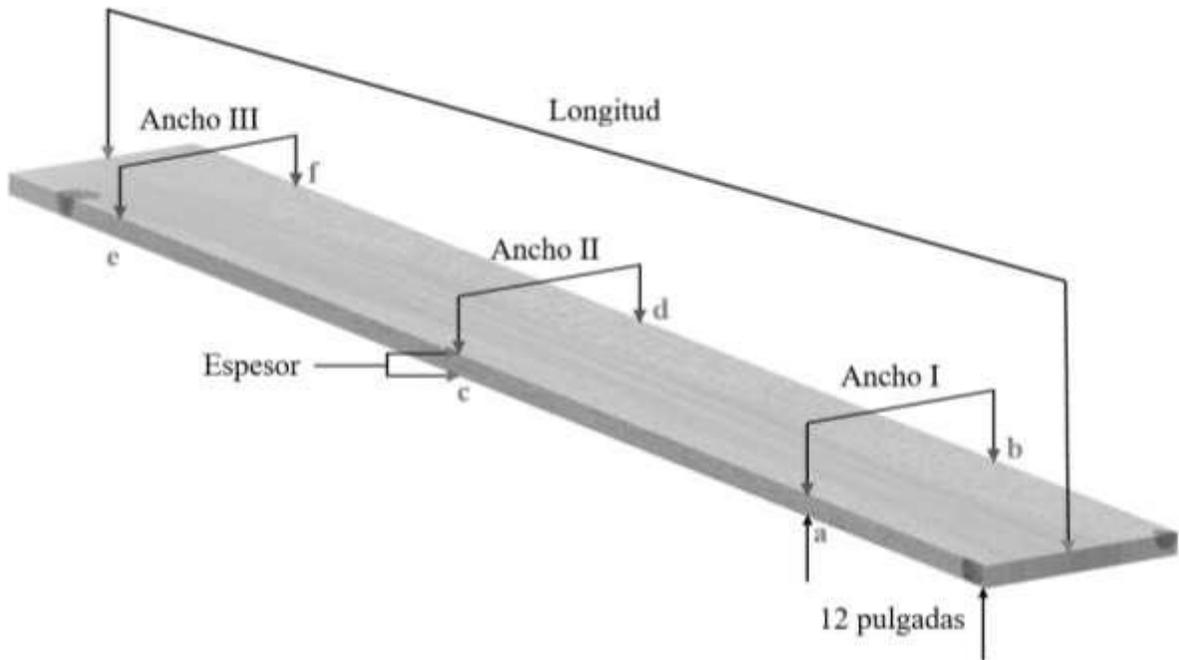


Figura 3. Ejemplificación del método de puntos múltiples para medir madera aserrada (elaboración propia).

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., 2011b). 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 evaluar 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, desviación estándar entre tablas y a 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.

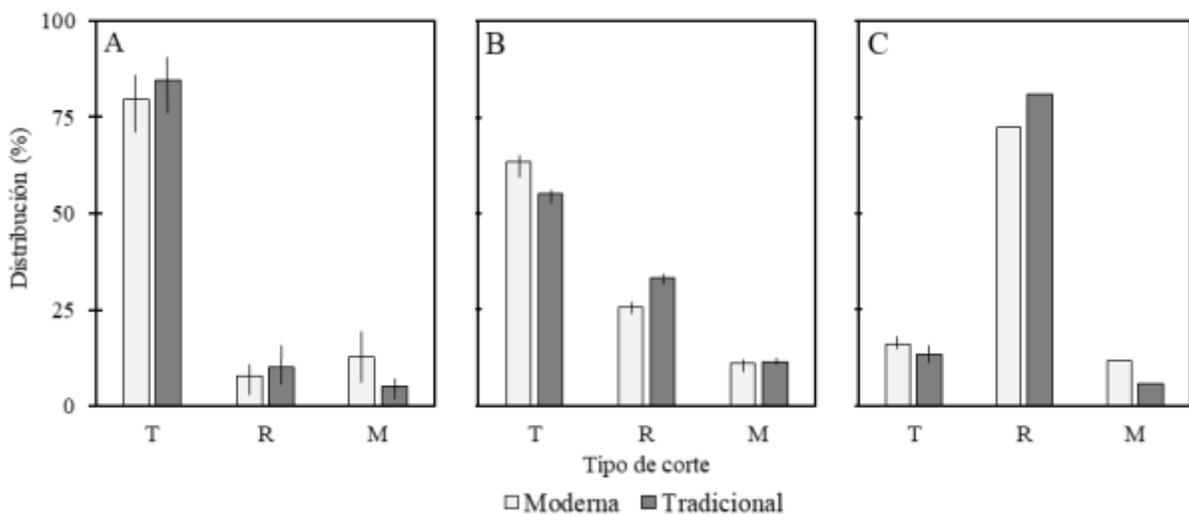
RESULTADOS

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 resultaron estadísticamente igual en ambos tipos de aserradero ($p = 0,7585$) (Figura 4b). Por último, 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") se debe a que los aserraderos modernos cuentan con equipos de reaserrado que no controlan adecuadamente la disponibilidad de cortes homogéneos (tangencial o radial) (Figura 4c).



*T: corte tangencial; R: corte radial; M: corte mixto; Línea vertical: Desviación estándar.

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".

Con este análisis se hace evidente que las industrias de aserrado generan, en su mayoría, madera con corte tangencial, motivado principalmente a que el diagrama de corte de cuatro caras es el más empleado en las industrias de 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, se

reduce la presencia de nudos ovalados y de espiga, factores que reducen la calidad de la madera al momento de ser clasificada.

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 con 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, la dimensión crítica (D_c) del espesor de las tablas fue de 26,31 mm. Por su parte, las industrias tradicionales obtuvieron un promedio de 26,13 mm, la S_w se estimó en 0,78 mm, la S_b fue de 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”, presentaron 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.

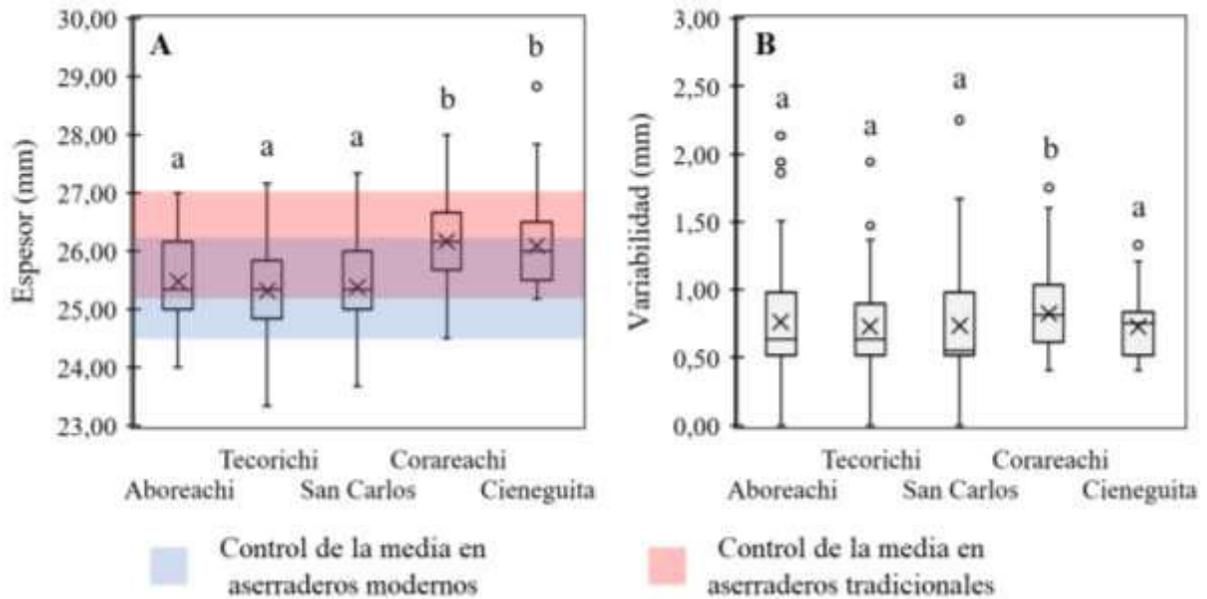
Para la madera de 7/8” en aserraderos modernos, se tiene que en el ejido Aboreachi se obtuvo un grueso promedio de 25,47 mm, mientras que el ejido Tecorichi presentó un valor medio de 25,32 mm y el ejido San Carlos de 25,40 mm. Por parte de los

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 por 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 muestra 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, la corrección del Welch indica 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 6,27 mm en la fluctuación del espesor de las tablas; el ejido Cieneguita de la Barranca mostró de 0,17 a 1,90 mm

de variabilidad en la elaboración de madera de 7/8", siendo la industria con mejor calidad dimensional en esta clase de grueso.



*Variables con la misma letra en cada aserradero no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Figura 5. Descripción gráfica de prueba de ANOVA; A) comparación de rangos de grueso medio en madera de 7/8" y B) comparación de rangos de variabilidad dimensional de madera.

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.

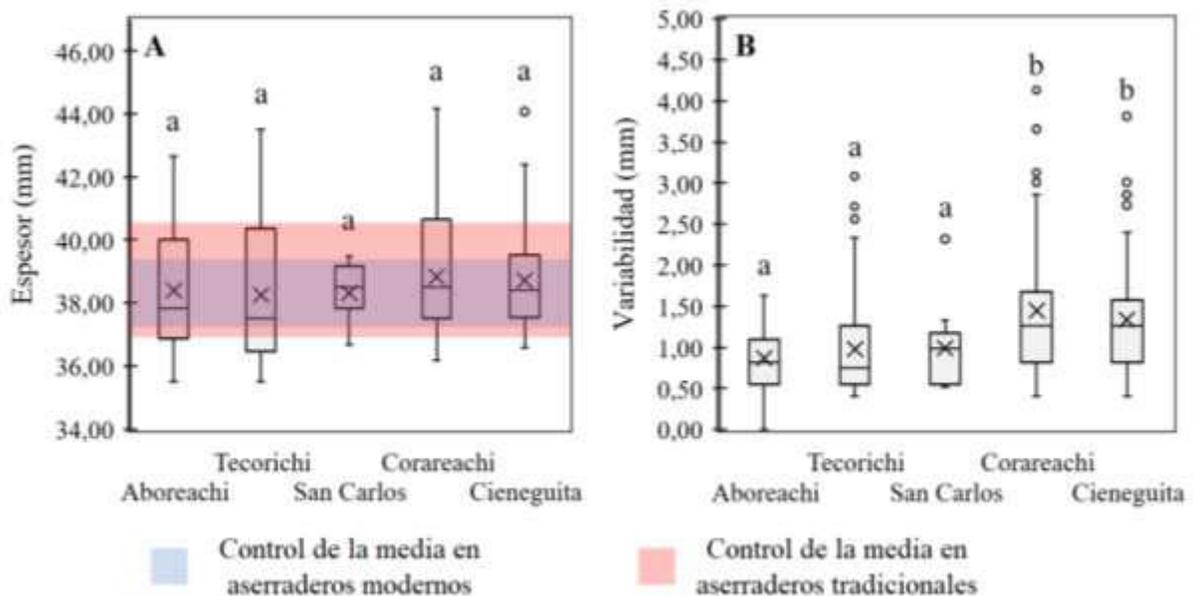
De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, las industrias tradicionales cuentan con una S_w mayor a la encontrada en los aserraderos tecnificados, esto se puede deber a posibles desviaciones en las escuadras del carro porta trozas por deficiencias en el mantenimiento periódico del aserradero.

La diferencia del espesor medio de las tablas de 5/4" entre la comparación de los 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; 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.

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; los 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: $p = 0,3242$).



*Variables con la misma letra en cada aserradero no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

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.

Adicionalmente, en la S_w de las piezas estudiadas se encontraron diferencias significativas entre tipo de tecnología empleada ($p < 0,001$; corrección de Welch: $p < 0,001$) (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 máxima de hasta 4,13 mm y una variabilidad media máxima de 38,85 mm para el caso del ejido Corareachi.

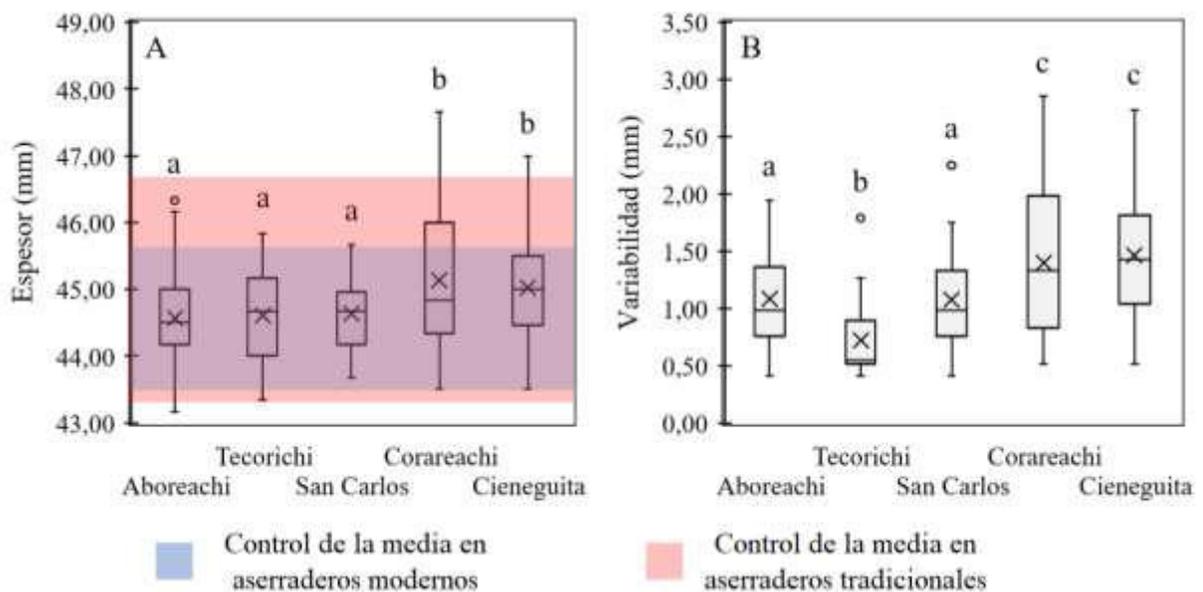
VARIABILIDAD DE LA MADERA DE 6/4"

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 < 0,001).

La variación del espesor promedio en las tablas aserradas en industrias modernas registró valores de 43,17 a 46,33 mm, respectivamente; se estimó 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; los límites de control estimados fueron de 43,35 a 46,81 mm, lo anterior 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.



*Variables con la misma letra en cada aserradero no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Figura 7. Descripción gráfica de prueba de ANOVA; A) comparación de rangos de espesor medio en madera de 6/4" y B) comparación de rangos de variabilidad dimensional.

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; por su parte, el ejido Tecorichi cuenta con una dispersión compacta e inferior al resto de industrias, asimismo, la variabilidad media es 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, utilizó el sistema de aserrío de cuatro caras, y manifiesta 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 se reduce la presencia de nudos ovalados y de espiga.

Tenorio & 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 51,99%, corte radial 38,40% y corte mixto 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, esto se atribuye 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); 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 de en relación a

la obtenida entre tablas ($S_b = 0,49$ mm). Por su parte, Ambriz et al. (2018) calcularon un espesor medio de 25,50 mm en madera aserrada en el estado de Michoacán, 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 resultados de mayor espesor medio y una mayor desviación estándar total del proceso de aserrado. En este sentido, como lo es el caso presentado 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 variabilidad mayor se presentó en espesor de tablas aserradas con motosierra, 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, esto se puede deber a posibles desviaciones en las escuadras del carro porta trozas o deficiencias en el mantenimiento periódico del aserradero.

En madera de 6/4" más refuerzo (6,00 mm) de aserraderos del estado de Durango, Nájera *et al.* (2011b) encontraron que el rango en el espesor de las tablas aserradas se encuentra entre 43,81 a 46,11 mm, la desviación estandar dentro de la tabla entre 1,06 a 2,29, la desviación estandar entre tablas entre 0,78 a 1,95 mm y la desviación total del proceso entre 1,37 a 3,01 mm; adicionalmente. 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 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 al desgaste de los mecanismos, resultante del prolongado periodo de actividad por parte de los aserraderos de sierra banda y a la capacidad de calibrado automatizado de lo aserraderos modernos.

Por su parte, en la Sierra Sur de Oaxaca, México, Ortiz *et al.* (2016) aserraron *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltl., *Pinus oaxacana* Mirov y *Pinus oocarpa* Schiede, 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) indican 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 dificulta la obtención de superficies planas y uniformidad en el grosor de la madera durante el cepillado. Adicionalmente, Ambríz *et al.* (2018) aclaran 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.

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 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 de espesor inferior de acuerdo con las exigencias del mercado. Por otra parte, de acuerdo con los gráficos de control, se garantiza obtener el 95,00% de madera de 5/4" en dimensión nominal en los cinco aserraderos evaluados. Solo los aserraderos tradicionales garantizan que más del 95,00% de la madera aserrada tendrá una dimensión final nominal de 6/4", 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 grueso 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 y aclarar este manuscrito.

REFERENCIAS

- Ambriz, E.; Andrade-Torres, M. Y. & H. M. Sosa-Villanueva (2018). Rendimiento volumétrico e importancia del control de calidad de madera aserrada de *Pinus spp.* *Tecnociencia Chihuahua* 12(1):37-41.
- Brown, T. D. (2000a). *Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods*. Corvallis, OR, USA. 11 p. Oregon State University, Extension Service.
- Herrera-Medina, J. F. & R. O. Leal-Pulido (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. & R. Minga (2016). La variabilidad dimensional y defectos de secado afectan rendimientos en procesos de cepillado de madera de *Eucalyptus saligna*. *Bosque* 37(1):169-178.

- Marchesan, R.; Rocha, M.; Silva, J. B. & R. J. Klitzke (2014). Eficiência técnica no desdobro principal de toras de três espécies tropicais. *Floresta* 44(4):629-636.
- Mendis, M. S.; Halwatura, R. U.; Somadeva, D. R.; Jayasinghe, R. A. & M. Gunawardana (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.
- Moya, R.; Tenorio, C. & 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. & B. Vargas (2011b). 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. & J. Nívar (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. & C. G. Aguirre (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. & B. Vargas-Larreta (2011a). 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.; & F. J. Hernández (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxylla* Humb & Bompl. de El salto, Durango. *Ra Ximhai* 2(2):497-513.

- Ortiz, R.; Martínez, S. D.; Vázquez, D. E. & W. S. Juárez (2016). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal* 19(1),79-93.
- 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.
- Rascón-Solano, J.; Olivas-García, J. M.; Kiessling-Davison, C. M.; Hernández-Salas, J.; & G. López-Daumas (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.
- Tenorio, C. & R. Moya (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. & E. M. Rönnqvist (1999). Combined Primary and Secondary Log Breakdown Optimization. *The Journal of the Operational Research Society* 50(3):219-229.
- 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. & J. R. Goche-Télles (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.
- Valério, Á. F.; Watzlawick, L. F.; Balbinot, R.; Wincker Caldeira, M. V. & A. F. Filho (2009). Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta* 39(3):619-628.

- Young, T. M.; Bond, B. H. & J. Wiedenbeck (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. Serie de Apoyo Académico 44. Texcoco, Estado de México, México. 49 p: 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.
- Zavala, D & R. Hernández (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* 6(2):41-55.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

Conclusión I

Se identificaron estudios que atienden las actividades productivas del sector forestal con diversas metodologías que constituyen a la administración como una ciencia, esta información permite a los manejadores y poseedores del recurso seleccionar estratégicamente las acciones que desean emprender en el corto y mediano plazo, generando un efecto positivo en los elementos considerados a largo plazo. Adicionalmente, estas decisiones permitirán a la empresa forestal comunitaria alcanzar las metas establecidas con mayor facilidad, empleando y adaptando las tecnologías descritas para el desarrollo socioeconómico de las mismas, logrando en un futuro alcanzar niveles de desempeño y competitividad que atiendan las metas y objetivos planteados en el desarrollo sostenible.

En la actualidad nos encontramos en un entorno cada vez más complejo en el que la competitividad demarca un parteaguas entre las diversas empresas existentes, por tal motivo, es necesario comprender y emplear las diversas técnicas orientadas hacia la administración de las cadenas productivas forestales del sector comunitario. La presencia de los recursos forestales en las futuras generaciones dependerá en una importante proporción de que desarrollemos técnicas de administración forestal conducidas hacia la sostenibilidad.

Conclusión II

Con el tiempo, la industria maderera logró mejorar sus procedimientos de procesamiento y aumentar la productividad, gracias al progreso tecnológico. Por ejemplo, eventos históricos relevantes motivaron a los profesionales de la época a buscar alternativas, diversificar la producción y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, especialmente los residuos sólidos del manejo forestal y el procesamiento de madera.

La disponibilidad de recursos es crucial para la diversificación de la producción de madera, y los residuos de la cosecha forestal y el procesamiento de madera tienen un alto potencial para producir productos alternativos. Los métodos de manejo determinan en gran medida la industria que puede ser abastecida. El uso de rodales forestales de edad uniforme es una alternativa que se enfoca en una alta producción para uno o dos mercados específicos. Por otro lado, las estructuras complejas de los árboles tienen el potencial de suministrar una amplia variedad de productos a varios mercados al mismo tiempo. Además, estos tipos de bosques tienen un alto potencial de almacenamiento de carbono, provisión de servicios ecosistémicos y generación de productos sostenibles.

A su vez, la capacidad industrial instalada delimita la producción de productos madereros, y la diversificación industrial es nuevamente uno de los factores que determina el uso eficiente de los recursos forestales en cada región forestal.

Los sectores de producción y mercado deben impulsar el futuro de la industria maderera en México, basándose en historias de éxito y programas internacionales. Se debe promover la inversión nacional y extranjera para el desarrollo de nuevos productos y capacidades de fabricación que puedan ofrecer productos de madera y pulpa altamente elaborados. Las instituciones de investigación forestal deben desarrollar procesos avanzados y productos emergentes que sean atractivos para el mercado y que permitan la transformación de los residuos de la cosecha de madera.

Este trabajo de revisión permite ejemplificar de manera sencilla los diferentes productos que las industrias madereras de México pueden producir. Se basa en bosques de coníferas que se manejan en gran parte del país, considera las especies más representativas en este tipo de ecosistema y proporciona recomendaciones sobre el uso sostenible de las diferentes estructuras arbóreas encontradas, orientando el uso diverso en relación con la etapa de desarrollo forestal.

Conclusión III

Los resultados muestran que la capacitación tuvo un efecto directo en gran parte de las categorías de diámetro registradas en los muestreos. Asimismo, se encontró que después de la capacitación del personal de campo, los troncos de diámetros más

pequeños tendieron a disminuir, lo que permitió clasificar y distribuir de manera más eficiente la materia prima para el proceso de aserrado de diámetros más grandes. Se encontró que la capacitación del personal de extracción forestal tiene un efecto significativo en cuatro de las seis clases de troncos de madera de 16 pies. También fue posible aumentar el volumen de madera de alta calidad y clase 1, y disminuir la proporción de troncos de clases más bajas, factores que, en conjunto, permiten la reducción de volúmenes de madera aserrada de baja calidad.

Se demostró que la capacitación del personal de cosecha forestal permite el ajuste adecuado de los refuerzos aplicados en los cortes dimensionales de la madera. Este resultado indica que la pérdida de materia prima durante el proceso de transformación se minimizará y la actividad será más eficiente. Al capacitar y preparar técnicamente al personal que lleva a cabo las actividades de tala y dimensionado de la madera, es posible reducir significativamente el volumen de residuos que se descartarán durante el procesamiento de la materia prima.

Para avanzar en la industria maderera, es necesario aplicar métodos para aumentar los parámetros de eficiencia operativa de la producción y, en consecuencia, promover la evolución del proceso productivo. Además, es imperativo dirigir la actividad industrial forestal hacia la sostenibilidad, con la recuperación de materias primas y residuos que pueden dirigirse hacia otros destinos industriales.

Conclusión IV

Durante los 10 años puestos en análisis se identifican periodos de alta y baja posibilidad de aprovechamiento de madera de pino, lo que causa una variación en el número de fletes realizados para ejecutar las actividades de abastecimiento. De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson ($r = 0.775$) se encontró un incremento en el número de fletes en relación de que el volumen autorizado fue incrementado, sin embargo, el volumen autorizado no influye en el volumen medio transportado por los vehículos del ejido Aboreachi, la prueba de Kruskal-Wallis muestra que las diferencias en los flujos de abastecimiento de madera en rollo resultaron significativas ($p = 0.000$) con rangos medios de 9.47 a 11.33 m³r transportados. La variabilidad de los volúmenes transportados y el aumento de los

costos de extracción y abastecimiento a lo largo de 10 años, provocan que los egresos generados relacionados con la materia prima presenten diferencias significativas ($p = 0.000$), no obstante, el egreso medio tiende a ser homogéneo en los primeros cinco años de actividad dado principalmente por la estabilidad de los volúmenes autorizados.

En cuanto a los fletes involucrados en el transporte de madera aserrada se presentaron diferencias significativas ($p = 0.001$) en el volumen medio transportado. Por su parte, el análisis de correlación de Pearson indica una relación positiva entre el aumento del volumen maderable autorizado y el aumento en el número de fletes de madera aserrada realizados con un valor $r = 0.495$. Los egresos estimados de las anualidades por concepto de proceso de aserrío reflejaron diferencias significativas ($p = 0.001$), en este mismo sentido, el año con el costo más alto fue 2019 con una inversión aproximada de \$ 0.72 por PT, esto se debe al incremento anual de los salarios y pago por servicios involucrados en el proceso de transformación maderable. Por otra parte, los ingresos obtenidos por la venta de madera aserrada en las anualidades también resultaron en diferencias significativas ($p = 0.000$). El periodo 2018 presentó el mayor incremento económico en la totalidad de anualidades, en comparación, el año 2013 (menor ingreso) es un 60.01 % inferior. Es evidente que los volúmenes de aprovechamiento, el constante incremento de los costos y el aumento de precio de los productos aserrados, son variables que influyen en el ingreso medio por flete del ejido Aboreachi. Por último, el incremento de la posibilidad anual maderable y la adquisición de equipos de asierre modernos permiten a esta empresa comunitaria aumentar su productividad, se encontró que el cambio tecnológico industrial logró aumentar el rendimiento volumétrico de madera aserrada 9.45 % del año 2012 al 2013, a partir de este año el rendimiento tiende a ser constante.

El presente estudio destaca la importancia de mantener un monitoreo constante de las actividades realizadas en las empresas forestales en producción. La evaluación inmutable de los volúmenes de abastecimiento de materias primas y los productos obtenidos en la posterior transformación, permite a los organismos gestores de recursos naturales conocer las acciones realizadas por los productores forestales.

Adicionalmente, se plantea como una herramienta útil en el proceso de certificación forestal.

Conclusión V

En el estado de Chihuahua, las principales especies aprovechadas y transformadas en productos de madera son *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus durangensis* Ehren. En conjunto, estas especies representan hasta el 86.65 % de las existencias en los aserraderos estudiados. En la distribución de clases de madera en rollo, las calidades 3 y 5 son las más abundantes y presentan una distribución similar en ambas especies.

Para los centros de asierre estudiados, el coeficiente de aserrado promedio corresponde al 45.01 % al tomar en cuenta la presencia de corteza en la troza y sin corteza el rendimiento se incrementa a 51.10 %. Este parámetro cuenta con una distribución normal, con rangos de rendimiento de aserrado de 35.00 a 70.00 %. Los rendimientos más frecuentes son 50.00 y 45.00 %. Existe una relación positiva entre el diámetro de la trocería y el rendimiento de aserrado, asimismo, se identificó que el incremento de la conicidad de la trocería reduce significativamente el rendimiento de aserrado. Esto quiere decir que existe un efecto significativo en el rendimiento de aserrado en relación a el diámetro menor y la conicidad.

Se identificó que el principal producto que se genera en los aserraderos es la madera de 7/8" de espesor. La madera de 8" es el principal ancho que se produce, no obstante, no es significativamente diferente a los anchos de 4 y 6". El principal largo nominal que se produce es la madera de 16' de longitud. La madera de clase número 5 y los tablones son los principales productos que se generan.

Conclusión VI

Los aserraderos modernos presentaron un coeficiente de aserrado sin corteza promedio del 60.93 %; por otra parte, en los aserraderos tradicionales se estimó un coeficiente de aprovechamiento sin corteza promedio de 53.09 %. En rendimiento sin corteza se obtuvieron diferencias significativas, al presentar un valor p de 0.0074 al contrastar el tipo de tecnología empleada.

Las categorías de grueso, ancho y largo nominal presentan diferencias significativas en la mayoría de los productos generados. La distribución de grueso nominal indica que la madera de 88.90 mm es la que presenta las diferencias más importantes de producción en función del tipo de industria, sin embargo, la diferencia es no significativa ($p = 0.345$). En cuanto al ancho nominal, no existen diferencias significativas en los principales anchos nominales (101.60, 152.40 y 203.20 mm), con valores p de 0.484, 0.477 y 0.237 respectivamente. Por último, los largos de 2.44 a 4.88 m (madera de largas dimensiones) no presentaron diferencias significativas por largo producido en el proceso de aserrado, con valores p de 0.457, 0.187, 0.739, 0.360 y 0.297.

De acuerdo con este estudio y lo descrito por otros autores, la materia prima, el conocimiento de los operarios, la capacidad de los equipos de aserrado, la tecnología empleada y las necesidades del mercado, son variables que influyen en la productividad y eficiencia de las industrias del aserrío.

Conclusión VII

Esta investigación permite 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, por otro lado, los aserraderos tradicionales cumplen con su principal objetivo, sin embargo, es necesario buscar y aplicar alternativas que permitan incrementar 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 el 2.13 y el 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.

Conclusión VIII

El rendimiento de madera aserrada es afectado principalmente por el diámetro de la troza; la conicidad y la calidad de la troza no son variables significativas en el coeficiente de transformación de la materia prima, sin embargo, la correlación de Pearson indica que influyen en el rendimiento a medida que se incrementa el ahusamiento y los defectos; por otra parte, la especie no es un factor significativo en el rendimiento de la madera aserrada. La distribución de clases de madera aserrada si presenta diferencias significativas en función de la especie involucrada en el proceso de aserrío, principalmente en las clases 2 y mejor, clase 3 y clase 5. En este sentido, *P. durangensis* presentó mayor rendimiento en las clases con mayor calidad; por su parte *P. arizonica*, resultó superior en la producción de madera aserrada de baja calidad; el resto de variables no mostraron diferencias significativas de rendimiento entre especies. Los resultados encontrados indican que cuanto mayor sea el diámetro de la troza y menor sea la conicidad el rendimiento por clases de madera aserrada se incrementa; la calidad de la madera en rollo presenta un efecto altamente significativo en la calidad de la madera generada tras el proceso de aserrado y llaga a definir la distribución porcentual de la misma. Las variables antes mencionadas, son buenos predictores para estimar el rendimiento volumétrico y distribución porcentual de clases de madera aserrada. Los hallazgos de esta investigación permiten diseñar y proponer estrategias metodológicas para mejorar los procesos de aserrío en las industrias del estado de Chihuahua; los procedimientos metodológicos pueden ser adaptados y replicados en otro tipo de aserraderos de distintas regiones del país y el extranjero.

Conclusión IX

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 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 de espesor inferior de acuerdo con las exigencias del mercado. Por otra parte, de acuerdo con los gráficos de control, se garantiza obtener el 95,00% de madera de 5/4" en dimensión nominal en los cinco aserraderos evaluados. Solo los aserraderos tradicionales garantizan que más del 95,00% de la madera aserrada tendrá una dimensión final nominal de 6/4", 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 grueso 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.

V. REFERENCIAS

- Acosta-Ramos, A., & Martínez-López, J. (2012). Productividad del aserrado de machiche (*Lonchocarpus castilloi* Standl), en Tres Garantías, Quintana Roo, México. *Madera y bosques*, 18(2): 7-26.
- Aguilera, A., Inzunza, L., Alzamora, R., & Tapia, L. (2007). Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque*, 26(2): 107-114.
- Álvarez-Lazo, D., Andrade-Fernando, E., Quintín-Cuador, G., & Domínguez-Goizueta, A. (2004). Importancia del control de las dimensiones de la madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10(2): 105-110.
- Bray, D. B., & Merino-Pérez, L. (2004). *La experiencia de las comunidades forestales en México. Veinticinco años de silvicultura y construcción de empresas forestales comunitarias*. Ciudad de México, CDMX, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Brown, T. D. (1986). *Lumber Size Control*. Corvallis, OR., U.S.A.: Oregon State University, College of Forestry.
- Brown, T. D. (2000). *Lumber Size Control, Part 1: Measurement Methods*. Corvallis, OR., U.S.A.: Oregon State University, College of Forestry.
- Bryant, R. C. (1996). *Lumber its manufacture and distribution*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Carrillo Anzures, F., Acosta Mireles, M., Flores Ayala, E., Torres Rojo, J. M., Sangerman-Jarquín, D. M., González Molina, L., & Buendía Rodríguez, E. (2017). Caracterización de productores forestales en 12 estados de la República Mexicana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7): 1561-1573.
- Chan Martín, M. H., Araujo Molina, O., & Azueta García, M. (2002). Los defectos naturales en la madera aserrada. *Ingeniería*, 6(1): 29-38.
- Chávez-Valencia, L. E., Hernández-Barriga, C., & Ruiz-Jaime, C. L. (2010). Determinación de la calidad de la madera de construcción. *Acta universitaria*, 20(2): 5-13.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). *Actualización del estudio de la cuenca de abasto de la región sur, Estado de Chihuahua, Méx.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Coronel de Renolfi, M., Díaz, F., Cardona, G., & Ruiz, A. P. (2012). Tiempos, rendimientos y costos del aserrado de Algarrobo Blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho*, 20(1,2): 15-28.

- Cown, D. J., McConchie, D. L., & Treloar, C. (1984). Timber recovery from pruned *Pinus radiata* butt logs at Mangatu: Effect of log sweep. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 14(1): 109-123.
- Dirección General de Normas (DNG). (1986). *Norma Mexicana NMX-C-18- 1986. Industria de la Construcción - Tablas y Tablones de Pino - Clasificación*. Ciudad de México, CDMX, México: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas.
- Dobie, J. (1975a). *Lumber recovery practices in British Columbia coastal sawmills*. Vancouver, B.C. Canada: West. For. Prod. Lab. Inf. Rep.
- Dobie, J. (1975b). *Conversion factors for the forest products industry in Western Canada*. Vancouver, B.C. Canada: West. For. Prod. Lab. Inf. Rep.
- Esteves-Magalhães, W. L., Bolzon-Muniz, G. I., Lomelí-Ramírez, M. G., & Batista, D. C. (2010). Estudio de la productividad de corte en madera de *Pinus ellioti*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 12(1): 43-52.
- Estrada-Murrieta, O., David-Bustillos, R., Domínguez-Pereda, A., Gómez-Herrera, V., Rodríguez-García, S. G., Ramos-Nava, I., . . . Chávez-Velázquez, N. (2015). *Estudio de la Cuenca de Abasto de la Región Madera-Casas Grandes del estado de Chihuahua, Mex.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Estrada-Murrieta, O., Lozoya-Contreras, F., Olivero-Hernández, A. M., & Uranga-Vázquez, L. C. (2017). *Estudio de la Cuenca de Abasto de la Región Morelos, Chihuahua, Mex.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ferreira, S., Lima Tarcísio, J., Rosado 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*, 10(1): 10-21.
- Flores Úbeda, R. W., & González Martínez, S. E. (2006). *Evaluación preliminar del rendimiento de aserrado con motosierra de plantaciones de Eucalipto (Eucaliptus camandulensis) en la comunidad Las Marías, Telica León. Trabajo de Diploma*. Mnagua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.
- 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*, 47-59.
- Fuentes-López, M. E., Carrillo-Ávila, Caruillo-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.

- García-Romero, M. G. (2015). *Estudio de Cuenca de Abasto Región Centro-Occidente "Urique, Bocoyna y Ocampo" Chihuahua, México*. Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente Y Recursos Naturales.
- Gatto, D. A., Santini, E. J., Haselein, C. R., & Durlo, M. A. (2004). Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração Italiana do Rio Grande Do Sul. *Ciência Florestal*, 14(1): 223-233.
- Giraldo, A., Bedoya, G., & Vargas, C. (2009). Principales limitaciones del empresarismo que afectan el desarrollo económico y social del país. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 99-112.
- Gobierno del Estado de Chihuahua, Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., & Vázquez-Álvarez, S. (2016). *Programa de Desarrollo Forestal Sustentable Chihuahua 2015*. Chihuahua, Chihuahua, México: Gobierno del Estado de Chihuahua, Secretaría de Desarrollo Rural, Dirección de Desarrollo Forestal.
- Gualpa, M., Suatunce, J., & Canchignia, H. (2019). Tiempos y rendimiento en el proceso de aserrado de *Eucalyptus globulus* Labill, con sierra circular y de cinta. *Enfoque UTE*, 10(2): 126-143.
- Guettabi, M. (2015). The determinants of small business success in Alaska: A Special Focus on the Creative Class. *Economic Development Journal*, 14: 49-58.
- Hernández, R., & Wiemann, M. C. (2006). *Lumber Processing in Selected Sawmills in Durango and Oaxaca, Mexico*. Washington DC, U.S.A.: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Hernández-Cruz, J. S., & Maldonado, J. R. (2018). Análisis Costo-Beneficio de la cadena forestal: el caso de la empresa forestal maderable en Oaxaca. En R. Martínez-Jiménez, G. Trejo-Carbajal, M. Á. López-Velasco, & R. M. Velázquez-Sánchez, *Estudio de las organizaciones y su entorno regional. Oaxaca en la sustentabilidad* (págs. 210-235). Ciudad de México, CDMX: Editorial TECCIS A.C.
- Husch, B., Beers, T. W., & Kershaw Jr., J. A. (2003). *Forest Mensuration. Fourth edition*. New York, N.Y., U.S.A.: John Wiley and Sons, Inc.
- Kiessling-Davison, C. M., & Licón-Trillo, L. P. (2005). *Apuntes de industrias forestales*. Cd. Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- Kilborn, K. A. (2002). *Lumber Recovery Studies of Alaska Sawmills, 1997 to 1999*. Washington D.C., U.S.A.: United States Department of Agriculture, Forest Service.

- 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.
- Loera-García, A. B. (2016). *Metodología para determinar el coeficiente de asierre y programa de capacitación para dos aserraderos del estado de Chihuahua. Tesis de Licenciatura*. Cd. Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- López, N., Yucta, M. F., Caraguay, K., & 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.
- Luján Álvarez, C., Olivas García, J. M., & Hernández Salas, J. (2016). Modelo socioecológico participativo para el desarrollo forestal comunitario sustentable en el estado de Chihuahua, México. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 37 (145), 221-249.
- Luján-Álvarez, C. (1990). *Determinación del patrón óptimo de producción del aserradero "Las Delicias" del ejido forestal "La Trinidad" municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua. Tesis de Maestría*. Cd. Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- Lupo, C. (2017). Social Change Through Entrepreneurship: Utilizing Portable-Sawmill-Based Small Businesses to Promote Community. *Journal of Social Change*, 9(1): 77–86.
- Lupo, C. V. (2010). *The Role of Portable Sawmill Microenterprise Adoption in Promoting Rural Community Development and its Application in Small-Scale Forest Management. Doctoral dissertation*. Auburn, Alabama, U.S.A.: Auburn University, Graduate Faculty.
- Lustrum, S. (1993). *Circular sawmills and their efficient operation*. USDA Forest Service State and Private Forestry. 93 p.
- Martínez Pastur, G., Cellini, J. M., & Vukasovic, R. F. (2004). *Aplicación a gran escala en un aserradero mediano: informe del rendimiento del aserradero KAREKEN*. Módulo Lengua. Subproyecto Aserradero. PIARFON BAP.
- Martínez Pastur, G., Cellini, J. M., Lencinas, M. V., Díaz, B., Peri, P. L., & Vukasovic, R. F. (2001). Funciones de rendimiento volumétrico en pie y aserrado para la Lengua (*Nothofagus pumilio*). *Ciencias Forestales*, 15(1-2): 32-45.
- Martínez, M., & Quiñonez, G. (2015). *Diagramas de Manejo de la Densidad con modelación de Regresión Frontera Estocástica para mezcla de especies de la UMAFOR 0807 Guachochi, Chihuahua*. Chihuahua, Chihuahua, México: Gobierno del Estado de Chihuahua.

- Marušák, R., Kašpar, J., Hlavatý, R., Kotek, V., Kuželka, K., & Vopěnka, P. (2015). Alternative modelling approach to spatial harvest scheduling with respect to fragmentation of forest ecosystem. *Environmental Management*, 1134-1147.
- Merino, L., Rodríguez, J., Ortíz, G., & García, A. (2008). *Estudio estratégico sobre el sector forestal mexicano*. México D.F., México: Consejo civil mexicano para la silvicultura sostenible A.C.
- Meza, A., & Simón, D. (2007). Aserrío de trozas de diámetros menores. *Kurú: Revista Forestal*, 4 (10).
- Moya, R. R., & Córdoba, R. (1995). Evaluación del aserrío y trabajabilidad de madera de Pochote (*Bombacopsis quinatum*) de ocho años de edad. *Revista Forestal Centroamericana*, 4(12): 19-30.
- Nájera, J. A., Aguirre, O. A., Treviño, E. J., Jiménez, J., Jurado, E., Corral, J. J., & Vargas, B. (2011b). 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 sideroxylla* Humb. & Bompl. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*, 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. (2010). *Evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango, México. Tesis de Doctorado*. Linares, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.
- Nájera-Luna, J. A., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Jurado-Ybarra, E., Corral-Rivas, J. J., & Vargas-Larreta, B. (2011a). Tiempos y rendimiento de 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., Sanchez-Medrano, J. A., & Mendez-Gonzalez, J. (2013). Short communication. Lumber yield and production time in sawmilling of pallets in Durango, Mexico. *Forest Systems*, 22(3): 573-577.
- Orozco-Contreras, R., Hernández-Díaz, J. C., Nájera-Luna, J. A., Domínguez-Calleros, P. A., Goche-Telles, J. R., López-Serrano, P. M., & Corral-Rivas, J. J. (2016). Rendimiento en calidad de la madera aserrada de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(36): 37-50.

- 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*, 79-93.
- Pérez Flores, D. A. (2018). *Caracterización y rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie de pino (Pinus oocarpa Schiede) en seis aserraderos en Nueva Segovia y Estelí. Tesis de Maestría*. Managua, Nicaragua: Universidad Agraria Nacional, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.
- Quintana-Luna, J. R. (2015). *Plan de negocios para la instalación de una fabrica de duela de madera de encino. Estudio de Caso de Maestría*. Cd. Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- 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.
- Rascón-Solano, J. (2018). *Mejoramiento de la rentabilidad de la industria forestal en la empresa ejidal Aboreachi, Guachochi, Chihuahua. Estudio de Caso de Maestría*. Ciudad Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- Rascón-Solano, J. (2019). *Proyecto de inversión para una empresa forestal del municipio de Guachochi, Chihuahua. Tesis de Maestría*. Ciudad Delicias, Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.
- Rascón-Solano, J., Kiessling-Davison, C. M., Villarreal-Ramírez, V. H., Macias-Lopez, M. G., & Hermosillo-Nieto, J. J. (2019b). Fortalecimiento del capital económico del ejido forestal Agostadero de Aguirre, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 123-133.
- Rascón-Solano, J., Kiessling-Davison, C. M., Villarreal-Ramírez, V. H., Uranga-Valencia, L. P., & Palacios-Monarez, A. (2019a). Análisis Comparativo de dos Panoramas Económicos en el Desarrollo de un Proyecto de Inversión para el Ejido Forestal Cieneguita de la Barranca, Chihuahua. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 12-21.
- 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 @gronegocio on line*, 15(4): 219-249.
- Roberts, K. (2017). *Análisis del rendimiento y eficiencia actual en la producción de madera aserrada, en el aserradero El Almendro S.A., Cartago, Costa Rica*.

Tesis de Licenciatura. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.

- Rodríguez-Reta, I. (2007). *Aserrío y secado de la madera de Quercus sideroxylla en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría*. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango: Instituto Tecnológico de El Salto.
- Romahn de la Vega, C. F. (1987). *Dendrometría. Serie de apoyo académico Núm. 26*. Chapingo, Estado de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales.
- Ruelas, L., & Dávalos, R. (1999). La industria forestal del Estado de Chihuahua. *Madera y Bosques*, 79-91.
- Scanavaca, L., & Garcia, J. N. (2003). Rendimento em madeira serrada de Eucalyptus urophylla. *Scientia Forestalis*, 63 32-43.
- Schmincke, K. H. (1995). *Forest industries: Crucial for overall socio-economic development*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1994). *Inventario forestal periódico del estado de Chihuahua*. Chihuahua, Chihuahua, México: Subsecretaría Forestal y de la Fauna Silvestre.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016*. Ciudad de México, CDMX: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Somerville, A. (1988). Recouping the pruning investment. *New Zealand Forestry*, (5): 26-27.
- Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF). (1978). *Disposiciones sobre coeficientes de aserrío y usos de refuerzos*. México: Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Dirección General de Control y Vigilancia Forestal.
- Torrecillas-Silva, C. A., Orozco-Contreras, R., Hernández-Díaz, J. C., Hernández, F. J., De la Cruz-Carrera, R., Corral-Rivas, J. J., & 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): 1-21.
- Torres-Rojo, J. M., Moreno-Sánchez, R., & Mendoza-Briseño, M. A. (2016). Sustainable Forest Management in Mexico. *Current Forestry Reports*, 2: 93-105.
- Valério, Á. F., Watzlawick, L. F., Balbinot, R., Wincker Caldeira, M. V., & Filho, A. F. (2009). Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze. *Floresta*, 39(3): 619-628.

- Valério, A. F., Watzlawick, L. F., Dos Santos, R. T., Brandelero, C., & Koehler, H. S. (2007). Quantificação de resíduos e rendimento no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Floresta*, 37(3): 387-397.
- 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.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Vázquez-Álvarez, S., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., González-Hernández, H. G., & Luján-Álvarez, H. (2017). Prospectiva del sistema organizacional del sector forestal en Chihuahua, México. *Madera y Bosques*, 205-222.
- Vignote Peña, S., & Matínez Rojas, I. (2006). *Tecnología de la madera. Tercera edición.* Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Yang, K.-C., & Pulkki, R. E. (2002). Sample Size Determination and Probability Level Estimation. *Taiwan Journal of Forest Science*, 17(2): 135-141.
- Yáñez-Rodríguez, J. L., Estrada-Murrieta, O., Luján-Álvarez, C., Olivas-García, J. M., Vázquez-Álvarez, S., Olivero Hernández, A. M., & Vargas-Saucedo, J. L. (2013). *Estudio de la Cuenca de Abasto de la Región Sur del estado de Chihuahua, Mex.* Chihuahua, Chihuahua, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Zavala, D. (1991). *Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo académico No. 44.* Chapingo, Estado de México, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Zavala, D., & Hernández, R. (2000). Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, 41-55.
- Zavala-Zavala, D. (2003). Efecto del sistema de aserrío tradicional en las características de la madera de encinos. *Madera y Bosques*, 9(2): 29-39.