



Artículo / Article

Factor de conversión de productos forestales en la industria de tarimas en Durango

Conversion factor of forest products in sawmilling of pallets in Durango, Mexico

Alan Javier Haro Pacheco¹, Juan Abel Nájera Luna¹, Jorge Méndez González², Sacramento Corral Rivas¹, José Ciro Hernández Díaz³, Artemio Carrillo Parra⁴ y Francisco Cruz Cobos¹

Resumen

Reducir la pérdida de materia prima y mejorar la producción son tareas en continuo desarrollo en el sector productivo. El objetivo del presente estudio fue determinar el factor de conversión de materia prima para productos de tarimas para empaque. Se evaluó el proceso de asierre en cuatro aserraderos de El Salto, Durango, México; además se seleccionaron 308 trozas de pino con diámetros de 14 hasta 41 cm y 1.07 m de longitud, distribuidas en cuatro categorías diamétricas. El asierre se cronometró con una precisión de 1/100 segundos; el volumen de las trozas y los productos generados se cubicaron con un xilómetro; el rendimiento se estimó mediante la proporción de madera aserrada entre el volumen en rollo y los costos de producción, con la suma de los costos fijos y variables del proceso. Los resultados mostraron que por cada metro cúbico de madera en rollo aserrada es posible obtener 217 pies tabla (pt), en piezas de tarima y 207 pt de residuos. El tiempo para aserrar 1.00 m³ de madera en rollo se estimó en 1.95 h; por lo tanto, la productividad fue de 0.51 m³ r h⁻¹. El factor de conversión indicó que para 1.00 m³ de piezas para tarima se requieren de 1.95 m³ r h⁻¹ madera en rollo. El costo de producción fue de US\$161.30 por m³ aserrado. A medida que aumenta el diámetro de las trozas, se incrementan el rendimiento y la productividad; mientras que el tiempo de proceso y los costos de producción disminuyen.

Palabras clave: Costos, madera aserrada, productividad, rendimiento, trozas, xilómetro.

Abstract

Reducing the loss of raw material and improving production are tasks in continuous development in the productive sector. The aim of this study was to determine the conversion factor of raw material into pallets for packaging products. The sawing process was evaluated in four sawmills in *El Salto, Durango, Mexico*, selecting 308 pine logs with diameters of 14 to 41 cm and 1.07 m in length, divided into four diameter categories. Sawmilling time was obtained by timing the process with a precision of 1/100 second; the volume of logs and the products generated were measured by xylometer; performance was estimated by the proportion of lumber between the volume round wood and production costs, given by the sum of the fixed and variable costs of the process. Results showed that for every cubic meter of round wood that is sawn, it is possible to obtain 217 board feet (bf) in pallet parts and 207 bf of waste. The time needed to saw 1.00 m³ of logs was estimated at 1.95 hours, thus the productivity was 0.513 m³ r h⁻¹. The conversion factor indicated that for 1.00 m³ of pieces for pallets is required 1.95 m³ r h⁻¹ of round wood. The production cost was US \$ 161.30 per sawn cubic meter. As the diameter of the logs increases, also does performance and productivity, while the processing time and production costs diminish.

Key words: Cost, lumber, productivity, lumber yield, logs, xylometer.

Fecha de recepción/date of receipt: 25 de enero de 2015; Fecha de aceptación/date of acceptance: 3 de marzo de 2015.

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de El Salto (ITES). Correo-e: jalnajera@itelsalto.edu.mx

² Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³ Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera; Universidad Juárez del Estado de Durango (ISIMA-UJED)

⁴ Facultad de Ciencias Forestales-UANL

Introducción

La globalización económica ha conducido a una mayor competencia entre las empresas forestales, lo que ha incrementado el interés por tomar mejores decisiones, con el fin de aprovechar al máximo la materia prima disponible y optimizar el proceso de producción y, de forma paralela, reducir costos; además de aumentar la calidad (Souza, 2007). El aprovechamiento racional de los recursos forestales desempeña un rol importante en el desarrollo económico y social del país; por ello, disminuir la pérdida de materia prima, mejorar la calidad de los productos, así como optimizar el uso de la mano de obra y de los equipos, son tareas pendientes y en continuo desarrollo en el sector productivo (Aguilera *et al.*, 2005).

La fabricación de madera aserrada está influenciada, mayormente, por el precio de la materia prima en rollo, que a su vez, depende de los costos de manejo, extracción y transporte, por lo que lo que su venta al consumidor final incluye los costos de transformación y manejo a través de toda la cadena productiva (Semarnat, 2002). Infor (2009) señala que en las actividades forestales, los factores de conversión que relacionan la cantidad de madera en trozas por unidad de producto final se emplean como herramientas de apoyo para el manejo forestal y al sector industrial; al mismo tiempo, son fundamentales para la elaboración de estadísticas sectoriales, estudios, análisis, proyecciones y aproximaciones de producción en las diversas ramas de la actividad forestal como la silvicultura, específicamente en cálculos de biomasa, captura de carbón; y podrían utilizarse por las empresas para valorar las ventas y estimar precios por unidad de madera aserrada.

En la región de El Salto, Durango, existe un gran número de aserraderos dedicados a la elaboración de tarimas y cajas como una opción para el aprovechamiento de puntas y ramas, las cuales se utilizan como contenedores, soporte y superficie de carga en el transporte, y almacenamiento de una gran variedad de objetos; sin embargo, poco se conoce sobre los factores de conversión de la materia prima en productos terminados, por lo que el presente estudio centra su atención en determinar los indicadores de rendimiento de la materia prima forestal y los costos de operación en la industria de tarimas y cajas para empaque de esta importante región forestal de México, a partir del supuesto de que dicho factor es similar en las diferentes categorías diamétricas de las trozas aserradas.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la región forestal de El Salto, Durango, localizada dentro del sistema montañoso de la Sierra Madre Occidental, donde se eligieron cuatro aserraderos de régimen particular dedicados a la elaboración de tarimas y cajas, bajo la condición de que tuvieran la misma infraestructura en cuanto a características técnicas de la maquinaria y equipo (Cuadro 1).

Introduction

Economic globalization has led to increased competition among forest companies, which has increased the interest in taking better decisions in order to maximize the available raw material and optimize the production process, and in parallel, reduce costs and increase quality (Souza, 2007). The rational use of forest resources plays an important role in economic and social development; hence, to reduce the loss of raw material, improve the quality of results and optimize the use of manpower and equipment, are continuous tasks in the productive sector (Aguilera *et al.*, 2005).

Timber manufacturing is largely influenced by the price of the raw material roll, which in turn depends on the costs of handling, extraction and transportation, so the product sold to the final consumer includes the cost of transformation and management throughout the whole productive chain (Semarnat, 2002). Infor (2009) notes that in forestry, conversion factors to relate the amount of roundwood per unit of final product is widely used as a support tool for forest management and the industrial sector; at the same time, are critical for the development of sectorial statistics, studies, analyzes, projections and approaches of production in the various branches of forestry, specifically in calculations of biomass, carbon capture and could be used by companies to value sales and to estimate unit prices of lumber.

In the *El Salto* region, *Durango* state, there is a great number of sawmills devoted to de manufacture of pallets and boxes, as an option to use the tips and branches which are used as containers, supports and load surfaces in the transportation and storage of a great variety of objects; however, little is known about the conversion factors of raw material to final products, and thus, this study is centered in determining the yield indicators of the forest raw material and the costs of operation in the pallet and box industry for package of this important forest region of Mexico, based on the assumption that the conversion factor of forest products is similar in the different diametric category of the sawn logs.

Materials and Methods

The study was carried out in the forest region of *El Salto*, *Durango*, located within the mountain system of the *Sierra Madre Occidental*, where four private sawmills were selected which are dedicated to the manufacturing of pallets and boxes under the assumption that they all had the same infrastructure in terms of technical characteristics of machinery and equipment (Table 1).



Cuadro 1. Aserraderos evaluados en este estudio.
Table 1. Assessed sawmills in this study.

Aserradero*	Denominación social
A	Gilberto Delgado de la Cruz
B	Daniel Delgado Meráz
C	Víctor Torrecillas Silva
D	Ricardo Quiñones

*A, B, C y D = Claves asignadas a cada aserradero para su análisis.

*A, B, C and D = Assigned keys to each sawmill for its analysis in this study.

Los aserraderos seleccionados tienen el siguiente equipo: sierra cinta vertical marca Trosa® modelo B723 con volantes de 101.6 cm (40") de diámetro; y sierras Uddeholm® 33732 de 4.13 cm (1 5/8") de ancho, con un paso de diente de 1.905 cm (3/4") y una profundidad de garganta de 0.635 cm (1/4"), la cual se utiliza para aserrar las trozas y generar las subsecciones denominadas bloques o "cuartones". Sierra múltiple horizontal con cuatro volantes de 81.28 cm (32") de diámetro marca Hulmaq®, modelo Rease 20A82B y dos sierras cinta Uddeholm® 33687 de 3.18 cm (1 1/4") de ancho, con un paso de diente de 1.905 cm (3/4") y una profundidad de garganta de 0.635 cm (1/4"), la cual sirve para re-aserrar los cuartones y generar las piezas con los espesores finales requeridos. Cuentan con igualadoras de fabricación local equipadas con dos sierras circulares Pretech® de 39.37 cm (15 1/2") con 72 dientes de carburo de tungsteno, que se emplean para dimensionar en longitud las piezas que conforman la tarima. En todos los aserraderos el sistema de carga de las trozas a la sierra cinta es manual y el equipo de trabajo humano lo componen siete personas: "arrimador"; el operador de la sierra principal, con un ayudante; operador de sierra múltiple y un ayudante; operador de la igualadora y un acomodador.

La trocería procesada pertenece al género *Pinus* sp. procedente de los ejidos, comunidades y pequeñas propiedades de la región. En los aserraderos no se clasifica el producto, por lo que se comercializa como *mill-run* (mezcla de clases). La tarima se elabora en una gran variedad de dimensiones, las más comunes son 99.06 cm (39"), 106.68 cm (42"), 114.3 cm (45"), 119.38 cm (47") y las de 124.46 cm (49") de longitud; los anchos, generalmente, son de 6.35 cm (2 1/2"), hasta 14.60 cm (5 3/4"); y el espesor de las piezas varía entre 1.27 cm (1/2") y 4.44 cm (1 3/4"). Estas medidas están sujetas a la demanda del mercado. En las cajas, los tamaños estándar para la tableta son de 0.64 cm (1/4") de espesor, 8.89 cm (3 1/2") de ancho y 30.48 cm (12") de largo; el testero tiene 30.48 cm (12") de espesor, 8.89 cm (3 1/2") de ancho y 30.48 cm (12") de largo; finalmente para el triángulo son de 5.08 cm (2") de espesor, 5.08 cm (2") de ancho y 30.48 cm (12") de largo. La leña y el aserrín se comercializan por metro cúbico, este último se transporta, en su mayoría, a la ciudad de Durango para abastecer la industria del aglomerado.

The selected sawmills have their own equipment: Trosa® model B723 vertical band saws with fliers of 101.6 cm (40") in diameter and a Uddeholm® 33732 4.13 cm (1 5/8") wide saws with a tooth step of 1.905 cm (3/4") and a throat depth of 0.635 cm (1/4"), which is used to saw the logs and produce the so-called blocks or "cuartones"; a Hulmaq®, Rease 20A82B model multiple horizontal saw with four fliers of 81.28 cm (32") in diameter and two Uddeholm® 33687 band saws 3.18 cm (1 1/4") wide, with a tooth pass of 1.905 cm (3/4") and a throat depth of 0.635 cm (1/4"), which is useful in resawing the "cuartones" and to produce the pieces with the final thickness required. They have a locally made equalizer equipped with two Pretech® 39.37 cm (15 1/2") circular saws of 72 teeth of tungsten carbide which are used to dimension the length of pieces that make up the pallet. In all the sawmills, the log load to the saw band system is hand -made and the human team work is made up by seven people: mover, operator of the main saw with a help, multiple saw operator and a help, operator of the equalizer and an attendant.

The processed logging belongs to the *Pinus* sp. genus, which comes from the ejidos, communities and small properties of the region. The classification of timber is not made in the sawmills and thus it is traded as mill-run (mix of classes). There is a great variety in the dimensions in which the pallets are made, the most common of which are the following: 99.06 cm (39"), 106.68 cm (42"), 114.3 cm (45"), 119.38 cm (47") and the 124.46 cm (49") long; widths generally are 6.35 cm (2 1/2") hasta 14.60 cm (5 3/4") and thickness varies between 1.27 cm (1/2") and 4.44 cm (1 3/4"). These sizes depend to the demands of the market. Meanwhile, for boxes, the standard measures for the tablet are: 0.64 cm (1/4") thick, 8.89 cm (3 1/2") wide and 30.48 cm (12") long; for the underframe, they are: 30.48 cm (12") thick, 8.89 cm (3 1/2") wide and 30.48 cm (12") long, and finally for the triangle, they are: 5.08 cm (2") thick, 5.08 cm (2") wide and 30.48 cm (12") long. Firewood and sawdust are traded by cubic meter and the latter is majorly transported to Durango city to supply the chipboard industry.

Sample size

To estimate the number of necessary logs to saw and to reach a sampling error of 5 % and a confidence of 95 %, the Dobie (1975, quoted by Zavala, 1996) expression was used:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2}$$



Tamaño de muestra

El número de trozas necesarias por aserradero para alcanzar un error de muestreo de 5 % y una confiabilidad de 95 %, se estimó con la expresión de *Dobie* (1975, citado por *Zavala*, 1996):

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2}$$

Donde:

- n = Número de trozas necesarias para estimar el rendimiento de madera aserrada
- t^2 = Valor tabular de *t-Student* al 95 % de confiabilidad
- CV^2 = Coeficiente de Variación (%)
- E^2 = Error de muestreo deseado (5 %)

En cada aserradero se llevó a cabo un pre-muestreo de 30 trozas representativas de la población, con el propósito de calcular el número de trozas necesarias por aserradero (Cuadro 2).

Where:

- n = Number of necessary logs to estimate sawnwood yield
- t^2 = Tabular value of Student's *t*-distribution at 95 % confidence
- CV^2 = Coefficient of Variation (%)
- E^2 = Desired sampling error (5 %)

In each sawmill a pre-sampling of 30 logs representative of the population was carried out, with which it was possible to make a calculation of the number of necessary logs by sawmill (Table 2).



Cuadro 2. Número de trozas requeridas y aserradas por aserradero.

Aserradero	Trozas requeridas con 5 % de error (n)	Trozas aserradas (n)	Error de muestreo (%)
A	67	78	4.37
B	59	75	4.72
C	48	84	3.85
D	49	71	4.04

Table 2. Number of logs required and sawn by sawmill.

Sawmill	Required logs at 5 % (n)	Sawn logs (n)	Sampling error (%)
A	67	78	4.37
B	59	75	4.72
C	48	84	3.85
D	49	71	4.04



Categorías de diámetros de las trozas

Se utilizaron 308 trozas de pino (28 % más de las requeridas) de 107 cm (3.6 pies) de largo, y para establecer las categorías diamétricas se consideraron todos los diámetros mínimos en los patios de trocería, fueron del orden de 14 hasta 41 cm, los cuales se distribuyeron en cuatro clases diamétricas (5 cm, cada uno), con el objeto de analizar la influencia del diámetro de las trozas en el rendimiento y los costos de producción (Cuadro 3).

Diametric categories of the logs

A total of 107 cm (3.6 pies) long 308 pine logs (28 % more than necessary) were used for the actual study, and to define the diametric categories all the minimum diameters in the logging yards where values from 14 to 41 cm were found, which were distributed into four diametric classes (5 cm each), in order to analyze the influence of the diameter of the logs in the production yield and costs (Table 3).

Cuadro 3. Distribución de las trozas de pino por categoría diamétrica.

Categorías diamétricas (cm)	Trozas (n)	Porcentaje del total (%)
< 20	57	18.5
21-25	90	29.2
26-30	89	28.9
> 31	72	23.4
Total	308	100.00

Table 3. Distribution of the pine logs according to diametric category.

Diametric category (cm)	Logs (n)	Percentage of the total (%)
< 20	57	18.5
21-25	90	29.2
26-30	89	28.9
> 31	72	23.4
Total	308	100.00

Cubicación de las trozas, madera aserrada y productos del aserrío

El volumen tanto de las trozas, como de la madera aserrada, los subproductos y los residuos del proceso de asierre se obtuvo mediante un xilómetro elaborado y calibrado *ex professo* para el presente estudio, con base en la siguiente expresión:

$$Vol = \frac{Li - Lf(C)}{1000}$$

Donde:

- Vol = Volumen (m³)
- Li = Lectura de la medición inicial (cm)
- Lf = Lectura de la medición final (cm)
- C = Constante obtenida de la calibración del xilómetro=2.59 (L cm⁻¹)

Cubication of sawnwood pieces and sawing products

The volume of the sawn - wood pieces, by-products and wastes of the sawing process was obtained with the aid of a xylometer, which was specifically calibrated and elaborated for the actual study, for which the following expression was used:

$$Vol = \frac{Li - Lf(C)}{1000}$$

Where:

- Vol = Volume (m³)
- Li = Reading of the original measurement (cm)
- Lf = Reading of the final measurement (cm)
- C = Constant obtained from the calibration of the xylometer=2.59 (L cm⁻¹)

Estimación del rendimiento en madera aserrada

A partir de los valores del volumen de las trozas, los de la madera aserrada, de los subproductos y los residuos no aprovechables se procedió a determinar el rendimiento (R), para ello se empleó la fórmula (Nájera *et al.*, 2012):

$$R = \frac{V_p}{V_r} \times 100$$

Donde:

- R = Rendimiento de madera aserrada (%)
- V_p = Volumen de los productos resultantes del aserrío (m³)
- V_r = Volumen de madera en rollo (m³ rollo)

Productividad del aserrío

La productividad del aserrío se calculó al dividir el volumen de madera aserrada entre el tiempo requerido para aserrar dicho volumen, mediante la expresión de García *et al.* (2001):

$$P = \frac{V_a}{T_t}$$

Donde:

- P = Productividad del aserrío (m³ h⁻¹)
- V_a = Volumen aserrado (m³)
- T_t = Tiempo total de asierre (h)

Con base en la información que se generó en el asierre de las trozas, se estimó el tiempo necesario para aserrar un metro cúbico (m³), con la ecuación propuesta por Nájera *et al.* (2012):

$$T = \frac{1 \times T_t}{V_a}$$

Donde:

- T = Tiempo para aserrar un metro cúbico de madera en rollo (h)
- T_t = Tiempo total de asierre (h)
- V_a = Volumen aserrado (m³)

Costos de producción en el proceso de aserrío de tarima

En relación con los costos del proceso de aserrío, cabe señalar que la información fue recabada mediante 10 entrevistas directas con responsables o administradores de aserraderos de tarimas y cajas de la región de El Salto, Durango. La finalidad fue conocer los costos fijos y variables en que incurrieron durante el proceso de producción. Los costos fijos incluyen todas las formas de remuneración derivadas del mantenimiento de los activos

Estimation of the sawnwood yield

From the values of the volume of the logs was obtained, as well as those of sawn-wood, by-products and non-use wastes, yield (R) was determined by the following model (Nájera *et al.*, 2012):

$$R = \frac{V_p}{V_r} \times 100$$

Where:

- R = Sawnwood yield (%)
- V_p = Sawing products volume (m³)
- V_r = Roundwood volume (m³ r)

Sawing productivity

Sawing productivity was estimated when wood volume was related to the time required to saw such volume by the formula of García *et al.* (2001):

$$P = \frac{V_a}{T_t}$$

Where:

- P = Sawing productivity (m³ h⁻¹)
- V_a = Sawn volume (m³)
- T_t = Sawing total time (h)

Based upon the information generated in the sawing of logs, the necessary time to saw one cubic meter (m³) was determined according to that expressed by Nájera *et al.* (2012):

$$T = \frac{1 \times T_t}{V_a}$$

Where:

- T = Time to saw one cubic meter of roundwood (h)
- T_t = Total sawing time (h)
- V_a = Sawn volume (m³)



fijos. Los principales componentes de los costos fijos son los impuestos, depreciación, gastos administrativos y salarios. Los costos variables son aquellas formas de compensación que necesariamente varían de acuerdo a la producción. Los principales componentes de los costos variables son el mantenimiento de máquinas y herramientas, energía eléctrica, materia prima, combustibles y lubricantes. El costo de producción por metro cúbico procesado se calculó utilizando la siguiente fórmula (Murara *et al.*, 2010):

$$C_{tp} = \sum C_f + \sum C_v$$

Donde:

- C_{tp} = Costo total de producción (\$)
- C_f = Costos fijos (\$)
- C_v = Costos variables (\$)

Para obtener el costo de un metro cúbico aserrado, se aplicó la relación que existe entre el costo total del volumen de las trozas consumidas en una categoría diamétrica específica y el volumen de madera aserrada generada por el aserrío. Por lo tanto, el costo del metro cúbico aserrado se estimó con la expresión que a continuación se anota (Murara *et al.*, 2010):

$$C_{ma} = \frac{C_{tp}}{V_a}$$

Donde:

- C_{ma} = Costo de metro cúbico aserrado (\$ m⁻³)
- C_{tp} = Costo total de producción (\$)
- V_a = Volumen de madera aserrada para cada categoría (m³)

El cálculo de la depreciación de la maquinaria se hizo con el método de la línea recta, (SHCP, 2012), el cual es el más sencillo y utilizado por las empresas; consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo. La depreciación es el valor que adquiere la infraestructura, maquinaria y equipo una vez que hayan sido usados; es decir, la vida normal de los activos enunciados (máquinas y equipo) es de 10 años; por lo tanto, su costo total corresponde a una décima parte cada año (10 %).

$$D = \frac{V_a}{10}$$

Donde:

- D = Depreciación (\$)
- V_a = Valor del activo (\$)

Production costs in the sawing process for pallets

In relation to the costs in the sawing process, it is worth-noting that the information was collected through direct interviews to ten managers of pallet and box sawmills of *El Salto, Durango* in order to know the fixed and variable costs which they had during the production process. The fixed costs included all the payment forms from keeping the fixed assets. The main components of the fixed costs are taxes, depreciation administration expenses and wages. The variable costs are those compensation forms that must vary according to production. The most important components of the variable costs are machine and tool maintenance, electric energy, raw material fuels and lubricants. With this information the production cost per processed cubic meter was determined, by using the following formula (Murara *et al.*, 2010):

$$C_{tp} = \sum C_f + \sum C_v$$

Where:

- C_{tp} = Total production cost (\$)
- C_f = Fixed costs (\$)
- C_v = Variable costs

In order to get the cost of 1 sawn m³, the relation between the total cost of the logs used under a specific diametric category and the sawnwood volume produced by sawmilling was used. Therefore, the sawnwood cubic meter cost was estimated by the following expression (Murara *et al.*, 2010):

$$C_{ma} = \frac{C_{tp}}{V_a}$$

Where:

- C_{ma} = Cost of each sawn cubic meter (\$ m⁻³)
- C_{tp} = Total production cost (\$)
- V_a = Sawnwood volume for each category (m³)

For the calculation of the depreciation of machinery, the straight line method was used (SHCP, 2012), which is the simplest method used by the companies and it consists in dividing the value of the asset by its useful lifespan; it is mentioned that depreciation is the value that infrastructure, machinery and equipment get once they have been used; that is, the normal life of the described assets (machines and equipment) is ten years; thus, its total costs, is reduced to one tenth every year.

$$D = \frac{V_a}{10}$$

Where:

- D = Depreciation (\$)
- V_a = Value of the asset (\$)



Análisis estadístico

Para identificar diferencias significativas en los indicadores de productividad (rendimiento, tiempo total para aserrar 1.00 m³, y productividad m³ h⁻¹), a partir de los siguientes factores: los aserraderos y las categorías diamétricas, se realizaron análisis de varianza (95 %), así como pruebas de comparación de medias mediante rangos múltiples de *Duncan*, con un nivel de significancia de 0.05. Para tal efecto se utilizó el software estadístico *Infostat* 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008).

Resultados y Discusión

Indicadores de producción y factor de conversión de productos forestales

El rendimiento en piezas de tarima fue de 51.22 % con corteza. Lo anterior indica que por cada metro cúbico de madera en rollo procesada se obtienen 217 pies tabla (pt). La productividad tuvo valores de 0.08 a 1.42 m³ r h⁻¹ efectiva de trabajo, con un promedio de 0.51 m³ h⁻¹, equivalentes a aserrar 254 pt h⁻¹ de trabajo; el factor de conversión para obtener un metro cúbico de madera aserrada fue de 1.95 m³ r⁻¹ con corteza, y se requirió un tiempo de 1.95 horas, en promedio, para procesarlas (Cuadro 4).

Aunque es común registrar los rendimientos en madera aserrada con referencia al volumen en rollo sin corteza, en el presente estudio, debido al sistema de cubicación utilizado no fue posible estimar directamente el volumen de la trocería sin corteza; no obstante, Nájera *et al.* (2013), estudiaron el rendimiento en la producción de piezas para tarima en la región de El Salto, Durango; calcularon un rendimiento sin corteza de 56.71 %, a partir de trozas sin corteza y de 51.19 % en trozas con corteza, lo que indica que el volumen de la corteza representa la diferencia del 5.52 % en el rendimiento. Con base en lo anterior, el rendimiento en piezas de tarima en el presente trabajo es alrededor de 56.00 %, sin corteza, esto sugiere que son necesarios 1.78 m³ r sin corteza para obtener 1 m³ de madera aserrada; valores similares a lo citado por los autores de referencia.

El factor de conversión de productos forestales aquí documentados (1.95 m³ r con corteza y 1.78 m³ r sin corteza para obtener 1 m³ de madera aserrada) es compatible con los principales factores que se utilizan en la Comisión Económica de las Naciones Unidas (UNECE), que varían de 1.42 a 2.10 m³ r, sin corteza para producir 1.00 m³ de madera aserrada (UNECE/FAO, 2005).

Statistical analysis

To detect significant differences in the productivity indicators (yield, total time to saw 1.00 m³, and productivity m³ h⁻¹), taking the sawmills and the diametric categories as factors, analyses of variance (95 %) were undertaken and mean comparisons by Duncan's multiple range test were made, with a significance of 0.05. For such ending, the *Infostat* 2008 software (Di Rienzo *et al.*, 2008) was used.

Results and Discussion

Production indicators and conversion factor of forest products

The yield in pallet pieces was 51.22 % with bark. This means that for each roundwood cubic meter that is processed, 217 board feet (bf) are produced. Productivity showed ciphers from 0.08 a 1.42 m³ r/ effective work h, with an average of 0.51 m³ h⁻¹, that are equivalent to sawing 254 bf/ work h and the conversion factor to get 1 sawnwood m³ r⁻¹ was 1.95 m³ r⁻¹ with bark, demanding a time of 1.95 hours average to process them (Table 4).

Although it is very usual to record the yields in sawnwood in regard to the barkless roundwood volume, in the present study, and from the cubication system used, it was not possible to estimate directly the barkless log volume; nevertheless, Nájera *et al.* (2013) studied the yield in the production of pieces for pallets in the *El Salto, Durango* region and determined a barkless yield of 56.71 % from barkless logs and of 51.19 % in barked logs, which means that the volume of the bark stands for the difference of 5.52 % of the yield. Based on the former, the pallet pieces yield of the actual study would be 56.00 % without bark, which suggests that it is necessary to count with 1.78 m³ r without bark in order to get 1 m³ sawnwood, similar values to those stated by the referred authors.

The conversion factor of forest products of the actual study (1.95 m³ r with bark or 1.78 m³ r barkless to get 1 m³ sawnwood) is compatible with the major conversion factors that are used at present in the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), which vary from 1.42 to 2.10 m³ r barkless to produce 1.00 m³ sawnwood (UNECE/FAO, 2005).



Cuadro 4. Indicadores de producción y factor de conversión de madera en rollo a madera aserrada.

Variable	Trozas (n)	Media	Desviación estándar	Total	Mínimo	Máximo
Características de las trozas aserradas						
DM con corteza (m)	308	0.26	0.06	--	0.14	0.43
DM sin corteza (m)		0.25	0.06	--	0.12	0.41
Dm con corteza (m)		0.24	0.06	--	0.13	0.40
Dm sin corteza (m)		0.23	0.06	--	0.12	0.39
Longitud de la troza (m)		1.07	0.11	--	0.80	1.46
Volumen con corteza (m ³ r)		0.06	0.03	17.85	0.02	0.16
Productos obtenidos del aserrío						
Tablas generadas (n)	308	13	8	4023	2	44
Volumen de las tablas (m ³)		0.03	0.02	9.34	0.00	0.09
Tiempo para aserrar 1 m ³ en horas						
Tiempo total de aserrío (h)		1.95	0.98	--	0.70	12.39
Indicadores de producción						
Rendimiento de tablas aserradas (%)		51.22	9.34	--	6.43	70.90
Rendimiento de costeras o capote (%)		18.74	9.08	--	0.00	48.51
Rendimiento de leña y recortes (%)		20.18	7.70	--	5.36	48.11
Rendimiento del aserrín (%)	308	9.86	9.84	--	0.00	74.70
Productividad en el aserrío (m ³ h ⁻¹)		0.51	0.23	--	0.08	1.42
Factor de conversión (m ³ r m ⁻³ aserrados)		1.95	0.92	--	1.41	15.56

n = Número de trozas; DM = Diámetro mayor; Dm = Diámetro menor.

Table 4. Production indicators and conversion factor from roundwood to sawnwood.

Variable	Logs (n)	Mean	Standard Deviation	Total	Minimum	Maximum
Characteristics of the sawn logs						
DM with bark (m)	308	0.26	0.06	--	0.14	0.43
DM without bark (m)		0.25	0.06	--	0.12	0.41
Dm with bark (m)		0.24	0.06	--	0.13	0.40
Dm without bark (m)		0.23	0.06	--	0.12	0.39
Length of the log (m)		1.07	0.11	--	0.80	1.46
Volume with bark (m ³ r)		0.06	0.03	17.85	0.02	0.16
Sawing products						
Generated boards (n)	308	13	8	4023	2	44
Volume of the boards (m ³)		0.03	0.02	9.34	0.00	0.09
Time to saw 1 m ³ in hours						
Total sawing time (h)		1.95	0.98	--	0.70	12.39

Continued Table 4..

Continued Table 4..

Variable	Logs (n)	Mean	Standard Deviation	Total	Minimum	Maximum
Production indicators						
Sawn-boards yield (%)		51.22	9.34	--	6.43	70.90
Siding yield (%)		18.74	9.08	--	0.00	48.51
Fuelwood and cutts yield (%)		20.18	7.70	--	5.36	48.11
Sawdust yield (%)	308	9.86	9.84	--	0.00	74.70
Sawing productivity (m ³ h ⁻¹)		0.51	0.23	--	0.08	1.42
Conversion factor (m ³ r sawn m ³)		1.95	0.92	--	1.41	15.56

n = Number of logs; DM = Major diameter; Dm = Minor diameter.

Castelo (2011) registró que el factor de conversión de trozas de *Pinus radiata* D. Don, con dimensiones de 1.10 a 1.26 m de largo y de 13 a 38 cm de diámetro a piezas de tarima, en la provincia del Chimborazo, Ecuador, es de 2.32 m³ r m⁻³ aserrados, equivalente a obtener 182 pt por metro cúbico de madera en rollo, con corteza, cifra menor en 8.22 % al rendimiento estimado en los aserraderos estudiados. Asimismo, Fahey y Ayer-Sachet (1993) indican que el diámetro de la troza es el factor de mayor incidencia en el rendimiento del proceso de aserrío, puesto que el procesamiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de aprovechamiento y menos utilidad en los aserraderos. Por su parte, Knapic *et al.* (2003) determinaron que para producir 1 m³ de tarima de *Pinus pinaster* Aiton se necesitan 2.11 m³ r m⁻³ aserrados. Prades *et al.* (2001), en trozas de 15 cm de diámetro de la misma especie en la provincia de Granada, España registran un rendimiento de 31.25 %; por lo tanto para producir 1 m³ de madera aserrada, se requiere procesar 3.2 m³ r. En Durango se estiman 1.95 m³ r, lo que indica un efecto directo del diámetro de las trozas en el rendimiento, a pesar de que estas eran más gruesas (11 cm) que las del trabajo de referencia.

Riquelme (2011) refiere para *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden del noreste de la Comuna de Yungay, VIII Región de Chile, un rendimiento en madera aserrada para piezas de tarima de 44 % con corteza, en trozas con diámetro mínimo de 36 a 41 cm; sin embargo, debido a las tensiones de crecimiento que presenta la madera del género, dicho rendimiento disminuye a medida que se incrementan las tensiones; de tal forma que para tensiones de bajo nivel el rendimiento se reduce hasta 23 %; para la madera con tensiones de crecimiento medio, el rendimiento es de 25 %; y para madera con altas tensiones, disminuye hasta 17 %. Coronel de Renolfi *et al.* (2012) registran, para trozas de *Prosopis alba* de cortas dimensiones (1.77 m de largo y de 22 a 84 cm de diámetro) en la región de Santiago del Estero, Argentina, un rendimiento en madera aserrada de 58.30 %, con corteza equivalentes a 247 pt por metro cúbico de madera en rollo, lo cual es 30 pt mayor al de la investigación en Durango.

Castelo (2011) found that the conversion factor of logs of *Pinus radiata* D. Don with dimensions of 1.10 to 1.26 m long and 13-38 cm in diameter to pieces of pallets in the province of Chimborazo, Ecuador, is 2.32 m³ r m⁻³ equivalent to getting 182 bf per cubic meter of logs with bark, which is 8.22 % lower than the yield estimated in the studied sawmills. Also, Fahey and Ayer-Sachet (1993) indicate that the diameter of the log is the factor that most affects the performance of the sawmilling process, since the processing of small size logs implies low levels of use and lower utility in the sawmills. Meanwhile Knapic *et al.* (2003) found that to produce 1 m³ of *Pinus pinaster* Aiton pallets, 2.11 m³ r m⁻³ are necessary. In 15 cm diameter logs of the same species at the province of Granada, Spain, Prades *et al.* (2001) recorded a yield of 31.25 %, which suggests that for 1 m³ of sawnwood, 3.2 m³ r must be processed. In this study, 1.95 m³ r are required, indicating a direct effect of the diameter of the logs on the yield, even though they were thicker (11 cm) than the baseline study.

Riquelme (2011) refers that *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden of the northeast of Comuna de Yungay, VIIIth Region of Chile, had a yield of sawn wood for pallet pieces of 44 % with bark with a minimum diameter from 36 to 41 cm; however, from the growth tensions that the wood of this genus has, such yield lowers as tensions increase, in such a way that, for low level tensions, the yield might get as low as 23 %, for wood with growth tensions of middle level, yield is 25 % and for wood with high tensions, the yield might fall up to 17 %. For small size *Prosopis alba* logs (1.77 m long by 22 to 84 cm in diameter) from the de Santiago del Estero region, Argentina, Coronel de Renolfi *et al.* (2012) record a sawn wood yield of 58.30 % with bark, equivalent to get 247 bf per roundwood cubic meter which is 30 bf higher than the obtained yield in the research study carried out in Durango.



Indicadores de producción por categoría de diámetro

Con respecto al aprovechamiento de la materia prima en función del diámetro de las trozas, se determinaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre categorías diamétricas, con un incremento en el rendimiento de madera aserrada, en promedio, de 4.00 % conforme aumenta la categoría diamétrica cada cinco centímetros. Lo anterior también incide sobre los tiempos de procesamiento para 1.00 m³ en rollo, que resultó menor para procesar trocería de las categorías diamétricas mayores hasta en una hora, con respecto a las categorías diamétricas inferiores (Cuadro 5). La productividad experimenta un aumento en función del diámetro.

Production indicators by diameter category

Regarding the level of utilization of the raw material depending on the diameter of the logs, significant differences ($p < 0.0001$) were found between diameter categories, noting an increase in lumber yield of 4.00 % average as the diameter class increases five cm. This also affects the processing times for 1.00 m³ roundwood, being smaller the time taken to process the logs of larger diameter categories up to an hour with respect to the lower diameter categories (Table 5). Productivity undergoes an increment as a function of the diameter.

Cuadro 5. Indicadores de producción por categoría diamétrica.

Variable	Categoría de diámetro (cm)			
	<20	21-25	26-30	>31
Características de las trozas aserradas				
DM con corteza (m)	0.18	0.23	0.28	0.35
DM sin corteza (m)	0.17	0.22	0.26	0.34
Dm con corteza (m)	0.17	0.22	0.26	0.33
Dm sin corteza (m)	0.16	0.20	0.25	0.32
Longitud de la troza (m)	1.10	1.09	1.06	1.06
Volumen promedio por troza con corteza (m ³ r)	0.03	0.05	0.06	0.10
Volumen total (m ³ r)	1.55	4.05	5.32	6.92
Productos del aserrío				
Tablas promedio generadas por categoría (n)	5	9	15	22
Total de tablas generadas (n)	313	847	1 292	1 571
Volumen total de las tablas (m ³)	0.72	1.99	2.75	3.90
Tiempo promedio para aserrar 1 m ³ en horas*				
Tiempo total de aserrío	2.55 d	2.18 c	1.73 b	1.42 a
Indicadores de producción*				
Rendimiento de tablas aserradas (%)	46.87 a	49.50 ab	51.92 b	56.14 a
Rendimiento de costeras o capote (%)	19.59 bc	17.83 ab	21.06 c	16.23 a
Rendimiento de leña y recortes (%)	24.23 c	22.69 c	18.82 b	15.36 a
Rendimiento del aserrín (%)	9.31 ab	9.99 ab	8.21 a	12.28 b
Productividad en el aserrío (m ³ h ⁻¹)	0.44 a	0.53 b	0.62 c	0.80 d
Factor de conversión (m ³ r m ⁻³ aserrados)	2.24 b	2.22 b	1.99 ab	1.85 a

n = Número de trozas; DM = Diámetro mayor; Dm = Diámetro menor.

*Medias con la misma letra entre categorías de diámetro no son significativamente diferentes *Duncan* a $\alpha = 0.05$.

Table 5. Production indicators by diametric category.

Variable	Diametric category (cm)			
	<20	21-25	26-30	>31
Characteristics of the sawn logs				
DM with bark (m)	0.18	0.23	0.28	0.35
DM without bark (m)	0.17	0.22	0.26	0.34
Dm with bark (m)	0.17	0.22	0.26	0.33
Dm without bark (m)	0.16	0.20	0.25	0.32
Length of the log (m)	1.10	1.09	1.06	1.06
Average volume by log with bark (m ³ r)	0.03	0.05	0.06	0.10
Total volume (m ³ r)	1.55	4.05	5.32	6.92
Sawing products				
Average produced boards by category (n)	5	9	15	22
Total amount of produced boards (n)	313	847	1 292	1 571
Total volume of boards (m ³)	0.72	1.99	2.75	3.90
Average time to saw 1 m ³ in hours*				
Total sawing time	2.55 d	2.18 c	1.73 b	1.42 a
Production indicators*				
Sawn-boards yield (%)	46.87 a	49.50 ab	51.92 b	56.14 a
Siding yield (%)	19.59 bc	17.83 ab	21.06 c	16.23 a
Fuelwood and cutts yield (%)	24.23 c	22.69 c	18.82 b	15.36 a
Sawdust yield (%)	9.31 ab	9.99 ab	8.21 a	12.28 b
Sawing productivity (m ³ h ⁻¹)	0.44 a	0.53 b	0.62 c	0.80 d
Conversion factor (m ³ r sawn m ⁻³)	2.24 b	2.22 b	1.99 ab	1.85 a

n = Number of logs; DM = Major diameter; Dm = Minor diameter.

*Measures with the same letter between diametric categories are not significantly different Duncan at $\alpha= 0.05$.

El diámetro de las trozas es uno de los factores que tiene efecto directo en la cantidad de madera aserrada, ya que al aumentar el diámetro, se incrementa su rendimiento (Fahey y Ayer-Sachet, 1993).

Varios autores discuten acerca de las variables atribuibles a las trozas que pueden afectar el rendimiento y productividad del aserrío, ellos coinciden en que el diámetro, largo, conicidad y calidad son de las más importantes (Nájera *et al.*, 2011; Liu y Zhang, 2005; Zhang y Tong, 2005; Wang *et al.*, 2003; Maness y Lin, 1995; Steele, 1984).

The diameter of the logs is one of the factors that has a direct effect in the amount of sawn wood since as far as the diameter increases, so does its yield (Fahey and Ayer-Sachet, 1993).

Several authors discuss about the variables attributable to the logs that can affect sawing yield and productivity and they coincide in that the diameter, the length, conicity and quality are of the most important ones (Nájera *et al.*, 2011; Liu and Zhang, 2005; Zhang and Tong, 2005; Wang *et al.*, 2003; Maness and Lin, 1995; Steele, 1984).



Costos de producción en el proceso de aserrío

A partir de las entrevistas realizadas, el costo de producción en la industria de tarima en la región de El Salto, Durango, México se estimó en USD\$161.30 por m³ aserrado, de los cuales los costos fijos representan 11.65 % del costo total de producción y los costos variables 88.35 % (Cuadro 6).

Production costs in the sawing process

From the interviews that were made, the production cost in the pallet industry of the *El Salto* region, *Durango*, Mexico, it was estimated in USD\$ 161.30 per sawn m³, from which the fixed costs sum 11.65 % of the total production cost and the variable ones, 88.35 % (Table 6).

Cuadro 6. Costos de producción de tarima.

Costos fijos	Costo total unitario (%)	Costo fijo unitario (%)	Costos USD(\$) m ⁻³ aserrado
Depreciación	0.26	2.20	0.41
Gastos de administración	0.14	1.23	0.23
Impuestos	2.45	21.07	3.96
Mano de obra	8.80	75.50	14.19
Total	11.65	100.00	18.79
Costos variables			
Combustibles y lubricantes	0.25	0.28	0.40
Materia prima	85.92	97.24	138.58
Energía eléctrica	2.15	2.43	3.46
Mantenimiento	0.04	0.05	0.07
Total	88.35	100.00	142.51

Table 6. Production costs of the pallet.

Fixed costs	Unit total cost (%)	Unit fixed cost (%)	USD(\$) sawn m ⁻³ costs
Depreciation	0.26	2.20	0.41
Administrative expenses	0.14	1.23	0.23
Taxes	2.45	21.07	3.96
Manpower	8.80	75.50	14.19
Total	11.65	100.00	18.79
Variable Costs			
Fuel and lubricants	0.25	0.28	0.40
Raw material	85.92	97.24	138.58
Electric energy	2.15	2.43	3.46
Maintenance	0.04	0.05	0.07
Total	88.35	100.00	142.51

En términos generales para cada una de las categorías diamétricas, la reducción del costo de producción está ligada, directamente, con el rendimiento promedio de madera aserrada (Cuadro 7).

In general terms for each one of the diametric categories, the reduction of the production cost is directly linked to the average sawnwood yield (Table 7).

Cuadro 7. Costos de producción de tarima por categoría diamétrica.

Costos fijos USD(\$) m ⁻³ aserrados	Categoría de diámetro (cm)			
	<20	21-25	26-30	>31
Depreciación	0.47	0.47	0.42	0.39
Gastos de administración	0.26	0.26	0.23	0.22
Impuestos	4.52	4.48	4.01	3.73
Mano de obra	16.19	16.05	14.38	13.37
Total	21.45	21.25	19.05	17.71
Costos Variables USD(\$) m ⁻³ aserrados				
Combustibles y lubricantes	0.45	0.45	0.40	0.37
Materia prima	158.14	156.73	140.49	130.61
Energía eléctrica	3.95	3.92	3.51	3.27
Mantenimiento	0.08	0.07	0.07	0.06
Total	162.62	161.17	144.47	134.31

Table 7. Production costs of the pallets by diametric category.

Fixed USD(\$) sawn m ⁻³ costs	Diametric category (cm)			
	<20	21-25	26-30	>31
Depreciation	0.47	0.47	0.42	0.39
Administrative expenses	0.26	0.26	0.23	0.22
Taxes	4.52	4.48	4.01	3.73
Manpower	16.19	16.05	14.38	13.37
Total	21.45	21.25	19.05	17.71
Variable USD(\$) sawn m ⁻³ costs				
Fuel and lubricants	0.45	0.45	0.40	0.37
Raw material	158.14	156.73	140.49	130.61
Electric energy	3.95	3.92	3.51	3.27
Maintenance	0.08	0.07	0.07	0.06
Total	162.62	161.17	144.47	134.31

Lo anterior indica que si es mayor el diámetro de las trozas, el rendimiento aumenta y, en consecuencia, el costo de producción y el tiempo efectivo de trabajo serán menores. Murara *et al.* (2010) analizaron la estructura de costos de madera aserrada para *Pinus taeda* L. con dos sistemas de aserrío en Brasil, y determinaron que en el sistema de aserrío convencional, los costos fijos representaron 12.03 % del costo total de producción y los costos variables 87.97 % del mismo. Tales valores muestran gran similitud con los del presente trabajo, debido a que los costos fijos y variables tuvieron una diferencia de tan solo 0.38 %, respectivamente.

Un costo de aserrío por pie de tabla de USD \$0.3121 se estimó para *Prosopis alba* Griseb. en Santiago del Estero, Argentina; (Coronel de Renolfi *et al.*, 2012); en dicho costo discriminado principalmente por los rubros de materia prima, mano de obra directa y energía consumida que al tipo de cambio de noviembre de 2013, equivaldrían a USD \$0.3804, lo cual es muy parecido a los costos de producción por pie tabla estimado para la industria del área de estudio. En lo que respecta al costo de producción que considera el diámetro de las trozas, Meza y Simón (2007) citan que los costos de transformación de materia prima a madera aserrada tienden a ser más elevados al aserrar trozas con diámetros pequeños 15 cm (6"), puesto que al aumentar tanto el rendimiento de madera aserrada como el de la producción diaria, los costos son menores.

Conclusiones

El factor de conversión de productos forestales a piezas de tarima en los aserraderos de la región de El Salto, Durango, es de $1.95 \text{ m}^3 \text{ r m}^{-3}$ aserrados, lo que indica un rendimiento en madera aserrada de 51.22 % con corteza, por lo que es posible obtener de cada metro cúbico de madera en rollo procesado 217 pies tabla de piezas de tarima; y el tiempo necesario para procesarlo es de 1.95 horas. La productividad de los aserraderos se estableció en $0.51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, equivalentes a aserrar 254 pt h^{-1} de trabajo. El rendimiento en madera aserrada aumenta con el incremento en diámetro de las trozas. El costo de producción de un metro cúbico de madera aserrada se estimó en USD \$161.30, de los cuales los costos fijos representan 11.65 % del costo total de producción, los costos variables 88.35 %; los costos de producción disminuyen en función del aumento del diámetro de las trozas procesadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.



The former data indicate that as the diameter of the logs is larger, so will be the yield, and, consequently, smaller will be the production cost and the time of effective work. Murara *et al.* (2010) analyzed the structure of costs of sawn-wood for *Pinus taeda* L. with two sawing systems in Brazil and found that in the conventional sawing system, the fixed costs meant 12.03 % of the total production cost and the variable costs were 87.97 % of it. Such values show the great similitude of those in the actual study, since the fixed and the variable costs have a difference of only 0.38 % respectively.

The value of USD \$0.3121 per board foot, in the sawing cost were estimated by Coronel de Renolfi *et al.* (2012) in *Prosopis alba* Griseb. in Santiago del Estero, Argentina; such discriminated cost mainly by the concepts of raw material, direct manpower and consumed energy at the exchange rate of November 2013, would be equivalent to USD \$0.3804, which is very similar to the production costs per board foot of this study. In regard to the production costs taking the diameter of the logs, Meza and Simón (2007) mention that the transformation costs from raw material to sawn timber, in consequence, tend to become higher, when narrow logs of 15 cm (6") are handled, since when the yield of sawn timber increases as well as the daily production, costs will be smaller.

Conclusions

The conversion factor of forest products to pallet pieces in the sawmills in the region of El Salto, Durango, is $1.95 \text{ m}^3 \text{ r m}^{-3}$ sawn, indicating a yield in lumber of 51.22 % with bark, so from each cubic meter of processed logs can be obtained 217 board feet of pallet parts and the time required for processing is 1.95 hours. The productivity of the sawmills was established in $0.51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, equivalent to sawing 254 bf / h work. Timber yield increases with increasing diameter of the logs. The production cost of one cubic meter of lumber is estimated at USD \$ 161.30 from which the fixed costs represent 11.65 % of total production costs and the variable costs, 88.35 %; production costs decreased depending on the increase in diameter of the processed logs.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Alan Javier Haro Pacheco: field data collection, data processing and structuring of the manuscript; Juan Abel Nájera Luna: selection of study units, methodological aspects, calibration of the xylometer, data processing and review of the manuscript; Jorge Méndez González: experimental design, data processing and review of the manuscript; Sacramento Corral Rivas: experimental design and review of the manuscript; José Ciro Hernández Díaz: data processing and review of the manuscript; Artemio Carrillo Parra: data processing and review of the manuscript; Francisco Cruz Cobos: data processing and review of the manuscript.

Contribución por autor

Alan Javier Haro Pacheco: colecta de información de campo, procesamiento de información y estructuración del manuscrito; Juan Abel Nájera Luna: selección de unidades de estudio, aspectos metodológicos, calibración de xilómetro, procesamiento de información y revisión del manuscrito; Jorge Méndez González: diseño experimental, procesamiento de información y revisión del escrito; Sacramento Corral Rivas: diseño experimental y revisión del manuscrito; José Ciro Hernández Díaz: procesamiento de información, revisión del manuscrito; Artemio Carrillo Parra: diseño experimental y revisión del texto; Francisco Cruz Cobos: procesamiento de información y revisión del manuscrito.

Agradecimientos

A la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST) por el apoyo al proyecto 4562.12-p: "Evaluación del proceso productivo de la industria de tarimas y cajas mediante el balance de materiales y rendimiento de materia prima en El Salto, Durango" del cual se derivó el presente estudio.

Referencias

- Aguilera, A., L. Insunza, R. Alzamora y L. Tapia. 2005. Evaluación del costo de producción para faenas de aserrío portátil. *Bosque* 26(2):107-114.
- Castelo C., A. P. 2011. Estudio cualitativo y cuantitativo de las trozas de pino (*Pinus radiata*) para la elaboración de pallets en la industria Haro Madera, Parroquia Calpi, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba, Ecuador. 104 p.
- Coronel de Renolfi, M., F. Díaz, G. Cardona y A. P. Ruiz. 2012. Tiempos, rendimientos y costos del aserrado de Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina. *Quebracho* 20(1-2):15-28.
- Di Rienzo J., A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada y C. W. Robledo. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (25 de abril de 2014).
- Fahey, T. D. and J. K. Ayer-Sachet. 1993. Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Pacific Northwest Research Station. Portland, OR, USA. Research Paper PNW-RP-467. 18 p.
- García R., J., L. Morales y S. Valencia. 2001. Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco. UAAAN, Saltillo, Coah., México. Nota técnica Núm. 5. 12 p.
- Instituto Forestal (Infor). 2009. Actualización de factores de conversión en el sector forestal de Chile. Primera etapa. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile, Chile. 35 p.
- Knapic, S., A. Glória and H. Pereira. 2003. The industrial yield of maritime pine at a sawmill. *Anais do Instituto Superior de Agronomia* (49):223-241.
- Liu, C. and S. Y. Zhang. 2005. Models for predicting product recovery using selected tree characteristics of black spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 35(4): 930-937.
- Maness, T. C. and Y. Lin. 1995. Target size reductions on sawmill revenue and volume recovery. *Forest Products Journal* 45 (11-12):43-50.
- Meza, A. y D. Simón. 2007. Aserrío de trozas de diámetros menores. *Kurú: Revista Forestal* 4 (10):1-3.
- Murara, J. M., M. P. Rocha e J. R. Timofeiczuk. 2010. Análise dos custos do rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta, Curitiba, PR* 40(3):477-484.
- Nájera L., J. A., J. A. Sánchez M. and J. Méndez G. 2013. Lumber yield and production time in sawmilling of pallets in Durango, Mexico. *Forest System* 22(3):573-577.

Acknowledgements

The authors wish to express their thanks to the *Dirección General de Educación Superior Tecnológica* (DGEST) for the support to the 4562.12-p. Project entitled as: "Evaluación del proceso productivo de la industria de tarimas y cajas mediante el balance de materiales y rendimiento de materia prima en El Salto, Durango" from which the actual paper was prepared.

End of the English version



- Nájera L., J. A., H. Adame G., J. Méndez G., B. Vargas L., F. Cruz C., J. Hernández F. y O. Aguirre C. 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.
- Nájera L., J. A., O. Aguirre C., E. Treviño G., J. Jiménez P., E. Jurado Y., J. Corral R. y B. Vargas L. 2011. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(12):199-213.
- Prades, C., J. Rubio, D. Cobo y A. Muñoz, 2001. Estudio de viabilidad técnica y económica de una planta de aserrío de madera de pequeñas dimensiones mediante tecnología chipcater en la Provincia de Granada. In: III Congreso Forestal Español. 5 de marzo de 2014. Granada, España. pp. 658-664.
- Riquelme R., K. T. 2011. Efecto de las tensiones de crecimiento sobre el aprovechamiento de pallet seco en trozas de *Eucalyptus nitens* (Deane et Maiden) Maiden. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 51 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2002. Texto guía forestal. Dirección General Forestal. México. D. F., México. 159 p.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). 2012. Guía de vida útil estimada y porcentajes de depreciación. Consejo Nacional de Armonización Contable. México. D. F., México. 3 p.
- Souza N., R. 2007. Um sistema de otimização aplicada ao desdobro de madeira. *Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR. Curitiba, Paraná, Brasil.* 126 p.
- Steele, P. H. 1984. Factors determining lumber recovery in sawmilling. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory Madison, WI, USA. Gen. Tech. Rep. FPL-39. 8 p.
- United Nations Economic Commission for Europe/Food and Agriculture Organization of the United Nations. (UNECE/FAO). 2005. Product conversion factors for the UNECE region. Geneva timber and forest discussion paper 49. Timber Section. Geneva, Switzerland. 50 p.
- Wang, S. Y., C. J. Lin and C. M. Chiu. 2003. Effects of thinning and pruning on knots and lumber recovery of *Taiwania (Taiwania cryptomerioides)* planted in the Lu-Kuei area. *Journal of Wood Science* 49(5): 444-449.
- Zavala Z., D. 1996. Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Ciencia Forestal en México* 21(79):165-181.
- Zhang, S. Y. and Q. J. Tong. 2005. Modeling lumber recovery in relation to selected tree characteristics in jack pine using sawing simulator Optitek. *Annals of Forest Science* 62(3): 219-228.