



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE Y CALIDAD DE ASERRÍO DEL GÉNERO *Pinus* EN LA REGIÓN SIERRA SUR, OAXACA, MÉXICO

### Determination of the coefficient and timber quality from the *Pinus* genus in the Sierra Sur, Oaxaca, México

Rosalino Ortiz Barrios<sup>1</sup>, Santiago Daniel Martínez<sup>2</sup>, Dany Eduardo Vázquez Rabanales<sup>3</sup> & Waldo Santiago Juárez<sup>4</sup>.

Ortiz B, R., Martínez, S., Vázquez R, D. & Juárez, W. (2016). Determinación del coeficiente y calidad de aserrío del género *Pinus* en la región Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 19(1), 79-93.

**Recepción:** 19 de Mayo de 2015

**Aprobación:** 24 de agosto de 2015

#### RESUMEN

Se estudiaron las operaciones de un aserradero para conocer el coeficiente de aprovechamiento y la calidad dimensional de la madera aserrada en un aserradero ubicado en Sierra Sur de Oaxaca, México. Para determinar el coeficiente de aprovechamiento se cubicaron 101 trozas de clases diamétricas variadas con longitud de 2.63 m, obteniendo un volumen de 63.37 y 58.35 m<sup>3</sup>, con corteza y sin corteza respectivamente. Para determinar el rendimiento en madera aserrada, se agruparon las trozas en ocho categorías diamétricas y siete de conicidad. El estudio de tiempos y movimientos comprendió en análisis de observaciones por muestreo en intervalos de dos minutos para las tres secciones principales del aserradero (Sierra principal, canteadora y despuntadora). Se obtuvieron un total de 1875 tablas de 19.05 mm de espesor en clase tercera y cuarta, lo que representa 30.12 m<sup>3</sup> de madera aserrada. El coeficiente de aprovechamiento promedio fue de 44.18% con corteza y 48.27% sin corteza, indicando que de 1 m<sup>3</sup> sin corteza procesado se obtienen

216 pt de madera aserrada y para obtener 1000 pt se requieren 4.62 m<sup>3</sup> de madera en rollo. El estudio de tiempos y movimientos mostró que la sierra principal obtiene un tiempo de trabajo del 70.63%, la canteadora el 54.21% y la despuntadora el 26.02%. **Palabras clave:** Calidad dimensional, coeficiente de aprovechamiento, conicidad, rendimiento.

#### ABSTRACT

A sawmill operations were studied to know the coefficient of utilization and the dimensional quality of the timber located in the Sierra Sur of Oaxaca, Mexico. This was done during the transformation of pieces of wood in the *Pinus* spp. at the facilities of the Specialized Unit of Communal Forest Resources, located in the village of Santa Cruz Itundujia. A total of 101 pieces of wood were analyzed using the Samalian formula; the pieces had varied diametric measures, length of 2.63m, and a volume of 63.37 and 58.35 m<sup>3</sup>, with and without bark. To determine the efficiency of sawed wood, the pieces of wood were classified in groups of eight diametric categories and

- 1 División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. Carretera a Morelos km 1.2. San Miguel el Grande, Oaxaca, C. P. 71140. México. Teléfono (953) 50 3 91 34. [ortizbarr@hotmail.com](mailto:ortizbarr@hotmail.com). Autor para correspondencia
- 2 División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. Carretera a Morelos km 1.2. San Miguel el Grande, Oaxaca, C. P. 71140. México. Teléfono (953) 50 3 91 34. e-mail: [divisiónforestal.itsmigra@gmail.com](mailto:divisiónforestal.itsmigra@gmail.com).
- 3 División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. Carretera a Morelos km 1.2. San Miguel el Grande, Oaxaca, C. P. 71140. México. Teléfono (953) 50 3 91 34.
- 4 División de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico Superior de San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca. Carretera a Morelos km 1.2. San Miguel el Grande, Oaxaca, C. P. 71140. México. Teléfono (953) 50 3 91 34.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a06>

seven of conical shape. The study of time and movement included analysis of observations per sampling in intervals of two minutes to the three principal sections of the sawmill (saw, edge banding machine, and circular saw). When the pieces of wood were processed, 1875 planks were generated with a 19.05 mm of thickness; the production was evaluated in third and fourth class which was located with the decimal metric system, symbolizing 30.12 m<sup>3</sup> of sawed wood. The coefficient of progress rate was 44.18%

with and without bark, indicating that from every 1 m<sup>3</sup>r without bark, 216 of sawed wood is processed and to obtain 1000 pt, 4.62 meters m<sup>3</sup>r of woodroll-sare is required. The study of time and movements showed that the main saw obtains a work time of 70.63%, the edge-banding machine 54.21%, and the circular saw 26.02%.

**Key words:** Dimensional quality, coefficient of progress, cone shaped, performance.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de aserrío se considera una de las actividades más importantes de la industria forestal en México y una de las formas más sencillas de transformar la trocería, cuya eficiencia se evalúa a través de estudios de coeficientes de aprovechamiento y de rentabilidad del proceso (Zavala & Hernández, 2000).

El aserrío se entiende como la transformación de las trozas en madera aserrada de distintas esquadrias, según los productos que se hayan seleccionado para los patrones de corte. Para lograr esta transformación es necesario combinar recursos como son las máquinas, los operadores, los sistemas de recolección de información, los programas de planificación, entre otros (Reyes, 2013).

De acuerdo a la base de datos generada por la delegación SEMARNAT, en Oaxaca la región con mayor producción de madera es la Sierra Sur, abarcando los distritos de Putla de Villa de Guerrero, Sola de Vega, Miahuatlan y Yautepec, siendo Santa Cruz Itundujia la comunidad con mayor superficie autorizada en el Distrito de Putla para el periodo 2000-2017.

El área de estudio, y en muchos aserraderos del mismo municipio, no cuenta con investigaciones previas de tiempos y rendimientos. Por ello se optó por el método de multimomento para identificar las actividades parciales y la frecuencia que transcurren durante el proceso de aserrío. Por lo tanto, la

investigación se enfoca en determinar los tiempos productivos y no productivos en las tres secciones principales del aserradero (sierra principal, desorilladora y despuntadora). El municipio antes mencionado se identifica debido a que su economía se encuentra muy apegada al aprovechamiento y transformación de la madera; sin embargo, no se conoce la relación que guarda el diámetro y la conicidad sobre el rendimiento en madera aserrada.

Debido a la carencia de información sobre la calidad de aserrío de la madera aserrada, en especial a la tabla de 3/4" (19.05 mm) principal producto aserrado que se obtiene en el proceso de aserrío y con la finalidad de hacer un aporte para favorecer el aprovechamiento de la madera en rollo, el presente estudio tiene como objetivo la determinación del coeficiente de aprovechamiento y evaluación de la calidad de aserrío, en términos de la variación del espesor de las tablas. Además del rendimiento considerando ocho categorías diamétricas y siete de conicidad en la trocería de pino para que a partir de su estimación se identifiquen áreas primordiales a atender y mejorar la productividad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el municipio de Santa Cruz Itundujia perteneciente al Distrito de Putla Villa de Guerrero, ubicado en la Región Sierra Sur del

Estado de Oaxaca, México. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 300 a 3000 metros de altitud (INEGI, 2005). La distribución de la superficie del municipio es de 54 648.779 ha de uso común y 1474.86 ha parcelada (PROCEDE, 2006). El clima presente es cálido subhúmedo, semicálido subhúmedo, templado húmedo y templado subhúmedo. Por su ubicación geográfica, el municipio presenta diversa vegetación que comprende desde masas puras de pino, en menor proporción bosque de pino-encino y selva.

Antes del aprovechamiento se realizó un recorrido al área sujeto a aprovechamiento, para ello se identificaron 3 especies dominantes que corresponde a *Pinus ayacahuite*, *P. oaxacana* y *P. oocarpa*.

La toma de información para el desarrollo del trabajo fue realizado en la Unidad Especializada de Aprovechamiento Forestal Comunal de Santa Cruz Itundujia (UEAFC).

### Descripción técnica del equipo de aserrío

El aserradero de UEAFC consta de una sierra banda de fabricación Alemana, utiliza hoja de sierra cinta de 6" de ancho en calibre 17, paso de diente de 3.81 cm (1 1/2"), profundidad de garganta de 1.58 cm (5/8"), ángulo de diente de 30°, ángulo de ataque de 45° y ángulo de incidencia de 27° y funciona con un motor de 75 caballos de fuerza. Un Carro con 2 escuadras, marca SIEMENS, accionado por un motor para el avance y retroceso de 15 caballos de fuerza.

El equipo complementario lo constituye una desorilladora con 2 sierras circulares de 53.34 cm (21") de diámetro para sanear y dimensionar las tablas y un péndulo con sierra circular de 63.5 cm (25") de diámetro. Y el equipo humano lo conforman 20 personas distribuidas estratégicamente en el área de trabajo, 4 para el arrime de las trozas a la rampa, 1 operador del carro escuadra, 1 operador de la sierra principal, 1 operador de la desorilladora, 1 operador de la despuntadora y 1 clasificador de la madera aserrada, por mencionar las áreas más importantes.

### Características de los productos aserrados

Los productos aserrados son clasificados en primera, tercera y cuarta. Los gruesos nominales más comunes en que se asierra son de 3/4, 5/4 y 6/4 pulgadas (1.90, 3.18 y 3.81 cm), cuadrados para mangos de escoba con medidas reales de 1 pulgada (2.54 cm) de ancho con longitudes de 4.10, 3.61, 3.28, 2.62 y 1.42 pies equivalentes a 1.25, 1.10, 1, 0.80, y 0.60 m, tablones de 2 x 2 pulgadas (5.08 x 5.08 cm); los anchos de la madera aserrada varían de 4 a 12 pulgadas (10.16 a 30.48 cm) y largos desde 2 a 8.3 pies (0.6096 a 2.53 m) con sus respectivos refuerzos; en casos especiales se asierra el producto de acuerdo a las exigencias del cliente.

### Determinación del tamaño de muestra

Para llevar a cabo el presente estudio, la muestra se integró por 101 trozas de pino (SFF, 1978, citado por Zavala & Hernández, 2000) tomadas al azar del patio de trocería del área de estudio, con longitud comercial de 2.62 m (8.6 pies), distribuidas en ocho clases diamétricas (9 cm c/u), y en siete de conicidad (1 cm c/u), con el objeto de analizar la influencia del diámetro y la conicidad de las trozas en el rendimiento (Tabla 1).

### Cubicación de las trozas

Las trozas seleccionadas fueron marcadas y medidas para determinar su volumen con y sin corteza mediante la fórmula de Smalian (Rodríguez, 2007).

$$V = \left( \frac{(\pi/4 \times DM^2) + (\pi/4 \times Dm^2)}{2} \right) \times L$$

Donde: V = Volumen de la troza (m<sup>3</sup>r), DM= Diámetro mayor de la troza (m), Dm= Diámetro menor de la troza (m), L= Longitud (m),  $\pi$ = Constante (3.1416).

**Tabla 1.** Distribución de las trozas por categoría diamétrica y de conicidad en la UEAFC.

Categoría diamétrica (cm)	Nº trozas por categoría (n)	Categoría de conicidad (cm/m <sup>1</sup> )	Nº de trozas por categoría (n)
16-25	2	0-1	24
26-35	15	1.1-2	37
36-45	21	2.1-3	21
46-55	22	3.1-4	7
56-65	21	4.1-5	8
66-75	10	5.1-6	2
76-85	6	6.1-7	2
>86	4		
Total	101		101

### Cubicación de las piezas aserradas

Se cubicó la madera aserrada obtenida por troza de origen, posteriormente cada tabla fue medida al milímetro para conocer su volumen real mediante la expresión sugerida por [Romahn et al. \(1987\)](#).

$$V_a = G * A * L$$

Donde:  $V_a$  = Volumen de la pieza aserrada,  $G$  = Grueso de la pieza aserrada (m),  $A$  = Ancho de la pieza aserrada (m),  $L$  = Longitud de la pieza aserrada (m).

### Determinación del rendimiento de madera aserrada

Una vez calculado el volumen de la madera aserrada, y conociendo las trozas que las generaron, se determinó el coeficiente de aprovechamiento en porcentaje, con ayuda de la siguiente fórmula ([Nájera et al., 2006](#)):

$$CA = \frac{VMA}{VMR} \times 100$$

Donde:  $CA$  = coeficiente de aserrío,  $VMA$  = volumen de madera aserrada (m<sup>3</sup>),  $VMR$  = volumen de las trozas (m<sup>3</sup>rollo).

El rendimiento en madera aserrada por calidad y ancho se determinó con la siguiente relación ([Nájera et al., 2006](#)):

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

Donde:  $R\%$  = Rendimiento de madera aserrada en por ciento,  $V_a$  = Volumen de las tablas por clase y ancho (m<sup>3</sup>),  $V_r$  = Volumen de las trozas sin corteza en m<sup>3</sup>r.

### Determinación de la conicidad de las trozas

La conicidad de las trozas hace referencia a la diferencia entre el diámetro mayor y el diámetro menor con la distancia que los separa. Con el objeto de evaluar este efecto sobre el rendimiento, se agruparon las trozas por categoría de conicidad. El 23.8% de trozas presentó una conicidad inferior a 1 cm/m, un 36.6% se distribuyó entre 1.1-2 cm/m, un 20.8% se ubicó en el rango de 2.1 y 3 cm/m, 6.9 y 7.9% de trozas dentro del rango 3.1-4 y 4.1-5 respectivamente y el restante 4% se distribuyó de manera igual para el rango de 5.1 a 6 y 6.1 a 7 cm/m. Para su determinación se utilizó la siguiente relación propuesta por ([Scanavaca & García, 2003](#)).

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

Donde: C = Conicidad de la troza (cm/m), DM = Diámetro mayor sin corteza (cm), Dm = Diámetro menor sin corteza (cm), L = Largo de la troza (m).

### Determinación de la variación del corte en el proceso de aserrío

Para evaluar la calidad del aserrío de la trocería se analizó la variación en espesor de una muestra de 100 tablas con medida nominal de  $\frac{3}{4}$ " (19.05 mm) producidas durante una jornada normal de trabajo, tomando una tabla al azar por cada troza aserrada. La calidad dimensional de la madera aserrada se evaluó con el método de medición de Puntos Múltiples sugerido por Brown (2000) y empleado por Nájera *et al.* (2012a) la cual consiste en hacer 10 mediciones por tabla, tres en cada canto y ancho, equidistantes a lo largo de la misma. La primera se hizo a 304.80 mm (12") de los extremos, para lo cual se trató de evitar puntos coincidentes con nudos, rajaduras u otros defecto no originados por efecto del corte, la siguiente se realizó en el centro de cada tabla. Con esta información se determinó

la desviación estándar dentro de la tabla (Sw), que es un indicador de la forma como está cortando la sierra, y la desviación estándar entre tablas (Sb), que es un indicador para conocer qué tan bien están los engranajes de las escuadras y la alineación de las guías del carro. Esto con el objeto de determinar la variación en espesor de las tablas y detectar el origen de las fallas y sus posibles correcciones (Figura 1).

### Determinación de la media total de espesor de tablas

El espesor promedio de las tablas muestreadas se obtuvo con la siguiente relación:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

Donde:  $\bar{x}$  = Media total,  $\sum x$  = Sumatoria de todos los espesores de los distintos puntos medidos a lo largo de todas las tablas, N = Número total de mediciones.

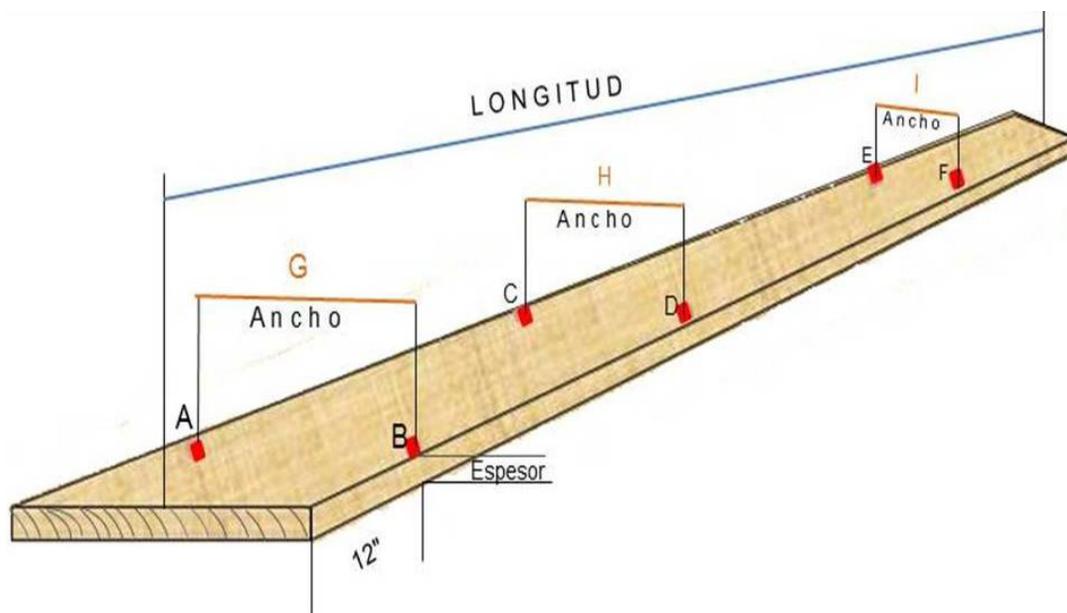


Figura 1. Medición de tablas por el método de Puntos Múltiples.

## Determinación de la desviación estándar dentro de tablas

La desviación estándar dentro de tablas se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$s_w = \sqrt{\bar{s}^2}$$

Donde:  $s_w$  = Desviación estándar del grosor de las seis mediciones en cada una de las tablas,  $\bar{s}^2$  Promedio de las varianzas de todas las tablas.

Para el cálculo de la  $\bar{s}^2$  se utilizó la fórmula correspondiente a la varianza:

$$s^2 = \frac{\sum x^2 - \left(\frac{\sum x}{n}\right)^2}{n - 1}$$

Donde:  $S^2$  = Varianza,  $\sum x^2$  = Sumatoria de todos los espesores de los distintos puntos medidos a lo largo de todas las tablas al cuadrado,  $n$  = Número de mediciones en cada tabla.

## Determinación de la desviación estándar entre tablas

Para el cálculo de la desviación estándar entre tablas se utilizaron las siguientes formulas:

$$s_b = \sqrt{s(\bar{x})^2 - \left(\frac{s_w}{n}\right)^2}$$

Donde:  $s_b$  = Desviación estándar entre tablas.

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

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

Donde:  $s(\bar{x})^2$  = Varianza de las medias de los espesores de cada una de las tablas muestreadas,  $\sum \bar{x}^2$  = Suma total de cuadrados de desviaciones

de cada una de las observaciones, con respecto a su media muestral,  $m$  = Número de tablas muestreadas.

## Determinación de la desviación estándar total del proceso

Con los valores conocidos de  $s_w$  y  $s_b$ , se procedió a determinar la desviación estándar total del proceso o variación del aserrío, con la siguiente fórmula:

$$St = (s_w)^2 + (s_b)^2$$

Donde:  $St$  = Desviación estándar total del proceso o variación del proceso,  $s_w$  = Desviación estándar dentro de las tablas,  $s_b$  = Desviación estándar entre tablas.

## Estudio de tiempos y movimientos

En el estudio de tiempos y movimientos se trabajó con las secciones principales del aserradero (sierra principal, desorilladora y despuntadora), estableciendo el método de muestreo sistemático (2 minutos). Estadísticamente se tomó como base realizar un mínimo 300 observaciones de acuerdo a lo expuesto por (Chávez & Guillén, 1997).

Considerando el tiempo de los siguientes elementos: aserrío de trozas, volteo de trozas, espera de trozas, reparación, mantenimiento, distracción y conversación.

## Estimación del volumen de madera aserrada

Chávez & Guillén (1997) señalan que el análisis que se aplica para este tipo de estudios es el de correlación, por lo anterior se optó por el análisis de regresión lineal debido a que permite estimar o predecir una variable dependiente en función de otra independiente.

Para conocer la relación entre el volumen procesado y obtenido, se ajustó el modelo tipo lineal, la cual se realizó empleando el programa SAS V 9.0.

Para ello, primero se graficaron los datos y se observó la tendencia que presenta la curva, ajustando el modelo con mejor ajuste de bondad (coeficiente de determinación  $r^2$  más cercano a uno y la raíz del cuadrado medio del error más bajo). Se empleó la siguiente relación:

$$VMA = \beta_0 + \beta_1 * VMR$$

Donde: VMA= Volumen de madera aserrada ( $m^3$ ),  $\beta_1$ = Parámetro estadístico, VMR= Volumen de madera en rollo ( $m^3$ ).

### Procesamiento estadístico

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de productividad de acuerdo a categorías diamétricas y conicidad de las trozas, se realizó un análisis de varianza y comparaciones de medias mediante pruebas de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 y 95% de confiabilidad. El proceso del análisis de

datos se llevó a cabo en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002) Versión 9.0.

## RESULTADOS

### Coficiente de aprovechamiento

Se aserró un volumen total de 63.37  $m^3r$  con corteza equivalentes a 58.35  $m^3r$  sin corteza, de los cuales se obtuvo un volumen en tablas aserradas de 30.12  $m^3$ , esto representa un rendimiento total (coeficiente de aprovechamiento) del 44.18% al considerar un volumen con corteza y 48.27% sin corteza; es decir, sin la influencia de la corteza el rendimiento aumenta un 4.08% en volumen de madera aserrada (Tabla 2).

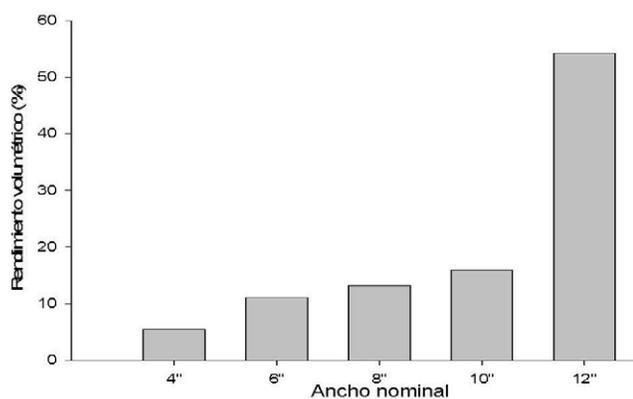
Donde: n= número de trozas; DM= diámetro mayor; Dm= diámetro menor; L= longitud; Vcc= volumen con corteza; Vsc= volumen sin corteza; Vol= volumen; Rcc= Rendimiento con corteza (%); Rsc= Rendimiento sin corteza (%).

**Tabla 2.** Características descriptivas generales del aserrío de pino.

Variable	Trozas (n)	Media	Desv. Std.	Total	Máximo	Mínimo
Características de las trozas aserradas						
DM con corteza (m)		55.51	16.48	—	104	21.75
DM sin corteza (m)		52.89	15.9	—	98	21
Dm con corteza (m)		49.69	15.39	—	94.5	21.65
Dm sin corteza (m)		47.83	15.52	—	92	20.5
L (m)	101	263.45	3.75	—	274	254
Vcc ( $m^3r$ )		0.6274	0.375	63.37	2.082	0.0968
Vsc ( $m^3r$ )		0.5777	0.3586	58.35	1.88	0.0886
Productos obtenidos del aserrío						
Tablas generadas (n)		18.66	12.45	1885	63	1
Vol. de tablas ( $m^3$ )	101	0.30	0.22	30.32	0.0209	0.0073
Indicadores de productividad en la operación de aserrío						
Rcc (%)		44.18	15.72	—	66.77	2.90
Rsc (%)	101	48.27	16.96	—	72.75	3.19

## Rendimiento volumétrico por ancho nominal

El rendimiento volumétrico por ancho nominal se muestra en la **Figura 2**, donde el de 12 pulgadas sobresale con el 54.18%, los anchos nominales de 6", 8" y 10" representan el 40.3%, mientras que el de 4" solo representa el 5.50%. De lo anterior, se desprende que por cada metro cúbico de madera en rollo que es aserrado es posible obtener 23.32 pies tabla de madera con ancho nominal de 4"; 47.06 pies tabla de madera con 6" de ancho; 56.17 pies tabla en el ancho de 8"; 67.78 pies tabla en el ancho de 10" y 224.72 pies tabla de 12" de ancho.



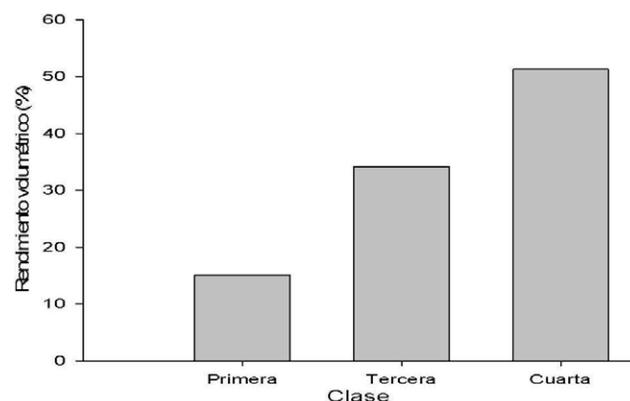
**Figura 2.** Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por ancho nominal.

## Rendimiento volumétrico por clase

La **Figura 3** muestra que solo el 15.01% del volumen en madera aserrada corresponde a la clase de primera y el 34% pertenece a la madera de la tercera clase, mientras que el 50.98% restante lo conforma la madera de cuarta clase con un menor valor económico.

## Rendimiento por categoría de conicidad

La **Tabla 3** muestra diferencias significativas entre el rendimiento con corteza por categorías de



**Figura 3.** Rendimiento volumétrico de la madera aserrada por clase.

**Tabla 3.** Rendimiento por categoría de conicidad de las trozas.

Variable	Categoría de conicidad de trozas (cm/m)						
	0-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	5.1-6	6.1-7
Características de las trozas aserradas							
Diámetro mayor sin corteza (m)	0.906	0.625	0.908	0.70	0.747	0.44	0.702
Diámetro menor sin corteza (m)	0.205	0.247	0.217	0.28	0.265	0.38	0.60
Largo de la troza (m)	2.63	2.63	2.62	2.61	2.66	2.72	2.68
Volumen total con corteza (m <sup>3</sup> r)	20.22	16.88	13.82	4.00	5.18	0.67	2.57
Volumen total sin corteza (m <sup>3</sup> r)	18.22	15.23	12.56	3.85	4.83	0.58	2.31
Productos obtenidos del asierre							
Tablas generadas (n)	659	500	402	119	123	14	58
Tablas promedio por troza (n)	21	17	17	20	15	14	29
Volumen de las tablas (m <sup>3</sup> )	10.59	8.28	6.28	1.86	1.95	0.12	1.00
Trozas para 1000 pies tabla (n)	8	9	9	8	10	20	5
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*							
Rendimiento con corteza (%)	49.26 a	44.66 a	41.15 ab	46.08 a	34.17 ab	18.92 b	37.72 ab
Rendimiento sin corteza (%)	53.51 a	49.53 a	45.32 ab	47.49 a	36.66 ab	21.87 b	41.92 ab

\*Medias con la misma letra entre categorías diamétricas, no son significativamente diferentes Duncan a  $P \leq 0.05$ .

conicidad. Como se puede observar, solo las categorías de conicidad de 1 y 6 fueron estadísticamente diferentes en el rendimiento de madera aserrada con y sin corteza. Lo anterior se explica conforme incrementa la conicidad y curvatura de las trozas más número de veces pasa a la sierra principal por lo que su procesamiento requiere más tiempo.

### Rendimiento por categoría de diámetro

La [Tabla 4](#) presenta los resultados obtenidos en el rendimiento por categoría diamétrica en términos absolutos. El rendimiento sin corteza de la categoría 76 a 85 muestra diferencia con la categoría 36 a 45, en cambio, al hacer la comparación de medias se muestra que las categorías de los 36 a mayores a 86 son estadísticamente iguales; sin embargo, se observó tendencia de aumento en el rendimiento con el aumento en el diámetro de las trozas.

En el rendimiento con corteza por categoría diamétrica se muestran diferencias significativas. Se puede denotar que el mayor rendimiento se

observó en las categorías de 76 a 85 y mayores a 86, compartiendo la letra A del agrupamiento, el menor rendimiento se observó en la categoría de 15 a 25. Se determinó que el rendimiento guarda una relación directamente proporcional al incremento de diámetro.

### Calidad dimensional de la madera aserrada

Este trabajo reporta una desviación estándar dentro de las tablas de 0.78 mm, con una desviación estándar entre tablas de 0.69 mm y una desviación estándar total del proceso de 1.05 mm. Dicho resultado corresponde para tablas con grueso nominal de 3/4" (19.05 mm), el grueso promedio al que se asierra es de 26.1 mm, la desviación del proceso representa 5.51% de la dimensión nominal final, lo que indica que se están generando tablas de baja calidad. Para compensar tal variación y asegurar que la mayor parte de la madera aserrada alcance una dimensión final seca al 12% de 19.05 mm debe aserrarse 27.44 mm.

**Tabla 4.** Rendimiento por categoría diamétrica.

Variable	Categoría diamétrica (cm)							
	15-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85	>86
Características de las trozas aserradas								
DM sin corteza (m)	0.265	0.371	0.465	0.567	0.665	0.757	0.86.5	0.908
Dm sin corteza (m)	0.205	0.275	0.38	0.482	0.577	0.685	0.865	0.906
Largo de la troza (m)	2.61	2.64	2.62	2.62	2.65	2.62	2.63	2.69
Vol. total con corteza (m <sup>3</sup> r)	1.59	5.40	10.33	16.90	14.67	9.04	1.77	3.64
Vol. total sin corteza (m <sup>3</sup> r)	1.44	4.91	9.18	15.38	13.73	8.37	1.66	3.64
Productos obtenidos del asierre								
Tablas generadas (n)	38	176	289	511	425	252	62	122
Tablas promedio-troza (n)	4	9	13	20	27	36	62	61
Vol. de tablas (m <sup>3</sup> )	0.369	2.002	4.43	8.61	7.39	4.20	1.04	2.06
Troz as para 1000 pt (n)	58	23	12	7	6	4	3	3
Indicadores de productividad en la operación de aserrío*								
Rcc (%)	23.41 c	36.93 bc	43.39 ab	51.24 ab	50.77 ab	46.87 ab	58.86 a	57.60 a
Rsc (%)	25.85 b	40.76 ab	48.41 a	56.25 a	54.14 a	50.73 a	62.71 a	56.54 a

Donde: n= número de trozas; DM= diámetro mayor; Dm= diámetro menor; pt= pies tabla; Vol= volumen; Rcc= Rendimiento con corteza (%); Rsc= Rendimiento sin corteza (%). \*Medias con la misma letra entre categorías diamétricas, no son significativamente diferentes Duncan a  $P \leq 0.05$ .

## Tiempos y movimientos

La productividad, que corresponde al volumen en metros cúbicos de madera aserrados por hora, indica que en promedio se procesaron 0.53 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>. En base al número de observaciones se calculó que en promedio asierran 6.31 trozas a la hora y 0.18 m<sup>3</sup> por persona por hora de trabajo.

### Sierra principal

La [Tabla 5](#) muestra que en la sierra principal de 16 horas un 70.63% (11.30h) fue de trabajo productivo (aserrando 58.09%, volteo de troza 12.55%), y un 29.37% (4.69h) de tiempo no trabajado (reparación mantenimiento 18.72%; esperas, distracciones y conversaciones 10.65%).

### Desorilladora.

La desorilladora muestra que de 16 horas un 54.21% (8.67h) fue de trabajo productivo (desorillando 47.23%, acomodo de tabla 6.98%), y un 45.80% (7.32h) de tiempo no trabajado (mantenimiento 4.52%; espera de tabla, distracciones, conversaciones y apagado 41.28%; [Tabla 5](#)).

### Cabeceadora

La [Tabla 5](#) muestra que en la despuntadora de 16 horas, un 26.02% (4.16h) fue de trabajo productivo (dimensionando), y un 73.98% (11.83h.) de tiempo no trabajado (espera, distracciones, conversaciones y apagado).

**Tabla 5.** Tiempo trabajado y no trabajado en las tres secciones principales del aserradero UEAFIC (%).

Maquinaria	Nº. observaciones	Observaciones	Tiempo trabajado (%)		Tiempo no trabajado (%)		
			Productivo	Nº productivo	Justificado	Nº justificado	
Sierra principal	470	Aserrado	58.09				
		Volteos		12.55			
		Reparaciones			7.66		
		Mantenimiento			11.06		
		Esperas				8.94	
		Distracciones				1.28	
		conversaciones				0.43	
		Subtotal (%)		58.09	12.55	18.72	10.65
		Total (%)			70.63		29.37
		Desorilladora	487	Desorillado	47.23		
Acomodo de tablas				6.98			
Mantenimiento					4.52		
Conversación						0.21	
Distracción						0.21	
Espera						18.89	
Apagado						21.97	
Subtotal (%)				47.23	6.98	4.52	41.28
Total (%)					54.21		45.86
Despuntadora	488			Dimensionado	26.02		
		Conversación				0.41	
		Distracción				0.21	
		Apagado				64.14	
		Espera				9.22	
		Subtotal (%)		26.02			73.98
Total (%)			26.02		73.98		

## Estimación del volumen de madera aserrada

El volumen de madera en rollo explicó el 84.8% la variabilidad del volumen de madera aserrada con un error estándar de 0.0858 m<sup>3</sup> y una probabilidad ( $P < 0.0001$ ), quedando definida la ecuación de la siguiente manera:

$$VMA = -0.04046 + 0.539761 * VMR$$

El análisis estadístico de regresión permitió predecir el volumen de madera aserrada a obtener a partir del volumen de materia prima que ingresa al aserradero. La función de ajuste responde al tipo lineal (Figura 4).

## DISCUSIÓN

Estudiando los rendimientos de dos líneas de producción de madera aserrada para construcción y elaboración de pallets de *P. pinaster* en la Vila portuguesa de Mação, Knapic et al. (2003) se encontró un rendimiento sin corteza de 55.9 y 47.2% respectivamente. El segundo dato es igual al obtenido en esta investigación (48.27%).

El coeficiente de aprovechamiento de 44.18% obtenido es inferior 18.05% con respecto al

obtenido por Gonzales (2008) en trocería de pino de 18 a 56 cm (7 a 22") en Capulalpam de Méndez, Oaxaca, quien estimó un 62.23% de rendimiento en madera aserrada. Esta diferencia se explica porque en el citado estudio se consideró también el volumen de tabletas y de recortes resultantes del proceso, incrementando con ello el coeficiente de aprovechamiento.

El coeficiente de aprovechamiento reportado en esta investigación es similar al reportado por Reyes (2013) en un estudio realizado sobre la cuantificación y aprovechamiento de residuos del proceso de aserrío del parque industrial Ixtlan de Juárez, Sierra Norte, Oaxaca en dos aserraderos un convencional y un automático, quien reporta un 43% de madera aprovechada producto de 1328 trozas, en ambos estudios se empleó la fórmula de Smalian para la cubicación de trozas con longitudes de 2.58 m para la Sierra Norte y 2.62 m para la Sierra Sur.

Con el coeficiente de aprovechamiento sin corteza reportado en esta investigación se requiere de 2.07 m<sup>3</sup>r para obtener 1 m<sup>3</sup> de madera aserrada. Para Prades et al. (2001), en trozas de 15 cm de diámetro de *P. pinaster* en España reportan un rendimiento de 31.25%, lo cual alude que para obtener 1 m<sup>3</sup> de madera aserrada se requieren procesar 3.2 m<sup>3</sup>r, en *P. sylvestris* se requieren 2.80 m<sup>3</sup>r y 3.00

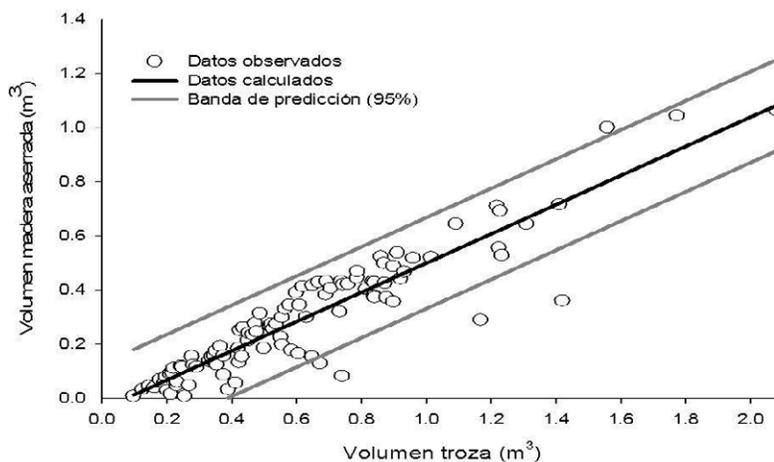


Figura 4. Estimación del volumen de madera aserrada.

m<sup>3</sup>r en *P. nigra*. Concluyendo que el diámetro de las trozas tiene efecto directo en el rendimiento.

Zavala & Hernández (2000) en un análisis sobre el rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino de las especies que procesan en el área concesionada a la Unidad de San Pedro el Alto, Zimatlán, Oax. (*P. patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pringlei*, *P. douglasiana*), determinaron que existe una relación directa entre la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada, con un total de 87 trozas; la trocería de 1ª y 2ª, generó un 31.70% y un 19.44% de madera de clase; la trocería de 3ª generó un 33.60% de madera de 3ª; la trocería de 4ª y 5ª un 34.79% y un 29.18% de madera de 4ª y 5ª respectivamente. En este estudio se determinó que la especie y la calidad de la trocería tiene efecto directo en la calidad de la madera aserrada, siendo la especie de *P. ayacahuite* de la que se obtiene más madera de clase (9%), y un 6% se reparte para las especies de *P. oaxacna* y *P. oocarpa*.

Zavala (1996) reporta un incremento en la pérdida de volumen de madera en rollo en forma de costeras durante el proceso de aserrío, directamente proporcional al aumento de la conicidad de las trozas coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda al determinar coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda del estado de Durango, esta aseveración se mantiene para el área de estudio debido a que se emplea el sistema de aserre denominado 4 caras y la conicidad de las trozas ocasiona problema para encontrar la adecuada geometría del aserrío.

Rendimiento de 42.54% estimada para *Eucalyptus urophylla* en Brasil con una conicidad de 0.0156 cmm<sup>-1</sup> por Scanavaca y García (2003) dedujeron la conicidad no tuvo efecto con el rendimiento de la madera aserrada, poniendo énfasis que los árboles jóvenes adquieren fuste cónico y con el paso de los años conforman un fuste cilíndrico, lo cual favorece a la disminución de su conicidad, difiere el dato anterior en este estudio debido a que las trozas presentaban conicidad hasta de 6.1-7 cm.m<sup>-1</sup>.

Murara et al. (2005) en la evaluación del rendimiento de madera de plantaciones de *P. taeda* en Brasil, utilizando dos sistemas de aserradero: convencional y optimizado. Las trozas se dividieron en cinco categorías diamétricas: 18-24, 24.1- 28, 28.1-34, 34.1-38 y 38.1-44 cm, encontrando que en ambos sistemas el rendimiento aumenta en proporción al diámetro de las trozas, lo cual concuerda con lo encontrado en el presente estudio.

Nájera (2010) en la evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango, México, encontró una disminución del rendimiento con el aumento en la conicidad de las trozas de *Pinus* spp. de diversos diámetros (15-65 cm) y largos (menor igual a 16, entre 16 y 18, mayores a 18 pies) mostrando una conicidad máximo de 6 cm/m; lo cual concuerda que con el aumento de la conicidad disminuye el rendimiento.

Nájera et al. (2011a) en un estudio de tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México, para 412 trozas de pino observaron la tendencia conforme aumenta la conicidad de las trozas, el rendimiento, la productividad y la velocidad de alimentación disminuyen, con la explicación de que a menor conicidad menos número de cortes, y a menor longitud disminuye la encorvadura de la troza con ello aumenta el rendimiento, en este estudio se observó la misma tendencia con menor conicidad y mayor rendimiento.

Nájera et al. (2012b) determinaron el rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México, en la cual concluyeron que el rendimiento en madera aserrada no es afectado por el diámetro, pero sí por el largo y conicidad de las trozas.

En la evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *P. spp.* en Durango, México, Nájera et al. (2012a) determinaron la desviación estándar del proceso para madera aserrada de *P. spp.* en Durango, México con grueso nominal de 22.23 mm (7/8"), obteniendo 2.03 mm para el aserradero del ejido La Victoria, una desviación de 1.96 mm para el aserradero de la Sociedad de Producción Rural

“El Diamante”, y para el aserradero Langer de 1.58 mm; mismos valores considerados como altos y para compensar estas desviaciones se debe de aserrar con holgura para asegurar la dimensión óptima de las tablas, para este estudio la desviación se determinó una desviación del proceso de 1.05 mm lo cual se considera que es alto e impacta en el rendimiento de madera aserrada, por lo que es de suma importante reducir dicha desviación.

Los valores reportados en este trabajo 0.53 m<sup>3</sup>hr<sup>-1</sup> de madera aserrada y 6.31 trozas por hora son superiores a los resultados de [Chávez & Guillén \(1997\)](#) en un muestreo de una planta de aserrío para un estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío en Santa Cruz, Bolivia, obteniendo 0.14 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> madera aserrada, aserrando 5.26 trozas por hora, los datos difieren por las características que presentan las trozas aserradas y la destreza del personal de trabajo.

[Chávez & Guillén \(1997\)](#), en muestreo de una planta de aserrío de 57 horas en Santa Cruz, Bolivia, reportan un 70% de tiempo trabajado para la sierra principal (aserrado 58%, volteos 12%); mientras que para el tiempo no trabajado obtuvieron un 30% (reparaciones y mantenimiento 17.5%; esperas, distracciones y conversaciones 12.5%), valores similares al que se reporta en este trabajo. Dicha similitud se debe a que es el área de más trabajo y movimiento en toda la jornada de trabajo.

[Copaja \(2007\)](#) en su estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío de dos especies forestales Bibosi (*Ficus glabrata*) y Mapajo colorado (*Ceiba pentandra*) obtiene un tiempo de trabajo del 60.23% para la desorilladora valor superior al reportado en este trabajo, deduciendo que se debe al elevado porcentaje de esperas que registran en esta sección, lo que ocasiona un bajo tiempo de trabajo.

El mismo autor reporta para la despuntadora 62.4%, valor superior al reportado en este trabajo, dicha diferencia se deduce y se concuerda que se debe al elevado tiempo de esperas y de apagado de la máquina que registran en esta sección, lo que ocasiona un bajo tiempo de trabajo.

## CONCLUSIONES

El coeficiente de aserrío real total fue de 44.18% y 48.27% con corteza y sin corteza respectivamente, sin la influencia de la corteza el rendimiento aumenta un 4.08% en madera aserrada. El rendimiento sin corteza en el aserradero evaluado de 48.27%, equivalente a obtener 216 pt (0.51 m<sup>3</sup>) por cada metro cúbico de madera en rollo, o bien, se requieren 4.62 m<sup>3</sup> rollo para obtener 1000 pt (2.36 m<sup>3</sup>) de madera aserrada.

Del análisis de la información, se observó un incremento directo del coeficiente de aserrío en función del diámetro de las trozas; un mayor rendimiento en menor conicidad.

La desviación estándar del proceso fue de 1.05 mm considerando que se genera madera aserrada con poca calidad y dicha desviación representa un 5.51% de la dimensión final.

De las 1875 tablas solo el 15.01% corresponde a madera de clase, 34% madera de tercera, mientras que la madera de cuarta resultó de 50.98%. Solo el 18% de las tablas se ubicaron en el grueso especificado (26 mm). La madera procesada que más frecuentemente se obtuvo en condiciones normales de producción es de 3/4" de espesor.

En la sierra principal el tiempo trabajado productivo fue de 58.09%. El tiempo trabajado no productivo fue de 12.55%, el tiempo no trabajado justificado se ubicó en 18.72% y el tiempo no trabajado no justificado fue de 10.65%. La productividad en el aserrado se ubicó en 0.53 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Especializada de Aprovechamiento Forestal Comunal de Santa Cruz Itundujia, Putla, Oaxaca, por la oportunidad para la realización del presente investigación en el aserradero comunal.

A la Comisaría de Bienes Comunales del municipio de Santa Cruz Itundujia por permitir la realización del estudio en el aserradero comunal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, T.D.** (2000). Lumber Size Control, part 2: Size analysis considerations. Oregon State University. Extension service offers educational programs, activities, and materials. 27 p.
- Copaja, B.** (2007). Estudio de Rendimiento, Tiempos y Movimientos en el Aserrío de Dos Especies Forestales: Bibosi (*Ficus glabrata*) y Mapajo Colorado (*Ceiba pentandra*). (Trabajo de pregrado, Ingeniería Forestal). Santa Cruz de la sierra: Universidad Autónoma Gabriel René Moreno.
- Chávez, A. & Guillén, V.** (1997). Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío. Manual práctico. Documento técnico 62. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 29 p.
- Galindo, Q. K.** (2011). Variación de corte y coeficiente de aprovechamiento en madera de encino de Oaxaca (Trabajo de pregrado, Ingeniería Forestal Industrial). Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. División de ciencias forestales. 54 p.
- González, M. H.** (2008). Estudio comparativo del aserrío de encino y pino en el aserradero comunal de Capulalpam de Méndez, Oaxaca (Trabajo de pregrado, Ingeniería Forestal Industrial). Texcoco, Estado de México. Universidad Autónoma Chapingo. División de ciencias forestales. 67 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (2005). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Clave Geoestadístico 20377. Santa Cruz Itundujia, Oaxaca. México. 9 p.
- Knapic, S., Glória, A., & Pereira, H.** (2003). Rendimentos industriais de pinheiro bravo em serração. Anais do Instituto Superior de Agronomia.49: 223-241 pp.
- Murara, J., Pereira, M., & Timofeiczky, R.** (2005). Rendimiento em madeira serrada de *Pinus tadea* para duas metodologías de desdoble. Floresta, 35(3), 473- 483.
- Nájera, L. J.A.** (2010). Evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango México (Tesis Doctoral) Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de ciencias forestales. 178 p.
- Nájera L., J.A., J.T. Montañez R., J. Méndez G., J. Hernández F., B. Vargas L., F. Cruz C. y C.G. Aguirre C.** (2012a). Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus spp* en Durango, México. Revista Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 54, 22-29pp.
- Nájera, L. J.A., Adame, V. G.H., Méndez, G. J., Vargas, L. B., Cruz, C. F., Hernández, F. J. & Aguirre, C. C.G.** (2012b). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 55, 11-23.
- Nájera, L. J.A., Aguirre, C. O.A., Treviño, G. E.J., Jiménez, P. J., Jurado, Y. E., Corral, R. J.J. & Vargas, L. B.** (2011). Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 17(2),199-213.
- Nájera, L. J.A., Montañez, R. J.T., Méndez, G. J., Hernández, F. J., Vargas, L. B., Cruz, C. F. & Aguirre, C. C.G.** (2012). Evaluación de acciones correctivas tendientes a mejorar la calidad dimensional de la madera aserrada de *Pinus spp* en Durango, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 54, 22-29.
- Nájera, L. J.A., Rodríguez, R. I., Méndez, G. J., Graciano, L. J.J., Rosas, G. F. & Hernández, F. J.** (2006). Evaluación de tres sistemas de asierre en *Quercus sideroxylla* Humb & Bompl del Salto, Durango. Ra Ximhai, 2(2), 497 – 513.
- Prades, C., Rubio, J., Cobo, D., & Muñoz, A.** (2001). Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta de aserrío de madera de pequeñas dimensiones mediante tecnología chipcanter en la Provincia de Granada. In: III Congreso Forestal Español. 658-664 pp.
- Procuraduría de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE).** (2006). Núcleos Agrarios. Tabulados Básicos por Municipio. INEGI. 243 p.
- Quirós, R., Chinchilla, O. & Gómez, M.** (2005). Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de

madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía Costarricense*, 29 (2), 7-15.

**Reyes, C. L.M.** (2013). Cuantificación y aprovechamiento de residuos del proceso de aserrío del parque industrial, Ixtlán de Juárez, Oaxaca (Trabajo de pregrado, Ingeniería Forestal). Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca. 73 p.

**Rodríguez, R. I.** (2007). Aserrío y secado de la madera de *Quercus sideroxylla* en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango (Tesis de maestría, M. en C.). El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Instituto Tecnológico de El Salto. 100 p.

**Romahn, De la V. C.F. & Ramírez, M. H.** (1987). *Dendrometría*. México: Universidad Autónoma de Chiapas. 387 p.

**SAS Institute Inc.** (2002). *SAS User's Guide: SAS STAT Version 9*. SAS Institute Inc. Cary. NC.

**Scanavaca, L. & García, N. J.** (2003). Rendimiento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 63, 32-43.

**Zavala, Z. D.** (1996). Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal*, 21(79), 165-181.

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



