

Tiempos, rendimientos y costos del aserrado de Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en Santiago del Estero, Argentina

Times, lumber recovery and costs of sawing process of Prosopis alba in Santiago del Estero, Argentina

Coronel de Renolfi, M.¹; F. Díaz¹; G. Cardona¹ y A. P. Ruiz¹

Recibido en noviembre de 2011; aceptado en abril de 2012

RESUMEN

La madera de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) es una de las más codiciadas por los fabricantes de muebles y aberturas, debido, entre otras cualidades, a su excelente veteado y su nobleza que permite el procesamiento sin necesidad de secado. Para Santiago del Estero, no se han encontrado estudios sobre rendimientos, productividad y costos del aserrado de maderas en general ni del algarrobo en particular. Por esta razón y en virtud de la importancia que reviste el tema, el objetivo del trabajo fue evaluar los tiempos de trabajo, rendimiento y productividad del aserrado en diez aserraderos de pequeña escala en la provincia de Santiago del Estero, para estimar los costos del aserrado. Para tal efecto se midieron 40 trozas de algarrobo blanco con un volumen de 9,47 m³ con corteza, los cuales generaron 260 tablas de diferentes dimensiones con un volumen aserrado de 5,59 m³, lo que indica un rendimiento en madera aserrada del 58 % con corteza. El tiempo promedio total del proceso es de 920 segundos. La productividad se estableció en 232 pie²/h. El costo directo del aserrado asciende a 2,33 \$/pie².

Palabras clave: Aserrado; Rendimiento; Productividad; *Prosopis alba*.

ABSTRACT

The *Prosopis alba* wood is one of the most sought after by furniture manufacturers, due to, among other qualities, its excellent grain and nobility that enables processing without drying. In Santiago del Estero, there are not studies about lumber recovery, productivity and costs of sawn timber in general or in particular *Prosopis alba*. Therefore an evaluation of the working times, lumber recovery and productivity of sawing process was carried out into ten small sawmills from Santiago del Estero province. The aim was to estimate the costs of sawing. For this purpose, 40 logs of *Prosopis alba* with a volume of 9.47 m³ without bark were sawed. These logs generated 260 boards of different dimensions with a sawed volume of 5.59 m³, indicating a lumber recovery factor of 58% with bark. The average time process was 920 seconds. Productivity was established in 232 ft²/h. The direct cost of sawing amounts to \$2.33/ft².

Keywords: Sawn; Lumber recovery; Productivity; *Prosopis alba*.

¹ Integrantes del proyecto "Estimación de rendimientos y costos de actividades forestales en Santiago del Estero" (Cód. 23/B078), financiado por CICYT-UNSE. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (s) 1912. 4200. Santiago del Estero, Argentina. E-mail: mrenolfi@unse.edu.ar.

1. INTRODUCCION

El aprovechamiento racional de los recursos forestales juega un rol importante en el desarrollo económico y social del país. En el sector de la industria forestal, reducir la pérdida de materias primas optimizando su utilización, aumentar la productividad de la mano de obra y la maquinaria y mejorar la calidad de los productos son objetivos en permanente búsqueda.

La madera aserrada es uno de los productos más importantes dentro de la industria forestal. El análisis del procesamiento de la madera en rollo resultante en madera aserrada es importante para determinar la rentabilidad de la operación. Dicho análisis conduce a estudios de eficiencia. Según la OIT (1996), la eficiencia se mide como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados; necesariamente debe relacionarse con la unidad de tiempo según las condiciones y el punto de interés. En este sentido elevar la eficiencia significa producir más con la misma cantidad de recursos, o producir lo mismo usando menos recursos.

El conocimiento de los indicadores de eficiencia facilita la evaluación del desempeño del proceso y la toma de decisiones, anticipándose a situaciones adversas, reduciendo gastos y pérdidas en el proceso productivo (Valério *et al.*, 2009). Un aserradero eficiente es aquel donde, entre otras cosas, los cortes se realizan de tal forma que, a partir de la troza, se obtenga una mayor cantidad y calidad de madera aserrada (Brown y Bethel, 1987). La FAO (1991) estima que aproximadamente del 45 al 55 % de la madera en trozas que llega a las líneas de producción de los aserraderos, se convierten en residuos. Así lo demuestran estudios realizados en Cuba sobre *Pinus caribaea* Morelet (Velázquez Viera *et al.*, 2006). En Costa Rica, Quiros *et al.* (2005) comprobaron, en especies como *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y *Terminalia ivorensis*, que las fases de aserrío y recanteo son las que en mayor medida contribuyen a la conversión de la materia prima en residuos, en un orden del 51 %.

Dos indicadores de eficiencia muy utilizados en este sector productivo son el rendimiento en el aserrado de la madera y el volumen obtenido por unidad de tiempo o productividad. El término rendimiento se utiliza como indicador de la tasa de utilización de la materia prima en el proceso de aserrado y corresponde a la relación entre el volumen de madera rolliza y el volumen del producto resultante (Quiros, 1990). Desde que se inicia el proceso de aserrado, la materia prima pierde su volumen bruto en función del sistema utilizado, el espesor de la hoja de sierra, el estado sanitario del rollo y la escuadría final del producto (Palavecino y Pérez, 1988).

Para Argentina se pueden mencionar estudios de rendimiento del aserrado en diversas especies forestales, tales como los realizados por Cuadra (2008), Sánchez Acosta (1995), Palavecino y Pérez (1988), entre otros.

La industria maderera es la encargada de dar valor agregado a los productos forestales y de esta manera contribuir a la conservación de los recursos boscosos mediante su aprovechamiento adecuado de allí la necesidad de mejorar los rendimientos obtenidos y buscar alternativas para el aprovechamiento de los residuos generados durante el proceso de transformación de la madera (Soto *et al.*, 2000).

No se han encontrado referencias sobre estudios de rendimientos, productividad y costos del aserrado de maderas en Santiago del Estero. Por esta razón y en virtud de la importancia que reviste, el objetivo del trabajo fue estimar, en condiciones reales, los tiempos operativos, rendimientos y costos del proceso de aserrado de madera de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en aserraderos ubicados en la provincia. La madera de esta especie es una de las más codiciadas por los fabricantes de muebles y aberturas, debido, entre otras cualidades, a su excelente veteado y su nobleza que permite el procesamiento sin necesidad de secado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Características técnicas de los aserraderos

La recopilación de la información se realizó entre 2010-2011 mediante observación directa, que consiste en observar y describir los movimientos de las operaciones y medir *in situ*, los tiempos de trabajo insumidos en el proceso de aserrado, desde el ingreso del rollo a la sierra principal hasta su conversión en tablones. Se tomaron datos en 10 pequeños aserraderos ubicados en las ciudades de La Banda (Dpto. Banda), Capital (Dpto. Capital), Loreto (Dpto. San Martín) y Frías (Dpto. Choya) de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Los mismos trabajan con madera de algarrobo blanco, entre otras especies; fueron seleccionados en función de la predisposición a colaborar con el estudio.

Los aserraderos evaluados poseen características tecnológicas similares con respecto a la maquinaria y método de trabajo. Disponen de una sierra principal (sierra sinfin vertical con carro manual, trabada 2 x 1) donde se obtiene los tablones y una sierra secundaria o reaserradora (sierra sinfin de mesa) donde se procesan aquellos para obtener las tablas. No utilizan tecnología de recalado o estilitado. En todos los casos, el sistema de carga del rollo en la sierra es manual y durante el proceso de corte trabajan dos operarios.

Las operaciones cronometradas en el presente estudio corresponden al aserrado o entablonado de los rollizos con la sierra principal. Los espesores más comunes en los que se asierran los rollos de algarrobo son de 1 y 2 pulgadas según la rectitud que tengan los mismos; el ancho y el largo de los tablones obtenidos depende, naturalmente, de las dimensiones, la conicidad y las imperfecciones de la troza. Los anchos van de 20 a 70 cm y los largos desde 0,8 a 2,8 m.

En la Tabla 1 se resumen las características y especificaciones técnicas de la sierra principal utilizada para el aserrado. Con los datos del diámetro del volante y diámetro de las poleas del motor y del volante, se calculó la velocidad de trabajo de la sierra.

Tabla 1. Características técnicas de la sierra principal de los aserraderos

Ítem	Aserradero									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Potencia motor (HP)	9,5	10	12	30	10	10	10	20	10	12
Diámetro volante (cm)	90	80	90	120	90	60	100	120	80	90
RPM motor	1.460	1.400	1.440	1.440	1.400	1.400	1.400	1.452	1.400	1.440
Espesor sierra (mm)	0,8	1	0,6	0,8	1	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8
Ancho sierra (cm)	5,2	4	5,5	4,5	5,2	4	4,5	8	3,5	4,7
Velocidad sierra (m/seg)	19,9	35,2	22,6	30,8	38,8	27,5	22,7	25,2	39,1	22,6

Como puede verse, el espesor de la hoja de sierra es similar en todos los aserraderos; además todos presentan valores similares en el ancho de la cinta de corte, excepto el aserradero 8. Estos aspectos técnicos son esenciales para indagar si existe relación entre la herramienta de corte y el rendimiento del proceso.

Toma de datos

Los tiempos se midieron con cronómetro de precisión (1/100 de segundo) utilizando el método de vuelta a cero (Caso Neira, 2006) que consiste en cronometrar cada ciclo de trabajo desde el inicio al fin y regresar a cero, para comenzar la medición de un nuevo ciclo. Se definieron los siguientes ciclos de trabajos:

Tiempo de carga (T_C): tiempo medido desde que los operarios realizan el primer contacto con la troza para acercarla y colocarla sobre el carro de la sierra, acomodar y escuadrar dicha troza.

Tiempo de aserrado o Corte (T_A): tiempo medido desde que la hoja de la sierra entra en contacto con la troza en toda su longitud.

Tiempo de retroceso (T_R): tiempo medido desde que el rollo deja de tener contacto con la hoja de corte, se lo reacomoda hasta que comienza el próximo movimiento hacia la sierra.

Tiempo operativo o tiempo Total: (T_{OP}) es la suma de los tiempos parciales:

$$T_{OP} = T_C + T_A + T_R$$

Analizar los rendimientos del proceso de aserrado implica estudiar previamente la materia prima que ingresa al aserradero y el volumen del producto obtenido (BOLFOR, 1997). Para cuantificar el rendimiento del aserrío de la madera, se midieron diámetro con corteza y largo de 40 trozas de algarrobo blanco en los 10 aserraderos visitados (4 por establecimiento). La determinación del volumen con corteza de las trozas se efectuó con la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 2003). Para calcular el volumen de tablas se midió ancho, espesor y largo de cada tabla obtenida del proceso. Para la toma de datos se utilizó cinta métrica con precisión de 1/100m.

Estimación del rendimiento y la productividad

Según Martínez Pastur *et al.* (2004), el proceso del aserrado se puede describir a partir de dos parámetros que impactan sobre las variables económicas de un aserradero. Uno de ellos es el rendimiento del aserrío, también llamado coeficiente de aserrado (Arreaga Morales, 2007; BOLFOR, 1997) o factor de recuperación de madera aserrada “FRM” (Quiros, 1990) que evalúa la cantidad de materia prima que es transformada en productos comerciales. El otro parámetro es la productividad del aserradero, que mide la cantidad de producto generado por unidad de tiempo (por hora o por día de trabajo).

En base al volumen de materia prima con corteza utilizada (V_T) y el volumen de tablas obtenidas de las trozas (V_A) se determinó el rendimiento del aserrado con corteza (R) en porcentaje, utilizando la siguiente expresión (Arreaga Morales, 2007):

$$R\% = \frac{V_A}{V_T} * 100$$

La productividad del aserradero (P) se cuantificó relacionando el volumen obtenido de tablas, medido en pie^2 , con el tiempo operativo o tiempo total, cuantificado en horas (Nájera Luna, 2010):

$$P = \frac{V_A}{T_{OP}}$$

Estimación de costos

En el presente estudio, el cálculo del costo del aserrado corresponde a los costos directos² (Frank, 1995; Coronel de Renolfi *et al.*, 2011) que se generan durante el tiempo operativo del proceso (T_{OP}), es decir, costos de la materia prima, del consumo de energía y de la mano de obra directa. Los precios utilizados para el cálculo fueron los siguientes: precio promedio del rollo de algarrobo blanco puesto en la playa del aserradero de 650 \$/tn (comunicación personal Ing.

² Costo que se identifica plenamente con cada unidad producida y se puede calcular su asignación directa.

Ruiz); tarifa actual del Kw de energía en consumo industrial de 0,56 \$/Kw. El costo de la mano de obra directa se calculó con base en las escalas salariales para personal de aserraderos en las categorías de oficial especializado (17,23 \$/hora) y ayudante (13,97 \$/hora), según Convenio Colectivo de Trabajo 335/75 vigente hasta noviembre de 2011.

Análisis estadístico de los datos

Se realizaron el ANOVA y la prueba de Tukey para las comparaciones de medias de las variables analizadas (rendimiento, productividad y costos operativos de los aserraderos) con el software *Infostat* 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008). El cumplimiento de los supuestos del análisis de la variancia se probó con el test de Shapiro-Wilks (modificado) para normalidad y el test de Levene para homogeneidad de variancias. En todas las pruebas estadísticas se trabajó con un nivel de significación α del 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Tiempos y rendimientos generales

Las dimensiones en diámetro y largo de las trozas de algarrobo que ingresan al proceso de aserrío fueron muy variadas y el estado sanitario de las mismas se consideró muy bueno.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las mediciones de los tiempos, dimensiones de las trozas y productos obtenidos, así como del cálculo del rendimiento y la productividad en términos generales (sin diferenciar por establecimiento). Los tiempos de trabajo están referidos al tiempo del aserrado en la sierra sinfín desde la carga del tronco en el carro hasta la liberación del último tablón aserrado, de modo que el valor de la productividad está referido a dicho período de tiempo.

Tabla 2. Tiempos, rendimientos y productividad en el proceso de aserrado

Variable	Troz as (n)	Media	Desv. est.	Total	Mínimo	Máximo
Características de las trozas aserradas						
Diámetro menor con corteza (m)	40	0,37	0,12	-	0,22	0,68
Diámetro mayor con corteza (m)		0,41	0,12	-	0,24	0,84
Longitud de la troza (m)		1,77	0,48	-	0,83	2,83
Volumen con corteza (m ³)		0,24	0,18	9,47	0,05	0,95
Productos obtenidos en el aserrado						
Numero de tablas (n)	40	6,18	2,70	260	2	11
Volumen de tablas por troza (m ³)		0,14	0,10	5,59	0,02	0,52
Tiempos de aserrado (en segundos)						
Tiempo de corte	40	346,7	271,4		78,1	1.158,4
Tiempo de retroceso		415,7	393,1		96,0	2.039,9
Tiempo de recarga		157,4	83,4		23,3	357,5
Tiempo total de aserrado		919,8	703,3		226,2	3.345,8
Indicadores de eficiencia en el aserrado						
Rendimiento con corteza (%)	40	58,30	11,37		39,34	86,97
Productividad (pie ² /h)		232,07	72,00		115,66	465,97

La Tabla 2 muestra que el tiempo total estimado para aserrar un rollo tomó valores extremos de 3,77 a 55,76 minutos (entre 226,2 y 3.345,8 segundos), con un promedio de 15,33 minutos. El rendimiento promedio de madera aserrada de algarrobo blanco es del 58,3%. La productividad tiene valores entre 115,66 y 466 pie² por hora de trabajo, con un promedio de 232 pie²/h.

De la Tabla 2 se deduce que se emplean 63,87 minutos para procesar cada m³ de algarrobo blanco en bruto, con una sierra sinfin de 13,3 HP promedio y una velocidad promedio de la sierra de 28,4 m/segundo (según Tabla 1). Palavecino *et al.* (1988), para la misma especie en el Parque Chaqueño, estimaron un tiempo de 37 minutos/m³ trabajando con una sierra de 35 HP, alcanzando un rendimiento con corteza del 39%. El mayor tiempo de trabajo por m³ procesado que se obtuvo en el presente estudio se traduce en rendimientos superiores, si se comparan con los resultados de los autores mencionados.

Cuadra (2008) señala rendimientos del aserrado de algarrobo blanco en Presidencia de la Plaza, Machagai y Quitilipi (Chaco), con valores entre 20 y 60% con corteza, según la tecnología utilizada, tipo de producto elaborado y grosor, rectitud y sanidad de los rollizos.

Estudios realizados en otros géneros han sido reportados por Sánchez Acosta (1995) y Mastrandea *et al.* (2008) para eucalipto en Entre Ríos, obteniéndose un rendimiento real sin corteza entre un 36 y 43%. Cuadra (2008) cita el rendimiento sin corteza para especies como lapacho de un 70%, tatané del 80%, ibirá-pitá de un 50-55% y quebracho blanco del 70%.

En otros países, por ejemplo, Nájera Luna (2010) realiza la evaluación de tiempos y rendimientos del aserrado de *Pinus sp* en cinco aserraderos de México, donde obtuvo un rendimiento con corteza del 52,17%, un tiempo promedio para aserrar 1.000 pie² de 25 minutos y una productividad de 7,57 m³/hora. En el mismo país y para el mismo género, Zavala y Hernández (2000) determinan un rendimiento del 51% sin corteza; y García *et al.* (2001) reportan un rendimiento del 62% y una productividad de 2,95 m³/hora. Rueda Sánchez *et al.* (2010) reportan rendimientos del 34% para *Tabebuia rosea* y del 49% para *Enterolobium cyclocarpum* en México. Arreaga Morales (2007) en Guatemala estimó el rendimiento en la transformación de madera de caoba (*Swietenia macrophylla*) obteniendo valores de 53-56%.

2. Análisis de regresión entre variables del aserrío

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:

$$Y = 264,21x^{1,0507} \quad R^2 = 0,9407$$

Donde:

Y es volumen aserrado (en pie²) y x es volumen de materia prima (en m³).

Numerosos autores reportan acerca de las variables que pueden afectar el rendimiento y productividad del aserrado. Según Nájera Luna (2010) el rendimiento en madera aserrada es afectado por el diámetro, largo y conicidad de las trozas. Arreaga Morales (2007) demuestra que el rendimiento en el aserrado de caoba está estrechamente relacionado con el diámetro medio del rollizo y puede ser afectado por el encargado de aserrar las trozas. Según Martínez Pastur *et al.* (2004) la variable que impacta en forma significativa es el volumen de trozas procesadas, cuando el análisis se efectúa en el mismo establecimiento. Estos autores encontraron que a medida que aumenta el volumen procesado, aumenta la cantidad de madera aserrada pero disminuye el rendimiento, desde un 35% a un 25% promedio.

En Argentina, Ferrer (1995), citado por Mastrandea *et al.* (2008) verificó la existencia de una correlación positiva entre diámetro y rendimiento en eucalipto, ya que los rendimientos se incrementan con el diámetro en madera de 15 a 20 cm, pero hasta los 35 a 40 cm donde la ganancia no es muy grande. Mastrandea *et al.* (2008) afirman que el tamaño y forma de los rollos son las características más influyentes en el rendimiento, en el caso de *Eucaliptos grandis*; demostraron que el 88% del aumento en el rendimiento real se explica por el aumento del diámetro.

En el presente estudio no se encontró relación estadísticamente significativa entre el volumen total de rollos aserrados y el rendimiento del proceso; tampoco con respecto al rendimiento obtenido según categorías diamétricas. No obstante haber efectuado un buen número de mediciones, es muy probable que esto se deba al reducido número de observaciones efectuadas en cada establecimiento. Esta limitación no fue posible superar, debido a que en la zona de estudio, el abastecimiento de madera de algarrobo es irregular, aleatorio y dificultoso y la mayoría de los aserraderos corta una cantidad reducida de rollos de esta especie. Durante el período de toma de datos, en algunos casos fue necesario concurrir más de una vez, para cubrir el número de mediciones (4 rollos).

Por otra parte, Arreaga Morales (2007) afirma que el ancho de corte influye sobre el rendimiento del aserrado, ya que una vía de corte ancha se traduce en más pérdida de fibras de madera en forma de aserrín. En este estudio no se verificó la existencia de correlación significativa entre rendimiento y ancho de la sierra; sin embargo se halló una significativa relación lineal inversa entre el rendimiento y el espesor de la sierra, según la siguiente función de ajuste:

$$Y = -0,0801x + 0,6459 \quad R^2 = 0,9754$$

Donde:

Y es rendimiento de aserrado y x es espesor de la cinta de la sierra.

3. Cálculo del costo operativo general

En términos generales, el costo operativo del aserrado de madera de algarrobo arrojó un valor medio de 2,33 \$/pie². Los últimos datos estadísticos disponibles (año 2009) informan un precio de la madera aserrada de algarrobo blanco para la provincia de Santiago del Estero de 7 \$/pie² (SAGPyA, 2009). El precio actual en el mercado local es de 15,50 \$/pie², de modo que el monto del costo directo representa un 15% del precio. Dicho costo, discriminado por rubros (materia prima, mano de obra directa y energía consumida) se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Costo operativo del primer aserrado de algarrobo blanco (\$/pie²)

Rubros	Costos operativos			Costo total
	Energía consumida	Mano de obra directa	Materia prima	
Media	0,022	0,235	2,08	2,33
Desv. est.	0,02	0,07	0,41	0,46

La Figura 1 muestra la participación porcentual de cada rubro en el costo del proceso. Como era de esperar, la incidencia de la materia prima en el costo es predominante.

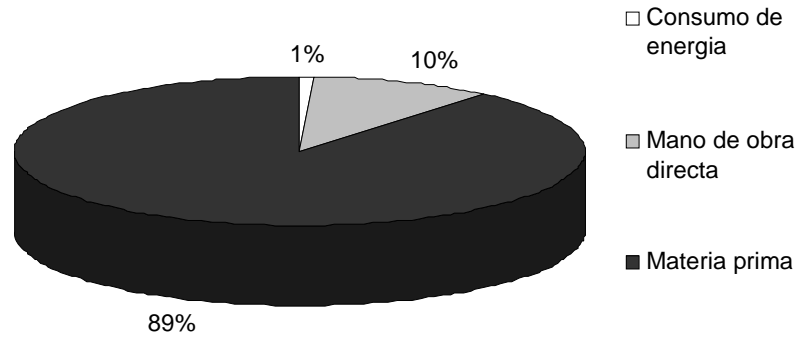


Figura 1. Participación (%) de cada componente en el costo directo de aserrado

4. Estimación del rendimiento por aserradero

Para cada aserradero, la Figura 2 presenta el volumen de materia prima ingresada y su correspondiente volumen de madera aserrada obtenida.

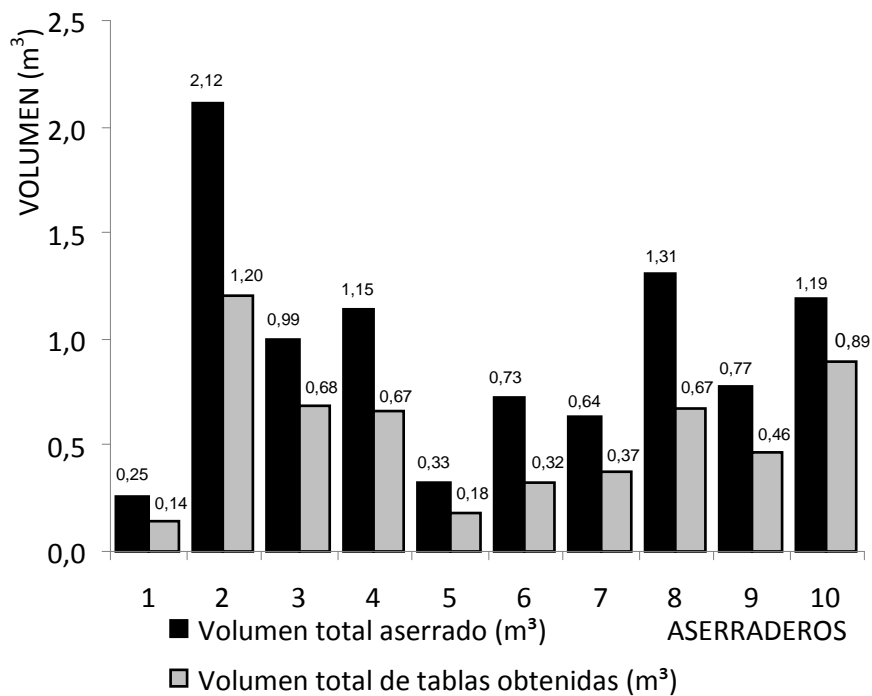


Figura 2. Comparación entre volúmenes de madera en rollo y volumen de tablas obtenidas, por aserradero

En la Figura 3 se pueden observar los rendimientos físicos promedio de cada aserradero; el coeficiente o rendimiento promedio general es de 58,3 %. Cabe destacar la gran diferencia en el rendimiento entre los aserraderos 6 y 10 (1,6 veces superior en el aserradero 10).

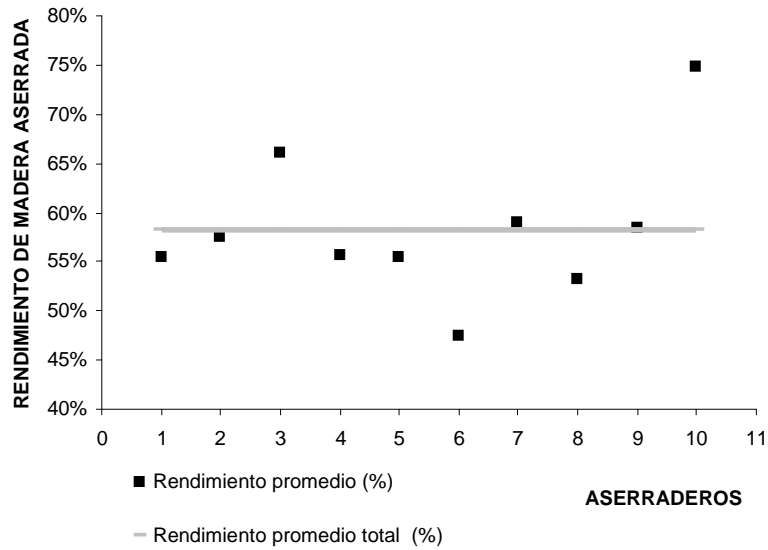


Figura 3. Rendimiento medio de aserrío por aserradero y rendimiento promedio general

5. Análisis de los tiempos del ciclo de trabajo, por aserradero

El cronometraje de tiempos sirvió para calcular el porcentaje de eficiencia del tiempo de trabajo en cada aserradero, definido como la proporción del tiempo operativo (T_{OP}) en que efectivamente se corta la madera (T_A). La eficiencia promedio es del 37,5 %.

Las comparaciones entre los tiempos insumidos en el corte, recarga y retroceso en cada establecimiento se visualizan en la Figura 4.

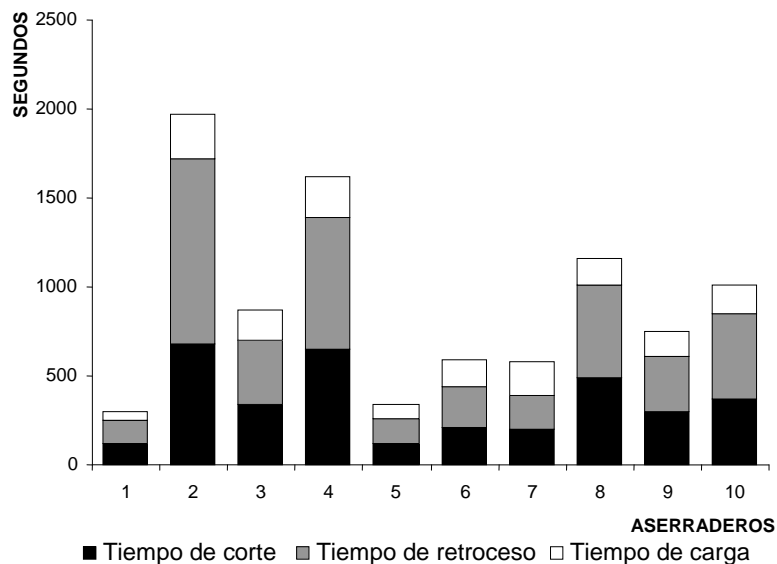


Figura 4. Tiempos de corte, recarga y retroceso, por aserradero

6. Tiempos, rendimientos y productividad por aserradero

La Tabla 4 exhibe un resumen de la producción, tiempos de trabajo, rendimiento y productividad, discriminado por aserradero, lo que permite un análisis comparativo.

Tabla 4. Tiempos, rendimientos y productividad, por aserradero

Variable	Aserradero									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Características de las trozas aserradas										
Diámetro menor promedio c/c (m)	0,25	0,55	0,37	0,44	0,28	0,33	0,32	0,34	0,31	0,42
Diámetro mayor promedio c/c (m)	0,28	0,64	0,45	0,44	0,32	0,36	0,34	0,46	0,37	0,43
Longitud promedio de la troza (m)	1,13	1,81	1,87	1,80	1,14	1,79	1,85	2,14	2,02	2,13
Volumen promedio c/c (m ³)	0,06	0,53	0,25	0,29	0,08	0,18	0,16	0,33	0,19	0,30
Productos obtenidos del aserrado										
Número total tablas obtenidas (n)	15	35	26	39	36	19	16	25	14	35
Tablas promedio por rollo (n)	3,75	8,75	6,50	9,75	9,00	4,75	4,00	6,25	3,50	8,75
Volumen promedio de tablas (m ³)	0,03	0,30	0,17	0,17	0,05	0,08	0,09	0,17	0,12	0,22
Tiempos promedio del aserrado (en segundos)										
Tiempo de corte	115,20	675,70	341,70	648,80	116,10	212,80	197,28	494,94	295,45	368,84
Tiempo de retroceso	138,31	1040,4	359,7	739,9	145,2	225,6	196,37	514,88	312,94	483,92
Tiempo de recarga	43,39	254,4	169,5	233,4	75,4	156,1	186,68	153,25	140,68	161,37
Tiempo total de aserrado	296,90	1970,5	870,9	1622,1	336,7	594,5	580,34	1163,06	749,07	1014,13
Indicadores de eficiencia en el aserrado										
Rendimiento con corte (%) (*)	55,53 ab	57,46 ab	66,00 ab	55,60 ab	55,40 ab	47,50 a	58,94 ab	53,27 ab	58,48 ab	74,80 b
Productividad (pie ² /h) (*)	177,71 ab	239,27 abc	303,49 bc	158,24 a	205,84 abc	199,62 ab	248,38 abc	221,95 abc	227,68 abc	338,56 c

(*) Medias con una letra común entre aserraderos, no son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

Variable rendimiento. En el análisis estadístico, la diferencia de medias de la variable “rendimiento” indica que no se observan diferencias en los rendimientos entre los aserraderos ($p > 0,05$). La prueba de normalidad arroja un valor de $p > 0,05$ ($p = 0,6947$). Por otra parte, la prueba de homogeneidad da un $p > 0,05$ ($p = 0,0655$). Según el test de Tukey (ver Tabla 4) hay diferencias significativas entre los aserraderos 6 y 10.

Los resultados de la Tabla 4 demuestran que no hay diferencias significativas en los rendimientos entre aserraderos, con excepción del aserradero 10 que resultó con el mayor rendimiento (74,8%), y del aserradero 6 con el menor valor (47,5%).

Las causas de variación en el rendimiento de los aserraderos 6 y 10 no se generaría por diferencias en el equipo de corte ni el personal, ya que poseen tecnologías similares con respecto a la maquinaria y método de trabajo. Posiblemente puedan atribuirse a la diversidad en las dimensiones de la materia prima utilizada y de los productos obtenidos. Con respecto a la materia prima, las trozas del aserradero 10 tienen diámetros y longitud mayores y menor conicidad, lo que origina un volumen 1,7 veces mayor que el aserradero 6. En cuanto a las tablas aserradas, el aserradero 10 genera casi el doble en cantidad y cerca de 3 veces en

volumen. Cabría esperar que una cantidad menor de tablas obtenidas por rollo conduzcan a un rendimiento mayor, dado el menor número de cortes (Nájera Luna, 2010). Sin embargo, para estos casos extremos, el promedio de tablas generadas por rollo es mayor en el aserradero 10, con una media de 8,75 tablas, que en el aserradero 6 con 4,75 tablas por rollo. Incluso, los aserraderos 9, 1 y 7 obtienen los valores más bajos en cantidad de tablas, asociados a rendimientos de aserrío entre un 55 y un 58%.

Variable Productividad. La diferencia de medias muestra un valor de $p < 0,05$ ($p = 0,0026$) indicando que hay diferencias en la variable “productividad” de al menos, dos aserraderos. La prueba de normalidad da un valor de $p > 0,05$ ($p = 0,2509$); la prueba de homogeneidad arroja una $p > 0,05$ ($p = 0,2237$). La prueba de Tukey (ver Tabla 4) indica que hay diferencias significativas en la productividad de los aserraderos 4, 10 y 3.

Según la Tabla 4, el establecimiento 10 es el que logra la mayor productividad al aserrar en promedio 338,56 pie²/hora; le sigue el aserradero 3. Los aserraderos 6, 1 y 4 presentan la productividad mas baja, entre 199 y 158 pie²/h. El 4 presenta el menor valor, influenciado por un mayor insumo de tiempo de trabajo y una mayor cantidad de tablas obtenidas.

7. Los costos operativos de cada aserradero

Los valores de los costos directos, discriminados por establecimiento, se resumen en la Tabla 5. En el análisis estadístico de esta variable, la diferencia de medias arroja un valor de $p < 0,05$ por lo que se infiere que hay diferencia en el costo de al menos, dos aserraderos. El test de normalidad da un valor de $p > 0,05$ ($p = 0,7718$) mientras que la prueba de homogeneidad presenta una $p > 0,05$ ($p = 0,0529$). El test de Tukey (ver Tabla 5) revela que hay diferencias significativas en los costos de los aserraderos 10 y 6.

Tabla 5. Costo operativo del aserrado de algarrobo blanco, por aserradero.

Rubros	Aserradero									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de consumo de energía (\$/pie²)										
Media	0,02	0,01	0,01	0,07	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01
Desv. est.	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Costo de mano de obra directa (\$/pie²)										
Media	0,31	0,22	0,18	0,34	0,24	0,25	0,20	0,23	0,23	0,15
Desv. est.	0,10	0,04	0,06	0,09	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,01
Costo de materia prima (\$/pie²)										
Media	2,25	2,04	1,86	2,12	2,12	2,53	2,00	2,27	2,01	1,56
Desv. est.	0,64	0,15	0,52	0,29	0,24	0,46	0,24	0,51	0,24	0,01
Costo operativo total (\$/pie²)										
Media	2,58	2,27	2,06	2,53	2,39	2,80	2,21	2,54	2,26	1,72
Desv. est.	0,73	0,18	0,55	0,33	0,24	0,45	0,27	0,54	0,24	0,02
Tukey (*)	ab	ab	ab	ab	ab	b	ab	ab	ab	a

* Medias con una letra común entre aserraderos, no son significativamente diferentes ($\alpha = 0,05$).

Según las pruebas estadísticas, la Tabla 5 muestra que el aserradero 10 es el que incurre en los menores costos con un valor de 1,72 \$/pie² mientras que los costos más altos corresponden al aserradero 6 con 2,80 \$/pie², donde el rubro mano de obra representa el 90% y es significativamente superior al resto de los establecimientos. Por otra parte, el aserradero 4 genera un costo relativo alto en consumo de energía, debido, probablemente, a la potencia del motor de su sierra (ver Tabla 1).

Los resultados obtenidos en la Tabla 5 para el análisis de los costos guardan correspondencia con las relaciones y diferencias entre aserraderos consignadas para la variable rendimiento, por lo que se procedió a efectuar un análisis de correlación entre ambas variables. La Figura 5 exhibe los resultados, donde se puede verificar la existencia de una alta correlación (95 %) entre los rendimientos y los costos.

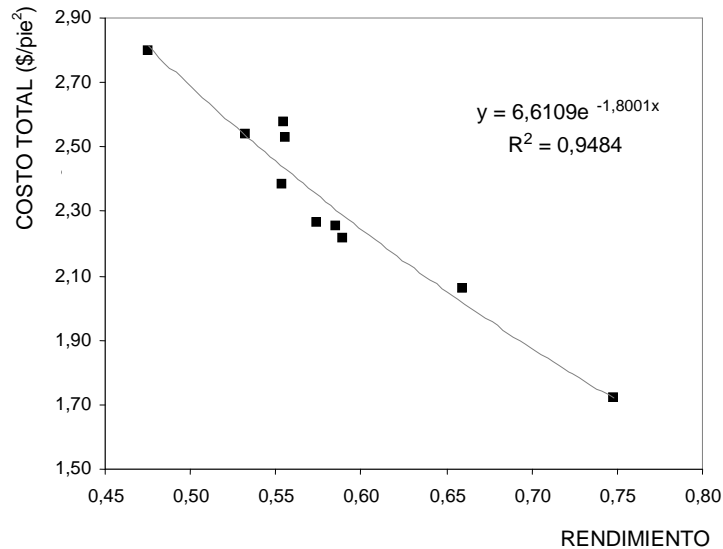


Figura 5. Relación entre rendimientos y costos del aserrado

4. CONCLUSIONES

El rendimiento general de madera aserrada de algarrobo blanco es del 58,3 % en la zona de estudio, lo que significa que por cada m³ de rollo que pasa por la sierra es posible obtener 247,2 pie² de tablas aserradas.

Se verifica la existencia de una correlación lineal inversa, estadísticamente significativa entre el rendimiento del aserrado y el espesor de la sierra utilizada.

La productividad general del proceso toma un valor medio de 232 pie² por hora de trabajo.

El tiempo promedio que lleva aserrar un rollo es de 15,33 minutos. Del tiempo operativo total del proceso, sólo el 37 % representa tiempo efectivo de corte.

El costo directo del proceso es de 2,33 \$/pie² del cual la materia prima exhibe un 89 % de incidencia.

Los costos del aserrado están asociados a los rendimientos en una relación exponencial inversa, donde la función obtenida explica que el 95 % de la disminución en los costos se debe al aumento en los rendimientos.

La comparación entre aserraderos de las variables analizadas revela que hay diferencias significativas en el rendimiento y en el costo entre los aserraderos 6 y 10. La productividad es estadísticamente diferente entre los aserraderos 3, 4 y 10.

Si el 41,7 % de la madera en bruto no se transforma en tablas aserradas, y la incidencia de aquélla en el costo es la más alta, se impone pensar en alternativas de uso de alto valor agregado para los residuos de una materia prima tan valiosa.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arreaga Morales, J. 2007. "Rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie de caoba (*Swietenia macrophylla*) en dos aserraderos del Municipio de Flores, Peten". Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 55 p.
- BOLFOR. 1997. "Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío". Manual Práctico. Proyecto BOLFOR. Documento Técnico 62. Santa Cruz, Bolivia. 29 p.
- Brown, N. C. y J. S. Bethel. 1987. "La industria maderera". Editorial Limusa. México. 397 p.
- Caso Neira, A. 2006. "Técnicas de medición del trabajo". 2da. Edición. FC Editorial. Madrid, España. 232 p.
- Coronel de Renolfi, M. y G. Cardona. 2011. "Como calcular costos forestales". Editorial Lucrecia. Santiago del Estero. 152 p.
- Cuadra, D. 2008. "Actividad industrial maderera en tres ciudades vecinas del norte argentino. Vulnerabilidades sociales y ambientales". Disponible en: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/33.pdf>.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves; M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada; C. W. Robledo. 2008 "InfoStat versión 2008". Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- FAO. 1991. "Conservación de energías en las industrias mecánicas forestales". Estudio FAO, Montes 93, Roma.
- Frank, R. 1995. "Introducción al cálculo de costos agropecuarios". 6ta. Edición. Editorial El Ateneo. Buenos Aires.
- García, R. J. D.; Q. L. Morales y M. S. Valencia. 2001. "Coeficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco". Foresta-AN. Nota técnica N° 5. UAAAN, Saltillo. Coah. 12 p.
- Husch, B.; C. Miller y T. Beers. 2003. "Forest mensuration". 4th Ed. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA. 443 p.
- Martínez Pastur, G.; J. M. Cellini y R. F. Vukasovic. 2004. "Aplicación a gran escala en un aserradero mediano: informe del rendimiento del aserradero KAREKEN". Módulo Lengua. Subproyecto Aserradero. PIARFON BAP. 26 pp.
- Martínez Pastur, G.; J. M. Cellini; M. V. Lencinas; B. Díaz; P. L. Peri y R. F. Vukasovic. 2002. "Funciones de rendimiento volumétrico en pie y en aserradero para la lenga (*Nothofagus pumilio*)". Revista Ciencias Forestales, Vol. 15, N° 1-2. pp 32-45.
- Mastrandea, C.; M. Sánchez Acosta y S. Alberti. 2008. "Clasificación de rollizos y tablas y su relación con el rendimiento de aserrado de *Eucaliptos grandis*". XXIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Entre Ríos. 10 p.
- Nájera Luna, J. A. 2010. "Evaluación del proceso productivo maderable en la región de El Salto, Durango, México". Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 198 p.
- OIT. 1996. "Organización Internacional del Trabajo. Introducción al estudio del trabajo". Editorial OIT. Ginebra, Suiza. 507 p.
- Palavecino, S. y W. Pérez. 1988. "Rendimiento de materia prima de las principales especies del parque chaqueño2. VIº Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, Tomo III, pp 620-623.
- Quiros, R. 1990. "Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el Pacífico Seco, Costa Rica2. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica. 131 p.
- Quiros, R.; O. Chinchilla y M. Gómez. 2005. "Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales". Agronomía Costarricense, Año/Vol 29, N° 002. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. pp 7-15.

- Rueda Sánchez, A.; A. Gallegos Rodríguez; D. González Eguiarte; J. Benavies Solorio; J. Ruiz Corral y E. López Alcocer. 2010. “Coeficientes de aserrío de madera en rollo de dos especies tropicales producto de plantaciones forestales”. Revista Scientia CUCBA 12 (1-2):1-10.
- SAGPyA. 2009. “Anuario de estadística forestal de especies nativas. Año 2009”. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.
- Sánchez Acosta, M. 1995. “Eficiencia y calidad en aserrado de madera de Eucalipto”. IVº Simposio Florestal do Rio Grande du Sul. 16 p.
- Soto Aguirre, J., A. Méndez y G. Páez. 2000. “Evaluación económica y ambiental de residuos forestales en aserraderos de Costa Rica”. Revista Forestal Centroamericana 30: 29-33.
- Valério, Á. F.; L. F. Watzlawick; R. Balbinot; M. V. Wincker y A. F. Filho. 2009. “Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze”. Revista Floresta 39 (3):619-628.
- Velázquez Viera, D.; K. Manzanares Ayala; M. Guyat Dupuy y E. Sánchez Téllez. 2006. “Rendimiento de materia prima en un aserradero de la Provincia de Pinar del Río, Cuba”. Revista Forestal Baracoa Vol. 25 (1).
- Zavala Zavala, D. y R. Hernández Cortéz. 2000. “Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino”. México. Madera y Bosques 6 (2):41-55.

