

Tiempos y rendimiento en el proceso de aserrado de *Eucalyptus globulus* Labill, con sierra circular y de cinta

(Time and yield on the sawing process of Eucalyptus globulus Labill, with circular and band saw)

Miguel Gualpa¹, José Suatunce², Hayron Canchignia²

Resumen

Con el objetivo de determinar los tiempos y rendimiento en el proceso de transformación de madera en rollo a madera cuadrada de *Eucalyptus globulus* se realizó una investigación utilizando sierra circular (aserradero A) y sierra circular más sierra de cinta (aserradero B). Los tamaños de las muestras fueron de 210 y 205 trozas. Para conocer el tiempo de conversión de las trozas se utilizó el método de vuelta a cero y en el rendimiento se relacionó el volumen aserrado con el volumen en rollo de las trozas. Los resultados indican un comportamiento significativo, cuyos tiempos al procesar 1.000 pt (2.36 m³) son de 112.73 con sierra circular y 167.36 minutos mediante el sistema sierra circular más la sierra de cinta. Con rendimientos de 27.74 % en el aserradero A y de 48.84 % para el aserradero B, es decir, por cada metro cúbico de madera en rollo (m³: r) procesada, se obtuvo 117 pt y 207 pt de madera aserrada, respectivamente. Finalmente, en el aserradero A, a medida que aumentó el diámetro de las trozas, se incrementó el rendimiento y productividad, mientras que en el aserradero B, disminuyó el rendimiento y mostró un comportamiento variable la productividad, debido al diferente número de trozas evaluadas por clase diamétrica en cada fábrica.

Palabras clave

Aserraderos; *Eucalyptus globulus*; madera aserrada; tipo de sierra

Abstract

In order to determine the times and performance in the transformation process of round wood to squared wood of Eucalyptus globulus, a research was carried using circular saw (sawmill A) and circular saw more band saw (sawmill B). The sizes of the samples were 210 and 205 logs. To know the conversion time of the logs, the return-to-zero method was used and in the yield the sawn volume was related to the roll volume of the logs. The result indicate a significant behavior, whose times when processing 1.000 pt (2.36 m³) are of 112.73 with circular saw and 167.36 minutes by means of the circular saw system plus the band saw. With yields of 27.74% in the sawmill A and 48.84% in the sawmill B, means that for each cubic meter of round wood (m³: r) processed, 117 pt and 207 st of sawn wood were obtained respectively. Finally, in the sawmill A, as the diameter of the logs increases, the yield and productivity increase. However, in the sawmill B, the yield diminishes and the productivity showed a variable behavior, due to the different number of logs evaluated by diameter class in each factory.

Keywords

Sawmills; *Eucalyptus globulus*; sawn timber; saw type

1. Introducción

En Ecuador, una de las especies mayormente utilizadas para la elaboración de madera aserrada es el *Eucalyptus globulus* proveniente de plantaciones forestales (López y Muñoz, 2017). En 2011 la producción de madera aserrada fue de 519 000 m³, siendo el producto de mayor crecimiento con el 11 % en comparación con 2010, seguido de madera en rollo con el 1 % (PRO ECUADOR, 2013). Especialmente, se usa para la fabricación de muebles e insumos para la construcción (Ministerio del Ambiente, 2011).

1 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador (miguel.gualpa @esPOCH.edu.ec).

2 Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo-Ecuador ({jsuatunce, hcanchignia} @uteq.edu.ec).

Se obtiene madera dimensionada al utilizar aserraderos de cinta o de disco. En cada fábrica de aserrío es necesario combinar recursos como la maquinaria, recurso humano, fuentes de energía y dinero; durante un tiempo y derivado de un diferente nivel tecnológico son los factores que influyen en la productividad de la transformación primaria y que inciden en los costos de producción (García et al., 2001)

Al estudiar la productividad *Pinus taeda*, con los sistemas de aserradero convencional y optimizado, obtuvieron rendimientos de 44.21% y 53.60 % respectivamente (Murara et al., 2005).

En Riobamba, no se dispone de datos oficiales sobre porcentaje de aprovechamiento por m³ de madera en rollo al utilizar sierras circulares y de cinta o su combinación. Los reportes de investigaciones en eucalipto corresponden a evaluaciones cuantitativas y cualitativas de masas forestales (Guallpa et al., 2016, 2019). Otro estudio indica el nivel de consumo de residuos de eucalipto en la región interandina con valores entre el 34-41.03 % (Guallpa et al., 2018). De acuerdo a lo expuesto, la industria del aserrío en Riobamba requiere información técnica para definir estrategias de manejo y aprovechamiento de trozas de madera de la especie forestal en estudio.

Siendo el tipo de aserrío utilizado, el que determina el grado de aprovechamiento de la materia prima (Ecuador forestal, 2013); este rendimiento en madera aserrada es la relación entre el volumen de madera aserrada obtenido y el volumen de la troza antes del aserrío (Valerio et al., 2007).

Su eficiencia está ligada al tipo de sierra que se emplea más otros factores como el nivel tecnológico de las máquinas utilizadas, el tipo de aserradero, el tipo de procesado de especies (coníferas o latifoliadas) y el diámetro de las trozas pueden afectar el rendimiento de madera obtenida a nivel de aserradero (Vital, 2008).

Aunque la fábrica que no se ocupe de mejorar sus rendimientos y consecuentemente reducir sus costos de producción, asume un serio riesgo de perder en competitividad y paralizar sus actividades por ineficiente (Biasi y Pereira da Rocha, 2007).

La tecnología utilizada incide en el grado de generación y acumulación de residuos forestales propiciando impactos negativos en el aspecto económico y ambiental de las fábricas. En tal sentido, el conocimiento de los indicadores de productividad es de interés en toda administración ya que posibilita que las decisiones sobre el desempeño industrial y uso eficiente de la materia prima sean tomadas anticipadamente ante situaciones adversas, reduciendo gastos y pérdidas en el proceso productivo (Valério et al., 2009).

En la ciudad de Riobamba, con base en la información proporcionada por la oficina Técnica del Ministerio del Ambiente Chimborazo (2018) y verificación *in situ* funcionan alrededor de 30 aserraderos, de los cuales 18 aserraderos (60 %) cuentan con una sierra principal industrial; 4 con sierra circular (13.33 %) y los 8 restantes (26.67 %) están provistos de una sierra principal y de cinta para la transformación de madera rolliza a madera aserrada; sin embargo, no se conoce el efecto que tienen el diámetro, la longitud y la conicidad de la trocería en el grado de aprovechamiento de la materia prima entrante versus las tablas que se obtienen frente a la cantidad de residuos que se generan a causa de la tecnología empleada en el proceso de transformación primaria de la madera, los impactos económicos y ambientales como consecuencia del tipo de tecnología, son las razones que motivaron evaluar los tiempos y rendimientos del proceso de aserrío de madera de eucalipto, y a la vez valorar los tiempos, rendimientos por diámetro y conicidad de las trozas con el propósito de plantear directrices que permitan a mediano y largo plazo incrementar el nivel de productividad.

2. Materiales y métodos

Por las características de las instalaciones con las que cuentan doce aserraderos, se agruparon en cuatro con sierra circular y ocho restantes disponen de una sierra circular y de cinta constituyeron la población objeto de estudio, se consideró la selección de dos aserraderos, el primero se denomina A, está provisto de una sierra circular y el segundo se le nombra B, el cual posee una sierra circular y otra de cinta.

Los dos aserraderos son de propiedad particular y están dedicados a la elaboración y venta de madera aserrada de *E. globulus*, mayormente tablas. Físicamente, las instalaciones se sitúan dentro del cantón Riobamba. El aserradero A se encuentra ubicado a 5 km de la vía Riobamba-Quimiag cerca al desvío a San Gerardo y el aserradero B se localiza a dos cuadras del mercado mayorista de la ciudad de Riobamba.

Geográficamente se ubican en los puntos de referencia: UTM Zona 17S Datum WGS 84 (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación geográfica de los aserraderos del estudio

| Aserraderos | X | Y | Altitud (msnm) |
|-------------|---------|-----------|----------------|
| A | 764 353 | 9 817 384 | 2 750 |
| B | 763 654 | 9 813 400 | 2 745 |

En la investigación se aplicaron los métodos: documental, exploratoria, descriptiva y de campo (Calvache, 2016).

El muestreo de las variables cuantitativas tuvo lugar el primer semestre del año 2018.

2.1. Determinación del tamaño de muestra

En el presente estudio se llevó a cabo un premuestreo con 50 trozas en cada aserradero, con lo cual fue posible estimar el número de trozas necesarias por aserradero (Tabla 2), para alcanzar un error de muestreo menor al 10 % y una confiabilidad de 90 %, se utilizó la Ecuación 1 (Rondeux, 2010).

$$n = \frac{t^2 cv^2}{E^2} \quad (1)$$

Donde:

n = Número de trozas necesarias para estimar el rendimiento de madera aserrada

t = Valor tabular de t-Student a 90 % de confiabilidad

CV= Coeficiente de variación (%)

E = Error de muestreo deseado (%)

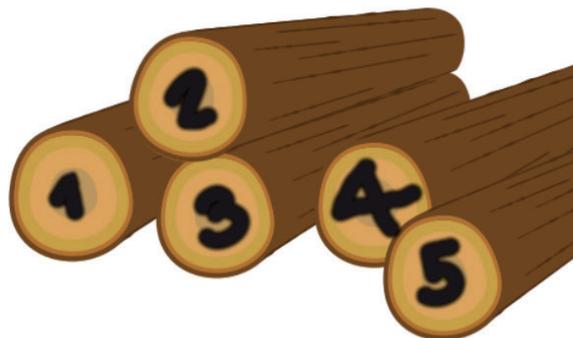
Tabla 2. Número de trozas requeridas por aserradero evaluado

| Aserradero | Trozadas requeridas (n) | Coeficiente de variación (%) | Error de muestreo (%) |
|------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|
| A | 210 | 23.03 | 2.62 |
| B | 205 | 32.98 | 3.81 |
| Suma | 415 | | |

2.2. Selección y marcado de trozas

La selección de las trozas se realizó al azar. Luego de elegidas las trozas a ingresar a la fase de corte se marcaron sus extremos con tiza mediante un número asignado, 15 minutos antes que se inicie con el aserrío de las muestras (Figura 1).

Figura 1. Códigos para la identificación de las muestras

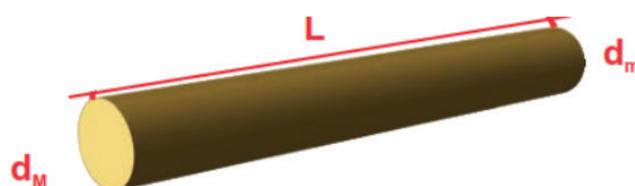


Fuente: (INAB, ITTO, 2016)

2.3. Medición de las trozas

Se realizó con una cinta diamétrica y un flexómetro en el caso de la longitud (Figura 2).

Figura 2. Medición de una sección de madera en rollo



Donde:

d_M = Diámetro mayor

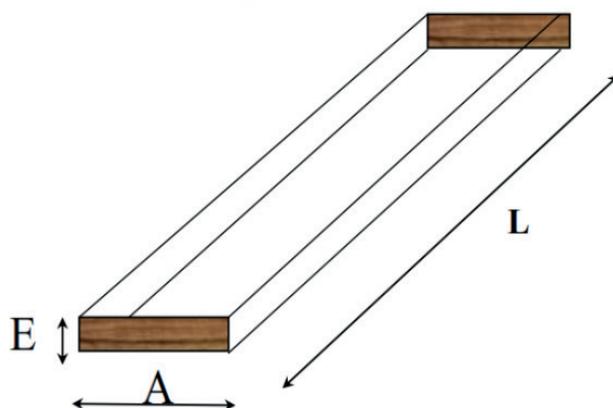
d_m = Diámetro menor

L = Longitud

2.4. Medición de volumen de madera

Mediante la toma de medidas del espesor, ancho, longitud del producto resultante y la cuantificación del número de tablas obtenidas por troza.

Figura 3. Medición de una pieza de madera aserrada



Fuente: (Ecuador forestal, 2010)

Donde:

E = Espesor

A = Ancho

L = Largo

2.5. Registro de tiempos y movimientos

Se utilizó el método de “vuelta a cero”, descrito por Villagómez y García (1986), el cual corresponde a los métodos de muestreo aleatorio, luego de conocer el esquema de operación que se aplica para el proceso de transformación de la madera en cada aserradero se registró los siguientes tiempos y movimientos (Tabla 3).

Tabla 3. Tiempos y movimientos identificados y registrados en los dos aserraderos

| Aserradero A | Aserradero B | Aserradero B |
|--|--|---|
| Proceso completo | Primera fase: sierra circular | Segunda fase: sierra de cinta |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | Tiempo de descargue de trozas en aserradero | Tiempo de carga a sierra de cinta |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | Tiempo de avance |
| Tiempo de carga | Tiempo de carga | Tiempo de retroceso |
| Tiempo de avance | Tiempo de avance | Tiempo de volteos para colocar bloques en la parte superior de la sierra de cinta |
| Tiempo de retrocesos | Tiempo de retrocesos | Tiempo de traslado y apilado de tablas que ingresaron a la sierra de cinta |
| Tiempo de volteos de las trozas | Tiempo de volteos de las trozas | Tiempo justificado en la sierra de cinta |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas | Tiempo de traslado y apilado de bloques | Tiempo no justificado en la sierra de cinta |
| Tiempo justificado | Tiempo Justificado | |
| Tiempo no justificado | Tiempo no justificado | |

A continuación, se describen los tiempos y movimientos registrados en la investigación.

2.6. Tiempo productivo

Tiempo de descargue

Tiempo en segundos que se demora en colocar la troza desde el camión hasta el sitio de almacenamiento provisional.

Tiempo de traslado de troza a equipo

Se registró al tiempo que tomó llevar la troza desde el área de almacenamiento provisional hasta el punto donde se carga la troza al carrete, corresponde una distancia de 2 m aproximadamente.

Tiempo de carga

Se cronometró el tiempo que tomó subir la troza al carrete, la colocación del primer gancho maderero en la troza para acercarla y asegurarla al carro escuadra.

Tiempo de avance del carro escuadra

Se contabilizó el tiempo en que la troza inició el movimiento hacia la sierra circular y culminó cuando se detuvo el movimiento del carro escuadra. Este puede variar en 3 o más tiempos dependiendo de las dimensiones de la troza.

Tiempo de retroceso del carro escuadra

Se registró a partir del regreso del carro escuadra a la posición inicial para empezar un nuevo avance. Las veces que el carro escuadra regrese a la posición inicial.

Tiempo de volteos de las trozas en el carro escuadra

Se tomó en el momento de contacto del gancho maderero para girar la troza en otra posición para buscar otros planos de corte. Este tiempo vario de tres tiempos en adelante dependiendo de las dimensiones de la troza.

Tiempo justificado

Corresponde el tiempo invertido en mantenimiento u otra actividad para resolver imprevistos propios de trabajo.

2.7. Tiempo improductivo

Tiempo no justificado

Se consideró el tiempo empleado para realizar actividades ajenas al proceso de aserrío como descansos, conversación entre operarios y otras distracciones no productivas durante el proceso.

Para la segunda fase de la sierra de cinta se aplicó criterios similares en el registro de los tiempos requeridos de cada sub actividad durante el proceso de conversión de madera en trozas a tablas.

2.8. Cubicación de las trozas

A partir de los datos de sus diámetros: mayor, menor y su longitud, se determinó su volumen individual con corteza, empleando la fórmula de Smalian (Rivas, 2013), mediante la Ecuación 2:

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

Donde:

V = Volumen de la troza (m³)
 DM = Diámetro mayor de la troza (m)
 Dm = Diámetro menor de la troza (m)
 L = Longitud de la troza (m)
 pi = Constante (3.14159)

2.9. Determinación del tiempo de aserrado de 1,000 pies tablares (2.36 m³)

A partir de la información generada en el aserrado de las trozas se determinó el tiempo necesario para aserrar 1.000 pt (2.36 m³) con la Ecuación 3 (Nájera et al., 2011a): 1m³ de madera = 424 pt.

$$T = \frac{1000 Tt}{Va} \quad (3)$$

Donde:

T = Tiempo para aserrar 1.000 pies tablares (min.)
 Tt = Tiempo total de aserrado (min.)
 Va = Volumen aserrado (pt)

2.10. Cubicación de las piezas aserradas

Basándose en las medidas registradas de las piezas resultantes del aserrío se calculó el volumen aserrado (Romahn et al., 1987, citado por Nájera et al., 2012) mediante la Ecuación 4:

$$Va = (g)(a)(l) \quad (4)$$

Donde:

Va = Volumen de la pieza aserrada (m³)
 g = Grueso de la pieza aserrada (m)
 a = Ancho de la pieza aserrada (m)
 l = Longitud de la pieza aserrada (m)

2.11. Determinación del rendimiento de madera aserrada

Con el volumen calculado a partir de las piezas aserradas y el volumen de la materia prima que se empleó, se determinó el rendimiento utilizando la Ecuación 5 (Quirós et al., 2005, citado por Nájera et al., 2012).

$$R = \frac{V_{ta}}{V_{tr}} 100 \quad (5)$$

2.12. Categorías de diámetro y conicidad de las trozas

A fin de establecer las categorías diamétricas de las trozas se consideraron todos los diámetros mínimos con corteza en los patios de almacenamiento provisional, encontrándose valores de 14 a 48 cm, para lo cual se formaron cuatro categorías diamétricas con un rango de 10 cm, y para la conicidad se establecieron seis categorías con intervalos de 1 cm/m. Además, se identificó que no se realiza una selección por diámetros de las trozas antes de iniciar con el proceso de aserrío (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de las trozas en categorías diamétricas y por conicidad

| Categoría diamétrica (cm) | Trozas por categoría (n) | | Categoría de conicidad (cm/m) | Trozas por categoría (n) | |
|---------------------------|--------------------------|-----|-------------------------------|--------------------------|-----|
| | A | B | | A | B |
| Aserradero | | | Aserradero | | |
| 14-25 | 75 | 129 | 0-1 | 119 | 103 |
| 25.1-35 | 79 | 60 | 1.1-2 | 84 | 85 |
| 35.1-45 | 56 | 14 | 2.1-3 | 7 | 10 |
| 45.1-55 | | 2 | 3.1-4 | | 4 |
| | | | 4.1-5 | | 2 |
| | | | 5.1-6 | | 1 |
| Total | 210 | 205 | | 210 | 205 |

3. Resultados y discusión

3.1. Tiempos y rendimientos del proceso de aserrío de madera de eucalipto

Los resultados del tiempo estimado para elaborar 1.000 pt oscilan desde 63.02 a 202.5 minutos al trabajar con sierra circular en el aserradero A. En promedio se requiere 112.73 minutos de los cuales 79.78 corresponden al tiempo productivo, específicamente los avances, y retrocesos del carro escuadra para efectuar los cortes en las trozas más la actividad de volteo de las trozas al utilizar la sierra circular en el aserradero. En el aserradero A de las 210 trozas de eucalipto evaluadas a partir de un volumen de 39.03 m³ r con corteza, se generaron 1254 tablas dando un volumen aserrado de 11.51 m³, valor que corresponde a 4875 pt (Tabla 5).

Tabla 5. Estimadores estadísticos de los tiempos y rendimientos con sierra circular del aserradero A

| Variabes | Media | Desv Std | Máximo | Mínimo | Total |
|--|--------|----------|--------|--------|-------|
| Características de las trozas aserradas | | | | | |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.31 | 0.07 | 0.45 | 0.18 | |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.28 | 0.07 | 0.42 | 0.17 | |
| Longitud de la troza (m) | 2.52 | 0.03 | 2.57 | 2.48 | |
| Volumen con corteza (m ³ ·r) | 0.19 | 0.09 | 0.37 | 0.06 | 39.03 |
| Productos obtenidos del aserrío | | | | | |
| Tablas generadas (n) | 6 | 4 | 15 | 1 | 1254 |
| Volumen de las tablas (m ³) | 0.05 | 0.03 | 0.15 | 0.01 | 11.51 |
| Volumen aserrado (pt) | 23.22 | 14.56 | 62.43 | 3.64 | 4875 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min) en la sierra circular | | | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 13.74 | 6.800 | 30.58 | 2.67 | |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 2.52 | 0.390 | 5.35 | 2.30 | |
| Tiempo de carga | 2.95 | 0.640 | 8.89 | 1.78 | |
| Tiempo de avance | 49.56 | 19.020 | 84.78 | 24.60 | |
| Tiempo de retrocesos | 15.44 | 8.160 | 26.86 | 2.30 | |
| Tiempo de volteos de las trozas | 14.78 | 8.460 | 32.92 | 2.72 | |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas | 1.67 | 0.370 | 2.86 | 1.13 | |
| Tiempo justificado | 9.88 | 6.490 | 40.20 | 0.83 | |
| Tiempo no justificado | 2.19 | 0.920 | 5.31 | 0.86 | |
| Tiempo total de aserrado | 112.73 | | | | |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min) | 112.73 | 34.16 | 202.5 | 63.02 | |
| Rendimiento con corteza (%) | 27.74 | 6.39 | 44.09 | 11.12 | |
| Productividad (m ³ ·h ⁻¹) | 1.17 | 0.47 | 2.57 | 0.25 | |

En cambio, en el sistema sierra circular + sierra de cinta, requiere de 98.2 a 640.48 minutos en el aserradero B. Iniciando con la conversión de trozas a bloques en la sierra circular y posteriormente a tablas en la sierra de cinta, se estimó un tiempo total medio de 167.36 minutos, el tiempo productivo es de 46.16 minutos en la elaboración de bloques, mientras que en la fase complementaria de bloques a tablas su valor proyectado es de 73.07 minutos en la sierra de cinta. En el aserradero B de las 205 trozas de eucalipto evaluadas a partir de un volumen de 27.81m³ r con corteza, se generaron 1130 tablas, lo cual representa un volumen aserrado de 11.97 m³, valor que corresponde a 5069.6 pt (Tabla 6).

Tabla 6. Estimadores estadísticos de los tiempos y rendimientos con sierra circular + sierra de cinta del aserradero B

| Variable | Media | Desv Std | Máximo | Mínimo | Total |
|---|---------------|----------|--------|--------|--------|
| Características de las trozas aserradas | | | | | |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.27 | 0.07 | 0.51 | 0.15 | |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.24 | 0.06 | 0.47 | 0.14 | |
| Longitud de la troza (m) | 2.46 | 0.12 | 2.56 | 2.15 | |
| Volumen con corteza (m³·r) | 0.14 | 0.08 | 0.47 | 0.04 | 27.81 |
| Productos obtenidos del aserrío | | | | | |
| Tablas generadas (n) | 6 | 2 | 10 | 3 | 1130 |
| Volumen de las tablas (m³) | 0.06 | 0.02 | 0.17 | 0.02 | 11.97 |
| Volumen aserrado (pt) | 24.73 | 8.85 | 73.14 | 10.43 | 5069.6 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la fase de sierra circular | | | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 11.48 | 3.78 | 23.53 | 5.51 | |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 3.61 | 2.99 | 23.58 | 0.81 | |
| Tiempo de carga | 4.32 | 3.74 | 25.04 | 1.42 | |
| Tiempo de avance | 20.66 | 9.84 | 62.88 | 4.16 | |
| Tiempo de retrocesos | 12.20 | 8.08 | 53.96 | 2.10 | |
| Tiempo de volteos de las trozas | 13.30 | 35.77 | 513.64 | 1.42 | |
| Tiempo de traslado y apilado de bloques | 1.92 | 0.28 | 2.76 | 1.21 | |
| Tiempo Justificado | 15.47 | 6.24 | 43.81 | 6.84 | |
| Tiempo no justificado | 4.36 | 0.95 | 7.47 | 3.02 | |
| Subtotal proceso sierra circular | 87.32 | | | | |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la fase de sierra de cinta | | | | | |
| Tiempo de carga a sierra de cinta | 2.52 | 1.31 | 5.93 | 0.91 | |
| Tiempo de avance | 30.36 | 12.22 | 61.2 | 14.96 | |
| Tiempo de retroceso | 28.93 | 12.89 | 61.2 | 11.08 | |
| Tiempo de volteos para colocar bloques en la parte superior de la sierra de cinta | 13.78 | 6.42 | 30.91 | 6.98 | |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas que ingresaron a la sierra de cinta | 1.59 | 0.34 | 2.7 | 1.08 | |
| Tiempo justificado en la sierra de cinta | 1.55 | 0.03 | 1.68 | 1.48 | |
| Tiempo no justificado en la sierra de cinta | 1.32 | 0.04 | 1.46 | 1.01 | |
| Subtotal proceso en sierra de cinta | 80.05 | | | | |
| Total procesos de sierra circular y de cinta | 167.37 | | | | |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.) | 167.37 | 56.15 | 640.48 | 98.2 | |
| Rendimiento con corteza (%) | 48.84 | 16.11 | 121.8 | 10.11 | |
| Productividad (m³·h⁻¹) | 0.89 | 0.32 | 2.59 | 0.2 | |

Las diferencias significativas de las variables: tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.), el rendimiento con corteza y la productividad entre los dos tipos de proceso de aserrío evaluados obtuvieron un valor $p < 0.0001$ (Tabla 7). Siendo mejor el tiempo total de aserrado el estimado con la sierra circular, su valor promedio es de 112,75 minutos.

Tabla 7. Prueba de Mann-Whitney a los indicadores de productividad en la operación de aserrío

| Variable | Aserradero | N | Media | Desv Std | Mediana | W | P |
|---------------------------------------|------------|-----|--------|----------|---------|--------|--------|
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt | A | 210 | 112.75 | 34.16 | 98.83 | 56 414 | 0.0001 |
| | B | 205 | 167.36 | 56.15 | 149.59 | | |
| Rendimiento con corteza | A | 210 | 27.74 | 6.39 | 27.95 | 59 371 | 0.0001 |
| | B | 205 | 48.84 | 16.11 | 49.94 | | |
| Productividad del aserrío | A | 210 | 1.17 | 0.47 | 1.16 | 34 060 | 0.0001 |
| | B | 205 | 0.89 | 0.32 | 0.81 | | |

El rendimiento promedio en la producción de tablas escuadradas estimado en los aserraderos evaluados fue de 27.74 % en el aserradero A y de 48.84 % para el aserradero B, cuyos resultados son: por un lado, inferior con el 7.26 % y, por el otro, superior con el 3.84 % en relación a los valores promedio de 35 % y 45 % determinados con similares tipos de aserrío de acuerdo al estudio realizado en la especie *Pinus radiata* por (Aldás, 2014). Al comparar el rendimiento del aserradero B, su valor es ligeramente inferior con el 1.38 % en referencia al 50.22 % reportado para *Eucalyptus spp* al realizar el proceso de transformación primaria con sierra de cinta vertical en un aserradero de Cartago, Costa Rica (Ureña, 2017). Por su parte, De Souza et al. (2007) en su trabajo con *Eucalyptus spp* en el estado de Minas Gerais, Brasil, determinó rendimientos de 38 % con variaciones del 33 a 61 %. Lo anterior significa que por cada metro cúbico de madera en rollo ($m^3 \cdot r$) procesada, se obtuvo 117 pt ($0.277 m^3$) y 207 pt ($0.488 m^3$) de madera aserrada, respectivamente. Al proyectar a 1.000 pt ($2.36 m^3$) de madera aserrada se requieren entre $8 m^3$ de madera en rollo para su aserrío en sierra circular y de $5.49 m^3$ en el sistema sierra circular y de cinta.

En el aserradero A, la productividad varío desde 0.29 a $2.57 m^3$ de madera en rollo por hora efectiva de trabajo con un promedio de $1.17 m^3 \cdot r \cdot h^{-1}$, equivalentes a aserrar $532 pt \cdot h^{-1}$, que distribuidos entre el número de operarios que participan en el proceso, en este caso un promedio de cinco, resulta entonces en una eficiencia de 106 pies tablares/hombre-máquina/hora. En cambio, en el aserradero B, se determinó valores de 0.20 a $2.59 m^3$ de madera en rollo por hora, con un valor promedio de $0.89 m^3 \cdot r \cdot h^{-1}$, valor que corresponde a elaborar $358 pt \cdot h^{-1}$, con cinco operarios trabajando presenta una eficiencia de 72 pies tablares/hombre-máquina/hora en el sistema conformado por una sierra circular y de cinta. La productividad del aserradero B resultó inferior con el 25.21 % en relación al obtenido por Ureña (2017), quién determinó mediante el estudio de 39 trozas de *Eucalyptus spp* con diámetros entre 20 a 55 cm un rendimiento de $1.19 m^3 \cdot r \cdot h^{-1}$

3.2. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica y conicidad de las trozas

Categoría diamétrica del aserradero A

El tiempo total estimado para aserrar 1000 pt (min.) tomó valores desde 85.12, 104.5 y 161.38 min. correspondientes a las categorías diamétricas: 14-25, 25,1-35 y 35,1-45 cm, respectivamente (tabla 8).

Tabla 8. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica en el proceso con sierra circular aserradero A

| Variable | Categoría diamétrica (cm) | | |
|---|---------------------------|---------------|----------------|
| | 14-25 | 25.1-35 | 35.1-45 |
| Características de las trozas aserradas | | | |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.23 (0.03) | 0.31(0.02) | 0.41(0.02) |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.21 (0.02) | 0.29 (0.02) | 0.39 (0.02) |
| Longitud de la troza (m) | 2.52 (0.03) | 2.52 (0.03) | 2.52 (0.03) |
| Volumen total con corteza (m ³ ·r) | 7.19 | 14.25 | 17.58 |
| Productos obtenidos del aserrío | | | |
| Total de tablas generadas (n) | 201 | 416 | 637 |
| Tablas promedio por troza (n) | 3 (1) | 5 (1) | 11 (2) |
| Volumen total de las tablas aserradas (m ³) | 1.83 | 3.8 | 5.87 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la sierra circular | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 12.7 (5.91) | 12.19 (5.68) | 17.34 (8.06) |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 2.35 (0.05) | 2.42 (0.08) | 2.89 (0.6) |
| Tiempo de carga | 2.76 (0.17) | 2.62 (0.18) | 3.67 (0.87) |
| Tiempo de avance | 33.48 (5.44) | 46.38 (12.79) | 75.59 (6.8) |
| Tiempo de retrocesos | 10.17 (6.23) | 16.14 (8.94) | 21.52 (3.36) |
| Tiempo de volteos de las trozas | 9.7 (3.67) | 11.14 (4.08) | 26.72 (5.56) |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas | 1.64 (0.36) | 1.71 (0.39) | 1.68 (0.35) |
| Tiempo justificado | 10.04 (6.18) | 9.64 (5.91) | 9.99 (7.67) |
| Tiempo no justificado | 2.26 (0.91) | 2.29 (1.01) | 1.97 (0.75) |
| Total proceso sierra circular | 85.1 | 104.53 | 161.37 |
| Indicadores de productividad en la operación de aserrío | | | |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.) | 85.12 (9.93) | 104.5 (19.68) | 161.38 (14.33) |
| Rendimiento con corteza (%) | 24.57 (7.3) | 26.88 (4.29) | 33.18 (3.51) |
| Productividad (m ³ ·h ⁻¹) | 0.73 (0.29) | 1.21 (0.23) | 1.69 (0.34) |

Con los resultados obtenidos, se distingue un aumento del tiempo de aserrado a medida que se incrementa el volumen de madera procesada, como ocurrió con el tiempo de la tercera categoría diamétrica, el cual se amplía en 1.54 veces en relación con el tiempo (104.5 min.) de la segunda clase diamétrica al trabajar con sierra circular (tabla 8). La tendencia del rendimiento con corteza muestra un incremento desde 24.57, 26.88 y 33.18 % a medida que aumenta el diámetro de las trozas de forma general en el aserradero A. Siendo el diámetro de la troza uno de los factores de incidencia en el proceso de aserrío (Álvarez et al., 2003). En referencia a la variable productividad (m³·h⁻¹) al aserrar con sierra circular, esta se incrementa a medida que aumenta la clase diamétrica, con valores desde 0.73 m³·h⁻¹ en la categoría de 14-25 hasta 1.69 m³·h⁻¹ para el rango entre 35.1-45 cm (Tabla 8), confirman lo determinado por Biasi y Rocha (2003) quienes evaluaron el rendimiento de madera aserrada de *Pinus elliottii* en base a cuatro clases de diámetro (8-18 cm, 14-24 cm, 20-32 cm y 33-45 cm), determinaron un incremento de productividad con el aumento de las clases diamétricas.

Categoría diamétrica del aserradero B

Los tiempos totales proyectados para aserrar 1000 pt (min.), en el aserradero B son de 146.88, 189.4, 240.49 y 315,35 minutos correspondientes a las categorías diamétricas: 14-25, 25.1-35, 35.1-45 y 45.1-55 cm respectivamente.

Tabla 9. Tiempos y rendimientos por categoría diamétrica con sierra circular + sierra de cinta del aserradero B

| Variable | Categoría diamétrica (cm) | | | |
|---|---------------------------|---------------|----------------|----------------|
| | 14-25 | 25.1-35 | 35.1-45 | 45.1-55 |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.23 (0.03) | 0.31(0.03) | 0.43(0.03) | 0.5 (0.01) |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.21 (0.03) | 0.28 (0.2) | 0.38 (0.03) | 0.47 (0.01) |
| Longitud de la troza (m) | 2.44 (0.14) | 2.48 (0.09) | 2.49 (0.02) | 2.51 (0.01) |
| Volumen total con corteza (m ³ ·r) | 11.85 | 10.61 | 4.42 | 0.92 |
| Productos obtenidos del aserrío | | | | |
| Total de tablas generadas (n) | 632 | 383 | 102 | 13 |
| Tablas promedio por troza (n) | 5 (1) | 6 (1) | 7 (1) | 7 (2) |
| Volumen total de las tablas aserradas (m ³) | 6.44 | 4.29 | 1.11 | 0.13 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la sierra circular | | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 11.20 (3.71) | 11.86 (3.78) | 12.65 (4.22) | 9.92 (5.9) |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 3.02 (2.43) | 4.33 (2.87) | 3.80 (1.4) | 18.05 (7.83) |
| Tiempo de carga | 3.58 (2.89) | 5.25 (4.54) | 6.32 (4.96) | 10.26 (2.77) |
| Tiempo de avance | 17.64 (7.24) | 24.97 (10.81) | 25.77 (10.37) | 50.54 (17.459) |
| Tiempo de retrocesos | 11.88 (6.67) | 13.99 (10.86) | 7.48 (3.07) | 11.95 (4.93) |
| Tiempo de volteos de las trozas | 13.79 (44.67) | 11.86 (7.33) | 11.27 (8.28) | 38.2 (11.77) |
| Tiempo de traslado y apilado de bloques | 1.83 (0.19) | 2.02 (0.32) | 2.27 (0.34) | 2.36 (0.00) |
| Tiempo justificado | 15.19 (5.80) | 15.84 (7.39) | 16.66 (5.29) | 13.89 (4.18) |
| Tiempo no justificado | 4.3 (0.95) | 4.46 (0.99) | 4.55 (0.65) | 4.33 (1.29) |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la sierra de cinta | | | | |
| Tiempo de carga a sierra de cinta | 1.91 (0.57) | 3.11 (1.41) | 5.19 (0.42) | 5.9 (0.05) |
| Tiempo de avance | 24.6 (4.80) | 35.77 (13.26) | 56.23 (3.08) | 58.51 (3.8) |
| Tiempo de retroceso | 22.73 (5.17) | 35.03 (13.84) | 55.91 (4.41) | 56.7 (1.5) |
| Tiempo de volteos para colocar bloques en la parte superior de la sierra de cinta | 10.89 (2.92) | 16.35 (6.90) | 27.24 (0.72) | 29.18 (2.45) |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas que ingresaron a la sierra de cinta | 1.44 (0.22) | 1.70 (0.20) | 2.26 (0.51) | 2.63 (0.1) |
| Tiempo justificado en la sierra de cinta | 1.54 (0.03) | 1.55 (0.03) | 1.54 (0.03) | 1.56 (0.01) |
| Tiempo no justificado en la sierra de cinta | 1.32 (0.03) | 1.31 (0.05) | 1.32 (0.04) | 1.38 (0.1) |
| Tiempo total en la sierra circular y de cinta | 146.86 | 189.4 | 240.46 | 315.36 |
| Indicadores de productividad en la operación de aserrío | | | | |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.) | 146.88 (49.60) | 189.4 (45.05) | 240.49 (20.05) | 315.35 (35.61) |
| Rendimiento con corteza (%) | 55.47 (13.35) | 41.22 (13.19) | 25.34 (6.54) | 14.45 (6.13) |
| Productividad (m ³ ·h ⁻¹) | 0.86 (0.29) | 0.96 (0.38) | 0.81 (0.23) | 0.52 (0.26) |

Se asume, de manera general, que a medida que aumenta el volumen procesado se requiere de más tiempo para su aserrado. El comportamiento del rendimiento con corteza muestra una disminución cuando aumenta el diámetro de las trozas cuyos valores se encuentran desde 55.47 % (14-25 cm) hasta 14.45 % (45.1-55 cm), resultados que obedecen a un diferente número de trozas agrupadas fundamentalmente para las clases diamétricas de 35.1-45 cm y 45.1-55 cm respectivamente (Tabla 9).

Las trozas al transformarse a madera aserrada sin aplicar ningún tipo de clasificación ni definición adecuada de un modelo de corte para cada clase diamétrica, tal condición, causa la disminución de su nivel aprovechamiento, lo cual genera una mayor cantidad de subproductos del proceso (Rocha, 2002). En cambio, la variable productividad al aserrar con el sistema sierra circular y de cinta, muestra un comportamiento irregular que se incrementa en la segunda clase diamétrica (25.1-35 cm) con $0.10 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ en referencia al valor 0.86 que corresponde a la primera categoría diamétrica, luego disminuye a 0.81 y $0.52 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, valores pertenecientes a la tercera y cuarta clase diamétrica, las cuales tuvieron un menor número de trozas para su evaluación en el aserradero B. El menor tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.), se registró en la clase diamétrica de 14-25 cm del aserradero A provisto de sierra circular con el valor promedio de 85.12 min., y el mayor tiempo total de aserrado se determinó para la clase diamétrica de 46-55 cm en el aserradero B, cuyo proceso de operación utiliza el sistema sierra circular y de cinta con el índice de 315.35 min. (Tabla 9).

Conicidad de trozas del aserradero A

Con sierra circular el tiempo total de aserrado para 1000 pt, tiene un comportamiento similar al presentar valores estimados de 114.35 minutos, 110.75 y 109.44 minutos pertenecientes a las categorías de conicidad de 0-1, 1.1-2 y 2.1-3 cm (Tabla 10). Asimismo, las variables rendimiento y productividad mostraron similitud con valores de 27.12 %, 28.3 %, 31.48 % y de 1.15, 1.19 y de $1.27 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ para las tres clases agrupadas como parte de la investigación (Tabla 10).

Tabla 10. Tiempos y rendimientos por conicidad de trozas en el aserradero A

| Variable | Categorías de conicidad de las trozas (cm) | | |
|---|--|----------------|----------------|
| | 0-1 | 1.1-2 | 2.1-3 |
| Características de las trozas aserradas | | | |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.31 (0.07) | 0.31 (0.07) | 0.32 (0.07) |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.29 (0.07) | 0.28 (0.07) | 0.26 (0.07) |
| Longitud de la troza (m) | 2.52 (0.02) | 2.52 (0.03) | 2.52 (0.02) |
| Volumen total con corteza ($\text{m}^3\cdot\text{r}$) | 22.51 | 15.3 | 1.22 |
| Productos obtenidos del aserrío | | | |
| Total de tablas generadas (n) | 706 | 503 | 45 |
| Volumen total de las tablas aserradas (m^3) | 6.48 | 4.62 | 0.4 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la sierra circular | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 14.34 (7.42) | 12.99 (6.04) | 12.72 (3.24) |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 2.98 (0.46) | 2.50 (0.26) | 2.51 (0.35) |
| Tiempo de carga | 2.96 (0.73) | 2.92 (0.5) | 2.82 (0.59) |
| Tiempo de avance | 49.56 (18.83) | 48.95 (19.65) | 49.46 (16.61) |
| Tiempo de retrocesos | 15.49 (8.51) | 15.57 (7.65) | 13.21 (8.93) |
| Tiempo de volteos de las trozas | 15.00 (8.66) | 14.3 (8.19) | 16.8 (9.02) |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas | 1.68 (0.4) | 1.68 (0.34) | 1.54 (0.21) |
| Tiempo justificado | 10.12 (7.37) | 9.67 (5.17) | 8.20 (4.66) |
| Tiempo no justificado | 2.20 (0.89) | 2.19 (0.98) | 2.18 (0.61) |
| Total proceso sierra circular | 114.33 | 110.77 | 109.44 |
| Indicadores de productividad en la operación de aserrío | | | |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.) | 114.35 (35.95) | 110.75 (32.19) | 109.44 (27.81) |
| Rendimiento con corteza (%) | 27.12 (6.2) | 28.3 (6.52) | 31.48 (6.93) |
| Productividad ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) | 1.15 (0.45) | 1.19 (0.49) | 1.27 (0.53) |

Conicidad de trozas del aserradero B

El tiempo total de aserrado para 1000 pt en el aserradero B, se determinó que aumenta cuando se incrementa el grado de conicidad variando desde 154.06 minutos (0-1 cm/m) hasta 282.62 minutos, para la categoría diamétrica de 5-6 (cm/m). Mientras que el rendimiento presentó un comportamiento atípico al mostrar valores desde 52.52 % perteneciente a la primera categoría de conicidad (0-1 cm/m), para la segunda clase de conicidad (1.1-2 cm/m) su valor disminuye al 45.62 %, luego se incrementa al 48.82 % (2.1-3 cm/m) y se reduce en la sexta clase de conicidad (5.1-6 cm/m) con el 28.28 % (Tabla 11).

Tabla 11. Tiempos y rendimientos por conicidad de trozas en el aserradero B

| Variable | Categorías de conicidad de las trozas (cm) | | | | | |
|---|--|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| | 0-1 | 1.1-2 | 2.1-3 | 3.1-4 | 4.1-5 | 5.1-6 |
| Características de las trozas aserradas | | | | | | |
| Diámetro mayor con corteza (m) | 0.24 (0.05) | 0.29 (0.07) | 0.33 (0.1) | 0.38 (0.09) | 0.41 (0.07) | 0.41 (0.00) |
| Diámetro menor con corteza (m) | 0.23 (0.05) | 0.25 (0.07) | 0.27 (0.09) | 0.3 (0.08) | 0.31 (0.07) | 0.27 (0.00) |
| Longitud de la troza (m) | 2.47 (0.11) | 2.49 (0.14) | 2.49 (0.11) | 2.48 (0.03) | 2.32 (0.24) | 2.48 (0.00) |
| Volumen total con corteza (m³-r) | 11.47 | 12.76 | 1.22 | 0.95 | 0.51 | 0.24 |
| Productos obtenidos del aserrió | | | | | | |
| Total de tablas generadas (n) | 536 | 482 | 65 | 25 | 15 | 7 |
| Volumen total de las tablas aserradas (m ³) | 5.67 | 5.07 | 0.66 | 0.35 | 0.14 | 0.07 |
| Tiempo para aserrar en la sierra circular 1000 pt (min.) | | | | | | |
| Tiempo de descargue de trozas en aserradero | 11.29 (3.99) | 11.52 (3.68) | 12.22 (2.28) | 14.32 (2.23) | 13.43 (0.94) | 5.75 (0.00) |
| Tiempo de traslado de troza a la sierra circular | 3.21 (2.72) | 3.87 (3.23) | 4.19 (1.66) | 3.67 (1.54) | 4.37 (3.17) | 14.6 (0.00) |
| Tiempo de carga | 4.42 (3.58) | 4 (3.86) | 5.53 (3.27) | 6.13 (7.15) | 3.93 (2.59) | 2.12 (0.00) |
| Tiempo de avance | 20.25 (9.58) | 20.41 (9.69) | 22.61 (11.57) | 22.14 (10.41) | 25.89 (8.77) | 48.53 (0.00) |
| Tiempo de retrocesos | 13.25 (7.31) | 11.25 (8.85) | 10.03 (6.16) | 10.66 (12.36) | 15.01 (13.85) | 6.29 (0.00) |
| Tiempo de volteos de las trozas | 11.3 (6.6) | 16.35 (55.06) | 9.97 (6.54) | 7.5 (4.49) | 10.83 (6.28) | 20.14 (0.0) |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas | 1.89 (0.23) | 1.92 (0.28) | 1.99 (0.51) | 2.23 (0.39) | 2.12 (0.33) | 1.89 (0.0) |
| Tiempo justificado | 15.51 (6.41) | 15.49 (6.32) | 16.21 (4.34) | 14.11 (6.19) | 9.21 (2.54) | 20.22 (0.0) |
| Tiempo no justificado | 4.28 (0.97) | 4.4 (0.94) | 4.41 (0.47) | 4.97 (1.17) | 4.97 (0.39) | 6.21 (0.0) |
| Subtotal proceso en sierra circular | 85.4 | 89.21 | 87.16 | 85.73 | 89.76 | 125.75 |
| Tiempo para aserrar 1000 pt (min.) en la sierra de cinta | | | | | | |
| Tiempo de carga a sierra de cinta | 2.1 (0.88) | 2.81 (1.46) | 3.21 (1.76) | 3.73 (1.61) | 5.38 (0.65) | 4.93 (0.00) |
| Tiempo de avance | 26.16 (7.76) | 32.89 (13.39) | 37.2 (16.2) | 48.81 (15.57) | 53.84 (2.79) | 59.61 (0.00) |
| Tiempo de retroceso | 24.3 (8.37) | 31.9 (13.8) | 36.85 (16.74) | 44.85 (21.6) | 53.66 (2.79) | 60.53 (0.00) |
| Tiempo de volteos para colocar bloques en la parte superior de la sierra de cinta | 11.73 (4.48) | 15.22 (7.02) | 16.57 (8.89) | 20.04 (8.34) | 26.16 (1.92) | 26.15 (0.00) |
| Tiempo de traslado y apilado de tablas que ingresaron a la sierra de cinta | 1.51 (0.26) | 1.6 (0.34) | 1.74 (0.49) | 2.15 (0.41) | 2.26 (0.62) | 2.70 (0.00) |
| Tiempo justificado en la sierra de cinta | 1.54 (0.03) | 1.55 (0.04) | 1.55 (0.04) | 1.53 (0.02) | 1.55 (0.02) | 1.58 (0.00) |
| Tiempo no justificado en la sierra de cinta | 1.32 (0.05) | 1.32 (0.03) | 1.31 (0.01) | 1.33 (0.06) | 1.33 (0.00) | 1.39 (0.00) |
| Subtotal proceso en sierra de cinta | 68.66 | 87.29 | 98.43 | 122.44 | 144.18 | 156.89 |
| Total procesos sierra circular y de cinta | 154.06 | 176.5 | 185.59 | 208.17 | 233.94 | 282.64 |
| Tiempo total de aserrado para 1000 pt (min.) | 154.06 (33.51) | 176.5 (71.99) | 185.58 (51.52) | 208.17 (61.18) | 233.94 (25) | 282.62 (0.00) |
| Rendimiento con corteza (%) | 52.52 (12.64) | 45.62 (16.7) | 48.82 (31.91) | 37.08 (3.31) | 29.97 (7.7) | 28.28 (0.00) |
| Productividad (m ³ -h ⁻¹) | 0.89 (0.28) | 0.88 (0.38) | 0.91 (0.27) | 0.99 (0.27) | 0.75 (0.23) | 0.58 (0.00) |

Resultados obtenidos debido a la incidencia promovida por el mayor número de trozas agrupadas en la primera categoría de conicidad con un número de 103 en contraste con la categoría de 5.1-6 donde se contabilizó una sola troza (Tabla 11).

La variable productividad presentó un comportamiento semejante entre la primera y segunda categoría de conicidad con valores de 0.89 y 0.88 m³·h⁻¹, posteriormente se incrementa para la categoría de 3.1-4 con 0.99 m³·h⁻¹ hasta disminuir a un valor de 0.58 m³·h⁻¹ correspondiente a la clase de 5.1- 6 cm/m. Resultados que coinciden en relación a lo expuesto por Manhiça et al. (2012), quienes indican que la conicidad incide sobre las primeras piezas aserradas después de retirar las costeras siempre presentan una forma irregular, y que al cuadrarlas generalmente se reducen en anchos y largos, propiciando la obtención de rendimientos relativamente bajos en ciertas clases diamétricas o en el rendimiento general del aserrado.

El efecto de la conicidad se cumple de forma parcial, según lo expresado por Liu y Zhang (2005) y Álvarez et al. (2010), quienes puntualizan que la conicidad de la troza es una de las variables que inciden en los rendimientos de madera aserrada.

3.3. Prueba de Mann Whitney

Al aplicar la Prueba de Mann Whitney se distingue dos diferencias significativas para el diámetro mayor y menor de las trozas entre los dos aserraderos ($p < 0.0001$). En cambio, la conicidad no presentó efectos significativos ($p = 0.436$; tabla 12) sobre el rendimiento en madera aserrada eucalipto

Tabla 12. Prueba de Mann Whitney para el diámetro mayor, menor y la conicidad de las trozas

| Variable | Aserradero | n | Media | Desv Std | Mediana | W | P |
|-----------|------------|-----|-------|----------|---------|--------|--------|
| D. Max. m | A | 210 | 0.31 | 0.07 | 0.3 | 35 734 | 0.0001 |
| | B | 205 | 0.27 | 0.07 | 0.26 | | |
| D. Mín. m | A | 210 | 0.28 | 0.07 | 0.28 | 35 483 | 0.0001 |
| | B | 205 | 0.24 | 0.06 | 0.23 | | |
| Conicidad | A | 210 | 1.00 | 0.76 | 0.93 | 35 483 | 0,436 |
| | B | 205 | 1.12 | 0.93 | 1.00 | | |

4. Conclusiones y recomendaciones

Los tiempos estimados para procesar 1.000 pt (2.36 m³) es menor con el 32.64% al trabajar con sierra circular del aserradero A, en referencia a los 167.36 minutos del aserradero B, con 46.16 minutos para la elaboración de bloques en la sierra circular, y de 73.07 minutos en la fase complementaria de bloques a tablas con la sierra de cinta. En cambio, en el rendimiento resultó superior en el aserradero B, con el 21.1 % en relación 27.74 % del aserradero A, por cada metro cúbico de madera en rollo (m³·r) procesada, se obtuvo 207 pt (0.488 m³) y 117 pt (0.277 m³) de madera aserrada respectivamente.

En el aserradero A, a medida que aumenta el diámetro de las trozas existe un incremento en el rendimiento y productividad, en cambio en el aserradero B, no evidencia influencia del diámetro en el rendimiento de la madera aserrada, debido al diferente número de trozas valoradas por clase diamétrica en cada fábrica.

El efecto del diámetro mayor y menor fue significativo para las clases diamétricas evaluadas, pero la conicidad no fue significativa al momento de elaborar tablas de eucalipto utilizando los sistemas sierra circular en el aserradero A y el sistema combinado sierra circular más sierra de cinta del aserradero B.

Desarrollar estudios complementarios de tiempos y rendimientos que implica la conversión de madera en rollo a madera aserrada de eucalipto y otras especies a nivel de aserradero considerando la agrupación de trozas por clases diamétricas, longitud de trozas, su calidad, conicidad, los sistemas combinados de sierra circular más la de cinta, y otros factores tendientes a reducir costos de producción y la mejora del proceso de aserrío para otros aserraderos con similares instalaciones o procesos.

Bibliografía

- Aldás, G. (2014). *Rendimiento en el proceso de transformación de madera rolliza a madera escuadrada de pino (Pinus radiata D. Don), con dos tipos de aserradero, en la ciudad de Riobamba*. Tesis de pregrado. Facultad de Recursos Naturales. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Álvarez, D., Andrade, F., Chávez, P., Estévez, I., y García, J. M. (2003). Análisis matemático para elevar la eficiencia de los aserraderos con sierras de banda. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1):89-94.
- Álvarez, D., Estévez, I., Domínguez, A., García, O., Alaejos, J., y Rodríguez, J. C. (2010). Improvement of the lumber recovery factory with low environmental impact in Pinar del Río, Cuba. *The International Forestry Review* 12(5): 303.
- Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., y Robledo, C. W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*. Córdoba, Argentina: Brujas.
- Biasi, C. P.; Rocha, M. P. (2003). Rendimiento em madeira serrada de *Pinus elliottii*. Congresso Florestal Brasileiro, 8, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: [s.n.].
- Biasi, C. P., y Pereira Da Rocha, M. (2007). Rendimiento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. *Floresta*, 37(1): 95-108.
- Calvache, J. (2016). *La investigación científica como alternativa en la formación profesional*. Bogotá, Colombia: CEPUN.
- García, J. D., Morales, L., y Valencia, S. 2001. *Coefficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco*. Foresta-AN. Nota técnica Núm. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.
- Guallpa, M., Rosero, S., Samaniego, M., y Cevallos, E. (2016). Caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, Riobamba, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7 (3), 26-40.
- Guallpa, M., Rosero, S., Montenegro, G., y Quinchuela, D (2018). Estimación de los residuos forestales en los aserraderos de tres cantones, Zona 3 interandina, Ecuador. *European Scientific Journal*, 14 (30), 228-239.
- Guallpa, M., Lara, N., Espinoza, M., Guilcapi, E., y Fosado, O. (2019). Valoración cualitativa de una plantación de *Eucalyptus globulus* Labill en el sector de Licto, Riobamba, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 4 (4), 126-152.
- Ecuador Forestal. (Mayo de 2010). *Organización Ecuador Forestal*. <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Instructivo-Cubicaci%C3%B3n-de-Madera.pdf>
- Ecuador Forestal. (Julio de 2013). *Organización Ecuador Forestal*. http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2013/03/PE_Industrias.pdf
- INAB, ITTO, 2016. Guía para estudios de rendimiento de transformación primaria. Guatemala, SERIE TÉCNICA GT-011 (2016) 47 paginas.

- López, N., y Muñoz, J. (2017). La producción forestal una actividad con alto potencial en el Ecuador requiere un cambio de visión. *Bosques Latitud Cero*, 7 (1), 69-76.
- Liu, C. y Zhang, S. Y. (2005). Models for predicting product recovery using selected tree characteristics of black spruce. *Canadian Journal Forest Resources* 35: 930-937.
- Manhiça, A. A., Pereira Da Rocha, M., y Timofeiczky-Júnior, R. (2012). Rendimiento no desdoble de *Pinus sp.* utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. *Floresta*, 42 (2): 409-420.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2011. *Descripción de las Cadenas Productivas de Madera en el Ecuador*. Quito. 95p, Quito: MAE-ITTO.
- Murara Junior, M., Rocha, M. P., y Timofeiczky Junior, R. (2005). Rendimiento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdoble. *Floresta* 35 (3): 473- 483.
- Nájera, J., Aguirre, O., Treviño, E., Jiménez, J., Jurado, E., y Corral, J. (2011). Rendimiento volumétrico y calidad dimensional de la madera aserrada en aserraderos de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4): 75-89.
- Nájera, J., Adame, G., Méndez, J., Vargas, B., Cruz, F., Hernández, F., y otros. (2012). Rendimiento de la madera aserrada en dos aserraderos privados de El Salto, Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes México*, 20 (55): 11-23.
- PRO ECUADOR. (2013). *Muebles y productos de madera – Pro Ecuador*. Obtenido de <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Perfiles-de-Inversiones-Promocion-de-Inversiones/Perfiles-de-Inversion/Muebles-y-Productos-de-Madera.pdf>
- Rocha, M. (2002). *Técnicas e planejamento de serrarias*. Serie didáctica 02/01. FUPEP, Curitiba. 121p.
- Romahn de la V. C. F., Ramírez, M., y Treviño, J. L. (1987). *Dendrometría*. Serie de apoyo académico Núm. 26. División de Ciencias Forestales., Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Rondeux, J. (2010). *Medición de árboles y masas forestales*. España: Mundi- Prensa.
- Rivas, D. (2013). "Guía de cubicación de madera". Consultado el 10 de marzo de 2018. Disponible en http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA_DE_CUBICACION_MADERA.pdf
- Scanavaca, L., y García, J. (2003). Rendimiento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, 63: 32-43.
- Valério, A., Farinha, W., Tavalca, C., y H, S. (2007). *Cuantificação de resíduos e rendimento no desdoble de Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze. *Floresta*, 37 (3): 387-398.
- Valério, Á. F., Watzlawick, L. F., Balbinot, R.; Wincker, M. V., y Filho, A. F. (2009). Modelagem para a estimativa do rendimento no desdoble de toras de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze. *Floresta*, 39(3): 619-628
- Vignote, P., y Martínez, R. (2005). *Tecnología de la madera*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa Libros.
- Villagómez, L., y García, A. (1986). El estudio de trabajo y su aplicación en las operaciones de abastecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México*, 59(11): 162-180.
- Ureña, K. (2017). *Análisis del rendimiento y eficiencia actual en la producción de madera aserrada, en el aserradero El Almendro, Cartago, Costa Rica*. Tesis de pregrado. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vital, B. R. (2008). *Planejamento e operação de serrarias*. Viçosa, MG, Editora UFV.