

# ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE SERRÍN DE *Pinus caribaea* Moralet EN EL OCCIDENTE DE CUBA

Iván Relova Delgado<sup>1</sup>, Santiago Vignote Peña<sup>2</sup>,  
María A. León Sánchez<sup>3</sup> y Fidel Cándano Acosta<sup>3</sup>

## RESUMEN

La falta de industrias madereras de desintegración o de aprovechamiento energético en Cuba, hace que los residuos de serrín procedentes de los aserraderos y otras fábricas se acumulen en los centros de origen hasta que la saturación de los espacios disponibles, la contaminación ambiental y, en consecuencia, su impacto sobre la salud de los habitantes de las poblaciones contiguas obliga a su transporte a vertederos. El objetivo del presente estudio consistió en estimar la producción de este material en el occidente de Cuba (Pinar del Río) en dos aserraderos; para ello, se marcaron 200 trozas de pino, 50 antes del inicio del aserrado en cada una de las tres líneas de la Empresa Forestal Integral "La Palma", que dispone de maquinaria diversa y a su vez es representativa de la existente en la zona y 50 en la línea del aserradero "La Jagua". El diámetro con corteza de las trozas muestreadas varió entre 14.5 y 32 cm (clases diamétricas de 14 cm, hasta más de 34 cm), con una longitud de 3.5 a 4 m. Se hizo un análisis estadístico para determinar las ecuaciones predictivas mediante modelos de regresión lineal, siendo el volumen de serrín la variable dependiente y el diámetro de la troza la independiente para cada una de las técnicas de aserrado probadas. A partir de los niveles de producción en los años de estudio, el volumen de serrín en Pinar del Río asciende a 14.303,02 m<sup>3</sup> por año, lo que representa alrededor de 3.011 toneladas para transportar.

**Palabras clave:** Contaminación industrial, *Pinus caribaea* Moralet, residuos de aserrado, residuos madereros, serrín, tecnología de aserrado.

Fecha de recepción: 07 de abril de 2006.

Fecha de aceptación: 11 de abril de 2008.

---

<sup>1</sup> Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. Correo-e: [ivancito02@yahoo.com](mailto:ivancito02@yahoo.com)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid, España.

<sup>3</sup> Universidad de Pinar del Río, Cuba.

## ABSTRACT

The lack of wood desintegration industries or energetic harvest industries in Cuba favors the accumulation of sawmill and other factory residues at these centers, until problems such as saturation of the available spaces, environmental pollution and thus, their effects upon human health of the people from the neighbouring towns, make it necessary to take these products to deposits. The purpose of the actual study was to estimate the sawdust production of two saw mills at western Cuba (Pinar del Río); thus, 200 trunks were selected: 50 prior to sawing of each of the three lines of La Palma Forest Enterprise, which has diverse machinery and is representative of those present in the area, and 50 from the La Jagua sawmill. The diameter of the trunks varied from 14.5 to 32 cm and their length from 3.5 to 4.00 m. A statistical analysis was made in order to determine the predictive equations through lineal regression models, in which sawdust volume was the dependent variable and the trunk diameter was the independent variable for each of the sawing techniques tested. From the production levels during the years of study, the sawdust volume of Pinar del Río was 14,303,02 m<sup>3</sup> per year, which means around 3.011 tons for transportation.

**Key words:** Industrial pollution, *Pinus caribaea* Moralet, sawmill wastes, wood waste, sawdust, sawing technologies.

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Pinar del Río, ubicada en la región más occidental de Cuba tiene una superficie total de 1,092,000 ha, de las cuales, 44% son consideradas patrimonio forestal y de ellas, 38.9% están cubiertas de bosques, cifra que contrasta con la media del país que es del 22.7% (MINAGRI, 2003).

Los bosques de coníferas constituyen el principal potencial productivo de dicha provincia; sobresalen por su importancia comercial las especies de *Pinus caribaea* Moralet y *Pinus tropicalis* Moralet, tanto para abastecer la industria de aserrado, como para la producción de madera en rollo, principalmente de aplicación en la industria tabacalera.

En el país existen 92 aserraderos que procesan alrededor de 180,000 m<sup>3</sup> de madera; aproximadamente 55% del total de la producción del país se obtiene en instalaciones de porte pequeño o mediano, con tecnologías basadas en sierras circulares, alternativas y de sierras de banda simples y múltiples, mismas que resultan obsoletas. Además, hay cuatro plantas nuevas que utilizan, principalmente, sierras de bandas múltiples (MINAGRI, 2003).

En Pinar del Río la industria de primera transformación cuenta con 11 fábricas que pertenecen a Empresas Forestales Integrales (EFI), con una capacidad

instalada total de 84.500 m<sup>3</sup> de madera en rollo, cuyas características son las siguientes (MINAGRI, 2006):

- ♦ Aserradero portátil para latifoliadas, con escasa producción y bajos rendimientos.
- ♦ Siete aserraderos con más de 50 años en funcionamiento que operan con niveles de eficiencia muy bajos, pues apenas alcanzan 44% de rendimiento de las trozas.
- ♦ Dos aserraderos que iniciaron labores a partir de 1985 con tecnología de sierras alternativas procedentes de la antigua Unión Soviética, los cuales debido a la falta de refacciones y a la obsolescencia tecnológica, presentan poca productividad y un producto final de baja calidad.
- ♦ Un aserradero establecido en 1991, basado en sierras de banda procedentes de España.

La producción de volúmenes de serrín es importante, mismo que no tiene aplicaciones actuales a consecuencia de la falta de una industria de tableros de desintegración, o de celulosa, convirtiéndose en un foco de contaminación ambiental y en consecuencia de salud a la población que habita en las zonas contiguas a los aserraderos; por lo que es llevado a vertederos, con el consiguiente costo de transporte y, el traslado de los problemas a otros lugares (CITMA, 2001).

En Cuba, la importancia de eliminar los desechos de la industria forestal o de darle un uso, ha motivado la realización de investigaciones sobre la cuantificación de dichos residuos; así como, el estudio de sus usos potenciales (Álvarez, 1999; Egas, 1998; Márquez, 1999).

Una probable aplicación es como biomasa para su conversión en energía térmica susceptible de ser usada tanto en los centros que los generan, como en otras empresas situadas en las áreas vecinas y, así, evitar costos excesivos de transporte (Carrasco, 2001). Por ejemplo, sería factible incorporarlas en el Complejo Agroindustrial Azucarero "Manuel Sanguily", ubicado en el municipio de la Palma, al norte de la provincia de Pinar del Río, el cual dispone de una planta de cogeneración eléctrica y está integrado a la red eléctrica nacional de Cuba.

En la actualidad, el empleo de la madera y sus residuos como fuentes alternativas a los combustibles fósiles, dada la escasez de éstos y las necesidades crecientes de energía, así como los problemas medio ambientales ocasionados por el uso excesivo de los mismos y al carácter renovable de la madera, han situado a los desechos forestales, junto con los agronómicos, en el foco de atención de importantes programas de energías renovables y de desarrollo sostenible a nivel mundial (Marcos, 1985; Van Belle, Schenkel, 1998).

El presente estudio tiene como objetivos determinar la producción anual de serrín en el occidente de Cuba, para evaluar las posibilidades de su

aprovechamiento energético, y así coadyuvar a reducir los problemas ambientales actuales, a la vez de contar con un producto secundario de gran relevancia en Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la consideración de que la producción de serrín depende del tipo de tecnología utilizada en el aserrado, se eligieron dos empresas en las cuales estuvieran representadas las tres técnicas de aserrío que se practican en el país. La investigación se realizó en la Empresa Forestal Integral "La Palma" (fundamentalmente elabora trozas de *Pinus caribaea*) y en "La Jagua", ésta última es la de mayor volumen de madera aserrada en la región y en el país; ambas se ubican al norte de la provincia de Pinar del Río.

El muestreo se llevó a cabo en el patio de los aserraderos en donde se marcaron 200 trozas de pino, 50 antes del inicio del aserrado en cada una de las tres líneas de la Empresa Forestal Integral "La Palma", y 50 en la línea del aserradero "La Jagua". El diámetro con corteza de las trozas osciló entre 14.5 y 32 cm (clases diamétricas de 14 cm, hasta más de 34 cm), con una longitud de 3.5 a 4 m.

Se hizo el seguimiento de cada troza durante todo el proceso, desde la entrada al carro portatrozas de la sierra principal, hasta su transformación final. Para cada tecnología se determinó el tamaño de muestra necesario (n), con una probabilidad del 95% y un error no mayor al 0.05%, mediante el método establecido por Gómez (1998).

El cálculo del volumen de serrín se obtuvo por la diferencia entre los volúmenes de trozas a la entrada al aserradero y el de madera aserrada, incluidos los residuos sólidos que se produjeron (residuo sólido es el formado por costeros, puntas de saneado y otros elementos con dimensiones superiores al serrín, viruta, astilla etc.).

Para cuantificar el volumen de las trozas de madera se midió la longitud con una cinta métrica graduada en centímetros, colocada entre sus extremos; el diámetro en las secciones extremas y media de la troza, se obtuvo mediante una forcípula con precisión de 0.5 cm. El volumen de la madera aserrada se estimó a partir de la longitud de las tablas con una cinta métrica graduada en centímetros; en tanto que el ancho y el grueso con una regla tipo carpintero, graduada en milímetros. El volumen de los residuos sólidos se determinó con el peso y la densidad, para lo que se utilizaron una báscula de tipo romana, con capacidad de hasta 50 kg y una estufa (Dalvo®) de 2 kw de potencia y, una termobalanza digital (Sartorius®) de precisión 0,01 g; para obtener la humedad en base húmeda (b.h.) se usaron probetas de madera.

Una vez calculados los volúmenes descritos, se aplicó la siguiente ecuación:

$$V_t = V_{ma} + V_{rs} + V_s; \quad V_s = V_t - (V_{ma} + V_{rs}) \quad (1)$$

Donde:

- $V_t$  = Volumen de la troza
- $V_{ma}$  = Volumen de madera aserrada
- $V_{rs}$  = Volumen de residuos sólidos
- $V_s$  = Volumen de serrín + corteza.

Por su exactitud, para estimar el volumen de las trozas se usó la fórmula de Newton:

$$V_t = \frac{1}{6}(S_i + 4S_c + S_s) \cdot L \quad (2)$$

Donde:

- $S_i$  = Superficie de la sección de la parte inferior de la troza ( $m^2$ )
- $S_c$  = Superficie de la sección del centro de la troza ( $m^2$ )
- $S_s$  = Superficie de la sección de la parte superior de la troza ( $m^2$ )
- $L$  = Longitud de la troza (m).

Para cubicar la madera aserrada se midió la longitud, el ancho y el grosor de todas las tablas o tablones elaborados durante el procesamiento de las trozas marcadas. En el caso de la longitud (l) se utilizó una cinta métrica, con precisión de 1 cm; el ancho y el grosor se determinaron de la misma forma, a partir de la media de tres valores: el del centro y uno a cada extremo, los datos correspondientes se obtuvieron con una regla graduada tipo carpintero y precisión de 1 mm.

$$V_{ma} = \sum_{a=1}^p [n_1(G \cdot A \cdot l)_1 + n_2(G \cdot A \cdot l)_2 + \dots + n_p(G \cdot A \cdot l)_p] \quad (3)$$

Donde:

- $G$  = Grosor medio de la pieza de madera aserrada (m)
- $A$  = Ancho medio de la pieza de madera aserrada (m)
- $L$  = Largo de la pieza de madera aserrada (m).

$N$  = Número de piezas con las mismas dimensiones

$p$  = Número de piezas de madera aserrada obtenidas de cada troza.

El total de residuos sólidos se pesó en una báscula romana y se determinó la humedad en 10 muestras aleatorias de cada pesada realizada; se introdujeron en una estufa (Dalvo) a 105° hasta llegar a peso constante, aproximadamente 24 horas, según las normas CEFIC (1986) y ASTM (1993). Con el valor obtenido de humedad se calculó la densidad ( $\rho$ ) en ton / m<sup>3</sup> con la fórmula (4) (Relova *et al.*, 1999):

$$\rho = 0,75996 + 0,0052 \cdot h \quad (4)$$

Donde:

( $h$ ) = Humedad expresada en por ciento.

Así, el volumen de los residuos sólidos ( $V_{rs}$ ) en m<sup>3</sup> se estimó por la relación entre el peso y la densidad:

$$V_{rs} = P/\rho \quad (5)$$

Donde:

$P$  = Peso de los residuos sólidos (ton)

$\rho$  = Densidad de los residuos ton / m<sup>3</sup> obtenido con la fórmula (4).

Se consideraron como variables independientes en la estimación del volumen de serrín los datos de volumen de residuos sólidos, de surtidos y de las trozas. En cada una de las tecnologías, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (1896) entre las variables y su significancia (Patterson y Armstrong, 1994).

Los valores obtenidos de las diferentes muestras fueron procesados con el sistema automatizado SPSS (Statistical Product and Service Solutions) versión 12.0 (2004).

El volumen de serrín en cada una de las tecnologías de aserrado se estimó con base en los resultados del análisis de correlación: se realizó un análisis de regresión por el método de los mínimos cuadrados ordinarios. La calidad del ajuste de los diferentes modelos que se validaron por medio de los coeficientes de determinación, el error estándar y la tendencia de distribución de los residuos; así mismo se verificó el cumplimiento de los supuestos teóricos con pruebas analíticas.

Con base en los modelos generados, se evaluó el porcentaje de serrín en función del diámetro de la troza elaborada y para cada una de las tecnologías que se aplican en el proceso productivo en los dos aserraderos estudiados.

La producción de serrín en todo el occidente de Cuba se estimó mediante la extrapolación de los datos de producción obtenidos en cada tecnología de aserrado, se consideró el tipo de tecnología que utilizan y los volúmenes de madera procesados al año MINAGRI (2004).

## RESULTADOS

### Caracterización de la madera procesada

En el centro industrial "La Jagua", ubicado en el municipio de La Palma, dado que el tronzado se realiza en monte, se recibe la madera con corteza en trozas de entre 3.5 y 4 m de longitud, y de 14 a 34 cm de diámetro, según la distribución diamétrica que se indica en la Figura 1. Las trozas más frecuentes fueron las de 16 a 30 cm, las de dimensiones mayores son escasas, dado que se prefiere procesarlas en el aserradero "La Baria" ubicado en la zona más llana del mismo municipio.

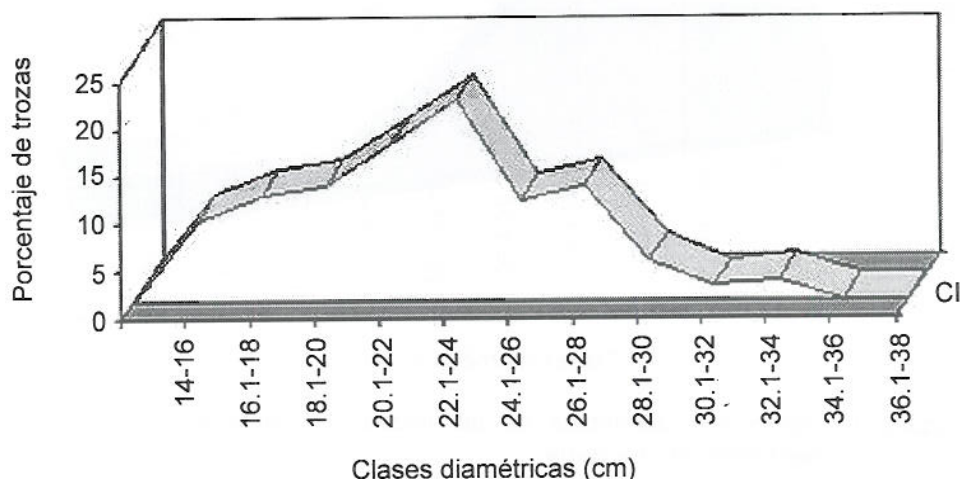


Figura 1. Distribución diamétrica de las trozas recibidas en el aserradero "La Jagua".

En el centro industrial "La Baría" la materia prima llega tronzada con una longitud aproximada de 4 m y diámetros con corteza de 14 a 38 cm. La estructura del material que consume cada línea de aserrado se refleja en la Figura 2. El contar con tres líneas de producción diferente hace que las trozas se clasifiquen por su diámetro para consignarlas a cada línea de producción (Figura 2).

En la sierra circular se trabajan las clases diamétricas más bajas, menores a 22 cm, la sierra alternativa entre los 20 y los 28 cm y la sierra de banda las trozas mayores de 26 cm.

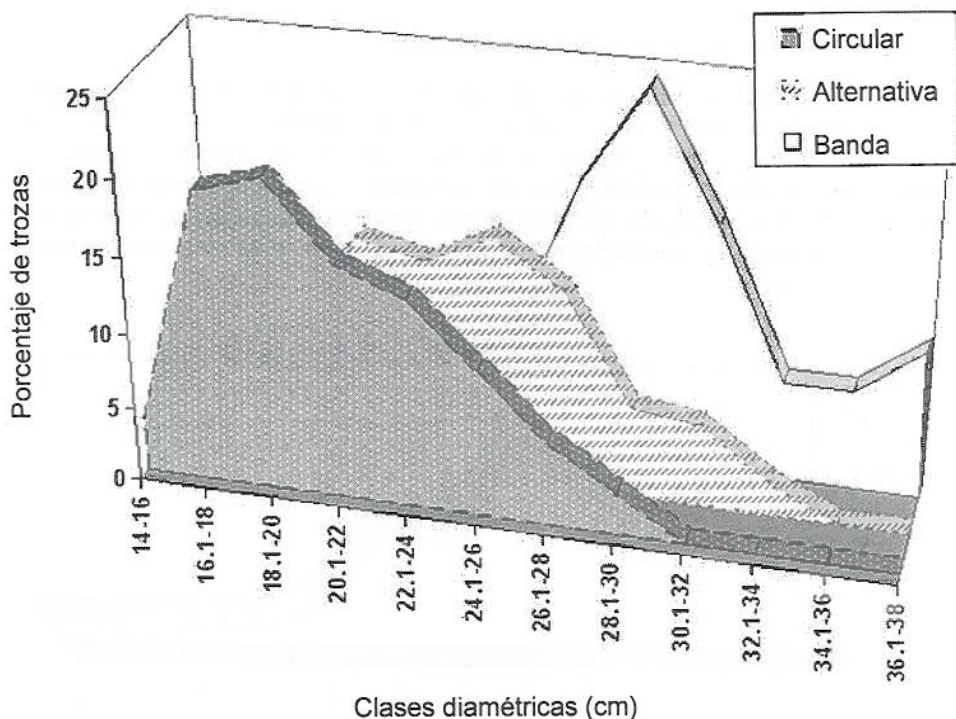
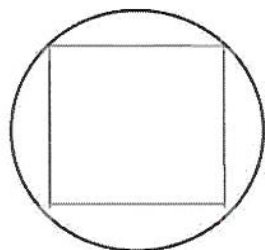


Figura 2. Distribución diamétrica de las trozas que elabora cada línea de aserradero en "La Baría"

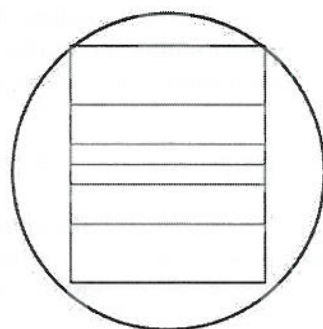
### Procesado de la madera

Los despieces realizados según las diferentes líneas de aserrado son los indicados en la Figura 3 (d: diámetro de la troza en la punta delgada).

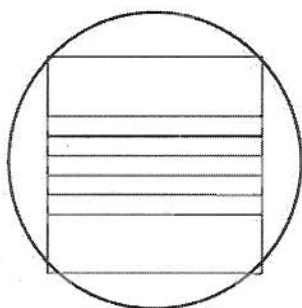




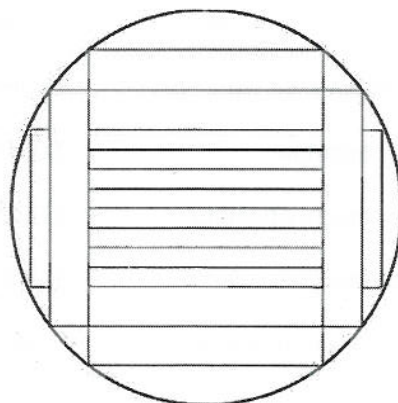
$d \approx 18$  cm Sierra circular



$d \approx 24$  cm Sierra alternativa



$d \approx 24$  cm Sierra de banda simple



$d \approx 30$  cm Sierra de banda

Figura 3. Despieces más comunes por diámetro en las diferentes sierras usadas en aserraderos del occidente de Cuba.

### Modelos matemáticos para estimar el volumen de serrín en las diferentes líneas de aserrado

Después de procesar los datos de las trozas elaboradas en cada una de las líneas de producción (SPSS versión 12.0) se obtuvieron los estadígrafos indicados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen estadístico de los valores del volumen de las trozas muestreadas en cada una de las líneas de producción de los aserraderos del occidente de Cuba.

Complejo	La Baría	La Baría	La Baría	La Jagua
	Sierra múltiple de banda+partidora	Sierra múltiple alternativa	Sierra circular	Sierra simple de banda
Media (m <sup>3</sup> /troza)	0,04785	0,02103	0,01695	0,02020
Desviación estándar	0,01596	0,00799	0,00611	0,00928
Coefficiente de variación	33,3647	38,0293	36,0130	45,9208
Error estándar	0,00196	0,0089	0,0079	0,0098
Error medio absoluto	0,00393	0,00170	0,00159	0,00194
Error medio porciento	8,21317	8,41856	9,37776	9,58634
Número de muestras	44	57	52	83

El tamaño de muestra fue diferente para cada una de las tecnologías corroborando lo señalado por Gómez (1998), quien puntualiza que el tamaño de la muestra es proporcional a la variabilidad de la población y a la confianza con que se desean las estimaciones, e inversamente proporcional a la magnitud del error que se acepte.

Se realizó un análisis de correlación lineal entre todas las variables: volumen de la troza, volumen de residuos (costeros, corteza, despuntes, excepto serrín), volumen de surtidos (tablas, vigas, tablones) y clase diamétrica. Todas las correlaciones resultaron significativas al 5% salvo para el volumen de residuos y volumen de surtidos con la sierra circular, lo que sugiere una fuerte relación lineal; los valores más altos del coeficiente de correlación de Pearson (1896) correspondieron a la relación entre volumen de serrín y clase diamétrica que en todos los casos fue a 0,95; magnitud que para Prodan *et al.* (1997) es muy aceptable.

La multicolinealidad que es estadísticamente significativa entre las variables exógenas, el interés por identificar un modelo fiable pero a la vez sencillo y la

intención de facilitar el proceso de medición de la variable predictiva fueron los factores que condujeron a decidir que la clase diamétrica es la que mejor explica la variabilidad del volumen de serrín para cada troza (Egas, 1998; Fahey, 1993).

## Análisis de regresión

Los modelos de regresión lineal sin transformación presentaron los mejores índices de ajuste. Los altos coeficientes de determinación, un análisis de varianza altamente significativo y un error estándar relativamente bajo, son buenos indicadores de la calidad del ajuste de los modelos de predicción del volumen de serrín, en función de la clase diamétrica de las trozas de *Pinus caribaea*. El modelo empleado fue el lineal (Clark y Saucier, 1990) (Cuadro 2) (figuras 3, 4, 5, y 6).

León (1999) señala que es preferible un modelo expresado en las variables originales para una mejor interpretación de los resultados, siempre que ajuste adecuadamente y cumpla los supuestos teóricos del análisis de regresión. En el caso particular de los datos analizados en el presente estudio, en concreto, los ajustes lineales de primer orden no fueron superados en calidad por ninguno de los otros probados.

La desviación promedio indica la precisión de las estimaciones (Patterson y Armstrong, 1994), valores altos implican que la media calculada esté distante de la media real, en tanto el sesgo se reduce, más cerca estará la media de las predicciones, de la media real (Patterson *et al.*, 1993; Wiant, 1996), por lo tanto el volumen de serrín estimado se aproximará a la cuantificación del volumen real en cada una de las trozas.

Cuadro 2. Ecuaciones predictivas para el volumen del serrín en m<sup>3</sup> en función del diámetro de la punta delgada de la troza en cm.

Complejo	Tecnología	Ecuación regresión	Coefficiente correlación r	Error e	Estadístico F
La Baría	Sierra múltiple de banda + partidora	$V_s = -0,086 + 0,004775 \cdot d$	0.911	0.004	648.80
La Baría	Sierra múltiple alternativa	$V_s = -0,01662 + 0,001554 \cdot d$	0.903	0.002	722.38
La Baría	Sierra circular	$V_s = -0,03322 + 0,002556 \cdot d$	0.907	0.002	555.04
La Jagua	Sierra de banda simple	$V_s = -0,02621 + 0,002015 \cdot d$	0.97	0.002	2856.70

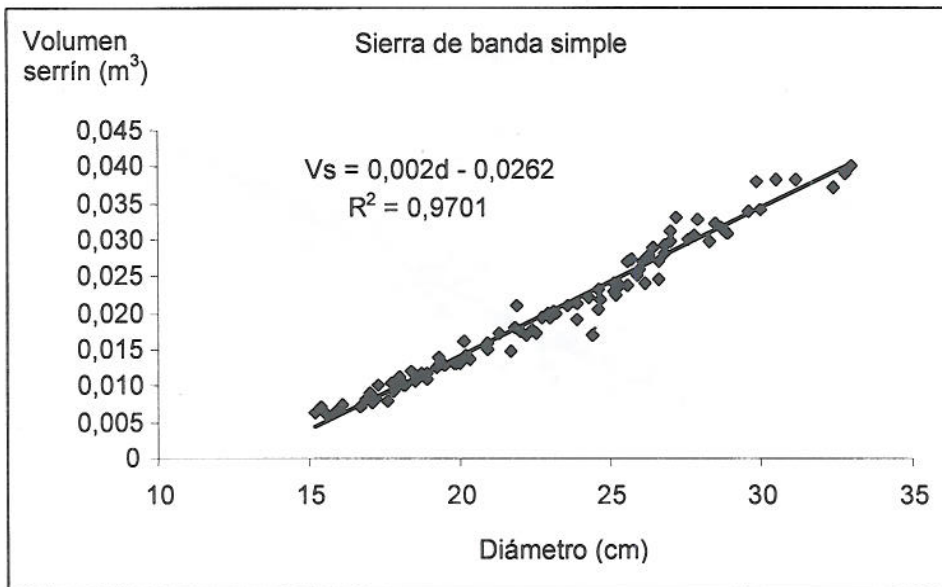


Figura 3. Ecuación predictiva para la sierra de banda simple.

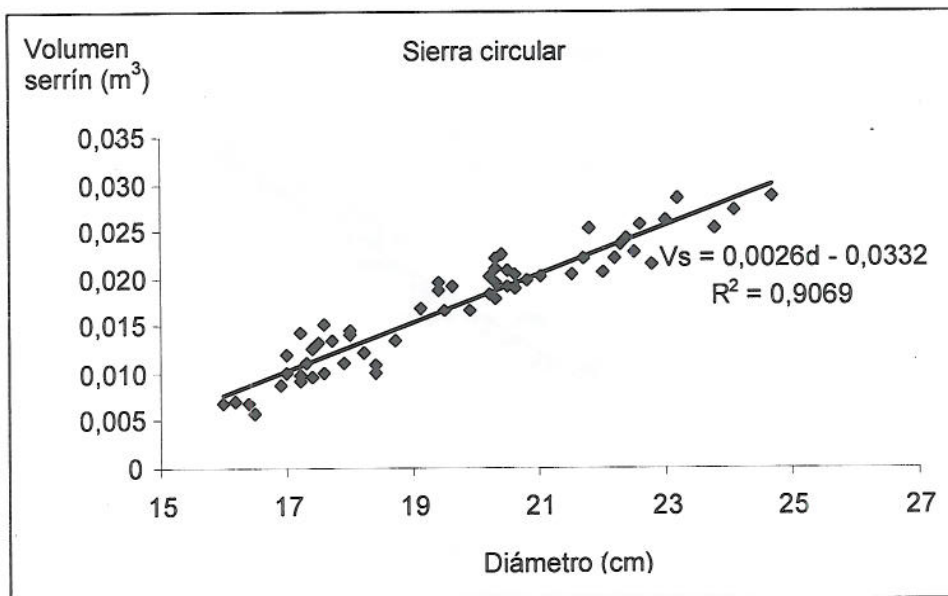


Figura 4. Ecuación predictiva para la sierra circular.

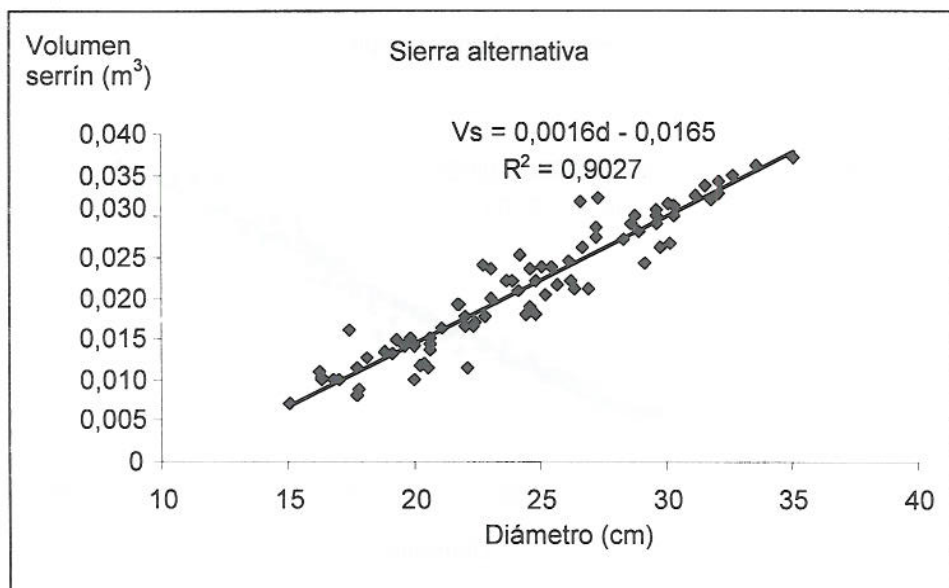


Figura 5. Ecuación predictiva para la sierra alternativa.

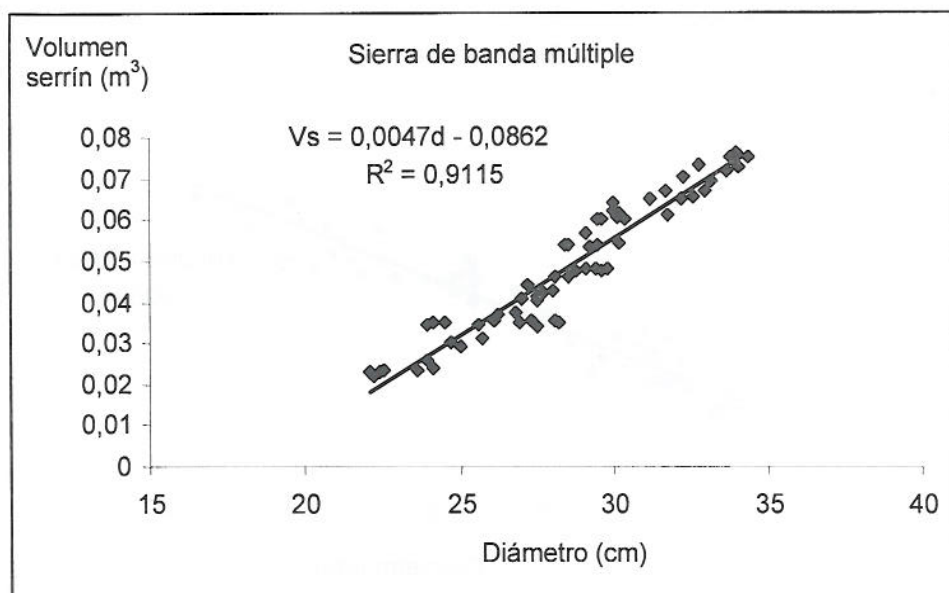


Figura 6. Ecuación predictiva para la sierra de banda múltiple.

Con base en los modelos generados, se evaluó el porcentaje de serrín en función del diámetro de la troza elaborada y para cada tipo de tecnología, los resultados se muestran en las figuras 7 y 8.

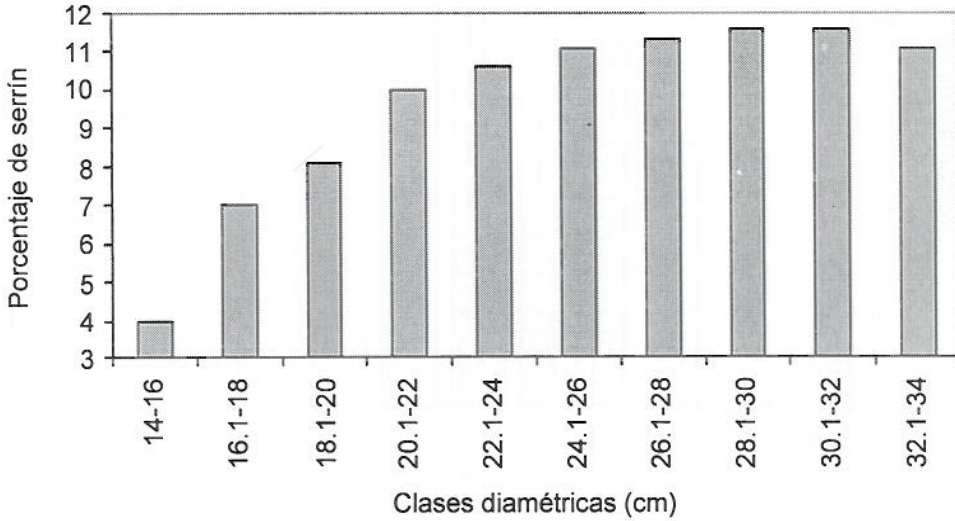


Figura 7. Relación entre clases diamétricas y porcentaje de serrín en el aserradero "La Jagua"

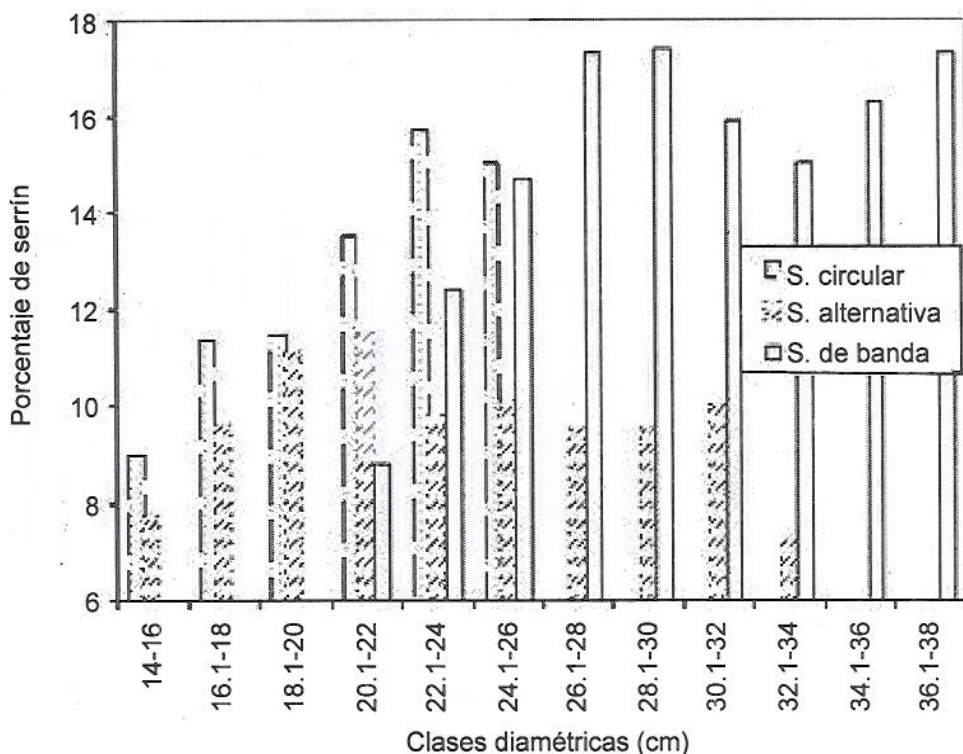


Figura 8. Relación de la clase diamétrica y porcentaje de serrín en el CAI "La Baría".

En la Figura 8, se observa cómo la tecnología que más serrín produce es la sierra circular, consecuencia del grosor más grande de la herramienta de corte. Si se compara la sierra alternativa con a la sierra de banda, resulta que esta última origina una cantidad superior de serrín a pesar de tener menor espesor la herramienta de corte; pero se justifica porque el número de cortes es mayor (Figura 1).

Esto se comprueba al comparar el volumen de serrín del aserradero de "La Jagua", que dispone de sierra de banda simple para producir fundamentalmente tablones y muy pocas tablas; con la línea de sierra de banda múltiple del complejo "La Baría" en el que el despiece consiste en elaborar tablas y cuya producción de serrín es superior en un 25%. Datos que coinciden con los resultados obtenidos por Plank (1985) y Fahey y Ayer (1993), quienes puntualizan la importancia de los esquemas de cortes utilizados en la generación de los desperdicios. Dichos autores citan que las líneas de producción a base de sierras de banda múltiples



como componente principal, y sus equipos en el flujo productivo, ganarán cada vez más espacio en el mercado mundial; al respecto Carpio (2003) apunta que la estrategia nacional en Cuba debe dirigirse hacia la modernización e instalación de plantas de este tipo, según las posibilidades de inversión en el sector maderero.

Al extrapolar los datos de volumen de serrín obtenidos al resto de los aserraderos de cierta importancia existentes en el occidente de Cuba, se obtiene un total de aproximadamente 14,000 m<sup>3</sup> que suponen alrededor de 3,000 toneladas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estimaciones de volumen de serrín en los cuatro aserraderos de mayor capacidad en la provincia de Pinar del Río. Humedad al 50% (b.h).

E.F.I	Centro de producción	Año base	Madera rolliza (m <sup>3</sup> ) (producción)	Volumen de serrín (m <sup>3</sup> )	Peso de serrín (t)
La Palma	La Jagua	2002	6 727,3	636,50	134,00
La Palma	La Baría	2002	32 020,0	4 157,55	875,27
Macurijes	Combates de las tenerías	2002	30 183,0	4 172,17	878,35
Minas de Matahambre	Álvaro Barba Machado	2003	41 172,0	5 336,80	1 123,54
	Total		110 122,3	14 303,02	3 011,19

## CONCLUSIONES

El volumen de serrín que se produce en los aserraderos depende del diámetro de las trozas elaboradas, de la tecnología de sierras empleadas y de los despieces que se realizan en las trozas.

El tipo de herramienta de aserrado y la clase diamétrica de las trozas explican más del 90% de la variabilidad del volumen de serrín producido.

Las ecuaciones lineales dan buenas estimaciones de producción de serrín en relación al diámetro de la troza.

Los residuos de serrín resultantes de la industria de aserrado en el occidente cubano superan los 14,000 m<sup>3</sup> / año y carecen de cualquier uso en la actualidad, pero podrían utilizarse como fuente energética.

## REFERENCIAS

- Álvarez, E. 1999. Perspectivas de aprovechamiento del serrín mediante su transformación hidrolítica y como fuente de biomasa para diversos fines. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba. 150 p.
- Carrasco, J. 2001. La biomasa como recurso renovable para la producción de calor y electricidad. "Tecnologías energéticas e impacto ambiental". Ed. Mc. Graw-Hill Profesional. Madrid, España. pp. 25-38.
- Carpio, F. 2003. Informe de la propuesta preliminar del desarrollo forestal en Pinar del Río. Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. 18 p.
- Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). 2001. Regulaciones del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente sobre el vertido de residuos de la industria forestal. La Habana, Cuba. 22 p.
- Clark III, A.; J. R. Saucier. 1990. Tables for estimating total-tree, stem weights, and volumes of planted and natural southern pines in the southeast. Georgia Forestry Commission. Georgia Forestry Research Paper 79. Macon, GA. USA. 13 p.
- Egas, A. 1998. Consideraciones para el incremento de la eficiencia de la conversión de la madera en rollo de *Pinus caribaea* Moralet en sierras de banda. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba. 116 p.
- Fahey, T. D. and J. K. Ayer Sachet, 1993. Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona an New México. USDA Forest Service Research Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station. Portland, OR. USA. 18 p.
- Gómez, B. 1998. Elementos de la estadística descriptiva. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. 502 p.
- León, M. 1999. Tratamiento económico-matemático en el perfeccionamiento de plantaciones puras, Tesis de Doctorado. Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba. 148 p.
- Márquez, F. 1999. Estudio de las Posibilidades de aprovechamiento del serrín de *Pinus caribaea* Moralet var. *caribaea* en la obtención de carbones activados, Tesis de Doctor. Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba. 157 p.
- Marcos, F. 1985. Aplicación de técnicas multidimensionales a la planificación energética. Rev. Energía. Año XI. N° 4: 97-104.
- Ministerio de Agricultura (MINAGRI) 2003. Informe anual de la estadística forestal del país. Ed. Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. 34 p.

- Ministerio de Agricultura (MINAGRI) 2004. Estadística forestal de la provincia de Pinar del Río. Datos anuales. La Habana, Cuba. 25 p.
- Paterson D., H. V. Wiant Jr. and G. B. Wood 1993. Errors in estimating the volume of butt logs. *Forest Products Journal* 43(3): 41-44.
- Patterson D., W. and J. P. Armstrong. 1994. Predicting equations for determining board foot recovery from saw bolts. *Forest Products Journal* 44(4): 40-42.
- Pearson, K. 1896 Contributions to the mathematical theory of evolution I: On the dissection of asymmetrical frequency curves. *Philosophical Transactions*, A 185, part I. pp. 57-69.
- Plank, M. 1985. Lumber recovery from ponderosa pine in the Black Hills, south Dakota. USDA Forest Service Research pper PNW-328. Pacific Northwest Forest And Range Experiment Station. Portland, OR. USA. 14 p.
- Prodan. M, R. Peters, F. Cox y P. Real 1997. *Mensura Forestal*. San José, Costa Rica. 561 p.
- Van Belle, J. F and Y. Schenkel. 1998. Energy from residues in the forest industry. *Welt Forum Wald*. Schneverdingen, Germany. 3 p.
- Vignote. S y F. Jiménez. 1996. *Tecnología de la Madera*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 602 p.
- Vignote. S y F. Jiménez. 2000. *Tecnología de la Madera*. 2<sup>da</sup> Edición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 600 p.
- Wiant, H. V., Jr., D. W. Patterson, C. C. Hassler, G. B. Wood, and J. C. Rennie. 1996. Comparison of formulas for estimating volumes of butt logs of Appalachian hardwoods. *North. J. Appl. For.* 13(1): 5-7.