

# Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino

David Zavala Zavala<sup>1</sup>  
Raúl Hernández Cortés<sup>2</sup>

## RESUMEN

En este estudio se determinó un tamaño de muestra de 87 trozas para lograr una confiabilidad del 95%, con base en la variación del coeficiente de aserrío de una premuestra de 30 trozas. De la trocería procesada, un 43% se clasificó como de alta calidad, un 26% de clase media y un 31% de baja calidad. Respecto al diámetro, el 89.65% se ubicó en un rango de 30 a 55 cm. Se determinó un coeficiente de aprovechamiento nominal de 51% y una proporción de costeras y recortes de 27% y el porcentaje de aserrín de 22%. La calidad y diámetro de las trozas no influyeron en el coeficiente de aserrío, pero sí se presentó una relación directa entre la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada, la trocería de 1ª y 2ª, generó un 31.70% y un 19.44% de madera de clase; la trocería de 3ª generó un 33.60% de madera de 3ra; la trocería de 4ª y 5ª un 34.79% y un 29.18% de madera de 4ª y 5a respectivamente. Se determinó un costo de la trocería de \$432.00 por m<sup>3</sup>r, un costo de aserrío de \$216.68 por m<sup>3</sup> (\$510.95/ por mpt). Relacionando los costos de estos dos conceptos con los precios de venta de la madera, se determinó una utilidad de \$410.58 por m<sup>3</sup> (\$968.16 por mpt).

## PALABRAS CLAVE:

Proceso de aserrío, coeficiente de aprovechamiento, rentabilidad.

## ABSTRACT

In this study a sample size of 87 logs was determined to achieve a 95% confidence, based on the variation of the lumber recovery of a presample of 37 logs. From the logs sampled, 43% were classified as high quality, 26% as medium and 31% as poor quality. Regarding the diameter, 89.65% were within a range of 30 to 55 cm. A lumber recovery factor of 51% was determined and a proportion of slabs and end trims of 27% and 22% of sawdust. The quality and diameter of the logs did not seem to have any influence on lumber recovery, but a relationship was found between log quality and lumber quality, logs of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> class produced 31.70% and 19.44% of quality lumber, logs of 3<sup>rd</sup> class generated 33.60% of 3<sup>rd</sup> grade lumber, logs of 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> grade produced 34.79% and 29.18% of 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> lumber grade respectively. A log price of \$432.00 per m<sup>3</sup> and a processing cost of \$510.95 per mbf were determined. Comparing the costs of these two concepts with the price of the lumber, a revenue of \$968.18 per mbf was determined.

## KEY WORDS:

Saw-milling process, lumber recovery, revenue

1 Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Progreso No. 5. Col. del Carmen Coyoacán. México, D.F. C.P. 04110. México.

2 Unidad Económica Especializada de Aprovechamiento Forestal Comunal. San Pedro el Alto. Francisco Mier y Terán No. 603 Altos. Col. Centro. Oaxaca, Oax.

Manuscrito recibido el 5 de Noviembre de 1999. Aceptado el 11 de enero del 2000.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de aserrío se considera una de las actividades más importantes de la industria forestal en México y una de las formas más sencillas de transformar la trocería, cuya eficiencia se evalúa a través de estudios de coeficientes de aprovechamiento y de rentabilidad del proceso. Se considera que este tipo de estudios se debe establecer como un sistema de análisis continuo con la finalidad de optimizar los procesos de industrialización, sobre todo con la tendencia a la reducción en calidad y cantidad de la trocería de los bosques de coníferas, con repercusión directa en un aumento en los precios de la trocería y de la madera aserrada, afectando al usuario final de los diferentes productos a base de madera.

La industria que cuenta con bosques propios, con frecuencia subestima el efecto de los costos de la trocería en las utilidades que se derivan de la comercialización de la madera aserrada, regularmente carece de un análisis de la rentabilidad del proceso de aserrío por tipo de trocería, subutiliza sus equipos por la falta de estudios de optimización de las operaciones de aserrío, carece de opciones o alternativas de procesamiento de la materia prima que le permitan optimizar la transformación de la trocería de acuerdo a sus calidades y dimensiones, y generalmente carece de equipos o procesos adicionales que le permitan incrementar el valor agregado a la madera aserrada.

Con el incremento de los precios de la trocería y de la madera aserrada, tanto a nivel nacional como en el exterior, la industria de aserrío requiere ser más competitiva en los procesos de transformación. Para mejorar los coeficientes de aprovechamiento e incrementar la rentabilidad del proceso requiere optimizar la interacción de los parámetros que definen las características

de los equipos, la calidad y los volúmenes de la trocería procesada, la calidad y los volúmenes de los productos generados y los costos de producción.

En la actualidad para que la industria de aserrío se mantenga competitiva, requiere analizar en forma continua sus procesos y costos de producción, así como los precios y las alternativas del mercado para los productos que genera. La necesidad de definir la rentabilidad de cada tipo de trocería procesada y la optimización de la interrelación trocería-equipos-personal, es una necesidad que seguramente se instalará en las empresas más rentables.

## OBJETIVOS

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar el coeficiente de aserrío por tipo de trocería, cuantificando la madera aserrada, las costeras, recortes y el aserrín, y la utilidad del proceso de aserrío relacionando los costos de la materia prima con los costos de producción y los precios de venta de los productos generados de cada clase y dimensión de las trozas.

## ANTECEDENTES

### Clasificación de la trocería de pino.

La Norma Mexicana NMX-C-359-1988 (DGN, 1988), establece la siguiente clasificación para trocería de pino: México Extra = Alta calidad; México 1 = De primera calidad; México 2 = De segunda calidad; México 3 = De tercera calidad; México 4 = De cuarta calidad; México 5 = De quinta calidad. Las trozas deben tener un diámetro y longitud mínimos de 25 cm y de 2.44 metros, respectivamente.

Las especificaciones para cada clase incluyen diámetro mínimo, forma de la sección transversal, nudos, curvatura, ahusamiento, cicatrices,

abultamientos, raspaduras, rajaduras, ataque de insectos, manchas, duramen, albura y caladuras. Conforme disminuye la calidad de las trozas los defectos que aceptan son mayores.

La clasificación de la trocería, aun cuando existe la Norma Oficial, generalmente se modifica dependiendo de la región del país. En la región del norte p. e., la clasificación incluye las categorías: Clase 2 y Mejor, Clases 3, 4 y 5.

### **Clasificación de la madera aserrada de pino.**

La Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986), establece la siguiente clasificación para la madera aserrada de pino:

- Grado "A" = Selecta
- Grado "B" = de primera
- Grado "C" = de segunda
- Grado "D" = de tercera
- Grado "E" = de cuarta
- Grado "F" = de desecho.

Las especificaciones para cada clase incluyen las características de los nudos, grietas, manchas, bolsas de resina, picaduras, pudriciones, orientación del hilo o grano de la madera y torceduras.

Con frecuencia, se utilizan sistemas de clasificación regional que no necesariamente coinciden con la Norma Oficial, por ejemplo, la clasificación de madera aserrada de pino adoptada en la región norte del país incluye las siguientes categorías: 2 y Mejor, Clase 3, Clase 4 y Clase 5, cada una delimitada por el tipo, extensión o severidad y número de defectos, principalmente nudos, rajaduras, manchas y resina.

### **Cubicación de trocería y de madera aserrada.**

El sistema oficial de cubicación indica que el volumen de las trozas y de la madera aserrada se exprese en unidades del sistema métrico decimal. Tradicionalmente se han utilizado las

reglas madereras para cubicar trozas, predominando la Regla Doyle y la Internacional, con sus ventajas y desventajas aparentemente conocidas por compradores y vendedores. En el caso de la madera aserrada predomina como sistema de cubicación el "pie tabla" (Dilworth, 1977, Dobie y Wrigth, 1975, Freese, 1974, Hallock *et al.*, 1979).

Para cubicar trocería utilizando el sistema métrico decimal, generalmente se utilizan las fórmulas de Smalian, la de Huber y la de Newton. De estas fórmulas la más común es la de Smalian, por ser fácil de aplicar en cuanto a la toma de datos (diámetros en las cabezas de las trozas) y por considerar que su imprecisión en la determinación del volumen, no es tan significativa desde el punto de vista económico y comercial. En la de Huber, la toma de datos (diámetro en la parte media de la troza) se dificulta más, sobretodo cuando la trocería está apilada. La fórmula de Newton se considera que es la más exacta de las tres, pero requiere de más mediciones en las trozas, que no justifican en forma práctica el trabajo adicional en cuanto a precisión comparada con la de Smalian. Esta fórmula se utiliza para comparar la exactitud de cubicación de otros sistemas (Dilworth, 1977, Freese, 1974).

El volumen de la madera aserrada se puede expresar en dos formas: volumen real y volumen nominal o comercial. El volumen real se determina a través de las dimensiones reales de las tablas en espesor, anchura y longitud; en el primero y segundo caso, expresada en milímetros, y la longitud en centímetros. El volumen nominal se determina multiplicando las tres dimensiones nominales de las tablas o tablones.

La dimensión real, es igual a la dimensión comercial más un refuerzo que varía con el espesor de las tablas y que compensa la pérdida de madera por contracciones, por variación del corte en el

aserrío y por cepillado de las tablas. La dimensión nominal se considera como la dimensión final que adquiere la madera después de secada y cepillada.

Para la madera húmeda de pino, se considera un refuerzo de 3 mm para espesores hasta de 38 mm, para las piezas de mayor grosor el refuerzo es de 5 mm. El refuerzo de las tablas en anchura es de 13 mm, y el refuerzo en longitud es de 25 mm (DGN, 1988).

### **Coefficiente de aserrío.**

El coeficiente de aserrío se determina a través de la relación del volumen de la madera aserrada entre el volumen de trocería que se utiliza para obtenerla, expresada en por ciento (SFF, 1978). Se puede referir al volumen de madera de dimensiones comerciales, al volumen de madera de cortas dimensiones, y se puede expresar en dimensiones reales y/o nominales de la madera aserrada y las dimensiones reales de la trocería, también es factible determinar la proporción de madera, de costeras y recortes y de aserrín (Rodríguez, 1978, Zavala, 1994). En estudios realizados sobre coeficientes de aserrío de pino, Zavala, *et al.*, (1981), encontraron para aserraderos banda del estado de Durango una variación de 40 a 53% y para los circulares de 37 a 47%. Zavala (1987) determinó un coeficiente de aserrío nominal en aserraderos de Tlaxcala de 39 y 40%, que correspondieron a un coeficiente de aserrío real de 51 a 52%. En otro estudio en seis aserraderos banda del estado de Durango, Zavala (1996), encontró un coeficiente de aserrío nominal que varió de 41.54% a 44.18%, y que correspondió a un coeficiente de aserrío real de 54.96% a 61.63%.

**Relación de la calidad de la trocería con el coeficiente de aserrío.** Se ha determinado que la calidad de la madera

aserrada decrece con la calidad de las trozas y que el coeficiente de aserrío se reduce con el aumento de los defectos de las trozas. En general las trozas torcidas generan menos madera que las rectas, para la misma categoría diamétrica y longitud. Como regla empírica, Brown y Miller (1975) y Dobie (1966), establecieron que por cada incremento de 0.1 en la relación torcedura/ diámetro, se reduce el coeficiente de aprovechamiento hasta en un 7% comparado con trozas rectas, y que el tiempo de asierre se incrementa hasta en un 40%.

Respecto a la conicidad de las trozas, el coeficiente de aserrío disminuye con el aumento de la conicidad y el tiempo de asierre aumenta (Dobie, 1966). Las trozas con conicidad acentuada requieren 12% más tiempo de asierre y generan 5.7% menos madera que las trozas cilíndricas. Cuando las trozas se cubican con reglas madereras, a mayor conicidad corresponde mayor coeficiente de aprovechamiento, pero si la cubicación se hace con el sistema de medición directa, el coeficiente de aserrío se reduce (Dobie y Wright, 1975, Allock *et al.*, 1979).

El diámetro de las trozas tiene un efecto directo en la calidad y cantidad de madera aserrada. Conforme aumenta el diámetro por lo general se reducen los defectos de la madera (Bailey, 1973). Se ha determinado que el coeficiente de aserrío aumenta con el diámetro de las trozas, variando de 40 a 43% para trozas de 10 plg a 12 plg y de 58 a 65% para trozas de 24 plg a 28 plg (Clark *et al.*, 1974, Phillips y Schoeder, 1975). Integrando ambos conceptos, se establece que para trozas de la misma calidad hay un aumento en el coeficiente de aprovechamiento con un aumento en el diámetro y para trozas del mismo diámetro hay una reducción en el coeficiente de aserrío con una disminución en la calidad (Kerbes y McIntosh, 1968, Pnevmticos *et al.*, 1971).

**Relación de refuerzos o sobre medidas de la trocería con el coeficiente de aserrío.** El refuerzo en las dimensiones es una práctica común en la producción y comercialización de madera aserrada, debido al volumen que se pierde por la variación del corte en el aserrío, por el cepillado y por las contracciones de la madera verde al momento de secarse.

Un exceso de refuerzo en la madera aserrada para compensar por estos factores, aumenta el volumen de madera que se pierde, por lo cual repercute directamente en el coeficiente de aprovechamiento, (Brown y Miller, 1975, Zavala, 1981, 1991 y 1994).

Las dimensiones más comunes en que se asierra y comercializa la madera aserrada varía de 4 a 12 plg en anchura y de 4 a 20 pies en longitud, con incrementos de 2 plg y de 2 pies respectivamente. Los espesores oscilan de ½ a 2 plg en dimensiones nominales. El refuerzo por cepillado en madera áspera seca fluctúa de ¼ a 1/8 plg en grosor, con un mínimo de ¼ plg en anchura y de 3 plg en longitud (Rodríguez, 1978).

La Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF), estableció en 1978, las dimensiones del refuerzo en grosor y en volumen para madera aserrada producida más comúnmente; para 1/2, 3/4, 4/4, 6/4 y 8/4 plg, las dimensiones reales en grosor con su respectivo refuerzo deberían ser de 16, 22, 28, 41 y 54 mm, con un refuerzo en volumen para la dimensión final de 40%, 30%, 22%, 14% y 8% respectivamente. A través de la conversión de las 5 dimensiones de pulgadas a milímetros, se obtienen las dimensiones nominales para el grosor de la madera aserrada en milímetros, que corresponden a 13, 19, 25, 38 y 51 mm respectivamente.

La Norma Mexicana NMX-C-18-1986 (DGN, 1986), estipula para estas dimensiones un refuerzo de 3 mm que

coincide con el previamente establecido por la SFF (1978), a excepción de la de 51 mm; para dimensiones mayores a 38 mm la Norma establece un refuerzo de 5 mm. Los refuerzos correspondientes en anchura y longitud son de 13 mm y de 25 mm respectivamente, indistintamente de las categorías en dimensiones de las piezas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizó trocería de pino de las especies que se procesan regularmente en el área concesionada a la Unidad de San Pedro el Alto, Zimatlán, Oax. (*Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite*, *P. pringlei*, *P. douglasiana*).

Para el proceso de aserrío, se utilizó un aserradero con una torre para sierra banda de 8 plg de ancho, una desorilladora con sierras circulares para sanear y dimensionar a lo ancho las tablas y un péndulo para sanear y dimensionar en longitud las tablas.

También se utilizó un flexómetro o cinta métrica para determinar las dimensiones de las trozas, en longitud y en diámetro y la longitud y anchura de las tablas; crayones para marcar las trozas y las tablas, y un vernier para medir el espesor de las tablas.

### Determinación del número de trozas (tamaño de muestra).

Tradicionalmente en estudios de evaluación del coeficiente de aprovechamiento en aserraderos, se utiliza una muestra de 100 trozas al azar (SFF, 1978). En este estudio se determinó el tamaño de la muestra con base en la variación del coeficiente de aserrío de una premuestra de 30 trozas, considerando un 95% como límite de confiabilidad de la media, a través de la siguiente ecuación (Dobie, 1972):

$$N = \frac{t^2 S^2}{E^2} \quad (1)$$

N = tamaño de la muestra  
 $t^2$  = valor apropiado del estadístico t  
 $S^2$  = varianza de la población  
 E = error permitido

### Cubicación de las trozas.

Aun cuando en la industria de la madera es común utilizar reglas de cubicación con equivalencias en pies tabla, predominando la regla Doyle, oficialmente estos sistemas no se reconocen, (DGN, 1988; Freese, 1974). En este estudio el volumen de las trozas se determinó con la fórmula de Smalian, (Hallock *et al.*, 1979).

$$V = \frac{(B + b)}{2} L \quad (2)$$

Donde:

V = volumen, m<sup>3</sup>  
 B, b = áreas de las cabezas de las trozas, m<sup>2</sup>  
 L = longitud, m

Para determinar las superficies de las áreas transversales de las trozas se midieron dos diámetros en centímetros en cada extremo, sin considerar la corteza. La longitud también se midió al centímetro más próximo.

### Clasificación de las trozas.

La clasificación de la trocería se efectuó considerando los defectos permisibles en cada clase, como se indica a continuación.

**Clase 1.** Forma de la sección transversal casi circular, admite hasta 5 cm de excentricidad de la médula, hasta 2 nudos macizos de 5 cm de diámetro, admite una cicatriz y una raspadura de 25 cm de longitud por 2.5 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad

respectivamente, una rajadura de 25 cm de longitud y 2.5 cm de profundidad, no admite abultamientos, ataque de insectos, quemaduras, caladuras ni manchas, el duramen debe ser sano y no mayor de 25 cm de diámetro.

**Clase 2.** Forma de la sección transversal ligeramente ovalada, admite hasta 5 cm de excentricidad de la médula, hasta 3 nudos macizos de 5 cm de diámetro, una cicatriz y una raspadura de 50 cm de longitud por 5 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad respectivamente, una rajadura de 50 cm de longitud y 5 cm de profundidad, un abultamiento hasta de 5 cm de diámetro, ataque de insectos ligeros, no admite quemaduras, admite caladuras de 10 cm de ancho por 25 cm de longitud y 2.5 de profundidad, admite manchas en el centro hasta de 10 cm, el duramen debe ser sano y no mayor de 25 cm de diámetro.

**Clase 3.** Forma de la sección transversal ligeramente ovalada, admite hasta 7.5 cm de excentricidad de la médula, hasta 4 nudos macizos de 5 cm de diámetro, admite dos cicatrices y dos raspaduras de 50 cm de longitud por 5 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad respectivamente, dos rajaduras de 50 cm de longitud y 5 cm de profundidad, admite dos abultamientos hasta de 5 cm de diámetro, ataque de insectos ligeros, admite quemaduras superficiales hasta 10% del área total de la troza, dos caladuras de 10 cm de ancho por 25 cm de longitud y 2.5 de profundidad, admite manchas en el centro hasta de 10 cm, el duramen debe ser sano

y no mayor de 25 cm de diámetro.

**Clase 4.** Forma de la sección transversal ligeramente ovalada, admite hasta 7.5 cm de excentricidad de la médula, hasta 5 nudos macizos de 5 cm de diámetro, tres cicatrices y tres raspaduras de 50 cm de longitud por 5 cm de ancho y 2.5 cm de profundidad respectivamente, tres rajaduras de 50 cm de longitud y 5 cm de profundidad, admite tres abultamientos hasta de 5 cm de diámetro, ataque de insectos ligeros, quemaduras superficiales hasta 20% del área total de la troza, admite caladuras sin restricción, manchas en el centro hasta de 10 cm, admite pudrición en el duramen hasta de 5 cm de diámetro.

**Clase 5.** Forma de la sección transversal ovalada, excentricidad de la médula sin restricción, admite hasta 6 nudos macizos de 5 cm de diámetro, cuatro cicatrices y cuatro raspaduras de 50 cm de longitud por 5 cm de ancho y de 2.5 cm y 5 cm de profundidad respectivamente, cuatro rajaduras de 50 cm de longitud y profundidad máxima radial, admite cuatro abultamientos hasta de 5 cm de diámetro, ataque de insectos sin restricciones, admite quemaduras superficiales hasta 30% del área total de la troza, caladuras y manchas sin restricciones, admite pudrición en el duramen hasta de 5 cm de diámetro.

#### **Clasificación de la madera aserrada.**

La clasificación de la madera aserrada se realizó considerando 4 categorías: Madera de Clase, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> y 5<sup>a</sup>.

La madera de Clase debe tener una cara limpia y en la otra, nudos no mayores a 19 mm en un total de 1 nudo por cada 1.22 m de longitud, sin manchas, ni picaduras, con hilo recto; sin rajaduras en las caras o cantos, y en las cabezas que no excedan 1 mm de ancho y 13 mm de longitud.

La madera de 3<sup>a</sup> admite 1 nudo firme con diámetro hasta de 38 mm o varios cuya suma no exceda los 38 mm en secciones de 1.22 m de longitud; manchas de resina no mayores de 25 mm de ancho y 300 mm de longitud; picaduras con diámetros menores de 3 mm aisladas y no más de 8; grietas de 3 mm de ancho, 3 mm de profundidad y 300 mm de longitud; en las cabezas admite grietas hasta de 4 mm de ancho y 20 cm de longitud; admite hilo encontrado y torceduras ligeras.

La madera de 4<sup>a</sup> admite nudos firmes de 38 mm de diámetro en cada sección de 91 cm de longitud; manchas de resina hasta un 33% de la superficie y bolsas de resina de 20 mm de ancho por 25 cm de longitud; admite picaduras de insectos de 6 mm de diámetro que no traspasen las caras; pudrición de 1/6 de la anchura por 1/8 de la longitud; grietas no mayores de 6 mm de ancho por 6 mm de profundidad y 60 cm de longitud; en las cabezas admite grietas de 8 mm de ancho por 40 cm de longitud.

La madera de 5<sup>a</sup> admite un nudo de 38 mm de diámetro en cada sección de 61 cm de longitud; manchas de resina hasta 80% de la superficie por cara y bolsas de resina de 30 mm de ancho por 50 cm de longitud; picaduras de insectos y pudrición de 1/4 de la anchura y 1/6 de la longitud; grietas de 9 mm de ancho por 9 mm de profundidad por 90 cm de longitud; en las cabezas admite grietas de 12 mm de ancho por 60 cm de longitud; admite torceduras hasta 38 mm en longitud y 19 mm en la sección transversal por cada 2.44 m.

**Coefficiente de aprovechamiento.**

El aserrío se realizó procesando en forma alternada una troza muestreada con dos del inventario normal, con la finalidad de no interrumpir el proceso de producción. El coeficiente de aprovechamiento de las trozas procesadas se determinó por la relación madera aserrada/volumen de las trozas, en unidades métricas y expresada en porcentaje; considerando el volumen de madera aserrada en dimensiones nominales, dividido entre el volumen real de las trozas (coeficiente de aserrío nominal).

**Proporción de subproductos.** En los estudios de coeficientes de aserrío, generalmente se cuantifica el volumen de madera, pero no se consideran los subproductos generados, los cuales en la actualidad están adquiriendo más importancia, sobre todo las costeras y recortes para la generación de astillas para la industria de tableros aglomerados o de celulosa. La proporción de costeras y de aserrín se determinó a través de los productos generados de la muestra de trozas procesadas, pesando las costeras y recortes, y relacionando su valor con el peso de las tablas de dimensiones conocidas para determinar el volumen de las costeras. El volumen del aserrín se determinó por la diferencia entre el volumen real de las trozas y el volumen real de la madera aserrada y de las costeras (Zavala, 1981).

**Efecto de la calidad de las trozas en el coeficiente de aserrío.** Para analizar el efecto de la calidad de la trocería en el coeficiente de aprovechamiento, se agruparon las trozas por clases integradas por 1ª, 2ª, 3ª, 4ª y 5ª, relacionando su volumen con sus respectivos volúmenes de madera generada de cada grupo de trozas.

**Rendimiento y utilidad del proceso de aserrío.**

La rentabilidad del aserrío por tipo de trocería procesada se determinó integrando los costos de las trozas puestas en patio, con los costos del proceso de cada tipo de troza, los cuales se compararon con los precios de venta en el mercado de los diferentes tipos de madera aserrada generada de la trocería procesada.

**Determinación de costos de la trocería.**

Los costos de la trocería se determinaron integrando la información de los gastos que se realizaron en las diferentes actividades relacionadas con el abastecimiento de la trocería al aserradero y los gastos de los diferentes conceptos relacionados con el manejo forestal en un periodo de 5 meses, los cuales incluyeron los costos que se requieren para la apertura de caminos, los costos de corta, troceo, carga y transporte de la trocería, los sueldos y salarios del personal involucrado en estas actividades, los costos de combustibles, lubricantes, refacciones y mantenimiento de los vehículos y grúas utilizadas en estas operaciones, los costos de los servicios técnicos y administrativos, y los del personal de los viveros y plantaciones y de las cuadrillas contra incendios.

**Determinación de costos de producción.**

Para determinar los costos del proceso de elaboración de madera aserrada, se analizó la producción y los gastos que se realizaron en los últimos cinco meses de la fecha en que se realizó el estudio, que se integraron con los siguientes conceptos: Administración, nómina, prestaciones (IMSS, SAR, INFONAVIT, etc.), refacciones, consumo de energía eléctrica, costo de operación de montacargas, mantenimiento mecánico y eléctrico, depreciación. A los costos de los rubros indicados se les agregaron los que corresponden al personal eventual o que laboró por comisión.



**Determinación de precios de la madera aserrada.** Los precios de la madera aserrada se determinaron con base en los precios de los diferentes tipos de madera que comercializó el aserradero donde se realizó el estudio en un periodo de 5 meses previos a la fecha en que se realizó este trabajo.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Tamaño de muestra.

Del análisis de la información de los volúmenes de las 30 trozas premuestreadas, se determinó la varianza del volumen que fue de  $S^2 = 0.0135195$ , el valor del estadístico  $t$  para las 30 trozas es de 1.96, la media del coeficiente de aserrío de las trozas premuestreadas fue de 0.509, y el error permitido  $E$  de la media del coeficiente de aserrío de la muestra fue de 0.02545. Integrando esta información en la fórmula indicada en la metodología, se determinó un tamaño de muestra  $N$  de 87 trozas. Este número es mas reducido que el mencionado en otros trabajos (Dobie, 1975, Zavala, 1995, 1996), debido a la uniformidad de la trocería en la longitud (8 pies), en contraste con la utilizada en el norte del país que varía generalmente de 8 a 16 pies, reflejándose en una mayor variación del volumen de las trozas y por lo tanto en un tamaño de muestra mayor.

### Proporción de calidades de las trozas.

De la muestra de trozas procesadas y de acuerdo al sistema de clasificación indicado en la metodología, se determinó un porcentaje de 18.39% como trozas de calidad 1<sup>a</sup>, el 22.98% correspondió a la Clase 2<sup>a</sup>, el 27.58% a la Clase 3<sup>a</sup>, el 16.09% se clasificó como calidad 4<sup>a</sup>, y el resto 14.94% correspondió a la Clase 5<sup>a</sup> (Tabla 1).

Como se puede apreciar, se tiene una distribución proporcional en todas las clases, aproximadamente un 41% de trocería de calidad, un 28% de clase media

y un 31% de trocería de mala calidad. Esta distribución refleja una calidad de trocería muy aceptable para el proceso de aserrío, y con un efecto favorable en el coeficiente de aprovechamiento para una buena proporción de madera aserrada de calidad. En contraste con esta distribución de clases, Zavala, 1996, reporta en su estudio en el Norte del país que un 80% de la trocería correspondió a las clases de 4<sup>a</sup> y 5<sup>a</sup>, o de mala calidad, repercutiendo directamente en la proporción de calidades de la madera aserrada.

### Distribución por categorías diamétricas de la trocería.

Con la finalidad de analizar el efecto del diámetro de las trozas en el coeficiente de aserrío, se agrupó la trocería por categorías diamétricas, determinándose que el mayor porcentaje de las trozas, 85.05%, se distribuye en un rango de 30 a 55 cm de diámetro, el 3.44% corresponde a un rango de 25 a 30 cm, y el 11.49% se ubica en una categoría diamétrica de 55 a 70 cm (Tabla 2). Comparando esta distribución con el estudio realizado por Zavala (1996), que señala un porcentaje de 33% de las trozas en la categoría de 30 a 35 cm y un 80% en la categoría de 25 a 40 cm, la trocería utilizada en el presente estudio fue mejor en diámetro y calidad.

### Determinación del coeficiente de aprovechamiento.

El coeficiente de aserrío se determinó en dos formas, a) agrupando el total de los volúmenes de las trozas muestreadas y relacionándolo con el total del volumen de la madera aserrada generada, y b) agrupando la trocería por calidades y categorías diamétricas relacionadas con los volúmenes por clases de la madera aserrada. El coeficiente de aserrío global fue de 51% (Tablas 1 y 2), que coincide con el coeficiente de aprovechamiento tradicional para aserraderos con características similares al utilizado en este estudio (Zavala *et al.*, 1981, Zavala, 1987, 1996).

Con relación a la calidad de las trozas con los coeficientes de aserrío, no se presentó ninguna variación importante. La calidad de la trocería no influyó en el coeficiente de aserrío, puesto que no se observa una tendencia definida por el efecto de esta variable, siendo muy similar indistintamente de la clase de las trozas, posiblemente por la interrelación y la distribución tan regular de las calidades y diámetros de las trozas (Tabla 1). Este resultado difiere del reportado por Kerbes y McIntosh, 1968, Pnevmaticos *et al.*, 1971 y Zavala, 1995, 1996, quienes determinaron un efecto directo de la calidad de las trozas, señalando un coeficiente ascendente con la calidad de la trocería.

Relacionando la calidad de las trozas con la calidad de la madera aserrada, como se aprecia en la Tabla 1, la trocería de 1ª y 2ª, genera un buen porcentaje de madera de clase, 30% y 19% respectivamente. Con la trocería de 3ª, el mayor porcentaje de madera aserrada correspondió a la calidad de 3ª y en forma similar se presentó la tendencia para la trocería de 4ª y 5ª.

El coeficiente de aserrío con respecto a las categorías diamétricas de la trocería fue muy similar, de 51% para las categorías de 30 a 45 cm, de 50% para las categorías de 45 a 55 cm y de 60-65 cm, y de 49% para las categorías de 25 a 30 cm, de 55 a 60 cm y de 65 a 70 cm (Tabla 2), posiblemente por la interrelación tan regular de diámetros y calidades de la trocería utilizada en este estudio. Esta relación difiere con la tendencia determinada por Clark, 1974 y Philips, 1975, quienes establecen una proporción directa del coeficiente de aserrío con el diámetro de las trozas.

**Determinación de subproductos.** En general, en la mayoría de los aserraderos los subproductos derivados del aserrío (costeras, recortes y aserrín), no se

cuantifican. Sin embargo, por la importancia que están adquiriendo para la industria de tableros aglomerados y la de celulosa y papel, se considera importante analizar su composición y rentabilidad. También es importante cuantificar la cantidad de aserrín, con la finalidad de definir su potencialidad para la generación de calor para estufas de secado, sustituyendo a los combustibles tradicionales, con el consecuente ahorro económico.

Del análisis de los volúmenes procesados de trocería, se determinó una proporción de madera aserrada de 51%, un volumen de costeras y recortes de 27% y un porcentaje de aserrín de 22%. Esta relación es más o menos constante, indistintamente de la calidad y diámetros de la trocería. Estas proporciones son similares a las indicadas por Zavala, 1987, 1996, quien apunta en dimensiones reales un 55 a 61% de madera, un 20 a 30% de costeras y recortes y un 13 a 22% de aserrín.

#### **Rentabilidad del proceso de aserrío.**

Para determinar la rentabilidad del proceso de aserrío, se consideraron los precios que el aserradero pagó por la trocería LAB patios del aserradero, los costos del proceso de aserrío y los precios de venta de la madera aserrada en un periodo de 5 meses, previos a la realización de este estudio.

#### **Determinación de precios de la trocería.**

Con la integración de todos los conceptos relacionados en la apertura de caminos, de las actividades de aprovechamiento de la trocería y de las relacionadas con el manejo del bosque (servicios técnicos, viveros y plantaciones e incendios), se determinó un costo de la madera en rollo por metro cúbico de \$ 432.00. El precio que se le asignó a la trocería como precio de venta para el aserradero fue de \$ 600.00/m<sup>3</sup>r, que corresponde al precio al que se comercializa la madera en rollo en la región, por lo que se tendría una utilidad de \$ 168.00 por la diferencia de los costos con los precios de la trocería.

Tabla 1. Relación de calidades de trocería con el coeficiente de aserrío

NÚMERO TROZAS	CALIDAD TROZAS	CAL/ TROZAS	VOLUMEN	COEFICIENTE DE ASERRÍO				VOLUMEN MADERA	COEF. ASERRÍO
				CLASE	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>		
		(%)	m <sup>3</sup> r	%				m <sup>3</sup>	(%)
16	1 <sup>a</sup>	18.39	6.976	31.70	17.23	2.12	0	3.563	51.06
20	2 <sup>a</sup>	22.98	7.158	19.44	26.14	3.55	0.81	3.573	49.93
24	3 <sup>a</sup>	27.58	9.333	6.00	3360	1051	0.26	4.702	50.38
14	4 <sup>a</sup>	16.09	4.026	0.68	10.50	34.79	4.54	2.033	50.51
13	5 <sup>a</sup>	14.94	6.137	2.67	3.96	12.41	29.18	3.924	48.22

Tabla 2. Efecto del diámetro de las trozas en el coeficiente de aserrío

NO. TROZAS	CATEGORÍA DIAMÉTRICA (cm)	FRECUENCIA DIAMÉTRICA (%)	COEF. ASERRÍO (%)
3	25-30	3.45	49
15	30-35	17.24	51
15	35-40	17.24	51
20	40-45	22.99	51
12	45-50	13.79	50
12	50-55	13.79	50
4	55-60	4.60	49
4	60-65	4.60	50
2	65-70	2.29	49

**Determinación de costos de aserrío.** Para la determinación de los costos de aserrío, se analizó la información de los diferentes gastos que se realizaron en el aserradero, integrando el concepto de mano de obra directa, mano de obra indirecta, combustibles y lubricantes, refacciones, costos de mantenimiento, de energía eléctrica, de materiales complementarios, de depreciación y gastos imprevistos, determinándose un costo de \$ 216.70 por m<sup>3</sup> (\$ 510.95 por mpt).

#### **Definición de precios de la madera aserrada.**

Los precios de la madera aserrada para el periodo en el que se realizó el estudio, los proporcionó el departamento de comercialización del aserradero analizado, como se desglosan en la Tabla 3.

#### **Determinación de la rentabilidad del aserrío.**

Para generar 424 pt se requiere 1 m<sup>3</sup> r considerando de coeficiente de aserrío del 50%, obteniéndose 212 pt de madera aserrada. Por lo tanto para obtener 1,000 pt se requieren 4.717 m<sup>3</sup>r, que tendrían un costo de \$2,830.20; por lo que el costo de 1,000 pt de madera aserrada sería de \$3,314.15.

Considerando la distribución por clases de trocería procesada, con los porcentajes como se indican en el inciso Proporción de calidades de troza o en la Tabla 1, que corresponde para la de 1<sup>a</sup> un 18.39%, para la de 2<sup>a</sup> un 22.98%, etc., se tendrían para los 4.717 m<sup>3</sup>r, los volúmenes indicados en la columna 3 de la Tabla 4. El volumen de madera aserrada por cada

clase de trocería, como se señala en la columna 4, se determinó considerando un 50% de coeficiente de aserrío, y la distribución de los volúmenes por clases de la madera aserrada, como se indican en las columnas 5 a 8, se determinaron con base en los porcentajes de calidad de madera que genera cada clase de trocería procesada, como se indica en la Tabla 1.

Comparando el precio de venta con el costo de producción de un millar de pies tabla, \$4,327.33 - 3,341.15, se determinó una utilidad de \$ 986.18 por mpt. Como se aprecia en el análisis realizado, esta cantidad está relacionada con la proporción de clases de trocería que se procese, si aumenta el porcentaje de trocería de calidad, se incrementarán las utilidades, y viceversa, si se reducen las proporciones de trocería de clase disminuyen las utilidades.

Con la finalidad de analizar el efecto de la calidad de las trozas en la rentabilidad del aserrío, se cuantificó la proporción de madera aserrada, considerando 4.717 m<sup>3</sup>r ó 1,000 pt para cada una de las 5 clases de trocería, con sus respectivas proporciones de coeficientes de aserrío que se obtienen de

cada clase de madera aserrada, como se indican en la Tabla 1, generándose las cantidades que se señalan en la última columna de la Tabla 5, para cada una de las clases de trocería procesadas.

Como se aprecia en la Tabla 5, para un mismo volumen de madera en rollo, 4.717 m<sup>3</sup>r equivalente a 1,000 pt, la trocería de primera genera una utilidad de \$5,447.24 - 3,314.15 = \$2,133.09, en contraste por ejemplo con la trocería de 5<sup>a</sup>, con una utilidad de \$3,326.40 - 3,314.15 = \$12.25. Sin embargo, esta relación se determinó considerando los mismos precios de la trocería en *mill run*, lo cual no es lógico.

Tabla 3. Precios de venta de madera aserrada por espesores y clases

ESPESORES (plg)			CALIDAD	PRECIO/ pt
3/4	1 ½	2	Clase	\$6.35
3/4	1 ½	2	3 <sup>a</sup>	\$4.05
3/4	1 ½	2	4 <sup>a</sup>	\$3.33
3/4	1 ½	2	5 <sup>a</sup>	\$2.95

Tabla 4. Porcentajes de calidad y precios de madera aserrada en 1,000 pies tabla

CALIDAD TROCERÍA	PORCENTAJE CAL/TROZAS	VOL m <sup>3</sup> r 4.717	VOL ASERRADA 1,000 pt	VOLUMEN DE MADERA ASERRADA POR CLASE EN 1000 PT			
				CLASE	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
1 <sup>a</sup>	18.39	0.867	183.804	114.125	62.040	7.640	
2 <sup>a</sup>	22.98	1.084	229.808	89.418	120.258	16.316	3.699
3 <sup>a</sup>	27.58	1.301	275.812	32.876	183.939	57.534	1.434
4 <sup>a</sup>	16.09	0.759	160.908	2.175	33.340	110.479	14.417
5 <sup>a</sup>	14.94	0.705	149.460	8.365	12.271	38.471	90.438
SUMA		4.716	999.792	246.856	411.848	230.440	109.988
Precio de madera por clase				\$ 6.35	\$ 4.05	\$ 3.33	\$ 2.95
Precio total por vol. de madera				\$ 1567.53	\$ 1667.98	\$ 767.36	\$ 324.46
Precio por 1000 pt aserrado			\$ 4327.33				

Tabla 5. Proporción de clases y precios de madera aserrada por clase de trocería en 1000 pt

CLASE TROZA		VOLUMEN Y PRECIO DE MADERA ASERRADA POR CALIDADES EN 1000 PT				
		1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
CLASE	%	31.70	19.44	6.00	0.68	2.67
	vol	620.84	389.35	119.09	13.46	55.37
	\$	3942.32	2472.34	756.25	85.49	351.61
3 <sup>a</sup>	%	17.23	26.14	33.60	10.50	3.96
	vol	337.45	523.53	666.93	207.88	82.12
	\$	1366.66	2120.31	2701.07	841.91	332.60
4 <sup>a</sup>	%	2.12	3.55	10.51	34.79	12.41
	vol	41.52	71.10	208.61	688.77	257.36
	\$	138.26	236.76	694.69	2293.62	857.02
5 <sup>a</sup>	%	--	0.81	0.26	4.54	29.18
	vol	--	16.22	5.16	89.88	605.14
	\$	--	47.86	15.22	265.16	1785.17
TOTAL		5447.24	4877.27	4167.24	3486.18	3326.40

Seguramente si la trocería se comercializa por clases, tendría un precio diferente al que se manejó para este análisis como trocería *mill run*, (más alto en las de clase y menor en las de baja calidad). En ese caso, la diferencia entre el costo y el precio de la trocería indicado en el inciso "Determinación de los precios de trocería", se incrementaría, y la utilidad de \$2,133.09 con la trocería de 1<sup>a</sup> se reduciría.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La proporción de costeras y recortes (27%), representa un volumen significativo de subproductos que actualmente no se aprovechan y que se consideran como una fuente importante de materia prima para las fábricas de aglomerados y de celulosa. El porcentaje de aserrín de 22%, también representa un volumen importante que se puede utilizar como combustible para

generar calor para el proceso de secado de madera.

Del análisis de la información, contrario a lo que se esperaba, no se determinó un incremento directo del coeficiente de aserrío en función del diámetro y calidad de las trozas. Sin embargo, la calidad de las trozas mostró un efecto directo en la proporción de las calidades de la madera aserrada y en la rentabilidad del proceso de aserrío.

Se recomienda analizar el proceso de aserrío de la trocería de clase con la finalidad de incrementar el coeficiente de aprovechamiento de madera de clase, a través de sistemas de corte de la trocería y del análisis de las dimensiones de la madera aserrada que se genera (mayores espesores, coeficiente de aserrío más alto, aparentemente sin diferencia de precios por espesor de la madera aserrada).

Por los volúmenes de madera aserrada que se producen, se recomienda la

instalación de una estufa de secado convencional, con la finalidad de darle un mayor valor agregado con el proceso de secado, sobre todo a la madera de clase, lo que permitiría diversificar su comercialización, tanto en el mercado nacional como en el exterior.

Se recomienda analizar alternativas de industrialización, que permitan darle un mayor valor agregado a la madera aserrada y reducir la comercialización tradicional de trocería y de tablas. Esta alternativa se facilitaría con la integración del proceso de secado en estufa.

### REFERENCIAS

- Brown, A.G. y R.G. Miller. 1975. Effect of sweep on sawn recovery from radiata pine logs. *Can. For. Ind.* 93(12):28-29.
- Bailey, G.R. 1973. Lumber grade recovery from straight aspen logs. *Forest Prod. J.* 23(4):47-54.
- Clark, A.III., A.M. Taras y G.J. Shroeder. 1974. Predicted green lumber and residue yields from the merchantable stem of yellow-poplar. *USDA. For. Ser. Res. Pap.* SE-119, 15 p.
- Dilworth, J.R. 1977. Log scaling and timber cruising. Oregon State University. Corvallis, OR. EUA. 468 p.
- Dirección General de Normas (DGN). 1986. Norma Mexicana NMX-C-18- 1986. Industria de la Construcción - Tablas y Tablones de Pino - Clasificación. DGN. SECOFI. México. 16 p.
- Dirección General de Normas (DGN). 1988. Norma Mexicana NMX-C-359 - 1988. Industria Maderera - Trocería de Pino - Clasificación. DGN. SECOFI. México. 23 p.
- Dobie, J. 1966. Log taper related to lumber production. *B.C. Lumberman.* 48(5):80-85.
- Dobie, J. 1972. Guidelines for the study of sawmill performance. *West. For. Prod. Lab. Inf. Rep.* VP-X-93. Vancouver, B.C. Canadá. 75 p.
- Dobie, J. 1975. Lumber recovery practices in British Columbia coastal sawmills. *West. For. Prod. Lab. Inf. Rep.* VP-X-151, Vancouver, B.C. Canadá. 29 p.
- Dobie, J. y D.M. Wright. 1975. Conversion factors for the forest products industry in Western Canada. *West. For. Prod. Lab. Inf. Rep.* XP-X-97, Vancouver, B.C. Canadá. 7 p.
- Freese, F. 1974. A collection of log rules. *USDA Forest Service. General Technical Report.* FPL 1. Forest. Prod. Lab. Madison, WI. EUA. 65 p.
- Hallock, H., P. Steele y R. Selin. 1979. Comparing lumber yields from board-foot and cubically scale logs. *USDA For. Serv. Res. Pap.* FPL 324. Madison, WI. EUA. 17 p.
- Kerbes, E.L. y J.A. McIntosh. 1968. Some relationship between exterior log characteristics and lumber recovery values for samples of B.C. interior spruce. *WFPL. Inf. Rep.* VP-X-41. 19 p.
- Phillips, D.R y J.G. Schoeder. 1975. Predicted green lumber and residue yields from the merchantable stem of shortleaf pine. *USDA For. Ser. Res. Pap.* SE-128, 12 p.
- Pnevmaticos, S.M., I.B. Flann, y F.J. Petro. 1971. How log characteristics relate to sawing profit. *Can. For. Ind.* 91(1):40-43.
- Rodríguez, C.R. 1978. Coeficientes de refuerzo y aserrío en la práctica mexicana de producción de madera

- aserrada de pino. México y sus Bosques. 17(1):8-23.
- Subsecretaría Forestal y de la Fauna (SFF). 1978. Disposiciones sobre coeficientes de aserrío y usos de refuerzos. México. SFF. Dirección General de Control y Vigilancia Forestal. Circular 2/78. 3 p.
- USDA. Forest Service. 1973. Increasing your lumber recovery. Sawmill Improvement Program. Washington, D.C. EUA. 25 p.
- Zavala Z., D. 1981. Analysis of the sawmilling practices in the State of Durango, México. Thesis of Master of Science. The University of British Columbia, Vancouver, B.C. Canadá. 91 p.
- Zavala Z., D. 1987. Análisis del coeficiente de aprovechamiento en dos aserraderos del Estado de Tlaxcala. Reunión de Investigación Forestal y Agropecuaria de Tlaxcala. CIFAP-TLAX. 52-62.
- Zavala Z., D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Universidad Autónoma Chapingo. Serie de Apoyo Académico No. 44. Chapingo, Edo. de Méx. 50 p.
- Zavala Z., D. 1994. Control de calidad en la industria de aserrío y su repercusión económica. INIFAP. Bol. Téc. No. 115. Coyoacán, D.F. México. 48 p.
- Zavala Z., D. 1995. Interrelación de las características de la trocería con el coeficiente de aprovechamiento en aserraderos banda. Univ. Mich. de San Nicolás de Hidalgo. Rev. Ciencia y Tecnología de la Madera 6: 3-14.
- Zavala Z., D. 1996. Coeficientes de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. Ciencia Forestal 21 (79): 165-181.
- Zavala, Z. R., I. Marroquín C., S.H. Pedraza, M., F.J. Compean G., D.A. Murguía G., y J.A. Silva. 1981. Diagnóstico de la industria de aserrío del Estado de Durango. Bol. Téc. INIF. No. 87. 79 p.