



DOI: 10.29298/rmcf.v14i79.1347

Artículo de investigación

Rendimiento de aserrado en el sureste del estado de Chihuahua Sawing yield in southeastern Chihuahua state

Joel Rascón-Solano¹, Oscar Alberto Aguirre-Calderón^{2*}

Fecha de recepción/Reception date: 2 de marzo de 2023.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 26 de julio de 2023.

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

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

*Autor para correspondencia; correo-e: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

*Corresponding author; e-mail: 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 identificó la especie, se evaluó su calidad, el rendimiento por categoría de diámetro menor y la conicidad con corteza. Se calculó el rendimiento volumétrico de los espesores, anchos, largos y calidad de madera aserrada obtenida de 1 348 trozas. Las variables se evaluaron con pruebas de normalidad, análisis de varianza y pruebas de correlación con la finalidad de identificar diferencias significativas ($p < 0.05$). Se concluyó que *Pinus arizonica* 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 27.67 % del total; el rendimiento de aserrado más frecuente es de 50.00 %; la categoría de diámetro y la conicidad de la troza son variables que definen 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 learn the distribution of sawn pine species and to estimate a distribution of visual quality classes of the logs, (b) To find out the frequency of sawing yield and evaluate the effect of smallest diameter with bark and log taper on it, and (c) To estimate the volumetric yield and distribution of sawn products in the southwest of Chihuahua State. 182 logs were integrated in the sawing process, and the species, quality, yield by smallest diameter category and taper with bark were determined. The volumetric yield of thicknesses, widths, lengths, and quality of sawn timber obtained from 1 348 logs was evaluated. The variables were evaluated with normality tests, analyses of variance, and correlation tests in order to identify significant differences ($p < 0.05$). *Pinus arizonica* was found to be the main species processed, representing 45.70 % of the total; quality 5 roundwood is the most common class, amounting to 27.67 % of the total; the most frequent sawing yield is 50.00 %; diameter category and log taper are variables that determine

the sawing yield. The main dimensions generated in the southeastern state of *Chihuahua* are a thickness of 7/8", a width of 8", and a length of 16'.

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, suelen ser económicamente relevantes en los países dotados de bosques (Lundmark *et al.*, 2021), en los cuales se producen más de 5 000 tipos de productos derivados de la madera, generando un Producto Interno Bruto (PIB) anual de poco más de 600 billones de dólares, equivalente aproximadamente a 1.00 % del PIB mundial (The World Bank Group, 2022).

En México, la producción forestal de 2022 representó un PIB estimado de 41 803 millones de pesos (Conafor, 2022). La industria del aserrío se considera la actividad económica de mayor importancia en regiones con actividad forestal maderable (Rascón-Solano *et al.*, 2022a), ya que está conformada por microempresas estratégicas que abonan a la producción nacional (Moctezuma y Flores, 2020). La escuadría y los durmientes suman 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).

La identificación de esas limitaciones y la determinación de la eficiencia pueden analizarse mediante la evaluación del rendimiento volumétrico del proceso de asierre en función de variables como el diámetro, la longitud y la conicidad de las trozas (Casagrande *et al.*, 2019), puesto que para medir la eficiencia productiva se han desarrollado metodologías que se basan en estimaciones de los coeficientes de conversión (Gonçalves *et al.*, 2018). Al respecto, es necesario calcular la eficiencia productiva a partir de la relación de madera aserrada obtenida en función del volumen de madera en rollo (Borz *et al.*, 2021). Asimismo, es importante identificar tanto las variables intrínsecas (longitud, diámetro, conicidad y calidad de la troza), como las extrínsecas (distribución de productos aserrados primarios) que determinan los coeficientes de aserrado (Zavala y Hernández, 2000).

En función de lo descrito, se plantearon como objetivos de la presente 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, tienen 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 Balleza, Guachochi y Urique ubicados en el suroeste del estado de Chihuahua, los cuales se localizan en una de las regiones forestales de mayor importancia maderable en el estado (Rascón-Solano *et al.*, 2021). La toma de datos se efectuó en los años 2021 y 2022 en aserraderos de sierra banda de tres empresas privadas y de 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 tienen 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). 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 tienen aserraderos iguales con capacidad de 8 000 pt por turno.

Los ejidos Sehuerachi y Tónachi utilizan un equipo *Select Sawmill Co.*® modelo 4221 de doble corte (corte frontal y en retroceso) de fabricación canadiense, el corte es 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. Su capacidad instalada es de 8 000 pt por turno.

El ejido Tetahuichi emplea un aserradero *Baker*® modelo LQ-72 de fabricación estadounidense, con cinta de corte horizontal, volantes de 711 mm de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 38 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Su capacidad productiva es de 8 000 pt por turno.

En el ejido Santa Anita se trabaja con un equipo *MEBOR*® modelo HTZ 1000 fabricado en Eslovenia, el cual 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, y 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; se registraron los diámetros con y sin corteza (cm) con un

flexómetro *Truper*® de 8 metros, la longitud (m) fue medida con una cinta *Truper*® de 50 metros, calidad visual y especie de cada troza que se identificó a partir de muestras botánicas de follaje y conos, características físicas de la corteza y coloración de albura y duramen. En el Cuadro 1 se muestran los datos generales de cada especie registrada.

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

Especie	N	D med (cm)	DS (cm)	Var	CV (%)	Volumen medio (m³)		
						Con corteza	Sin corteza	Corteza
<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

N = Número de muestras; *D med* = Diámetro medio; *DS* = Desviación estándar; *Var* = Varianza; *CV* = Coeficiente de variación; *P. ari* = *Pinus arizonica* Engelm.; *P. dur* = *Pinus durangensis* Martínez; *P. lei* = *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham.; *P. eng* = *Pinus engelmannii* Carrière; *P. lum* = *Pinus lumholtzii* B. L. Rob. & Fernald; *P. str* = *Pinus strobiformis* Engelm.; *P. chi* = *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. var. *chihuahuana* (Engelm.) Shaw.

Para estimar la distribución de clases en 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 (Secretaría de Comercio y Fomento

Industrial, 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. La calidad alta corresponde al menor número de defectos visuales y la calidad 5 al mayor número de defectos.

En el Cuadro 2 se presenta el número de trozas analizadas por aserradero (1 348 en total), el tamaño de muestra se estimó con un 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
Ejido Cieneguita	101	38.2	8.4	4.9	0.1	1.2	0.7
Ejido Corareachi	102	39.4	5.7	4.9	0.1	1.3	0.6
Ejido Samachique	96	37.4	7.6	5.0	0.0	1.4	0.7
Ejido Aboreachi	91	40.3	10.8	5.0	0.1	0.8	0.7
Ejido Caborachi	94	38.8	7.8	4.9	0.1	0.9	0.7
Ejido San Carlos	104	40.9	8.6	5.0	0.1	1.6	0.9
Ejido Santa Anita	72	37.5	7.3	4.9	0.1	1.4	0.7
Ejido Sehuerachi	79	38.7	9.2	4.9	0.1	1.7	1.2
Ejido Tecorichi	117	36.9	8.9	4.9	0.1	1.5	1.0
Ejido Tetahuichi	108	36.6	8.1	4.9	0.1	1.5	0.9
Ejido 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.

El volumen de cada troza se estimó con la fórmula de *Smalian* (Husch *et al.*, 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 (ONNCCE, 2001), en la cual la clase 2 y mejor es la que presentó las mejores características visuales y la clase 5 tuvo mayor número de defectos.

Los defectos considerados fueron 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 utilizó la 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):

$$R\% = \frac{V_a}{V_r} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

$R\%$ = Rendimiento porcentual de madera aserrada

V_a = Volumen de los productos (m^3)

V_r = Volumen de madera en rollo sin corteza (m^3r)

Procedimiento estadístico

En la muestra de 182 trozas, las variables evaluadas 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; para ello se aplicó la prueba de *Shapiro-Wilk* ($p < 0.05$) (Pedrosa *et al.*, 2015) 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 presentaron diferencias significativas a una $p < 0.05$, así mismo, se hicieron pruebas de correlación de *Pearson* ($p < 0.05$) para determinar el efecto del diámetro y conicidad en el rendimiento de aserrado (Rascón-Solano *et al.*, 2023).

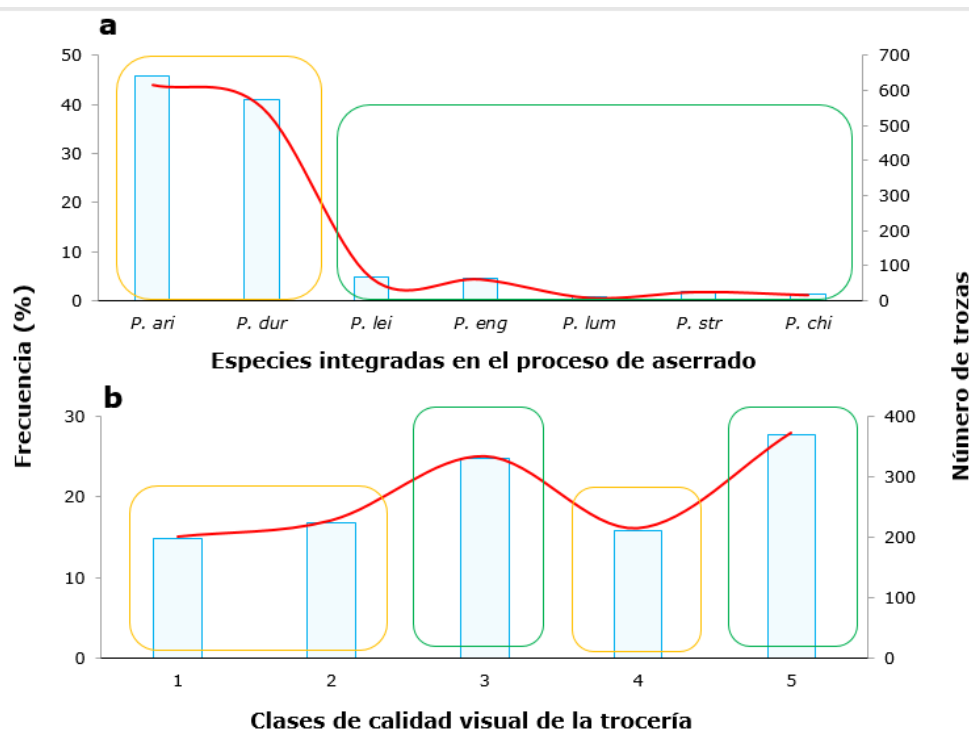
En la muestra total de 1 348 trozas se consideraron las variables: categoría de espesor nominal, ancho nominal, largo nominal y clases de calidad visual de la madera aserrada (2 y mejor, clase 3, clase 4 y clase 5) y su distribución de rendimiento volumétrico. La normalidad de las variables se analizó con la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* ($p < 0.05$) (Pedrosa *et al.*, 2015). Al comprobar que las variables presentaban una distribución normal, se llevó a cabo un análisis de varianza con pruebas de comparación de medias de *Duncan* ($p < 0.05$) para identificar las categorías de cada variable con diferencias significativas entre categorías. Estas pruebas se realizaron para determinar las categorías con una

distribución de rendimiento similar. Se empleó el paquete estadístico *IBM-SPSS* versión 25 para desarrollar los análisis de la información (IBM, 2017).

Resultados

Características de las trozas muestreadas

Las principales especies aprovechadas y transformadas en productos de madera fueron *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus durangensis* Martínez, que representaron 45.70 y 40.95 %, respectivamente, de las existencias procesadas y tuvieron un intervalo similar de presencia en los aserraderos estudiados ($p>0.05$) (Figura 1a). En cuanto a la distribución de clases de calidad de madera en rollo, las calidades 3 y 5 fueron las más abundantes y presentaron una distribución similar ($p>0.05$); la calidad 5 fue la más importante con 27.67 % de las trozas procesadas. En las calidades 1, 2 y 4 se detectó una proporción similar ($p>0.05$); la calidad 1 fue la menos representativa del total de la muestra registrada (14.84 %) (Figura 1b).



(a) Distribución de especies registradas en el proceso; (b) Distribución de clases de calidad de madera en rollo. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). *P. ari* = *Pinus arizonica* Engelm.; *P. dur* = *Pinus durangensis* Martínez; *P. lei* = *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham.; *P. eng* = *Pinus engelmannii* Carrière; *P. lum* = *Pinus lumholtzii* B. L. Rob. & Fernald; *P. str* = *Pinus strobiformis* Engelm.; *P. chi* = *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. var. *chihuahuana* (Engelm.) Shaw.

Figura 1. Características de las trozas muestreadas estimadas en una muestra de 182 trozas de *Pinus* spp.

Coeficiente de aserrado

El Coeficiente de aserrado (rendimiento) promedio global correspondió a 45.01 % en un intervalo de 40.53 a 50.87 % con presencia de corteza en la troza, y sin corteza el rendimiento (coeficiente de aserrado) se incrementa a 51.10 % con un intervalo de 46.67 a 57.68 %, lo que representa una influencia de la corteza de 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), si se considera que un metro cúbico rollo tiene 424 pies tabla (pt) sin refuerzo.

De acuerdo con la Figura 2, se obtuvieron intervalos de rendimiento de aserrado de 35.00 a 70.00 %. Los rendimientos más frecuentes fueron 50.00 y 45.00 %, los 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.

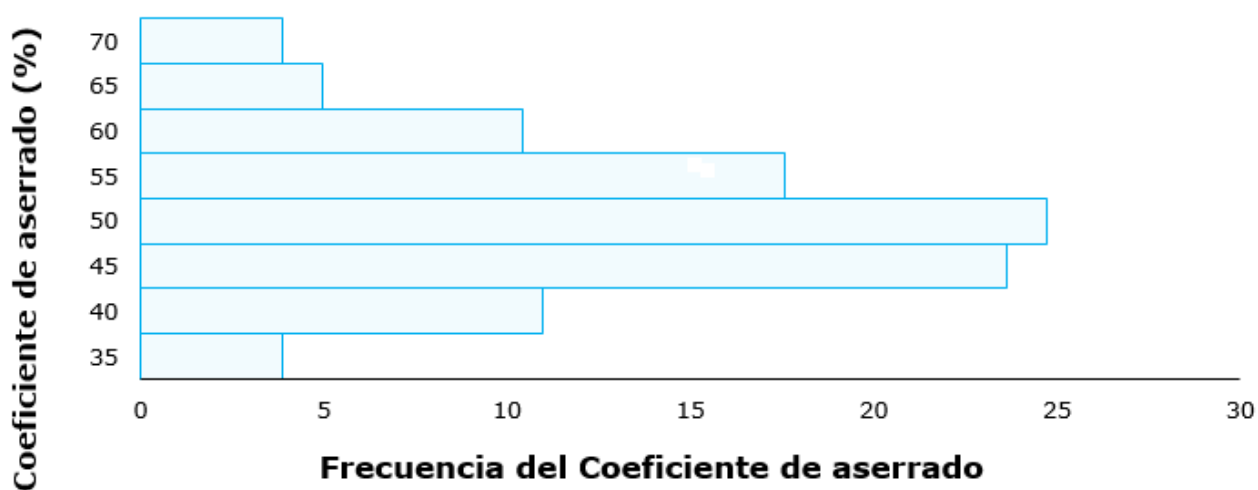
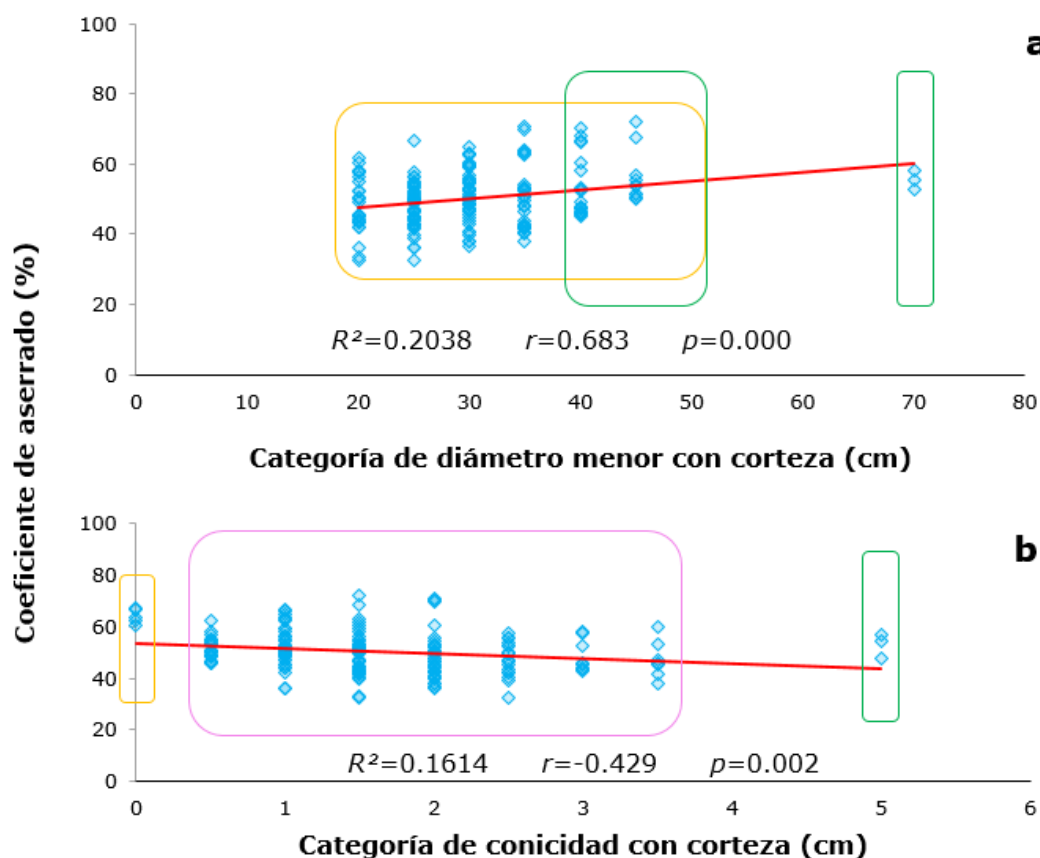


Figura 2. Frecuencia relativa del Coeficiente de aserrado estimado en una muestra de 182 trozas de *Pinus* spp.

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 tuvo diferencias significativas. La correlación de *Pearson* indica que existe una relación positiva entre el diámetro de la trocería y el rendimiento (Figura 3a), lo cual revela que un mayor diámetro incrementará la productividad. En la Figura 3b se muestran diferencias significativas en el rendimiento por categorías de conicidad ($p < 0.05$). La categoría de conicidad de 0 cm registró 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* indicaron que el incremento de la conicidad de la trocería reducirá significativamente el rendimiento de aserrado. El valor $r = -0.429$ indica un decremento del rendimiento en relación al aumento de la conicidad.

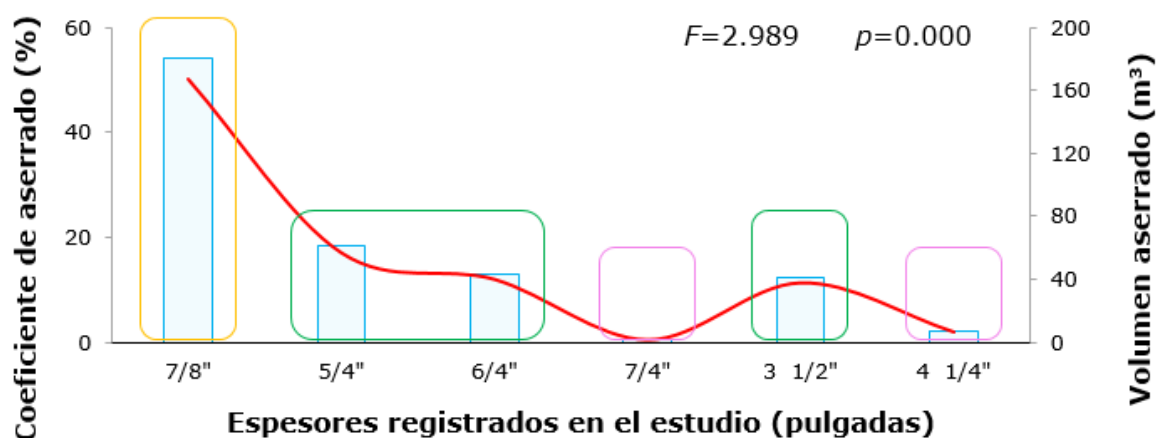


(a) Por categoría de diámetro menor con corteza; (b) Por categoría de conicidad con corteza. Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). R^2 = Coeficiente de determinación; r = Coeficiente de correlación de *Pearson*; p = Significancia del valor de P .

Figura 3. Rendimiento de aserrado estimado en una muestra de 182 trozas de *Pinus* spp.

Rendimiento de aserrado por espesor nominal

De acuerdo con el análisis de varianza se presentaron diferencias significativas en el rendimiento por grueso nominal de madera aserrada ($p < 0.05$) (Figura 4). La producción de escuadría se concentró, principalmente, en el espesor nominal de 7/8" (54.12 %), seguido de la madera de 5/4", 6/4" y 3 1/2" que representó un aporte volumétrico similar ($p > 0.05$). La madera de 7/4" y 4 1/4" no registraron 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).

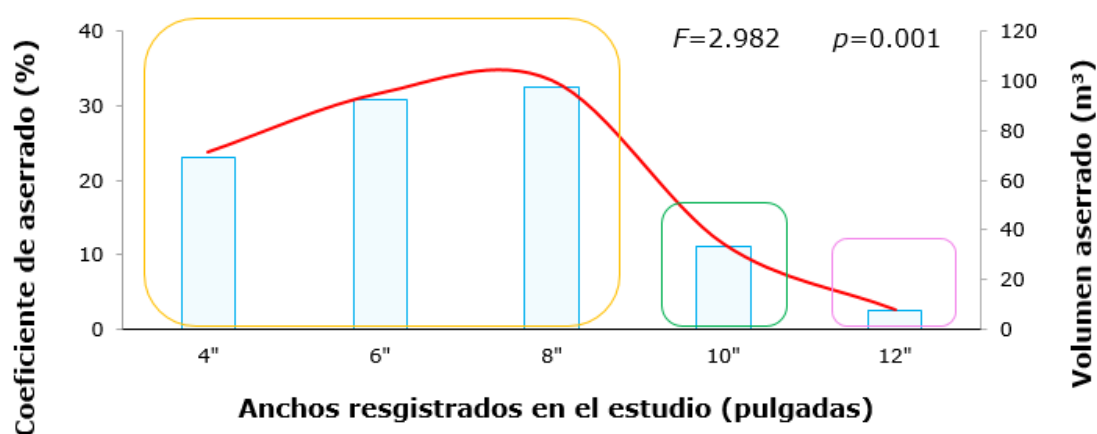


Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 4. Rendimiento de aserrado por espesor de los productos estimado en una muestra de 1 348 trozas de *Pinus* spp. procesadas en 14 aserraderos del sureste del estado de Chihuahua, México.

Rendimiento de aserrado por ancho nominal

El rendimiento volumétrico por ancho nominal se muestra en la Figura 5; se obtuvieron 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 intervalos de rendimiento de 23.10, 30.78 y 32.48 % de la producción ($p > 0.05$). Los anchos de 10" y 12" fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$). Se estima que por cada metro cúbico de madera en rollo sin corteza resulta una 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 solo se obtienen 5.46 pt de este producto.

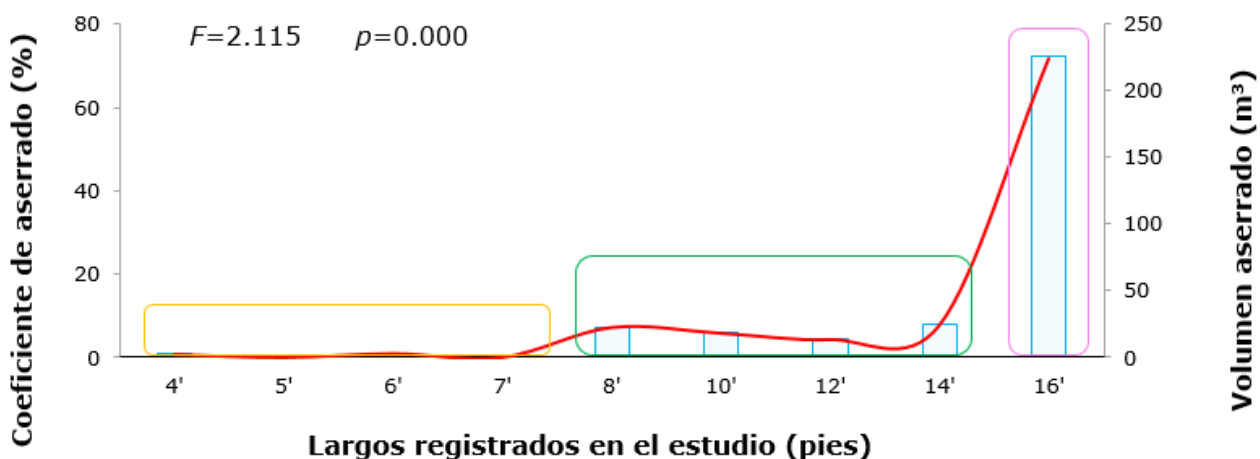


Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 5. Rendimiento de aserrado por ancho de los productos estimado en una muestra de 1 348 trozas de *Pinus* spp. procesadas en 14 aserraderos del municipio Guachochi, Chihuahua, México.

Rendimiento de aserrado por largo nominal

Los resultados indicaron que el rendimiento en el largo nominal presenta diferencias significativas ($p < 0.05$). Los largos de madera aserrada de 4' a 7' correspondieron a las categorías con el menor rendimiento y no fueron significativamente diferentes entre sí ($p > 0.05$). Las clases de largo de 8' a 14' registraron un rendimiento no significativamente diferente ($p > 0.05$). Por último, la madera de 16' de largo fue el principal producto generado, y es la única clase que fue 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 tienen una producción de 55.64 pt; la madera de 16' de largo es la de mayor importancia, y aporta 156.72 pt por cada metro cúbico de madera en rollo aserrado (Figura 6).

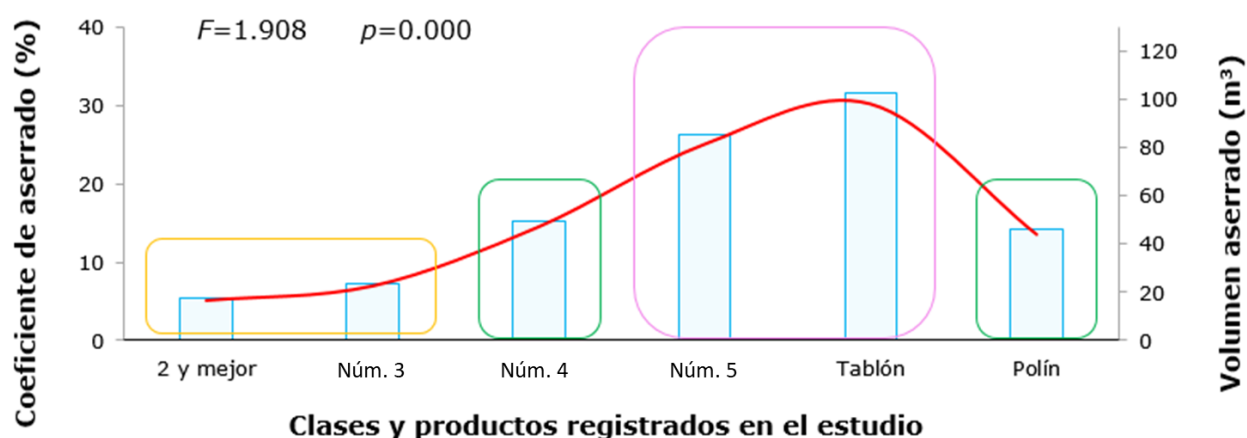


Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

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 Guachochi, Chihuahua, México.

Rendimiento de aserrado por clases de calidad

En la Figura 7 se muestran diferencias significativas en cuanto al rendimiento entre las diversas clases de madera aserrada ($p < 0.05$). La madera de calidad 2 y mejor (5.35 %) y clase número 3 (7.29 %), no fueron significativamente diferentes con respecto al rendimiento por metro cúbico de trocería aserrada sin corteza y aportaron el menor volumen a la producción (12.64 % del total). La clase número 4 y el polín tuvieron un rendimiento similar (15.21 y 14.20 %, respectivamente), en conjunto representan una producción de 29.41 % (63.73 pt). Mientras que el 57.95 % restante lo conformaron 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 metro cúbico de madera en rollo, la madera de clase número 4 y el polín aportaron 63.73 pt con refuerzo, y por último, la clase número 5 y el tablón contribuyeron con el mayor volumen, 125.55 pt con refuerzo por metro cúbico de madera en rollo procesada, y se obtuvieron en total 216.67 pt m⁻³r sin corteza, lo que representa un Coeficiente de aserrío con dimensiones nominales de 51.10 % en promedio.



Variables dentro de globo común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Figura 7. Rendimiento de aserrado por clases y productos registrados de acuerdo con la NMX-C-224-ONNCCE-2001 (ONNCCE, 2001) estimado en una muestra de 1 348 trozas de *Pinus* spp., procesadas en 14 aserraderos del municipio Guachochi, Chihuahua, México.

Discusión

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

Las calidades 3 y 5 de la trocería son las más abundantes, lo anterior responde a que la madera en rollo con presencia de defectos físicos es propia de los bosques naturales que no se podan para incrementar la calidad de la madera. En este

sentido, Jelonek *et al.* (2022) señalan que aplicar podas en el arbolado de pino en bosques naturales permite aumentar la calidad de la madera, ya que esta práctica reduce el número de nudos y aumenta el volumen de madera limpia en el tronco. Por su parte, Krajnc *et al.* (2019) indican que para incrementar 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 % con corteza, sin corteza el rendimiento se incrementa a 51.10 %. Rascón-Solano *et al.* (2022b) estimaron un Coeficiente de aserrado de 51.87 % con corteza y con un intervalo de 42.47 a 55.79 % en un aserradero del sureste de Chihuahua, resultado que se aproxima a lo estimado en esta investigación. En cambio, Nájera-Luna *et al.* (2011) calcularon rendimientos con corteza en aserraderos de la región de El Salto, Durango, de 57.50 %, y Orozco *et al.* (2016) obtuvieron un rendimiento con corteza promedio de 47.47 % en diferentes especies de pino, también en el estado de Durango. En el presente estudio se registró un rendimiento de aserrado con corteza de entre 35.00 y 70.00 %, con una distribución normal de los coeficientes de aserrado, y el rendimiento de 50.00 % es el más frecuente. Ortiz *et al.* (2016) citan una distribución normal en el Coeficiente de aserrado de pino en el estado de Oaxaca, e indican que la probabilidad estimada del rendimiento volumétrico medio es de 48.27 % en un intervalo de 21.87 a 62.71 %.

Por su parte, Borz *et al.* (2021) evaluaron el rendimiento de abeto noruego [*Picea abies* (L.) H. Karst.] 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 %; cabe señalar que solo consideraron 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 *et al.* (2020) documentan que no hay un incremento lineal entre el diámetro y el rendimiento de madera aserrada en diez especies comerciales de la Amazonía en el estado de Amapá en Brasil. En cambio, Nájera-Luna *et al.* (2011) 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, se incrementa el rendimiento, por lo tanto, esta variable tiene un efecto significativo. De acuerdo con la tendencia de los datos y el análisis de correlación, se observó que el incremento de la conicidad de la trocería reduce el rendimiento de aserrado. Zavala y Hernández (2000) señalan que la conicidad de la troza es un factor importante en la productividad maderable. Al respecto, Ortiz *et al.* (2016) registraron 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 presenta rendimientos altos debido al efecto del diámetro de las trozas.

El rendimiento por grueso nominal fue representado, principalmente, por la madera de 7/8" (54.12 %). En este estudio, la importancia de esta dimensión es superior a lo descrito por Nájera *et al.* (2011), 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, que suman 86.36 % del total. Caso contrario, Ortiz *et al.* (2016) determinaron que el ancho de 12" representa 54.18 %. La diferencia 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. Nájera *et al.* (2011) indican que al largo de 16' le corresponde 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) señalan que la madera de calidad inferior representa hasta 50.98 % del total. Orozco *et al.* (2016) estiman un rendimiento para madera de clase 5 de 46.98 %. Estos resultados se relacionan, principalmente, con la calidad de la madera en rollo, que como se mencionó 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* y *Pinus durangensis*. En conjunto, representan hasta 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.

Para los centros de asierre estudiados, el Coeficiente de aserrado promedio corresponde a 45.01 % con corteza en la troza y sin corteza el rendimiento se incrementa a 51.10 %. Este parámetro tiene una distribución normal, con intervalos 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, es decir, existe un efecto significativo en el rendimiento de aserrado en relación al diámetro menor y la conicidad.

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 producido 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 Humanidades, 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

- Barnes, R. M. 1968. Motion and time study: design and measurement of work. John Willey & Sons. New York, NY, United States of America. 799 p.
- Borges De L., R., R. L. Caraciolo F., J. A. Aleixo Da S., M. Carneiro G., ... y L. F. Da Cruz S. 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.
- Borz, S. A., M. Oghnoum, M. V. Marcu, A. Lorincz and 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):810. Doi: 10.3390/f12060810.
- Casagrande S., M., A. Costa O., B. L. Corradi P. and J. Melo F. 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.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2022. PIB Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/indicadores-economicos/>. (24 de mayo de 2023).
- Gonçalves P., A. L., A. Negrão M., S. Silva e S. e E. Leite C. 2018. Análise dos resíduos gerados por indústrias de beneficiamento de madeira na região metropolitana de Belém. In: Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira. XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira e III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira. São Carlos, SP, Brasil. pp. 1-11.
- https://www.researchgate.net/publication/324921233_ANALISE_DOS_RESIDUOS_GERADOS_POR_INDUSTRIAS_DE_BENEFICIAMENTO_DE_MADEIRA_NA_REGIAO_METROPOLITANA_DE_BELEM#fullTextFileContent. (25 de febrero de 2023).
- Hernández H., R., Y. Mayett M., S. Rodríguez P. y G. Fernández L. 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.

- Hernández-Salas, J., Ó. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, ... y L. A. Domínguez-Pereda. 2018. Dinámica del crecimiento de un bosque templado bajo manejo en el noroeste de México. *Madera y Bosques* 24(2):e2421767. Doi: 10.21829/myb.2018.2421767.
- Holguín-Estrada, V. A., E. Alanís-Rodríguez, O. Aguirre-Calderón, J. I. Yarena-Yamallel y M. Á. Pequeño-Ledezma. 2021. Estructura y composición florística de un bosque de galería en un gradiente altitudinal en el noroeste de México. *Madera y Bosques* 27(2):e2722123. Doi: 10.21829/myb.2021.2722123.
- Husch, B., T. W. Beers and J. A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, United States of America. 456 p.
- International Business Machines (IBM). 2017. *IBM SPSS Statistics 25*. Armonk, NY, United States of America. International Business Machines Corp. <https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-25>. (23 de febrero de 2023).
- Jelonek, T., J. Kopaczyk, M. Neumann, A. Tomczak, ... and 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 and 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 and 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 and 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 M., I., D. Álvarez L., Y. La O M., G. Céspedes C. and Y. Segurado G. 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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2310-34692020000300507&script=sci_abstract&tlng=en. (26 de febrero de 2023).
- Lundmark, R., T. Lundgren, E. Olofsson and W. Zhou. 2021. Meeting challenges in forestry: Improving performance and competitiveness. *Forests* 12(2):208. 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 L., 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 L., J. A., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G., J. Jiménez P., ... y B. Vargas L. 2011. Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(4):77-92. Doi: 10.29298/rmcf.v2i4.610.
- Nájera-Luna, J. A., O. A. Aguirre-Calderón, E. J. Treviño-Garza, J. Jiménez-Pérez, ... y B. Vargas-Larreta. 2011. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2):199-213. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.05.034.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. (ONNCCE). 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. Dirección General de Normas (DGN). México, D. F., México. 41 p. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/744.pdf>. (24 de febrero de 2023).

- Orozco C., R., J. C. Hernández D., J. A. Nájera L., P. A. Domínguez C., ... y J. J. Corral R. 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 B., R., S. D. Martínez, D. E. Vázquez R. 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.
- Pedrosa, I., J. Juarros-Basterretxea, A. Robles-Fernández, J. Basteiro y E. García-Cueto. 2015. Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica* 14(1):245-254. Doi: 10.11144/Javeriana.upsy14-1.pbad.
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43629201.pdf>. (25 de febrero de 2023).
- Rascón-Solano, J., J. E. Magaña-Magaña, C. M. Kiessling-Davison, L. P. Licón-Trillo, M. Portillo-Vázquez y V. S. Galván-Moreno. 2021. Viabilidad técnica, financiera y económica de establecer un aserradero privado en el Noroeste de México. *Custos e @gronegocio online* 17(4):332-357. <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. 2022a. 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.
- Rascón-Solano, J., Ó. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza y J. A. Nájera-Luna. 2022b. 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., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez, J. Jiménez-Pérez, E. J. Treviño-Garza y J. A. Nájera-Luna. 2023. Rendimiento y distribución de clases de madera aserrada de pinos del norte de México. *Colombia Forestal* 26(2):60-76. Doi: 10.14483/2256201X.20082.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 1988. Norma Mexicana NMX-C-359-1988. Industria Maderera-Trocería de Pino-Clasificación. Dirección General de Normas (DGN). México, D. F., México. 26 p. <https://vdocuments.mx/nmx-c-359-1988.html?page=1>. (24 de febrero de 2023).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2021. Anuario estadístico de la producción forestal 2018. Semarnat. Miguel Hidalgo, Cd. Mx., México. 297 p. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf>. (24 de mayo de 2023).

The World Bank Group. 2022. Global Gridded Agricultural Gross Domestic Product (AgGDP) Data Catalog (Version 3). <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0061507/Global-Gridded-Agricultural-Gross-Domestic-Product--AgGDP->. (24 de mayo de 2023).

Zavala Z., D. y R. Hernández C. 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.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.