



Colombia Forestal

ISSN: 0120-0739

ISSN: 2256-201X

Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Rascón-Solano, Joel; Aguirre-Calderón, Oscar Alberto; Alanís-Rodríguez, Eduardo; Jiménez-Pérez, Javier; Treviño-Garza, Eduardo Javier; Nájera-Luna, Juan Abel  
Rendimiento y distribución de clases de madera aserrada de pinos del norte de México  
Colombia Forestal, vol. 26, núm. 2, 2023, Julio-Diciembre, pp. 60-76  
Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.20082>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423975519005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UDEM  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



## 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

Joel Rascón-Solano<sup>1</sup> , Oscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>2</sup> , Eduardo Alanís-Rodríguez<sup>2</sup> ,  
Javier Jiménez-Pérez<sup>2</sup> , Eduardo Javier Treviño-Garza<sup>2</sup> , Juan Abel Nájera-Luna<sup>3</sup>

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.

**Recepción:** 9 de noviembre 2022

**Aprobación:** 13 de abril 2023

#### Resumen

En esta investigación se planteó determinar el rendimiento de madera aserrada y la distribución de clases de pino en función de la especie, dimensión y calidad de la troza. Se analizaron 101 trozas de pino clasificadas con la NMX-C-359-1988, tomando datos de especie, clase, diámetro, conicidad y longitud. Se contabilizaron los productos obtenidos y se clasificaron con la NMX-C-224-ONNCCE-2001, en aras de determinar el rendimiento volumétrico por troza. Se realizaron pruebas de homogeneidad de varianzas, ANOVA, de Shapiro-Wilk y de correlación de Pearson con una significancia  $\leq 0.05$ . Se encontró que, cuanto mayor sea el diámetro de la troza y menor 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 mencionadas son buenos predictores para estimar el rendimiento volumétrico y la proporción de clases de madera aserrada de pino.

**Palabras clave:** aserradero, calidad de madera, calidad de la troza.

#### Abstract

This research aimed to determine the yield of sawn wood and the distribution of pine classes depending on the species, size, and quality of the log. 101 pine logs classified with NMX-C-359-1988 were analyzed, collecting data on species, class, diameter, taper, and length. The products obtained were counted and classified with NMX-C-224-ONNCCE-2001 in order to determine the volumetric yield per log. Homogeneity of variance, ANOVA, Shapiro-Wilk, and Pearson's correlation tests were performed at a significance  $\leq 0.05$ . 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 exhibits a highly significant effect on sawn wood quality. The aforementioned variables are good predictors to estimate the volumetric yield and proportion of sawn pine wood classes.

**Keywords:** sawmill, wood quality, log quality.

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

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

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

Autor de correspondencia.

## 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 *et al.*, 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 & Hernández, 2000; Polanco, 2002; Hansen *et al.*, 2011; Marchesan *et al.*, 2014; Ortiz *et al.*, 2016). El aserrado suele ser visto por muchos como un proceso de fabricación simple, pero es un flujo de trabajo técnico bastante complejo y caracterizado por una cantidad sustancial de elementos de procesamiento diferentes (Borz *et al.*, 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, el tipo de productos que demanda el mercado, la experiencia del personal y las características de los equipos de transformación, son factores que añaden complejidad a la actividad maderera (Lähtinen *et al.*, 2008; Han & Hansen, 2016).

En cuanto a la calidad de la materia prima, Vaughan *et al.* (2018) indican 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 & Middleton, 1980; Monserud *et al.*, 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, en aras de evitar defectos en la madera dimensional (Edlund & Warensjö, 2005; Gorges *et al.*, 2021). Zavala y Hernández (2000) mencionan que la calidad de las trozas afecta la proporción de las calidades de la madera aserrada y la rentabilidad del proceso de aserrío.

De acuerdo con Zhang *et al.* (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 & 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 norma mexicana NMX-C-224-ONNCCE-2001, donde se toma en cuenta el número, el tamaño, la ubicación de los nudos (si estos están vivos, pegados o sueltos) y 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 *et al.*, 2010). En este 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. Esto, 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, la forma y la localización de defectos internos de la troza permite mejorar el valor y la calidad de la madera aserrada. Adicionalmente, esto 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 una región determinada (Orozco *et al.*, 2016).

El objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento de la madera aserrada y la distribución de clases de pino en función de la especie, el diámetro y la calidad de la troza, partiendo del análisis comparativo entre *Pinus durangensis* Mtz. y *Pinus arizonica* Engelm., las especies comerciales

más importantes en el estado de Chihuahua. Se plantearon 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 está 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 hay un 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 de diámetro, cinta de corte fino y diente trabado de 35 mm de ancho y 1.07 mm de espesor. Hay 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 es manejado en pantallas táctiles. Los cortes pueden ser programados en modo manual, en modo automático, en un

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

### Muestreo y tamaño de muestra

En el proceso de experimentación se analizaron 48 trozas de *Pinus durangensis* y 53 de *P. 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. Esto, 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 (4.88 m) más refuerzo (15 cm), y se seleccionaron al azar de las áreas de corta de la anualidad 2021 del ejido Aboreachi en dos periodos de extracción, tratando de guardar cierta proporcionalidad en el número de trozas entre las especies estudiadas, sin considerar la calidad de las mismas para evitar sesgos (Tabla 1).

### Métodos

De acuerdo con lo recomendado por Orozco et al. (2016), cada troza se marcó con pintura en diversos colores para su diferenciación e identificación. 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

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

Especie	Diámetro (cm)		Conicidad (cm)		Número de trozas por clase					Volumen sin corteza (m³)	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

\*Std.: desviación estándar; N: número de observaciones.

norma mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988), con la siguiente clasificación: México 1 = primera calidad; México 2 = segunda calidad; México 3 = tercera calidad; México 4 = cuarta calidad; México 5 = quinta calidad. Para determinar el volumen, se empleó la fórmula de Smalian, que se expresa en la siguiente ecuación:

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

Donde:

V = Volumen del tronco (m<sup>3</sup>)

S<sub>0</sub> = Superficie de diámetro mayor del tronco (m<sup>2</sup>)

S<sub>1</sub> = Superficie del diámetro menor del tronco (m<sup>2</sup>)

L = Largo del tronco (m)

La conicidad de las trozas hace referencia a la diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor con la distancia que los separa. Para determinar esta variable, se utilizó la siguiente relación:

$$C = \frac{DM}{Dm} \times L$$

Donde:

C = Conicidad de la troza (cm/m)

DM = Diámetro mayor sin corteza (cm)

Dm = Diámetro menor sin corteza (cm)

L = Largo del tronco (m)

Una vez aserrada, la madera se clasificó en las clases 2 y mejor, clase 3, clase 4 y clase 5, de acuerdo con la norma mexicana NMX-C-224-ON-NCCE-2001 (DGN, 2001), así como en tablón y polín, mismos productos que fueron analizados. El volumen de cada pieza de madera obtenida tras el proceso de aserrado se estimó con la siguiente expresión:

$$V = t \times w \times L$$

Donde:

V = Volumen de la tabla (m<sup>3</sup>)

t = Grueso de la tabla (m)

w = Ancho de la tabla (m)

L = Longitud de la tabla (m)

Una vez calculado el volumen de cada troza y de la madera aserrada resultante del proceso de transformación, se calculó el rendimiento del aserrado (también *coeficiente de aserrado* o *coeficiente de transformación*) de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

Donde:

R% = Rendimiento porcentual de madera aserrada

V<sub>a</sub> = Volumen de las tablas por grueso, ancho y largo nominal (m<sup>3</sup>)

V<sub>r</sub> = Volumen de madera en rollo sin corteza (m<sup>3</sup> r)

## Análisis estadístico

El paquete estadístico IBM-SPSS (versión 25) se empleó 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 Levene con un valor de significancia  $p \leq 0.05$ . Posteriormente, se realizaron análisis de ANOVA a un nivel de significancia del 0.05. Las variables que presentaron desigualdad de varianzas fueron tratadas con un test de ANOVA con corrección de Welch a un nivel de significancia  $\leq 0.05$ . Se tomó en cuenta el efecto de la especie, el diámetro menor, la conicidad y la clase de trocería en el rendimiento del aserrado. También se determinaron el efecto de la especie, el diámetro menor, la conicidad y la clase de la troza en la distribución de rendimiento de las clases de madera aserrada. Por último, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk ( $p \leq 0.05$ ) 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 para cada uno de los productos aserrados.

## RESULTADOS

### Rendimiento del aserrado

El coeficiente de transformación promedio fue de 52.99 %. Las dos especies evaluadas no mostraron diferencias estadísticas ( $p=0.8864$ ) para 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 ( $m^3r$ ), equivalente a producir 225.51 pies tabla (pt) por metro cubico rollizo. Por su parte, *Pinus arizonica* alcanzó un rendimiento del 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  $pt \cdot m^{-3}r$ .

El rendimiento por diámetro menor de la troza mostró diferencias estadísticas entre las especies estudiadas, con un valor  $p$  de 0.0103. El rendimiento del 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 un  $p = 0.0050$ , lo cual indica, que conforme se incrementa el diámetro de la troza, posiblemente se pueda obtener un mayor porcentaje de madera aserrada (Figura 1b). Por su parte, durante el proceso de aserrado, *P. arizonica* presentó diferencias ( $p=0.0233$ ) en el rendimiento del aserrado en función de la categoría diamétrica de las trozas. La asociación entre las variables de esta especie fue moderada con  $r = 0.3623$  y un valor  $p$  de 0.0046. Estos resultados indican que *P. arizonica* también presenta un incremento en

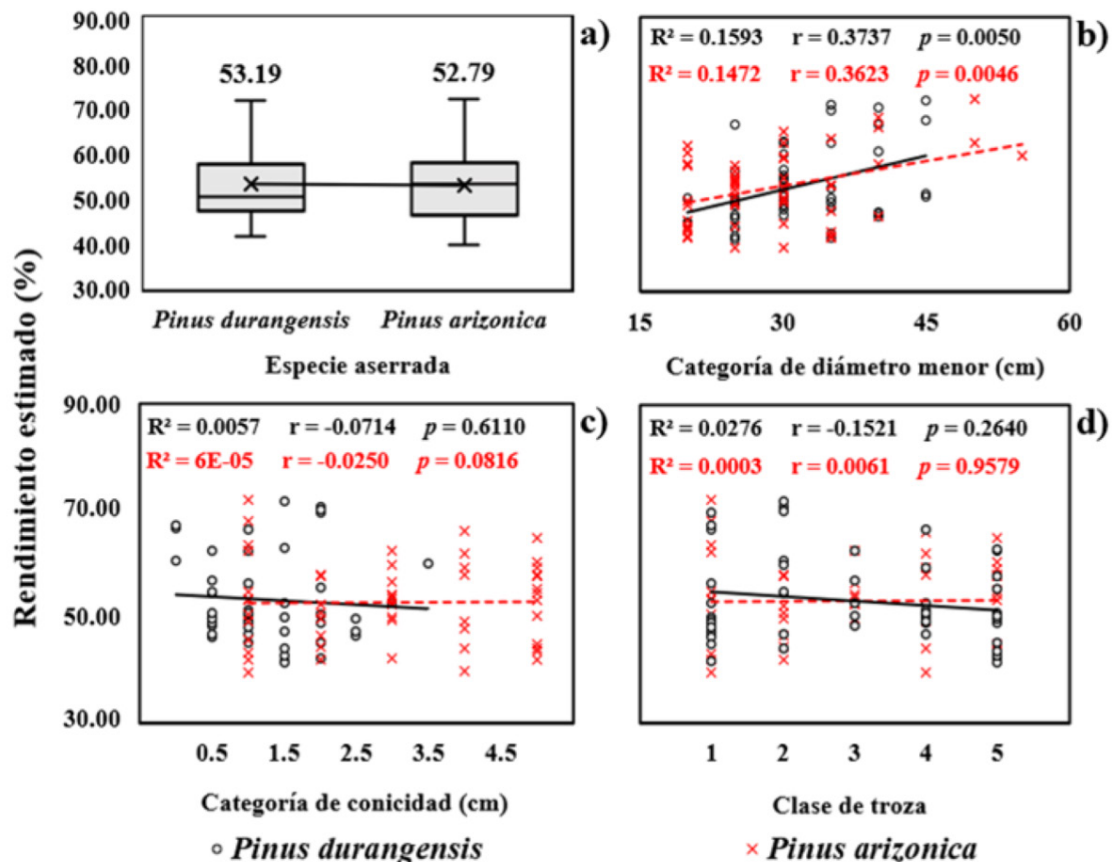


Figura 1. Asociación de las variables con el rendimiento del aserrado



rendimiento del aserrado cuando el diámetro de la troza es mayor.

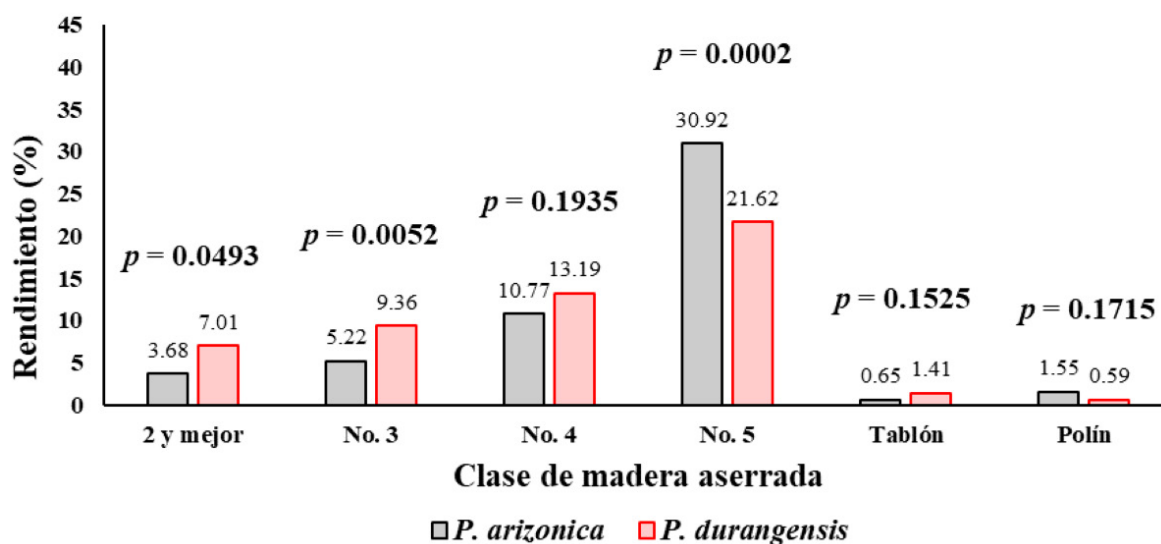
*P. durangensis* obtuvo rangos de conicidad de 0.00-3.50 centímetros (cm) por metro de longitud. Por su parte, *P. arizonica* obtuvo categorías de conicidad de 1.00-5.50 cm (Figura 1c). El análisis estadístico del coeficiente de transformación por categoría de conicidad de las trozas en función de las especies estudiadas no muestra 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  $r = -0.0714$  con  $p = 0.6110$ . Al ser esta una relación menor al 1.00 %, se asume que el rendimiento de aserrado no se ve afectado por la conicidad de la troza. *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, una 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 del 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. Esto, 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  $-0.1521$ , con una significancia de  $0.2640$ . Este 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 el 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 muestre significancia en el rendimiento ( $p=0.8934$ ). Asimismo,

la correlación es no significativa, con  $r = 0.0061$  y 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. durangensis* presentó el 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. En cuanto a la mayor producción media de calidad 5 correspondiente 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 muestra 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 polines y vigas en el último corte.



**Figura 2.** Distribución del rendimiento de clases de madera aserrada por especie

### Rendimiento de calidad por diámetro menor de la troza

Como resultado, *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 aserrado de *P. arizonica* mostró que el diámetro no es un factor que aumente significativamente el rendimiento de madera selecta ( $p=0.2818$ ). Con base en los resultados anteriores, se comparó el rendimiento de madera 2 y mejor entre ambas especies, lo cual indica diferencias estadísticas ( $p=0.0268$ ) en la distribución de este producto en función del diámetro de la troza. Por otra parte, el análisis de correlación indica, para ambas especies, que, a medida que el diámetro de la troza aumenta, es posible aumentar el volumen de madera de alta calidad (Figura 3a). Se calculó un  $r = 0.2786$  y un  $p = 0.0396$  para *P. durangensis*, así como  $r = 0.1627$  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 mostró 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 y  $p = 0.0224$  (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, se muestra que el diámetro de la troza tiene un efecto positivo en el rendimiento de madera clase 3, con  $r = 0.2224$  y  $p = 0.0846$ .

La Figura 3c muestra que, para *P. durangensis*, el rendimiento de la clase 4 de madera aserrada tiende a disminuir en función del aumento del diámetro de la troza ( $r=-0.1953$ ;  $p=0.1517$ ). 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 un valor  $p$  de 0.3841. No obstante, 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 al comparar el diámetro por especie evaluada.

El ANOVA realizado para contrastar el rendimiento de clase 5, empleando la especie como factor en la categoría de diámetro y como covariable de



comparación, 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) indicó que el diámetro de la troza no tiene efecto en el rendimiento de esta clase de madera aserrada ( $r=0.0709$ ;  $p=0.6124$ ). En cambio, *P. arizonica* mostró un decremento de volumen en función del aumento del diámetro ( $r=-0.2183$ ;  $p=0.0920$ ). Esto puede deberse 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 ( $p=0.1346$ ).

El volumen producido de tablón no presentó diferencias entre especie por categoría de diámetro ( $p=0.5759$ ). Asimismo, las dos especies evaluadas no presentaron 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 guarda una correlación significativa entre el diámetro y el rendimiento estimado de este producto ( $r=0.0303$ ;  $p=0.8212$ ), y *P. arizonica* tiene una asociación positiva moderada entre variables ( $r=0.3114$ ;  $p=0.0155$ ). El rendimiento de polín no muestra diferencias entre especie por categoría de diámetro ( $p=0.1902$ ). *P. durangensis* reportó diferencias no significativas en el volumen producido por categoría de diámetro, con un valor  $p$  de  $0.4285$  y una correlación  $r = -0.1978$  con  $p = 0.1528$ , la cual indica que se produjo polín principalmente con los diámetros inferiores. *P. arizonica* mostró resultados similares a los anteriormente expuestos ( $p=0.4398$ ). Sin embargo, la correlación indica que el volumen de polín aumentó en función del aumento de diámetro, con un valor  $r$  de  $0.1984$  y  $p = 0.1247$  (Figura 3f).

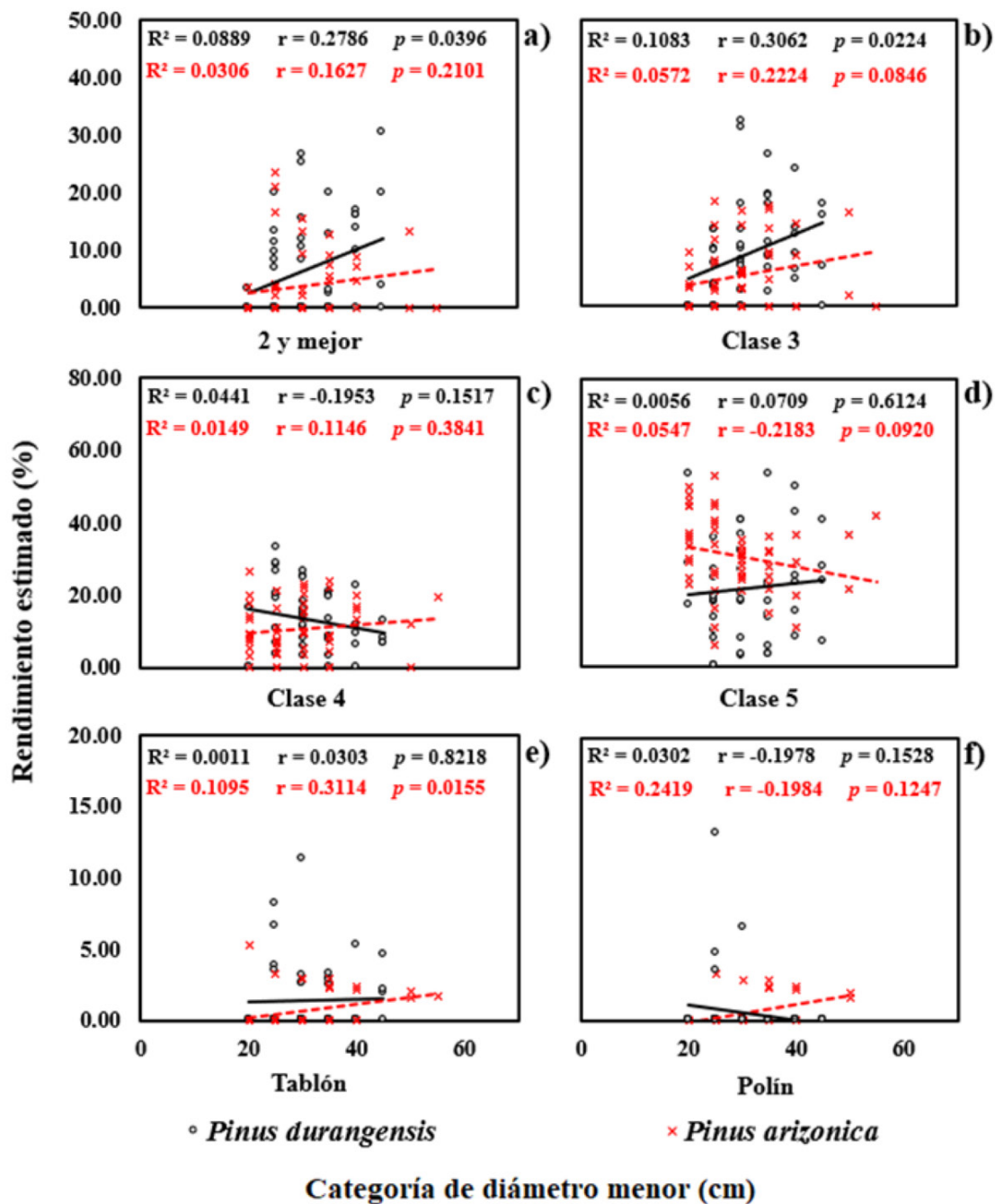
## Rendimiento de calidad por categoría de conicidad

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 disminuir ligeramente ( $r=-0.1894$ ;  $p=0.1645$ ), 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 su conicidad ( $p=0.9526$ ), resultado que coincide con la asociación de variables, al estimar un valor  $r$  de  $-0.0493$  y una 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. Esto, 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 de *P. durangensis*. Asimismo, el análisis de correlación indica que el rendimiento tiende a disminuir ligeramente en función del aumento de la conicidad ( $r=-0.0194$ ). No obstante, este decremento es no significativo ( $p=0.8940$ ). Por otra parte, *P. arizonica* no presenta diferencias ( $p=0.5878$ ) en el rendimiento medio de las categorías de conicidad, pero la relación de variables indica que el rendimiento de clase 3 disminuye a medida que la conicidad aumenta. Se estimó un  $r = -0.2514$  con un valor de significancia de  $0.0416$  (Figura 4b).

El rendimiento de la clase 4 no muestra diferencias entre especies por categoría de conicidad ( $p=0.1635$ ). 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 indica que el rendimiento aumenta a medida que la conicidad de la pieza es mayor. Se obtuvo como resultado un valor  $r$  de  $0.1739$  y un valor  $p$  de  $0.2063$ . Asimismo, *P. arizonica* no presenta diferencias en el rendimiento volumétrico de la clase 4 ( $p=0.2627$ ). La correlación obtuvo un valor  $r$  de  $0.1080$  con significancia de  $0.4104$  (Figura 4c). La producción de esta calidad de madera aumenta

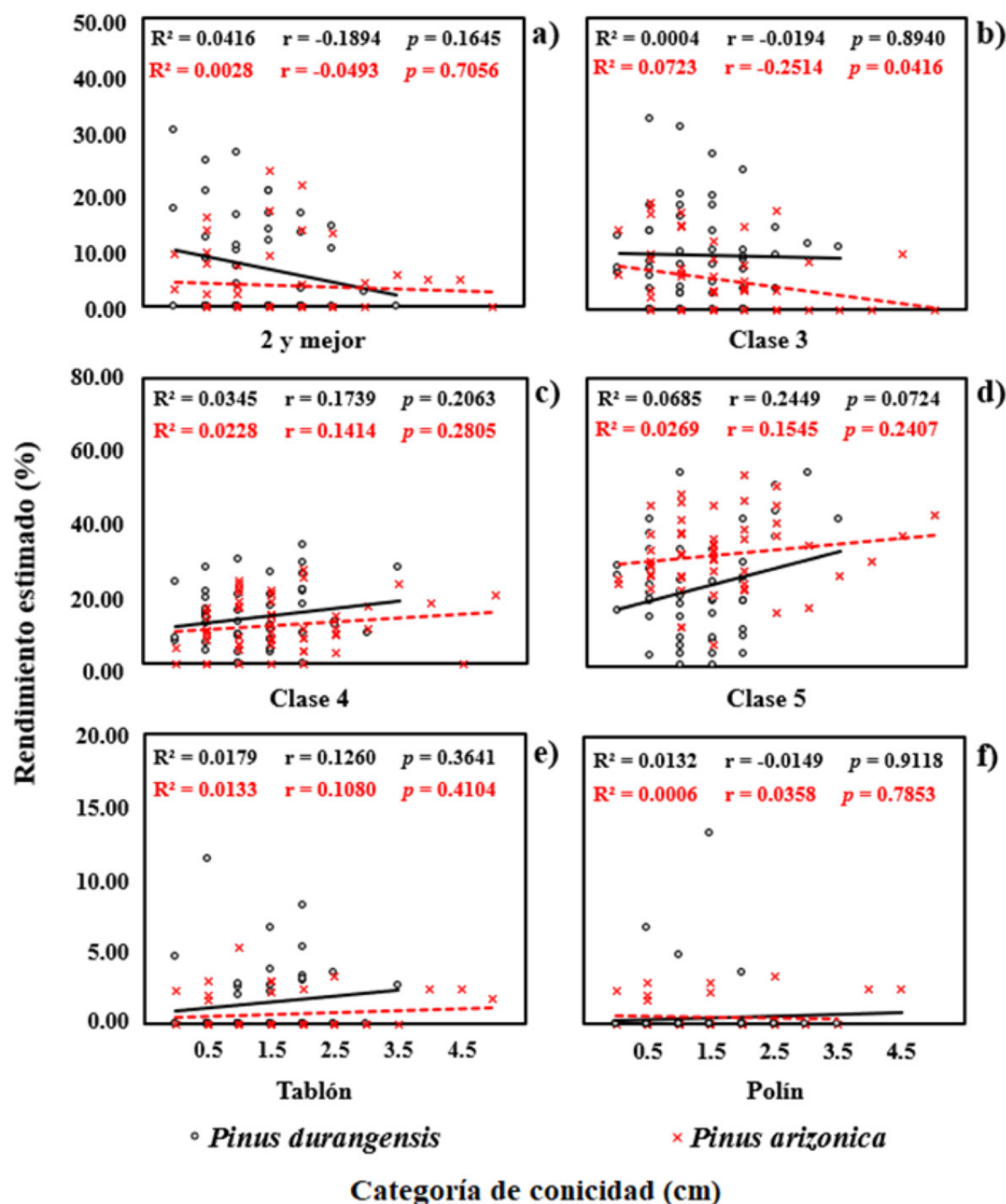


**Figura 3.** Correlación de las variables rendimiento por clase y categoría de diámetro de la troza

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



**Figura 4.** Correlación de las variables rendimiento por clase y categoría de conicidad de la troza

la Figura 4d, el valor de  $r$  es de 0.2449 con un valor de  $p$  de 0.0724, lo cual indica que, a medida 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  $p = 0.2407$ . 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* mostró rendimientos similares ( $p=0.8193$ ), pero la correlación de Pearson indicó que, a medida que la conicidad aumenta, el volumen de este producto será mayor ( $r=0.1260$ ;  $p=0.3641$ ). Por su parte, *P. arizonica* mostró resultados similares, con un valor  $p$  de 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  $r = 0.1008$  y una significancia de correlación de 0.4104 (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  $p$  de 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  $r = 0.0358$  y  $p = 0.7853$ . Esto representa un ligero aumento de rendimiento en función del ahumamiento de la troza. Se debe considerar que el aumento en el rendimiento de este producto también se ve influenciado por el diámetro y la calidad de la trocería.

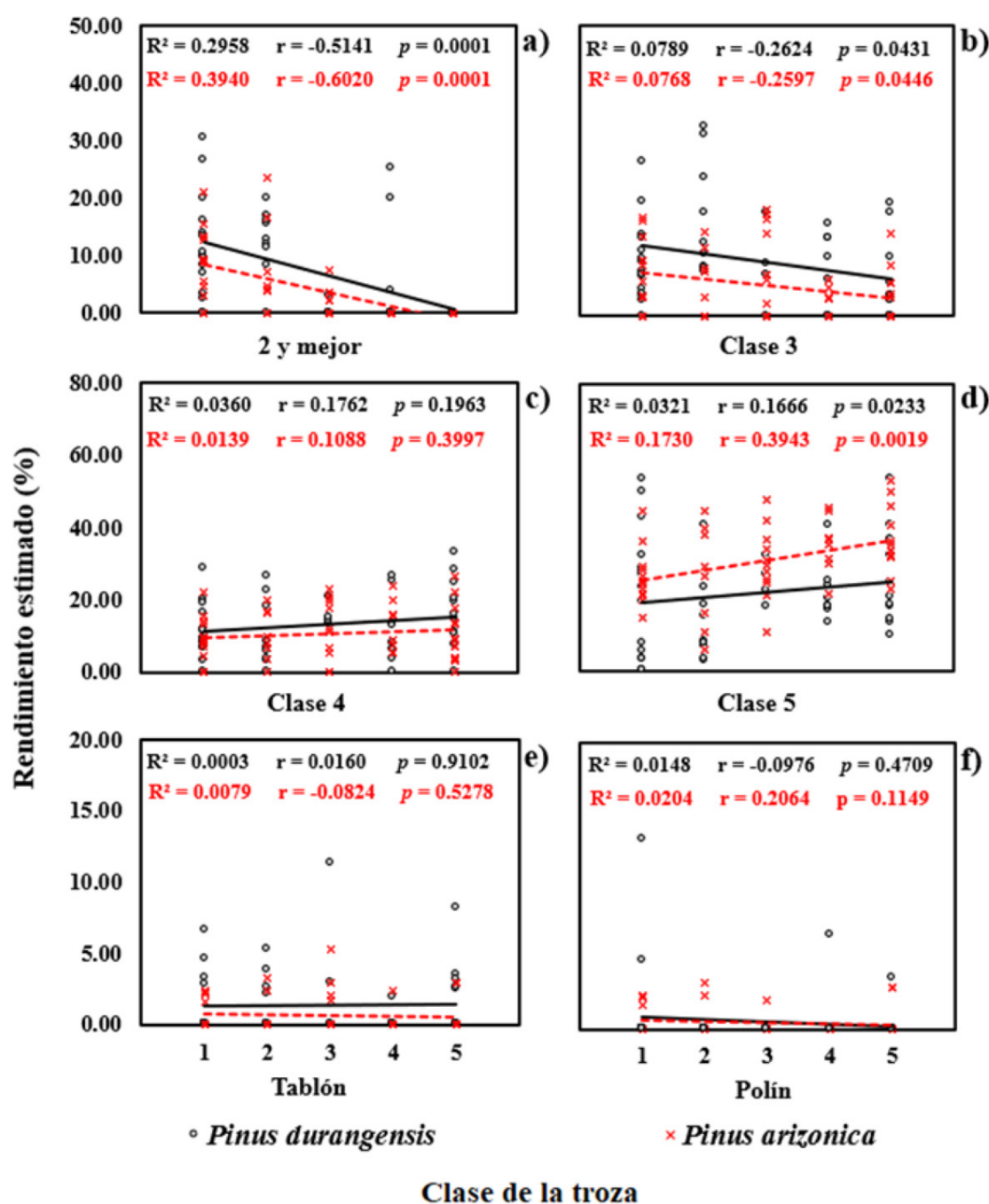
## Rendimiento de calidad por clase de madera en rollo

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 fueron significativas, con un valor  $p$  de 0.0001. Los resultados de la Figura 5a indican que el rendimiento de madera aserrada 2 y mejor disminuye a medida que los defectos naturales en la troza aumentan ( $r=-0.5141$ ;  $p=0.0001$ ). 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 sugiere una fuerte asociación negativa entre variables ( $r=-0.6020$ ;  $p=0.0001$ ). 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 ( $p=0.0005$ ) al tomar la calidad de la madera en rollo como variable de comparación. *P. durangensis* reportó diferencia ( $p=0.0194$ ) en la productividad de esta clase en función de las características de la trocería (Figura 5b). Se aprecia que, al disminuir la calidad de la madera en rollo, se reduce la producción de madera de clase 3 ( $r=-0.2624$ ;  $p=0.0431$ ). 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 en el caso anterior, la asociación de variables indica que el rendimiento de calidad decrece en función del aumento de defectos de la madera en rollo ( $r=-0.2597$ ;  $p=0.0446$ ).

El análisis estadístico desarrollado para determinar la significancia de la calidad de la troza en el rendimiento de madera aserrada clase 4 por especie no indica 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 un valor  $p$  de 0.1963 (Figura 5c), lo cual indica que el rendimiento de esta clase tiende a aumentar a mayor cantidad de defectos en la trocería. Por su parte, *P. arizonica* mostró un comportamiento similar: la significancia del rendimiento fue de 0.6873. Asimismo, el coeficiente de relación presentó un ligero incremento de la productividad ( $r=0.1088$ ), sin diferencias significativas en relación con las clases de las trozas aserradas ( $p=0.3997$ ).



**Figura 5.** Asociación de variables de rendimiento por clase de madera aserrada y clase de troza

El rendimiento de clase 5, empleando la calidad de la madera en rollo como factor en la categoría y la especie como covariable de comparación, 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) indicó 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 ( $p=0.0373$ ). Además, la asociación de variables mostró un incremento moderado del rendimiento a medida 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* reportó rendimientos similares ( $p=0.1754$ ) entre clases. Asimismo, la correlación de Pearson indicó un  $r = 0.0160$  y un valor  $p$  de 0.9102, lo cual sugiere que la asociación de variables no es importante. Por su parte, *P. arizonica* mostró resultados similares, con un valor  $p$  de 0.7480. Al evaluar la relación de variables, se encontró que el rendimiento de este producto puede disminuir ligeramente a medida que aumentan los defectos de la troza aumentan, con un valor  $r$  de -0.0824 y una significancia de correlación no significativa de 0.5278 (Figura 5e). El rendimiento de polín no presentó diferencias entre especie por clases de madera en rollo procesada ( $p=0.5319$ ). El rendimiento medio de *P. durangensis* mostró como resultado un valor  $p$  de 0.6971, con una asociación de variables estimada de  $r = -0.0976$  a 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 ( $p=0.3683$ ). La Figura 5f muestra que el coeficiente de correlación presenta un valor  $r$  de 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  $\text{pt}^{-1}$  por  $\text{m}^3$  de trozas de pino y un coeficiente de aserrado

máximo de 54.64 %, lo que corresponde a obtener 244.49  $\text{pt}^{-1}$  por  $\text{m}^3$  de madera en rollo. Por su parte, los resultados de esta investigación indican que el coeficiente de transformación promedio fue de 52.99 %. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento de aserrado entre especies. 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 ( $\text{m}^3\text{r}$ ), lo que equivale a producir 225.51  $\text{pt}^{-1}$  por metro cubico rollizo. Por su parte, *Pinus arizonica* alcanzó un rendimiento de aserrado de 52.79 %, correspondiente a producir 10.16 metros cúbicos ( $\text{m}^3$ ) de madera aserrada en función del volumen de materia prima. Con esta relación, se estima una producción de 223.82  $\text{pt}^{-1}$  por  $\text{m}^3\text{r}$ . El rendimiento del aserrado que presentan estas especies se debe a factores como la conicidad de las trozas, los defectos físicos, 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 diámetro, la longitud y la conicidad de las trozas son los principales parámetros con un efecto significativo en los resultados del coeficiente de transformación de los aserraderos de la región de El Salto, Durango.

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* presentó 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, los autores 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 ser 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 del 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*: 30.92 % del volumen en función de 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 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 *et al.* (2021) evaluaron el aprovechamiento de abeto noruego (*Picea abies* (L.) H.Karst.) y abeto plateado (*Abies alba* Mill.) en un aserradero en Rumania. Estos autores obtuvieron un volumen de madera aserrada de aproximadamente 18 m<sup>3</sup> y consideraron la transformación de 26 m<sup>3</sup> de madera en rollo. Los resultados indican un rendimiento del aserrado que varió ampliamente entre 38.80 y 95.00 % por troza, y los investigadores 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 *et al.* (2005) evaluaron dos sistemas de aserrío en función del diámetro de la trocería, y 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. En un caso contrario, Nájera *et al.* (2012) no observaron un incremento del rendimiento con el aumento en

el diámetro de las trozas, pero 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 entre 39.56 y 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*, por su parte mostró rendimientos mayores en las categorías de diámetro superiores a 25 cm e inferiores a 45 cm. Los resultados resaltan que las diferencias estadísticas en el rendimiento del aserrado y la calidad de la madera aserrada por clase de diámetro son significativas. Los análisis de correlación evidencian 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 aserrío en función del diámetro y calidad de las trozas. Sin embargo, la conicidad fue un factor importante en la productividad maderable. Ortiz *et al.* (2016) estimaron diferencias significativas en el rendimiento por categorías de conicidad en el estado de Oaxaca, e 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. Los autores explican también que, conforme incrementa la conicidad y curvatura de las trozas, se requiere más tiempo para cumplir con el proceso. Nájera-Luna *et al.* (2011) 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, con lo cual se concluye que, con el aumento de la conicidad, disminuye el rendimiento. En esta investigación, el análisis

estadístico del coeficiente de transformación por categoría de conicidad de las trozas en función de las especies estudiadas no muestra diferencias significativas. El rendimiento de *P. durangensis* por categoría de conicidad no presenta diferencias significativas, pero la correlación indica una relación débil negativa de las variables. Por lo tanto, se asume que el rendimiento del aserrado disminuye conforme la conicidad de la troza aumenta. *P. arizonica*, por su parte, no mostró diferencias significativas en esta relación, y el valor de correlación reportó 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 pueden vincular directamente los defectos de la madera en rollo con los de la madera aserrada. En dicho estudio, se parte del supuesto de 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 presentados 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, 3, 4 y 5, utilizando la calidad de troza y el 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 del 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 ser un excelente predictor de la distribución de clases de madera

aserrada 2 y mejor, 3 y 5, sobre todo cuando el análisis se realiza por especie.

## CONCLUSIONES

El rendimiento de madera aserrada se ve afectado principalmente por el diámetro de la troza, y la conicidad y la calidad de la troza no son variables significativas en el coeficiente de transformación de la materia prima. Por otra parte, la especie no es un factor significativo en el rendimiento de la madera aserrada. La distribución de clases de madera aserrada sí presenta diferencias significativas en función de la especie involucrada en el proceso de aserrío, principalmente en las clases 2 y mejor, 3 y 5. En este sentido, *P. durangensis* presentó mayor rendimiento en las clases con mayor calidad. Por su parte *P. arizonica* se mostró superior en la producción de madera aserrada de baja calidad. El resto de variables no reportó diferencias significativas de rendimiento entre especies. Los resultados indican que, cuanto mayor sea el diámetro de la troza y menor sea la conicidad, el rendimiento por clases de madera aserrada aumentará. 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. 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 la metodología para plantear mejoras.

J.A.N.L. supervisó los procedimientos metodológicos y analizó y describió los resultados.

## REFERENCIAS

- Barnes, R. M.** (1968). *Motion and time study: design and measurement of work*. John Willey & Sons.
- 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*. British Standards Institution.
- Dirección General de Normas (DGN)** (1988). *Norma mexicana NMX-C-359-1988. Industria maderera - Trocería de pino - Clasificación*. DGN, SECOFI.
- 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*. SECOFI.
- Dobie, J., & Middleton, G. R.** (1980). Lumber yields from sweepy 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 pregrado, Universidad Nacional, Costa Rica]. <http://hdl.handle.net/11056/14153>
- 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*. 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.

**Murara, M. I., Pereira, M., & 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-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.

**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.** (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. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.05.034>.

**Nájera, J. A., 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 de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 55, 11-23.

**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 pregrado, Universidad de la Sierra Juárez].

<http://www.unsij.edu.mx/tesis/digitales/1.%20Luz%20Maria%20Reyes%20Cortes%202-04-2013.pdf>

**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. (Eds.)** (1997). *Timber management toward wood quality and end product value. Proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop CTIA/IUFRO*.

