

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Administración de Agronegocios
Ingeniería en Administración de Agronegocios



Proyecto Especial de Graduación
Estudio de Rendimiento de Transformación Primaria de Madera, en el
Aserradero Americano S.A, Huehuetenango, Guatemala

Estudiante

Edgar De Jesus Castillo Camposeco

Asesores

Julio Rendón, M.B.A

Rommel Reconco D.D.E

Honduras, julio 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

RAUL SOTO

Director del Departamento de Administración de Agronegocios

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Introducción.....	11
Metodología.....	14
Determinación de la Muestra	14
Muestreo.....	14
Cuantificación de Troza.....	14
Medición de Trozas.....	14
Volumetría	15
Procesamiento de Troza	15
Marcaje de Trozas.....	15
Escuadrado de Trozas	16
Obtención de Productos de Primera Clase	16
Obtención de Productos Secundarios.....	17
Cuantificación de Productos Forestales.....	17
Cubicación de Madera Aserrada.....	17
Cubicación de Lepas.....	18
Cubicación de Aserrín	18
Análisis Descriptivo	19
Tabulación de Datos.....	19
Estadística Descriptiva	19
Media	19
Desviación Estándar	19
Coefficiente de Variación	20
Error de Muestreo	20
Límite de Confianza Inferior.....	21

Límite de Confianza Superior	21
Regresión Lineal	21
Discusión y Resultados.....	22
Rendimiento de Transformación en cedro (<i>Cedrela Odorata. L</i>)	22
Volumen de Madera en Rollo	22
Volumen de Madera Aserrada.....	23
Volumen de Madera	23
Volumen de Tabloncillos.....	25
Volumen de Vigas	26
Volumen de Duelas	26
Volumen de Lepas.....	26
Volumen de Aserrín	27
Rendimiento.....	28
Rendimiento de Transformación Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii, Rose.</i>).....	30
Volumen de Madera en Rollo	30
Volumen de la Madera Aserrada	31
Volumen de Tablas.....	31
Volumen de Tabloncillos.....	33
Volumen de Duelas	33
Volumen de Lepas.....	34
Volumen de Aserrín	35
Rendimiento.....	36
Rendimiento de Transformación de Encino (<i>Quercus peduncularis</i>)	37
Volumen de Madera en Rollo	37
Volumen de Madera Aserrada.....	38
Volumen de Tablas.....	38

Volumen de Tabloncillos.....	39
Volumen de Vigas	40
Volumen de Duelas	40
Volumen de Lepas.....	41
Volumen de Aserrín	42
Rendimiento.....	43
Análisis Descriptivo	44
Análisis Descriptivo de Cedro (Cedrela odorata L.).....	44
Análisis Descriptivo de Palo blanco (Cybistax donell -Smimithii Rose.).....	45
Análisis Descriptivo de Encino (Quercus peduncularis).....	46
Fórmula de Regresión Lineal.....	47
Modelo Matemático de Cedro (cedrela odorata L.).....	48
Modelo Matemático de Palo Blanco (Cybistax donell -Smimithii Rose.).....	49
Modelo Matemático de Encino (Quercus Peduncularis)	50
Conclusiones	53
Recomendaciones.....	54
Referencias.....	55

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Cuantificación de volumen para madera en rollo en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	22
Cuadro 2 Cuantificación volumen para producto "Tabla" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	23
Cuadro 3 Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	25
Cuadro 4 Cuantificación de volumen para producto "Viga" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	26
Cuadro 5 Cuantificación de volumen para producto "duela" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	26
Cuadro 6 Cuantificación para producto "Lepa" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	26
Cuadro 7 Cuantificación de volumen para producto "aserrín" en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.).....	27
Cuadro 8 Determinación de rendimientos de transformación primaria para cedro (<i>Cedrela odorata</i>).	28
Cuadro 9 Cuantificación de volumen para troza en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii</i> , Rose).....	30
Cuadro 10 Cuantificación de volumen para producto "tabla" en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii</i> , Rose.).....	31
Cuadro 11 Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-</i> <i>Smithii</i> , Rose.).....	33
Cuadro 12 Cuantificación de volumen para producto "duela" en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii</i> , Rose.).....	33
Cuadro 13 Cuantificación de volumen para producto "lepa" en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii</i> , Rose.).....	34
Cuadro 14 Cuantificación de volumen para producto "aserrín" en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-</i> <i>Smithii</i> , Rose.).....	35
Cuadro 15 Cuantificación de rendimiento de transformación primaria para en Palo blanco (<i>Cysbistax donell-Smithii</i> , Rose.).....	36
Cuadro 16 Cuantificación de volumen para troza en Encino (<i>Quercus peduncularis</i>).....	37
Cuadro 17 Cuantificación de volumen para producto "tabla" en Encino (<i>Quercus peduncularis</i>).	38

Cuadro 18	Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en Encino (<i>Quercus peduncularis</i>).	39
Cuadro 19	Cuantificación de volumen para producto "viga" en Encino (<i>Quercus peduncularis</i>)... ..	40
Cuadro 20	Cuantificación de volumen para producto "duela" en Encino (<i>Quercus peduncularis</i>). ..	40
Cuadro 21	Cuantificación de volumen para producto "lepa" en encino (<i>Quercus peduncularis</i>). .	41
Cuadro 22	Cuantificación de volumen para producto "aserrín" en encino (<i>Quercus peduncularis</i>).	42
Cuadro 23	Cuantificación de rendimiento de transformación primaria para encino (<i>Quercus peduncularis</i>).	43
Cuadro 24	Análisis descriptivo de rendimiento en cedro (<i>Cedrela odorata</i>).	44
Cuadro 25	Análisis descriptivo de rendimiento en Palo blanco (<i>Cybistax donell -Smimithii</i> Rose.)	45
Cuadro 26	Análisis descriptivo de rendimiento en encino (<i>Quercus peduncularis</i>).....	46
Cuadro 27	Máximos de rendimiento según especie y mercado de destino.	47

Índice de Figuras

Figura 1 Medición de diámetros utilizados en la fórmula de Smalian para determinación de volumen en troza.....	14
Figura 2 Marcaje de troza para trazabilidad	16
Figura 3 Productos primarios del aserrío.....	16
Figura 4 Producto secundario "aserrín"	17
Figura 5 Producto secundaria "lepa"	17
Figura 6 Modelo de regresión lineal para cedro (<i>C. odorata</i> L.)	48
Figura 7 Modelo de regresión lineal para palo blanco (<i>Cybastax donell -Smimithii</i> Rose.)	49
Figura 8 Modelo de regresión para Encino (<i>Quercus peduncularis.</i>)	50

Resumen

El estudio de transformación primaria de la madera realizado en el aserradero “El americano S.A” ubicado en el departamento de Huehuetenango, Guatemala, usando el aserradero Wood Mizer LT15 para las especies de (*Cedrela odorata L.*), (*Cybistax donell -Smimithii Rose.*) y (*Quercus peduncularis.*) se centró en la determinación del rendimiento primario, la asociación del rendimiento y madera en troza, así como también en el acuerdo de regencia No. 42.2003 que establece parámetros para la fiscalización forestal por rendimientos. Se muestreó la madera en rollo de las tres especies evaluadas, a las muestras se tomaron métricas para volumetría, luego del proceso de aserrío se cuantificaron los productos y desechos, finalizando con el análisis de rendimiento. Los rendimientos mostraron diferencias significativas entre especie, asociándose a factores intrínsecos. Los valores de rendimiento determinados fueron, 55.37% en cedro (*C. odorata L.*), 41.77% para palo blanco (*C. donell -Smimithii Rose*) y 45.44% para encino (*Q. peduncularis*), el análisis mostró un grado alto de asociación positiva, las regresiones obtenidas fueron $y = 0.2475x^2 + 0.3304x + 0.0187$ para cedro, $y = 0.4766x^2 + 0.1381x + 0.0333$ para palo blanco y para encino fue $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$, las ecuaciones de regresión permiten proyectar el volumen de madera aserrada en función de la madera de ingreso. Finalmente, en consideración al acuerdo de gerencia No. 42.2003 los rendimientos obtenidos en cedro superan el 45% del límite establecido por la legislación, la especie palo blanco se encuentra por debajo del límite, y el encino superó ligeramente el parámetro máximo.

Palabras clave: regencia, fiscalización, madera en rollo

Abstract

The study of primary wood processing carried out at the sawmill "El Americano S.A." located in the department of Huehuetenango, Guatemala, using the Wood Mizer LT15 sawmill for the species of (*Cedrela odorata L.*), (*Cybistax donell -Smimithii Rose.*) and (*Quercus peduncularis.*) focused on the determination of primary yield, the association of yield and log wood, as well as regency agreement No. 42.2003 that establishes parameters for forest monitoring by yield. Roundwood of the three species evaluated was sampled, metrics were taken from the samples for volumetrics, and after the sawmilling process, products and waste were quantified, ending with yield analysis. Yields showed significant differences between species, associated with intrinsic factors. The yield values determined were 55.37% for cedar (*C. odorata L.*), 41.77% for palo blanco (*C. donell -Smimithii Rose*) and 45.44% for oak (*Q. peduncularis*), the analysis showed a high degree of positive association, the regressions obtained were $y = 0.2475x^2 + 0.3304x + 0.0187$ for cedar, $y = 0.4766x^2 + 0.1381x + 0.0333$ for palo blanco and for oak it was $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$, the regression equations allow projecting the volume of sawn timber as a function of income timber. Finally, in consideration of the management agreement No. 42.2003, the yields obtained in cedar exceed 45% of the limit established by the legislation, the palo blanco species is below the limit, and the oak slightly exceeded the maximum parameter.

Key words: regency, audit, roundwood, log wood

Introducción

La madera constituye una materia prima de relevancia en la economía mundial, siendo indispensable en todos los países, desde los industrializadas hasta en los países en vías de desarrollo, las estadísticas muestran el alto valor de los mercados forestales, en la UNECE (formada por los 56 estados de América del Norte, Europa y la llamada Comunidad de Estados Independientes -CIS que actualmente ocupan el territorio que fue la URSS) cerca de 300.000 millones US\$ de actividad económica depende de la producción de materias primas procedentes de la gestión de masas forestales. Las actividades económicas del “sector forestal” incluyendo silvicultura, gestión forestal, industria de la madera e industria de la pasta y el papel suponen el 1% del PIB en Europa y América del Norte y el 0,8% para Rusia. El Valor añadido por el sector forestal de la UNECE es de 285.000 millones US\$, del que el más del 80% corresponde a las industrias de la madera y el papel. En algunos países la contribución al PIB del sector forestal es netamente superior a la media. Este es el caso de países como Finlandia (5,7%), Suecia (3,8%), Estonia (3,7%), Letonia (3,4%), Canadá (2,7%), Bosnia y Herzegovina (2,5%), Lituania (2,4%), Austria, República Checa (2,1%) (Picos, 2013).

Además, si a la importancia de la madera en la economía se añaden los retos de este siglo que en su mayoría de veces se centran en la optimización de procesos, que a su vez buscan ampliar las ganancias obtenidas o disminuir el efecto que se genera sobre el ambiente, cada vez más se observan los esfuerzos orientados a adecuar las organizaciones al complejo escenario en que se mueven. Cambios de reglas de juego, incremento de la competencia, apertura al mundo a través de la tecnología, hacen los mercados más exigentes, modificando las demandas y necesidades (Mallar, 2010), por lo mencionando anteriormente la empresa Aserradero el Americano S.A, ubicada en Huehuetenango departamento de la república de Guatemala, busca dimensionar la efectividad de sus procesos para tener información pertinente en la cual basarse para prever y reaccionar frente a los cambios en los mercados de madera a los cuales se dirige.

El proceso de mayor interés es la eficiencia de la transformación primaria de tres especies forestales, cedro (*Cedrela odorata* L.), palo blanco (*Cyristax donell-smithii*) y encino (*Quercus*

peduncularis) estas especies atienden a que la utilización de especies latifoliadas se ha incrementado en los últimos años, entre ellas, las más utilizadas son: *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Cybixtax donnell smithii*, *Calophyllum brasiliense*, *Pseudobombax ellipticum*, *Pithecolobium arboreum*, *Pithecolobium leucocalix* y *Terminalia amazonia* (Melgar, 2003), la transformación primaria consiste básicamente en el proceso que sufre la madera en rollo en el aserradero para ser madera lista para su uso en otros procesos subsiguientes.

La gestión en la transformación primaria de la madera en rollo es vital porque que el buen aprovechamiento de la materia prima es relevante para la industria forestal, dado que alrededor de 50 % de los costos corresponden a la madera en rollo. Por lo tanto, la eficiencia en su transformación es un tema fundamental en el manejo de una empresa (Silva Guzman et al., 2014), este proceso se gestiona comparando estadísticamente el volumen de madera ingresado con la cantidad de madera aserrada, debido a la naturaleza de la madera en la transformación primaria, dichos volúmenes se establece con análisis de regresión debido a que dicho método es muy útil en la elaboración de tablas de volumen, principalmente porque el volumen del árbol es una variable difícil de medir mediante los métodos convencionales. Sin embargo, este puede ser calculado a partir de una variable fácil de medir como el diámetro y su relación con el volumen utilizando el análisis de regresión, para posteriormente con los datos obtenidos dimensionar las pérdidas de madera durante la transformación, esto permite analizar el proceso para su optimización.

Metodológicamente el análisis de rendimiento en la producción de madera aserrada en la empresa puede ser cuantificada mediante dos indicadores los cuales son el rendimiento o factor de recuperación de la madera (FRM), el cual es el volumen de madera aserrada obtenida con respecto al volumen de la troza y la productividad que es representada por el volumen de madera que se obtiene de un determinado tiempo de trabajo.

Lo mencionado aborda la problemática planteada, estableciendo consecuentemente como fin el estudiar preliminarmente el rendimiento obtenido de las especies mencionados durante la transformación primaria en el aserradero Wood Mizer LT15 perteneciente a la empresa involucrada,

esto incluye estimar el rendimiento de las tres especies en troza y formular un análisis de regresión que permita optimizar el proceso, así como brindar herramientas para la toma de decisiones en el mercado perteneciente.

En base a todo lo expuesto se definieron los siguientes objetivos para el estudio de rendimiento primario bajo el aserradero Wood Mizer LT15.

Determinar el rendimiento de transformación primaria de las especies latifoliadas cedro (*Cedrela odorata L.*), palo blanco (*Cybistax donell-smithii*) y encino (*Quercus peduncularis*) utilizando el aserrado Wood Mizer LT15 para cumplir con la fiscalización forestal.

Determinar el grado de asociación entre el volumen de madera en rollo y el volumen de madera aserrada, así como la regresión lineal correspondiente para las tres especies evaluadas en el aserradero Wood Mizer LT15 para proyectar rendimientos de transformación.

Determinar si las especies evaluadas cumplen con los criterios establecidos por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) para evaluar el rendimiento de transformación primaria según el acuerdo de gerencia No. 42.2003.

Metodología

El instituto Nacional de Bosques define dos formas de cuantificación de volumen para productos forestales, la directa que mensura individualmente las trozas y la indirecta que cuantifica volúmenes conjuntos (Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2019), para el estudio se realizaron mediciones individuales sobre una muestra.

Determinación de la Muestra

Para el estudio de rendimiento se refiere a la cantidad de unidades muestrales (trozas) que se analizarán durante el mismo. La cantidad mínima de unidades muestrales de acuerdo con la fórmula establecida para poblaciones infinitas con un margen de error de muestreo del 10% y un nivel de confianza del 90% es de 32 trozas. Por lo cual ese debe ser el mínimo para estudios de rendimiento. Considerando que se debe realizar un estudio para cada especie que transforme la empresa. (INAB, 2016)

Muestreo

Se realizó un muestreo aleatorio simple sobre el conjunto de trozas a evaluar, marcándolas para su identificación posterior en la cuantificación de productos primarios y secundarios.

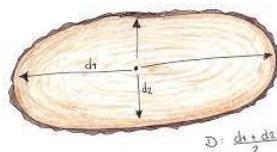
Cuantificación de Troza

Medición de Trozas

Los valores de interés a medir en las trozas para la estimación de volumen es el largo y el diámetro, el primero fue medido de extremo a extremo, en el caso del diámetro debido a la forma irregular de las trozas se midió en diámetro máximo y mínimo.

Figura 1

Medición de diámetros utilizados en la fórmula de Smalian para determinación de volumen en troza.



Nota. Tomado de INAB (2016)

Volumetría

La estimación del volumen de las trozas se generó con la fórmula de Smalian, la cual evalúa las secciones máxima y mínima del diámetro, así como la correspondiente longitud del troza (Riaño Melo y Lizarazo, 2016) bajo la expresión:

$$V = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{D1+D2}{2} \right) * L \quad [1]$$

Donde:

V = Volumen de la troza (m³)

π = Constante Pi, equivalente a 3.1416

D1=Diámetro promedio del extremo menor de la troza (m)

D2=Diámetro promedio del extremo mayor de la troza (m)

L = Largo de la troza (m) en metros lineales

Finalmente, los datos se añadieron al registro establecido para la cuantificación del volumen de trozas en base a la especie evaluada.

Procesamiento de Troza

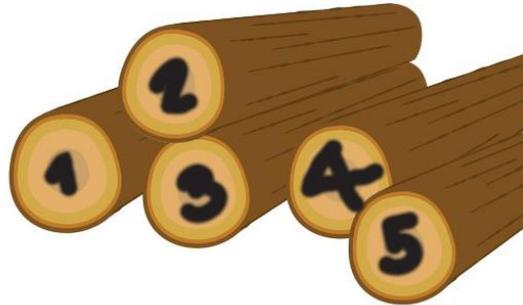
Las trozas previamente cuantificadas siguieron el proceso de transformación estándar en el aserradero Wood Mizer LT15, detallado a continuación:

Marcaje de Trozas

Se realizó la identificación de las trozas mediante enumeración correlativa según el ingreso al aserradero, para el marcaje se utilizó pintura en aerosol de color rojo.

Figura 2

Marcaje de troza para trazabilidad



Nota. Tomado de INAB (2016).

Escuadrado de Trozas

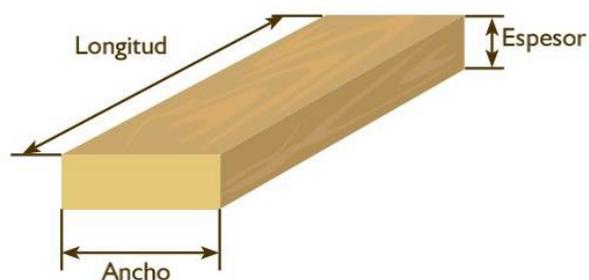
La troza se procedió a colocar sobre la plataforma de fijación del aserradero, el proceso inició con el escuadrado para la posterior obtención de los productos primarios, el escuadré consistió básicamente en cortar longitudinalmente las partes irregulares de las trozas.

Obtención de Productos de Primera Clase

Los denominados productos de primera o productos primarios que consisten en tablas, tablancillos, vigas y duelas (todos son paralelepípedos rectangulares variando solo en las dimensiones longitud, espesor y ancho) se obtuvieron en el proceso gradual de aserrío de la troza, la cantidad obtenida fue variante según la especie y dimensiones iniciales de la troza.

Figura 3

Productos primarios del aserrío



Nota. Tomado de INAB (2016)

Obtención de Productos Secundarios

Se obtuvieron dos productos secundarios, los primeros en obtenerse del procesamiento fueron las lepas, resultantes del escuadre de las rozas, el segundo fue el aserrín que se obtuvo durante todos los cortes efectuados sobre la madera.

Figura 4

Producto secundario "aserrín"



Nota. Tomado de INAB (2016)

Figura 5

Producto secundaria "lepa"



Nota. Tomado de INAB (2016)

Cuantificación de Productos Forestales

Cubicación de Madera Aserrada

Para la cuantificación del volumen de madera aserrada se utilizó la siguiente fórmula, considerando la siguiente expresión:

$$V = L(m) * A(m) * E(m) \quad [2]$$

Donde:

V= Volumen en (m³)

L=Longitud (m)

A=Ancho de la pieza en (m)

E=Espesor o grosor de la pieza(m)

Para la volumetría en pies tablares se aplicó el factor de conversión 424 que define la cantidad de pies tablares por metro cubico.

$$Pt = Volumen * 424 \quad [3]$$

Donde:

Pt=Pies tablares

V=Volumen en (m³)

424= Constante (Pies tablares en un metro cubico)

Cubicación de Lepas

Para la estimación de lepas se usó la fórmula establecida en los casos anteriores diferenciándose en la aplicación del factor de espaciamento, denominándose así a un valor numérico que estima el volumen absoluto en base al volumen aparente.

$$Va = altura * ancho * largo * 0.57 \quad [4]$$

Donde:

Va(m³) = volumen aparente de un cubo en (m³)

V(m³) =volumen total estimado

0.57= factor de espaciamento.

Cubicación de Aserrín

En la cubicación se tomó como base una figura cónica modificada por el correspondiente factor de espaciamento de 0.37.

$$V = \frac{\pi}{3} * 3 * r^2 * H * 0.37 \quad [5]$$

Donde:

V= volumen de aserrín

$$\pi/3= 1.04772$$

Radio (r)= diámetro/2

H= altura del cono

Análisis Descriptivo

Tabulación de Datos

Los datos previamente registrados se tabularon en hojas de cálculo en base al número correlativo y la especie, posteriormente se aplicaron las fórmulas definidas con anterioridad para la estimación de volúmenes tanto de la troza como de los productos obtenidos durante el aserrío.

Una variable de interés para el levantamiento es el coeficiente de rendimiento, calculado en base a los volúmenes de la madera en bruto y el volumen de la madera neta, descartando los volúmenes asociados a los productos secundarios, se usó la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente de rendimiento} = \frac{m^3 \text{ de madera aserrada}}{m^3 \text{ de madera en troza}} \quad [6]$$

Estadística Descriptiva

Se generó la estadística descriptiva para el porcentaje de rendimiento como variable de interés.

Media

La media aritmética hace referencia al promedio de porcentaje de rendimiento por lo que se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum(X)}{n} \quad [8]$$

Donde:

X= Volumen por troza (m³)

n= Numero de trozas evaluadas

Desviación Estándar

Es el índice de dispersión más usado para medir la desviación de los valores individuales con respecto a la media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n-1}} \quad [7]$$

Donde:

X=Volumen por troza

n=Numero de muestra

Coefficiente de Variación

Es un índice usado para medir la dispersión en términos relativos y equivale a expresar la desviación estándar como porcentaje de la media.

El coeficiente de variación permitió comparar la variabilidad de poblaciones que tienen diferentes medias calculándolo con la fórmula siguiente:

$$CV = \left(\frac{S}{\bar{X}} \right) * 100 \quad [8]$$

S= Desviación estándar

X= Media aritmética

Error estándar de la media muestral.

Así como la desviación estándar mide el promedio de las desviaciones de las observaciones individuales con respecto a la media muestral, el error estándar mide el desvío de las medias muestrales respecto de la media poblacional, y se calcula por la fórmula:

$$SE \bar{X} = \left(\frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad [9]$$

Error de Muestreo

El error de muestreo se generó efecto de no haber evaluado de la madera correspondiente todas las unidades muestrales.

$$Em = (Sx) * (t) \quad [10]$$

Donde:

t= Valor t de Student (Depende del nivel de confianza requerido y de los grados de libertad)

Error de muestro con porcentaje a la media

El error de muestreo relativo es el error de muestreo expresado en porcentaje, y se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$Em\% = (Em/X) * 100 \quad [11]$$

Límite de Confianza Inferior

$$LCs = \bar{x} - Em \quad [12]$$

Límite de Confianza Superior

$$LCs = \bar{x} + Em \quad [13]$$

Regresión Lineal

Se tomó como variable independiente el volumen de troza y como dependiente la cantidad de madera aserrada.

Utilizando el software estadístico Excel se realizó el cálculo del coeficiente de Pearson para la determinación del grado de asociación entre las variables de interés, posteriormente se calculó la regresión lineal que define dicha asociación para el correspondiente análisis según la especie evaluada.

Discusión y Resultados

Durante el proceso del estudio de rendimiento se evaluaron tres especies los cuales son (*Cedrela Odorata, L*), (*Cysbistax donell-Smithii, Rose.*) y (*Quercus peduncularis*), debido a que tiene una gran importancia económica en la industria el Americano S.A.

Rendimiento de Transformación en cedro (*Cedrela Odorata. L*)

Volumen de Madera en Rollo

El resultado de la volumetría por cada una de las de las unidades experimentales se presentan en la siguiente tabla:

Cuadro 1

Cuantificación de volumen para madera en rollo en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Largo (m)	Volumen (pt)	Volumen(m ³)
1	40.64	50.8	2.5	174.0236	0.4104
2	39.37	40.64	2.5	133.2368	0.3142
3	43.5	58.5	2.85	246.8544	0.5822
4	39.5	46.5	2.6	160.0907	0.3776
5	40.5	45	2.05	124.7619	0.2942
6	26.5	32.5	1.07	31.0087	0.0731
7	42	56	1.73	138.3229	0.3262
8	23.5	27	1.7	36.0934	0.0851
9	26.5	29.5	1.3	33.9403	0.08
10	26.5	29	1.85	47.441	0.1119
11	21	21.5	2.4	36.0898	0.0851
12	22.5	27.5	1.3	27.057	0.063
13	18.5	20.5	1.33	16.8413	0.0397
14	37	40	2.13	105.1373	0.248
15	36	37.5	1.65	74.2086	0.175
16	69	70.5	3.9	631.8424	1.4902
17	75.5	87	2.6	571.5784	1.3481
18	64	66.5	2.35	333.1844	0.7858
19	62	67	2.6	360.204	0.8495
20	28	32.5	1.4	42.6613	0.1006
21	53	52	2.5	229.4639	0.5412
22	43	44.5	1.95	124.2929	0.2931
23	69.5	75.5	2.65	463.8501	1.094
24	49.5	54	1.65	147.15	0.3471
25	30.5	35.5	2.4	87.0352	0.2053
26	38.5	47	2.2	133.8908	0.3158
27	33	42.5	2.5	118.6396	0.2798
28	33.5	36.5	1.25	50.992	0.1203
29	33.5	37	2.35	97.2393	0.2293
30	32.5	33	1.3	46.4325	0.1095
31	42.5	52	2.55	189.5831	0.4471
32	40.5	43	2.3	133.5047	0.3149
Total				5146.652	12.1383

En el cuadro anterior, se presenta la cuantificación volumétrica en el que se analizaron 32 trozas de la especie de (*Cedrela Odorata, L*) que presentaron una amplia variedad de longitudes, oscilando entre un mínimo de 1.07 metros y un máximo de 3.90 metros. Los diámetros promedio se encontraron en un rango de 40.0 cm a 44.95 cm. Se determinó que la muestra de 32 piezas de madera mostró un volumen mínimo de 0.0397 m³ y un máximo de 1.4904 m³. El volumen promedio obtenido de todas las unidades de muestreo fue de 0.3811 m³

Volumen de Madera Aserrada

Volumen de Madera

Cuadro 2

Cuantificación volumen para producto "Tabla" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	22.86	2.54	2.5	9	55.3934	0.1306
	17.78	2.54	2.5	1	4.7871	0.0113
	16.51	2.54	2.5	1	4.4452	0.0105
	26.67	2.54	1.65	1	4.7392	0.0112
	21.59	2.54	1.58	1	3.6737	0.0087
	18.29	2.54	0.98	1	1.9304	0.0046
	8.89	2.54	0.88	1	0.8425	0.002
	21.59	2.54	2.01	1	4.6736	0.011
2	24.13	2.54	2.5	6	38.9806	0.0919
	24.13	3.81	2.5	1	9.7451	0.023
	19.05	2.54	1.74	1	3.5698	0.0084
	16.51	2.54	2.47	1	4.3918	0.0104
	16.51	2.54	2.5	1	4.4452	0.0105
	13.97	2.54	2.5	1	3.7613	0.0089
	11.43	2.54	0.95	1	1.1694	0.0028
3	30.48	2.54	2.85	6	56.132	0.1324
	25.4	2.54	2.85	2	15.5922	0.0368
	20.32	2.54	1.83	1	4.0047	0.0094
4	30.84	2.54	2.83	6	56.3964	0.133
	25.4	2.54	2.83	1	7.7414	0.0183
	25.4	2.54	2.43	1	6.6472	0.0157
5	27	3.91	1.96	6	52.6397	0.1242
	15.24	2.54	1.3	1	3.0036	0.0071
	17.78	2.54	1.52	1	2.9105	0.0069
	17.7	2.54	0.91	1	1.7347	0.0041
	20.32	2.54	1.83	1	4.0047	0.0094
6	12.7	2.54	0.91	2	2.4893	0.0059
	15.24	2.54	0.91	3	4.4807	0.0106

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
7	34.5	3	1.7	10	74.6028	0.176
	20.32	3	1.22	1	3.1533	0.0074
	17.78	3	0.91	1	2.0581	0.0049
	7.62	3	0.61	1	0.5913	0.0014
	7.62	3	1.52	1	1.4733	0.0035
	25.4	3	1.22	1	3.9417	0.0093
	12.7	3	0.61	1	0.9854	0.0023
8	12.7	2.54	0.91	1	1.2446	0.0029
	10.16	2.54	0.61	1	0.6675	0.0016
	12.7	2.54	1.31	1	1.7917	0.0042
9	15.24	2.54	0.91	1	1.4936	0.0035
	17	3	1.29	1	2.7895	0.0066
10	12	2.54	1.8	1	2.3262	0.0055
12	15	2.54	1.26	1	2.0355	0.0048
13	13	2.54	0.9	1	1.26	0.003
	20	2.54	1.1	1	2.3693	0.0056
14	13	2.54	0.9	1	1.26	0.003
	20	2.54	1.1	1	2.3693	0.0056
	20	2.54	1.4	1	3.0155	0.0071
	20	2.54	2.1	1	4.5232	0.0107
	25	3	2.1	1	6.678	0.0158
	17	3	2.1	1	4.541	0.0107
	17	3	2.1	1	4.541	0.0107
15	24	3.5	1.55	1	5.5205	0.013
	24.5	2.7	1.55	1	4.3474	0.0103
16	42	3	3.8	18	365.4202	0.8618
	31	3	3.8	1	14.9842	0.0353
	36	3	3.8	1	17.401	0.041
	38	3	3.8	1	18.3677	0.0433
	51	3	3.8	2	49.3027	0.1163
	27	3	3.8	1	13.0507	0.0308
17	55	3	2.5	9	157.41	0.3713
	23	3	2.5	1	7.314	0.0173
	39	3	2.5	1	12.402	0.0293
	55	3	2.5	9	157.41	0.3713
	25	3	2.5	1	7.95	0.0188
18	45	3	2.3	9	118.4868	0.2795
	40	3	2.3	3	35.1072	0.0828
	35	3	2.3	2	20.4792	0.0483
19	45	3.5	2.6	1	17.3628	0.041
	45	3	2.6	12	178.5888	0.4212
	32	3	2.6	3	31.7491	0.0749
20	16	2	1.63	4	8.8463	0.0209
21	23	3	2	14	81.9168	0.1932
	23	3.5	2	4	27.3056	0.0644
22	32	3	1.9	10	77.3376	0.1824
23	40	3	2.6	1	13.2288	0.0312
	50	3	2.6	13	214.968	0.507
	50	3	2.6	1	16.536	0.039
25	19	3	2.37	8	45.8225	0.1081
26	29	3	2.2	8	64.9229	0.1531
	20	3	2.2	1	5.5968	0.0132

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
27	20	3	2.54	8	51.6941	0.1219
	20	3.5	2.54	2	15.0774	0.0356
28	25	3	1.25	6	23.85	0.0563
	17	3.5	1.25	3	9.4605	0.0223
29	19	3	2.3	1	5.5586	0.0131
	24	3.5	2.3	1	8.1917	0.0193
	27	3.5	2.3	6	55.2938	0.1304
30	20	3	1.32	8	26.8646	0.0634
31	10	3	2.2	1	2.7984	0.0066
	20	3	2.5	2	12.72	0.03
	20	3	2.1	1	5.3424	0.0126
	32	3	2.5	5	50.88	0.12
	27	3	2.5	1	8.586	0.0203
	22	3	2.5	1	6.996	0.0165
32	21	3	2.15	3	17.2292	0.0406
	26	3	2.15	7	49.7734	0.1174

En el cuadro 2, se presentan los resultados sobre la cantidad de tablas obtenidas a partir del aserrado de 30 unidades muestrales, excluyendo las trozas 11 y 13 debido a que no se obtuvieron tablas de ellas. Las dimensiones de las tablas obtenidas varían en cuanto al ancho, con un rango de entre 7.62 cm y 55 cm, al grosor, con un rango de entre 2 cm y 3.91 cm, y a la longitud, con un rango de entre 0.61 m y 3.80 m. En total, se obtuvieron 292 tablas a partir de las 30 trozas aserradas, lo que hace un volumen total de 6.2025 m³.

Volumen de Tabloncillos

Cuadro 3

Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
3	30.48	4.50	2.85	3	49.7232	0.1173
17	55.00	5.00	2.50	1	29.1500	0.0688

En el cuadro3, se muestra la cantidad de tabloncillos obtenidos en las unidades muestrales, concretamente en las trozas 3 y 17. En estas dos unidades, se obtuvo un volumen total de 0.1860 m³.

Volumen de Vigas

Cuadro 4

Cuantificación de volumen para producto "Viga" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
6	16.50	10.50	1.01	1	7.419258	0.0175
8	11.50	12.00	1.67	1	9.771504	0.0230
9	17.00	17.00	1.30	1	15.92968	0.0376
10	12.00	12.00	1.83	1	11.173248	0.0264
12	17.00	17.00	1.30	1	15.92968	0.0376
13	9.00	9.00	1.30	1	4.46472	0.0105
14	16.00	16.00	2.10	1	22.79424	0.0538
20	16.00	16.00	1.40	1	15.19616	0.0358

En el cuadro 4, se muestra la cuantificación volumétrica de vigas obtenidas mediante el aserrado. Las dimensiones de las vigas presentan diferentes medidas con relación al ancho, con un mínimo de 9 cm y un máximo de 17 cm; al grosor, con un mínimo de 9 cm y un máximo de 17 cm; y a la longitud, con un mínimo de 1.01 metros y un máximo de 2.10 metros.

Volumen de Duelas

Cuadro 5

Cuantificación de volumen para producto "duela" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
	36.00	2.00	1.65	7	35.2598	0.0832
24	27.00	2.00	1.65	4	15.1114	0.0356
	36.00	1.50	1.65	1	3.7778	0.0089

En el cuadro 5, se puede observar que en la unidad experimental número 24 se obtuvieron un total de 12 duelas, lo que representa un volumen total de 0.1277 m³.

Volumen de Lepas

Cuadro 6

Cuantificación para producto "Lepa" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Volumen(pt)	Volumen (m ³)
1	31	15	2.4	26.9715	0.0636
2	25	10	2.45	14.8029	0.0349
3	50	20	2.8	67.6704	0.1596
4	40	23	2.65	58.9216	0.139

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Volumen(pt)	Volumen (m ³)
5	60	13	2	37.7021	0.0889
6	40	13	1	12.5674	0.0296
7	30	15	1.6	17.401	0.041
8	30	16	1.65	19.1411	0.0451
9	30	12	1.28	11.1366	0.0263
10	35	16	1.8	24.3613	0.0575
11	30	15	1.68	18.271	0.0431
12	20	10	1.25	6.042	0.0143
13	30	10	1.25	9.063	0.0214
14	45	15	1.9	30.9955	0.0731
15	35	14	1.5	17.7635	0.0419
16	70	12	3.8	77.1443	0.1819
17	66	18	2.5	71.779	0.1693
18	60	14	2.2	44.6625	0.1053
19	57	12	2.5	41.3273	0.0975
20	40	10	1.4	13.5341	0.0319
21	40	18	2	34.8019	0.0821
22	30	16	1.95	22.6212	0.0534
23	60	16	2.5	58.0032	0.1368
24	55	18	1.6	38.2821	0.0903
25	30	16	2.3	26.6815	0.0629
26	45	12	2.1	27.4065	0.0646
27	43	14	2.3	33.463	0.0789
28	33	11	1.1	9.6503	0.0228
29	36	10	2	17.401	0.041
30	48	10	1.2	13.9208	0.0328
31	58	16	2.5	56.0698	0.1322
32	61	13	2.15	41.2052	0.0972

En el cuadro anterior se presenta, las lepas resultantes después del proceso de aserrado presentan diferentes dimensiones en cuanto al ancho, con un mínimo de 20 cm y un máximo de 70 cm; al espesor, con un mínimo de 10 cm y un máximo de 23 cm.

Volumen de Aserrín

Cuadro 7

Cuantificación de volumen para producto "aserrín" en cedro (Cedrela odorata L.).

No. Troza	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen aserrín (m ³)
1	58	30	0.0098
2	51	28	0.0071
3	48	31	0.0069
4	62	32	0.0119
5	60	35	0.0122
6	35	18	0.0021
7	55	31	0.0091
8	28	17	0.0013
9	24	14	0.0008
10	41	24	0.0039
11	48	21	0.0047

No. Troza	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen aserrín (m ³)
12	28	19	0.0014
13	32	15	0.0015
14	60	30	0.0105
15	55	32	0.0094
16	86	48	0.0344
17	100	58	0.0562
18	71	38	0.0186
19	98	52	0.0484
20	40	22	0.0034
21	66	40	0.0169
22	63	30	0.0115
23	100	47	0.0455
24	58	33	0.0108
25	50	31	0.0075
26	42	29	0.005
27	53	31	0.0084
28	45	21	0.0041
29	40	21	0.0033
30	36	18	0.0023
31	85	31	0.0217
32	74	26	0.0138

En el cuadro 7, se presentan los resultados del rendimiento del aserrín obtenido al final del proceso de aserrado de la madera de la especie de cedro (*Cedrela odorata* L). El volumen total obtenido en el estudio fue de 0.4041 m³, correspondiente al total de unidades muestrales evaluadas. Asimismo, se determinó un volumen mínimo de 0.0008 m³ y un volumen máximo de 0.0562 m³

Rendimiento

En la tabla siguiente se muestra el porcentaje de rendimiento por producto obtenido durante el proceso de aserrado de las unidades experimentales .

Cuadro 8

Determinación de rendimientos de transformación primaria para cedro (Cedrela odorata).

No. Troza	Volumen en troza (m ³)	Madera aserrada	Rendimiento (%) Lepa	Aserrín
1	0.4104	46.2495	15.4988	2.3818
2	0.3142	49.5833	11.1102	2.245
3	0.5822	50.8203	27.4131	1.1883
4	0.3776	44.2156	36.8051	3.1558
5	0.2942	51.5328	30.2192	4.1479
6	0.0731	46.4039	40.5285	2.9205
7	0.3262	62.756	12.58	2.7844
8	0.0851	37.3347	53.0321	1.5166
9	0.08	59.5539	32.8124	0.9758
10	0.1119	28.4553	51.3509	3.4927
11	0.0851	19.9724	50.6265	5.5062
12	0.0638	66.3974	22.3307	2.2611

No. Troza	Volumen en troza (m ³)	Madera aserrada	Rendimiento (%) Lepa	Aserrín
13	0.0397	26.5105	53.814	3.7459
14	0.248	47.2928	29.4809	4.2189
15	0.175	13.2975	23.9372	5.3574
16	1.4902	75.7351	12.2094	2.3076
17	1.3481	65.0192	12.558	4.1676
18	0.7858	52.2453	13.4047	2.3613
19	0.8495	63.2144	11.4733	5.6943
20	0.1006	56.3566	31.7245	3.3888
21	0.5412	47.5989	15.1666	3.1187
22	0.2931	62.222	18.1999	3.9345
23	1.094	52.7612	12.5047	4.1616
24	0.3471	36.7985	26.0157	3.0985
25	0.2053	52.6483	30.656	3.6572
26	0.3158	52.6696	20.4693	1.5692
27	0.2798	56.281	28.2056	3.0145
28	0.1203	65.325	18.9251	3.4251
29	0.2293	71.0044	17.895	1.4192
30	0.1095	57.8575	29.9807	2.0634
31	0.4471	46.0604	29.5753	4.8522
32	0.3149	50.1874	30.8643	4.38
Rendimiento promedio		50.4488	26.6052	3.2035

El porcentaje de rendimiento se utiliza para medir la cantidad de madera aprovechable en comparación con la cantidad total de madera en rollo. En el caso de la especie de *cedro* (*Cedrela odorata* L), el promedio del porcentaje de rendimiento obtenido fue del 50.4488%, pero se observó una variación significativa, con un rendimiento mínimo del 13.2975% y un máximo del 75.7351%.

Además, se evaluó el porcentaje de rendimiento específico de las lepas por unidad muestral, y los resultados arrojaron una variación significativa con un promedio de 26.6052%, un mínimo del 11.1102% y un máximo del 53.8140%.

Por otro lado, el rendimiento del aserrín fue bajo en comparación con el volumen total de la madera en rollo, esto se debe principalmente al ancho de la sierra y al número de cortes necesarios para obtener los productos finales que demanda el mercado. Es importante señalar que el porcentaje de desperdicio de la madera se sitúa en torno al 19.74%, el cual está influenciado por varios factores, como la calidad del equipo utilizado en el proceso de aserrado, las características de la troza y la eficiencia del personal involucrado en el proceso de transformación de la madera.

Rendimiento de Transformación Palo blanco (*Cysbistax donell-Smithii*, Rose.)

Volumen de Madera en Rollo

Cuadro 9

Cuantificación de volumen para troza en Palo blanco (*Cysbistax donell-Smithii*, Rose).

No. Troza	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Largo (m)	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	45	54	2.57	209.7004	0.4946
2	57.5	62	2.52	299.5933	0.7066
3	42	43	2.47	148.5698	0.3504
4	58.5	60.5	2.55	300.6283	0.709
5	49.5	61	2.25	228.7193	0.5394
6	44	39	2.1	120.4401	0.2841
7	46.5	50	1.93	149.6262	0.3529
8	46	46.5	1.98	141.0407	0.3326
9	34.5	32	1.35	49.7019	0.1172
10	43.5	51	2.46	182.8919	0.4313
11	41	40.5	2.56	141.5634	0.3339
12	28	35.5	3.2	107.422	0.2534
13	26	32	3.18	89.0592	0.21
14	43	47.5	2.9	197.7383	0.4664
15	39.5	41.5	2.3	125.6301	0.2963
16	29	39.5	3.2	125.0049	0.2948
17	30.5	41.5	3.25	140.2633	0.3308
18	27.5	29.5	2.8	75.7362	0.1786
19	27	31	3.2	89.6193	0.2114
20	31	35.5	3.2	117.8119	0.2779
21	27.5	39.5	2.32	86.7028	0.2045
22	25.5	31	2.9	77.0709	0.1818
23	45	56.5	2.2	188.6907	0.445
24	30.5	39	3.15	126.6706	0.2988
25	24.5	36.5	3.15	97.5812	0.2301
26	31	31.5	2.15	69.9188	0.1649
27	31	33	2	68.2002	0.1608
28	30	39	2.5	99.0909	0.2337
29	45	39.5	2	118.8883	0.2804
30	28.5	36.5	1.65	58.0372	0.1369
31	35.5	37.5	1.9	84.2937	0.1988
32	27.5	29.5	2.6	70.3265	0.1659
Promedio			2.5153	130.8198	0.3085

En el cuadro 9, se presenta anteriormente muestra los resultados obtenidos al cubicar las 32 trozas de palo blanco (*Cybistax donell-Smithii* Rose). Se observa que las longitudes varían entre un mínimo de 1.35 metros y a un máximo 3.25 metros, mientras que los diámetros promedio oscilan entre un mínimo de 24.5 cm a un máximo de 62 cm. Como resultado, los volúmenes por troza fluctúan entre 0.1172 m³ y 0.709 m³, con un promedio de 0.7090 m³.

Volumen de la Madera Aserrada

Volumen de Tablas

Cuadro 10

Cuantificación de volumen para producto "tabla" en Palo blanco (*Cysbistax donell-Smithii*, Rose.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen(pt)	Volumen(m ³)
1	30	3	2.5	11	104.94	0.2475
	36.5	3	2.54	10	117.9271	0.2781
	22.86	2.54	1.5	1	3.6929	0.0087
2	20.32	2.54	1	1	2.1884	0.0052
	17.78	2.54	1.2	1	2.2978	0.0054
	27.94	2.54	2.1	1	6.319	0.0149
	27.94	2.54	2.5	1	7.5226	0.0177
3	24	3	2.47	5	37.7021	0.0889
	33.02	3	2.5	10	105.0036	0.2477
4	25.4	2.54	2.5	5	34.1935	0.0806
	14	2.5	1.95	2	5.7876	0.0137
10	13	2.5	1.4	2	3.8584	0.0091
	14	3	1.35	2	4.8082	0.0113
	29	3	1.09	9	36.1871	0.0853
	14	3	2.55	3	13.6231	0.0321
12	16	3	3.15	3	19.2326	0.0454
	15	3	2.5	1	4.77	0.0113
	13	3	2.5	1	4.134	0.0098
	12	3	1.2	1	1.8317	0.0043
13	17	3	3.1	4	26.8138	0.0632
	17	3	2.7	1	5.8385	0.01
	10	3	1.5	1	1.908	0.0045
14	20	3	1.8	1	4.5792	0.0108
	25	3	1.4	2	8.904	0.021
	25	3	2	1	6.36	0.015
	25	3	2.3	1	7.314	0.0173
	26	3	2.85	7	65.9786	0.1556
15	28	3	2.2	6	47.0131	0.1109
	20	3	2	2	10.176	0.024
16	15	3	1.2	1	2.2896	0.0054
	20	3	1.8	1	4.5792	0.0108
	10	3	2	1	2.544	0.006
	10	3	2.4	1	3.0528	0.0072
	17	3	3.1	4	26.8138	0.0632
17	16	3	2.4	1	4.8845	0.0115
	20	3	2	1	5.088	0.012
	16	3	3.2	4	26.0506	0.0614
18	18	3	1.4	1	3.2054	0.0076
	15	3	2.75	5	26.235	0.0619
19	14	3	3.15	2	11.219	0.0265
	17	3	3.15	4	27.2462	0.0643
20	16	3	3.15	4	25.645	0.0605
	16	3.5	3.15	1	7.4794	0.0176
21	20	3	2.2	1	5.5968	0.0132

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen(pt)	Volumen(m ³)
	22	3	2.2	1	6.1565	0.0145
21	10	3	1	2	2.544	0.006
	16	3	3.1	2	12.6182	0.0298
	20	3	1.5	1	3.816	0.009
	17	3	2.87	5	31.0304	0.0732
22	20	3	0.7	3	5.3424	0.0126
	15	3	2.1	1	4.0068	0.0095
	15	3	1	1	1.908	0.0045
	20	3	1.5	2	7.632	0.018
23	28.5	3	2.15	10	77.9418	0.1838
24	20	3	1.8	1	4.5792	0.0108
	17	3	3.1	1	6.7034	0.0158
	17	3	3.1	6	40.2206	0.0949
25	16.5	3	3.1	6	39.0377	0.0921
	13	3	1.5	3	7.4412	0.0176
26	22	3	2.1	7	41.1365	0.097
27	15	3	1.3	1	2.4804	0.0059
	19	3	2	5	24.168	0.057
28	20	3	1.4	1	3.5616	0.0084
	20	3	1.5	1	3.816	0.009
29	25	3	1.4	1	4.452	0.0105
	17	3	1.5	1	3.2436	0.0077
	24	3	2	7	42.7392	0.1008
	24	3	2	1	6.1056	0.0144
30	18.5	3	1.6	6	22.5907	0.0533
31	21	3	1.9	6	30.4517	0.0718
	15	3	1.8	1	3.4344	0.0081
	10	3	1.2	1	1.5264	0.0036
	19	3	1	1	2.4168	0.0057
	19	3	2.55	1	6.1628	0.0145

En el cuadro, se presentan las tablas obtenidas presentan diferentes dimensiones en cuanto al ancho, con un mínimo de 10 cm y un máximo de 36.50 cm. El grosor también varía, con un mínimo de 2.5 cm y un máximo de 3.50 cm, mientras que la longitud varía entre 0.70 metros y 3.20 metros. En total, se obtuvieron 214 tablas a partir de las 25 trozas aserradas, haciendo un volumen total 3.1417 m³.

Volumen de Tabloncillos

Cuadro 11

Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en Palo blanco (Cysbistax donell-Smithii, Rose.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen(pt)	Volumen (m ³)
2	20.32	5.08	2.36	1	10.3292	0.0244
5	35	6	2.25	7	140.238	0.3308
12	16	4	3.15	1	8.5478	0.0202
17	16	4	3.2	2	17.367	0.041
28	16	4.5	2.45	3	22.4381	0.0529
32	19	4	2.55	2	16.4342	0.0388

En el cuadro 11, se muestra la cuantificación volumétrica de tabloncillos obtenidos a partir de las unidades muestrales. Los tabloncillos obtenidos presentan diferencias en cuanto a sus dimensiones: el ancho mínimo es de 16 cm y el máximo es de 35 cm, el grosor mínimo es de 4 cm y el máximo es de 6 cm, mientras que la longitud varía entre 2.25 metros y 3.20 metros. En total, se obtuvieron 16 tabloncillos a partir de las 6 trozas aserradas, lo que equivale a un volumen de 0.5079 m³.

Volumen de Duelas

Cuadro 12

Cuantificación de volumen para producto "duela" en Palo blanco (Cysbistax donell-Smithii, Rose.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen(pt)	Volumen (m ³)
3	11.43	2.00	2.40	3	6.9787	0.0165
6	14.00	2.00	2.10	14	34.9037	0.0823
7	14.00	1.50	1.93	24	41.2433	0.0973
8	14.00	1.50	1.95	22	38.1982	0.0901
9	14.00	2.54	1.30	13	25.4809	0.0601
10	13.00	1.50	1.35	22	24.5560	0.0579
11	14.00	2.00	2.55	18	54.4925	0.1285
12	16.00	1.60	3.15	1	3.4191	0.0081
20	16.00	1.00	3.15	2	4.2739	0.0101
21	16.00	2.00	3.10	1	4.2061	0.0099

En el cuadro 12, se puede observar el resultado del proceso de aserrado de 10 trozas, a partir del cual se obtuvieron duelas con dimensiones variables. Se estima que el ancho mínimo es de 11.43

cm y el máximo es de 16 cm, mientras que la longitud mínima es de 1.30 m y la máxima es de 3.15 m, haciendo un volumen total de 0.5607 m³.

Volumen de Lepas

Cuadro 13

Cuantificación de volumen para producto "lepa" en Palo blanco (Cysbistax donell-Smithii, Rose.).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	40	25	2.4	58.0032	0.1368
2	35	20	2.5	42.294	0.0998
3	35	30	2.4	60.9034	0.1436
4	40	35	2.5	84.588	0.1995
5	40	11	2.25	23.9263	0.0564
6	60	20	2.08	60.3233	0.1423
7	60	25	1.9	68.8788	0.1625
8	60	24	1.9	66.1236	0.156
9	43	10	1.26	13.0942	0.0309
10	60	22	2.35	74.9691	0.1768
11	56	15	2.53	51.3618	0.1211
12	46	12	3.1	41.3563	0.0975
13	48	11	3.1	39.5582	0.0933
15	62	14	2	41.9556	0.099
16	48	15	3	52.2029	0.1231
17	57	16	3.1	68.3278	0.1612
18	53	10	2.7	34.5844	0.0816
19	50	10	3	36.252	0.0855
20	48	10	3	34.8019	0.0821
21	53	14	3	53.798	0.1269
22	46	11	2.7	33.0183	0.0779
23	61	13	2	38.3304	0.0904
24	58	14	3.1	60.8357	0.1435
25	46	11	3.1	37.9099	0.0894
26	41	10	2	19.8178	0.0467
27	58	11	1.8	27.7545	0.0655
28	47	14	2.4	38.1661	0.09
29	63	11	1.8	30.1472	0.0711
30	45	13	1.5	21.2074	0.05
31	57	12	1.85	30.5822	0.0721
32	57	8	2.4	26.4495	0.0624

En el cuadro 13, se muestran las lepas sobrantes obtenidas tras el proceso de aserrado presentan diferentes dimensiones en cuanto al ancho, con un mínimo de 35 cm y un máximo de 63 cm. El espesor mínimo es de 8 cm y un máximo de 35 cm, mientras que la longitud varía entre 1.26 metros y 3.10 metros. En total, se obtuvo un volumen total de 3.3597 m³ de lepas a partir de la transformación de las 32 unidades muestrales.

Volumen de Aserrín

Cuadro 14

Quantificación de volumen para producto "aserrín" en Palo blanco (*Cysbistax donell-Smithii*, Rose.).

No. Troza	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen aserrín (m ³)
1	78	32	0.0189
2	65	38	0.0156
3	58	41	0.0134
4	67	36	0.0157
5	50	38	0.0092
6	62	37	0.0138
7	71	30	0.0146
8	58	29	0.0094
9	51	57	0.0144
10	61	30	0.0108
11	55	27	0.0079
12	68	35	0.0157
13	71	32	0.0156
14	90	38	0.0298
15	87	32	0.0235
16	75	30	0.0163
17	65	32	0.0131
18	56	32	0.0097
19	75	28	0.0153
20	68	30	0.0134
21	88	39	0.0293
22	72	28	0.0141
23	82	40	0.0261
24	75	35	0.0191
25	58	25	0.0081
26	66	30	0.0127
27	60	22	0.0077
28	69	28	0.0129
29	73	33	0.017
30	57	22	0.0069
31	68	30	0.0134
32	66	28	0.0118

En el cuadro 14, se muestran los resultados del rendimiento del aserrín obtenido al final del proceso de aserrado de la madera de la especie de palo blanco (*Cysbistax donell-Smithii*, Rose). En el estudio se obtuvo un volumen total de 0.4751 m³, correspondiente al total de unidades muestrales evaluadas. Además, se observó un volumen mínimo de 0.0069 m³ y un volumen máximo de 0.0298 m³.

Rendimiento

La tabla que se presenta a continuación muestra el porcentaje de rendimiento obtenido por producto durante el proceso de aserrado de las unidades experimentales.

Cuadro 15

Cuantificación de rendimiento de transformación primaria para en Palo blanco (Cysbistax donell-Smithii, Rose.).

No. Troza	Volumen en troza (m ³)	Madera aserrada	Rendimiento % Lepa	Aserrín
1	0.4946	50.0428	27.66	3.8131
2	0.7066	50.1603	14.1171	2.201
4	0.709	48.2272	28.1371	2.2078
5	0.5394	61.3145	10.461	1.7059
6	0.2841	28.9801	50.0857	4.8501
7	0.3529	27.5642	46.0339	4.1511
8	0.3326	27.0831	46.8827	2.8408
9	0.1172	51.2674	26.3455	12.2512
10	0.4313	45.3999	40.991	2.5068
11	0.3339	38.4933	36.2819	2.3696
12	0.2534	39.0379	38.4989	6.1877
13	0.21	38.8059	44.4178	7.4392
14	0.4664	47.1005	26.796	6.3931
15	0.2963	45.5218	33.3962	7.9183
16	0.2948	31.4223	41.7607	5.5444
17	0.3308	38.0642	48.7139	3.9588
18	0.1786	38.8724	45.6643	5.442
19	0.2114	42.9207	40.4511	7.218
20	0.2779	31.7428	29.5403	4.836
21	0.2045	40.2958	62.0487	14.3065
22	0.1818	64.771	42.8415	7.7351
23	0.445	41.3066	20.3139	5.8543
24	0.2988	40.6592	48.0267	6.3834
25	0.2301	47.631	38.8496	3.5397
26	0.1649	58.8346	28.3439	7.6763
27	0.1608	39.0738	40.6957	4.7695
28	0.2337	30.0892	38.5162	5.5253
29	0.2804	47.5576	25.3576	6.0751
30	0.1369	38.9246	36.5411	5.0583
31	0.1988	36.1257	36.2805	6.759
32	0.1659	42.6222	37.6095	7.123
	Rendimiento	41.8746	36.6454	5.5767

El porcentaje de rendimiento es una medida importante para conocer el volumen de madera aserrada que se obtiene con relación al volumen de la troza en la especie de palo blanco (*Cybistax donell-Smithi Rose*). A través de la evaluación de 32 unidades muestrales, se obtuvo un rendimiento promedio del 41.18746%. Sin embargo, se observó que el rendimiento mínimo fue del 27.0831% y un

máximo de 64.7710%, debido a diversos factores que limitan el aprovechamiento, como la forma de la troza, presencia de rajaduras en los extremos y pudrición interna y externa.

El porcentaje de rendimiento de lepas por cada unidad muestral presentó una variación con un mínimo de 10.46%, un máximo de 62.0487% y un promedio de 36.6454%. El aserrín, por su parte, representó un rendimiento bajo con relación al volumen de la madera en rollo, lo cual se debe al ancho de corte que efectúa la sierra de banda.

Cabe resaltar que el porcentaje de desperdicio de la madera fue del 15.9033%, siendo un valor bajo debido a la mayor homogeneidad en cuanto a las características físicas de las trozas de palo blanco.

Rendimiento de Transformación de Encino (*Quercus peduncularis*)

Volumen de Madera en Rollo

A continuación, se presentan los resultados volumétricos obtenidos de las muestras experimentales.

Cuadro 16

*Cuantificación de volumen para troza en Encino (*Quercus peduncularis*).*

No. Troza	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Largo (m)	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	58.5	62	3.05	368.6971	0.8696
2	43.5	48	2.93	204.2234	0.4817
3	54.43	66.5	3.53	429.7724	1.0136
4	52.25	60.5	2.53	267.7623	0.6315
5	41	64	2.86	262.5067	0.6191
6	42.5	43	2.33	141.8025	0.3344
7	30.5	31.5	1.23	39.3626	0.0928
8	34	36	1.8	73.4284	0.1732
9	36.5	39	0.9	42.7103	0.1007
10	30.5	33.5	1.2	40.9201	0.0965
11	47	48.5	1.45	110.0957	0.2597
12	26.5	31	1.8	49.5455	0.1169
13	38.5	41	1.4	73.6645	0.1737
14	34.5	37	2.3	97.8894	0.2309
15	41.5	49	2.5	170.4641	0.402
16	42	50	3.15	221.9637	0.5235
17	32.5	37	2.1	84.4471	0.1992
18	37.5	40	1.65	82.5055	0.1946
19	46.5	56	1.3	113.7069	0.2682
20	38.5	69	2.3	221.2792	0.5219
21	32.5	35.5	2.5	96.2395	0.227

No. Troza	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Largo (m)	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
22	48	69	3.15	358.9864	0.8467
23	41	42	1.6	91.7639	0.2164
24	39.5	44.5	3.1	182.1025	0.4295
25	38.5	52.5	2.25	155.1176	0.3658
26	40	44	2.7	158.6054	0.3741
27	33.5	54.5	2.55	164.3998	0.3877
28	34.5	44	2.3	117.9948	0.2783
29	32	41.5	1.35	60.7161	0.1432
30	31.5	31	2.58	83.9026	0.1979
31	26	27.5	1.25	29.7861	0.0703
32	41	42.5	2	116.091	0.2738

En el cuadro 16, se puede observar los resultados obtenidos a partir de la medición de las dimensiones de 32 trozas de encino (*Quercus peduncularis*). Los valores registrados indican una variación en las longitudes de 0.9 metros a 3.53 metros y el diámetro mínimo de 26.96 cm a un máximo de 69.0 cm. Como consecuencia de estas mediciones, se obtuvo una variación en los volúmenes por troza que oscilan entre 0.0703 m³ y 1,0136 m³, con un promedio de 0,3473 m³.

Volumen de Madera Aserrada

Volumen de Tablas

Cuadro 17

Cuantificación de volumen para producto "tabla" en Encino (*Quercus peduncularis*).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	30.48	2.54	3.05	14	140.1659	0.3306
3	30.48	2.54	3.05	15	150.1778	0.3542
5	30.48	2.54	2.83	12	111.4762	0.2629
14	8	2.5	2.3	4	7.8016	0.0184
15	34	3	2.5	7	75.684	0.1785
	34	3	2	3	25.9488	0.0612
16	32	3	3.1	8	100.9459	0.2381
	24	3	2.5	1	7.632	0.018
17	21	3	2.05	5	27.3798	0.0646
	20	3	1.05	2	5.3424	0.0126
	34	3	2.2	8	76.1165	0.1795
20	22	3	1.5	2	8.3952	0.0198
	25	3	2.2	1	6.996	0.0165
	30	3	1.5	3	17.172	0.0405
	24	3	2.5	5	38.16	0.09
21	25	3	1.5	1	4.77	0.0113
	17	3	1.5	1	3.2436	0.0077
	17	3	2.5	1	5.406	0.0128

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
22	34	3	3.1	15	201.1032	0.4743
	25	3	1.7	7	37.842	0.0893
23	24	3	1.6	8	39.0758	0.0922
	20	3	1	2	5.088	0.012
25	24	3	2.2	1	6.7162	0.0158
27	28	3	2.5	6	53.424	0.126
	20	3	1.5	3	11.448	0.027
28	24	3	2.3	8	56.1715	0.1325
29	22	3	1.3	6	21.8275	0.0515
30	14	2.5	2.54	11	41.463	0.0978
32	22	3	2	9	50.3712	0.1188

En el cuadro 17, se puede observar la medición volumétrica de las tablas obtenidas de 17 trozas evaluadas, ya que en las restantes no se lograron obtener los mismos productos. Las dimensiones de las tablas resultantes del proceso de aserrado presentan variaciones en cuanto a su ancho, con un mínimo de 8.0 cm y un máximo de 34.0 cm, su grosor varía con un mínimo de 2.5 cm y un máximo de 3.0 cm, mientras que su longitud varía con un mínimo de 1.0 metros y un máximo de 3.10 metros. En total, se obtuvieron 169 tablas a partir del aserrado de estas 17 trozas, lo que equivale a un volumen total de 3.1541 m³.

Volumen de Tabloncillos

Cuadro 18

Cuantificación de volumen para producto "tabloncillo" en Encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
20	32	5	2	1	13.5680	0.0320
	30	4.5	3.1	3	53.2332	0.1256
24	30	4.5	2.5	2	28.6200	0.0675
	30	5	3.1	1	19.7160	0.0465
25	24	4.5	2.2	3	30.2227	0.0713
	24	5	2.2	1	11.1936	0.0264
26	22	4.5	2.65	5	55.6182	0.1312
	22	5	2.65	2	24.7192	0.0583

En el cuadro 18, se puede observar la cantidad volumétrica de tabloncillos obtenidos de las unidades muestrales evaluadas. Los tabloncillos obtenidos presentan diferencias en sus dimensiones, con un ancho mínimo de 22 cm y un ancho máximo de 32 cm, un grosor mínimo de 4.5 cm y un grosor

máximo de 5 cm, y una longitud que varía entre 2 metros y 3.1 metros. En total, se obtuvieron 18 unidades de tabloncillos de las 4 trozas aserradas, lo que equivale a un volumen total de 0.5587 m³.

Volumen de Vigas

Cuadro 19

Cuantificación de volumen para producto "viga" en Encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor(cm)	Largo(m)	Cantidad	Volumen(pt)	Volumen(m ³)
2	17.8	12.7	2.7	3	77.638	0.1831
	14.5	9	2.48	9	123.501	0.2913
4	9	9	1.92	3	19.7821	0.0467
	14.5	5	2.44	1	7.5006	0.0177
6	14	9	2.3	3	36.8626	0.0869
	9	9	2.3	3	23.6974	0.0559
7	9	9	1.2	4	16.4851	0.0389
9	14	9	0.9	2	9.6163	0.0227
	10	9	0.9	2	6.8688	0.0162
10	9	9	1.15	2	7.8991	0.0186
	14	9	1.15	2	12.2875	0.029
12	9	9	1.75	2	12.0204	0.0284
14	9	9	2.3	2	15.7982	0.0373

En el cuadro 19, se muestra el cálculo volumétrico de las vigas obtenidas en las unidades de muestra. Las vigas presentan variaciones en cuanto a sus dimensiones, con un ancho mínimo de 9 cm y un máximo de 17.8 cm, un grosor mínimo de 5 cm y un máximo de 12.7 cm, y una longitud que varía entre 0.9 y 2.7 metros. En total, se obtuvieron 38 vigas de las 8 trozas aserradas, lo que equivale a un volumen total de 0.8725 m³.

Volumen de Duelas

Cuadro 20

Cuantificación de volumen para producto "duela" en Encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
8	7.5	1.5	1.75	38	31.7205	0.0748
11	8	2	1.4	51	48.4378	0.1142
12	9	2	1.75	8	10.6848	0.0252
13	7.5	2	1.35	40	34.344	0.081
14	8	1.5	2.3	15	17.5536	0.0414
18	8	2	1.6	4	4.3418	0.0102
	8	1.5	1.6	29	23.6083	0.0557
19	15	2	1.3	24	39.6864	0.0936

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Largo (m)	Cantidad	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
25	24	2	2.2	1	4.4774	0.0106
	25	1	1	2	2.12	0.005
	25	1	1.3	1	1.378	0.0033
26	24	1	2	1	2.0352	0.0048
	20	1	1.7	1	1.4416	0.0034
31	14	2	1.25	10	14.84	0.035

En el cuadro 20, se muestran los resultados de la cuantificación volumétrica de duelas obtenidas de 10 trozas mediante el proceso de aserrado. Se observa que las dimensiones del producto varían, con un ancho mínimo de 7.5 cm y un máximo de 25 cm.

Volumen de Lepas

Cuadro 21

Cuantificación de volumen para producto "lepa" en encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Ancho (cm)	Grosor(cm)	Largo(m)	Volumen (pt)	Volumen (m ³)
1	61	25	3	110.5686	0.2608
2	50	25	2.6	78.546	0.1853
3	60	30	3	130.5072	0.3078
4	40	25	2.44	58.9699	0.1391
5	60	29	2.8	117.7465	0.2777
6	40	18	2.22	38.6301	0.0911
7	30	13	1.2	11.3106	0.0267
8	35	16	1.7	23.0079	0.0543
9	42	14	0.8	11.3686	0.0268
10	51	12	1.1	16.2699	0.0384
11	48	14	1.4	22.7373	0.0536
12	45	10	1.7	18.4885	0.0436
13	50	13	1.3	20.422	0.0482
14	48	11	2	25.5214	0.0602
15	48	10	2	23.2013	0.0547
16	52	11	3	41.4723	0.0978
17	45	13	2	28.2766	0.0667
18	48	15	1.4	24.3613	0.0575
19	55	18	1.3	31.1042	0.0734
20	58	17	1.8	42.8934	0.1012
21	45	16	2	34.8019	0.0821
22	56	16	3	64.9636	0.1532
23	40	15	1.3	18.851	0.0445
24	40.23	10.62	1.6	16.521	0.039
25	52	18	2	45.2425	0.1067
26	45	18	2.5	48.9402	0.1154
27	57	18	2.25	55.7918	0.1316
28	47	16	2	36.3487	0.0857
29	45	20	1	21.7512	0.0513
30	40	15	1	14.5008	0.0342
31	38	10	1.1	10.1022	0.0238
32	48	12	2	27.8415	0.0657

En el cuadro 21, se obtuvieron lepas con dimensiones diversas. El ancho varía entre 30 y 61 cm, mientras que el espesor promedio es de 16.36 cm. En cuanto a la longitud, oscila entre un mínimo de 0.80 metros y un máximo de 3 metros.

Volumen de Aserrín

Cuadro 22

Cuantificación de volumen para producto "aserrín" en encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Diámetro(cm)	Altura (cm)	Volumen aserrín (m ³)
1	69	33	0.0152
2	58	30	0.0098
3	51	57	0.0144
4	61	30	0.0108
5	55	27	0.0079
6	60	32	0.0112
7	55	24	0.007
8	53	22	0.006
9	61	27	0.0097
10	51	21	0.0053
11	70	30	0.0142
12	63	29	0.0111
13	54	32	0.009
14	77	36	0.0207
15	83	40	0.0267
17	65	31	0.0127
18	74	38	0.0202
19	67	33	0.0143
20	85	42	0.0294
21	65	30	0.0123
22	53	32	0.0087
23	67	29	0.0126
24	75	31	0.0169
25	65	32	0.0131
26	56	32	0.0097
27	83	37	0.0247
28	70	24	0.0114
29	58	21	0.0068
30	59	28	0.0094
31	54	23	0.0065
32	66	30	0.0127

En el cuadro 22, se presentan los datos obtenidos durante el estudio de rendimiento de la especie de encino (*Quercus peduncularis*), evaluó el volumen de aserrín generado durante el proceso de aserrío de la madera. Se obtuvo un volumen total de 0.4234 m³ en todas las unidades muestrales

analizadas. Además, se observó que el volumen mínimo generado fue de 0.0053 m³, mientras que el volumen máximo alcanzó los 0.0294 m³.

Rendimiento

Cuadro 23

Cuantificación de rendimiento de transformación primaria para encino (Quercus peduncularis).

No. Troza	Volumen en troza (m ³)	Madera aserrada	Rendimiento % Lapa	Aserrín
1	0.8696	38.0166	29.989	1.7502
2	0.4817	38.0162	38.4608	2.0296
3	1.0136	34.9436	30.3666	1.4168
4	0.6315	56.3125	22.0232	1.7123
5	0.6191	42.466	44.8547	1.2779
6	0.3344	42.7072	27.2422	3.3366
7	0.0928	41.8801	28.7344	7.5751
8	0.1732	43.1992	31.3338	3.4566
9	0.1007	38.5976	26.618	9.6611
10	0.0965	49.3318	39.7601	5.4823
11	0.2597	43.996	20.6523	5.4838
12	0.1169	45.827	37.3163	9.5414
13	0.1737	46.6222	27.7229	5.2025
14	0.2309	42.0408	26.0717	8.9554
15	0.402	59.6212	13.6107	6.6393
16	0.5235	48.917	18.6843	4.3793
17	0.1992	38.7488	33.4844	6.37
18	0.1946	33.8766	29.5269	10.3586
19	0.2682	34.9024	27.3547	5.3507
20	0.5219	55.2459	19.3843	5.6323
21	0.227	53.595	36.1618	5.4092
22	0.8467	66.5611	18.0964	1.0284
23	0.2164	48.1277	20.543	5.8266
24	0.4295	55.7758	9.0723	3.9328
25	0.3658	36.1712	29.1666	3.5797
26	0.3741	52.8445	30.8566	2.5986
27	0.3877	39.4599	33.9367	6.3679
28	0.2783	47.6051	30.8053	4.0934
29	0.1432	35.9501	35.8244	4.7787
30	0.1979	49.418	17.2829	4.7711
31	0.0703	49.8219	33.9159	9.2478
32	0.2738	43.3894	23.9825	4.6232

El porcentaje de rendimiento es un indicador clave que permite determinar la cantidad de madera aprovechable con relación al volumen total de la troza. En el caso de la especie de encino (*Quercus peduncularis*), se obtuvo un promedio de rendimiento del 45.4371%. Sin embargo, se observó una variación significativa en los resultados, con un rendimiento mínimo del 33.8766% y un rendimiento máximo del 66.5611%.

En cuanto al rendimiento de las lepas, se obtuvo un promedio del 27.9011% por unidad muestral. Por otro lado, el rendimiento del aserrín fue bajo en comparación con el volumen de madera rolliza, ya que está influenciado por el ancho de la sierra y el número de cortes necesarios para obtener los productos deseados por el mercado. Es importante señalar que el porcentaje de desperdicio de la madera fue del 21.6033%, el cual está sujeto a diversas variables, como la calidad del equipo utilizado en el estudio de rendimiento y las características físicas de la troza.

Análisis Descriptivo

Análisis Descriptivo de Cedro (Cedrela odorata L.)

Cuadro 24

Análisis descriptivo de rendimiento en cedro (Cedrela odorata).

Análisis Descriptivo	
Promedio de rendimiento porcentual	50.44877
Desviación estándar	14.21538
Coefficiente de variación	28.17786
Error estándar de la media muestral	2.512949
Error de muestro	4.92831
Error de muestro con porcentaje de la media	9.768938
Límite de confianza inferior	45.52046
Límite de confianza superior	55.37708

Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%, N= 32 trozas evaluadas.

Los estadísticos para el levantamiento la especie (*Cedrela odorata L.*) muestran que para dicha especie se obtiene alrededor de un 50% en productos primarios, siendo los de mayor interés económico.

La representatividad de los datos es de relevancia para el estudio de naturaleza muestral, si consideramos que datos con un $CV \leq 30\%$ son relativamente homogéneos y por lo tanto son representativos (Martínez Bencardino, 2012).

La base de datos usada para el levantamiento muestra un coeficiente de variación de 28.17 en el rendimiento porcentual, esto demuestra la validez de los datos asociados para el cedro, otro estadístico de interés son los límites de confianza que se sitúan en el rango de 45.52 como mínimo y 55.37 como valor máximo, posicionando el rendimiento de productos primarios en el 95% de los casos

en estos valores que pueden ser utilizados en la toma de decisiones para el procesamiento de Cedro bajo las condiciones del aserradero evaluado.

Análisis Descriptivo de Palo blanco (Cybistax donell -Smimithii Rose.)

Cuadro 25

Análisis descriptivo de rendimiento en Palo blanco (Cybistax donell -Smimithii Rose.)

Análisis Descriptivo	
Promedio de rendimiento porcentual	41.87458
Desviación estándar	9.435852
Coefficiente de variación	22.5336
Error estándar de la media muestral	1.668039
Error de muestro	3.271301
Error de muestro con porcentaje de la media	7.81214
Límite de confianza inferior	38.60328
Límite de confianza superior	45.14589

Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%, n=32 trozas evaluadas.

En la misma corriente de análisis el promedio porcentual para Palo blanco mostró que esta especie en específico genera un rendimiento promedio de 41.87% de productos primarios, dicho valor es el más bajo para las especies evaluadas, pudiéndose asociar esto a las diferencias de composición estructural, densidad de la madera o sinuosidad de troza.

El coeficiente de variación valida los datos utilizados con un coeficiente de variación de 22.53% siendo bajo y por ende teniendo una media representativa, los límites inferior y superior muestran que los rendimientos para el Palo blanco se encuentran en el 95% de los casos entre un 45-38% de productos primarios.

Análisis Descriptivo de Encino (*Quercus peduncularis*)**Cuadro 26**

*Análisis descriptivo de rendimiento en encino (*Quercus peduncularis*).*

Análisis Descriptivo	
Promedio de rendimiento porcentual	45.43714
Desviación estándar	8.003579
Coefficiente de variación	17.61462
Error estándar de la media muestral	1.414846
Error de muestro	2.774749
Error de muestro con porcentaje de la media	6.106786
Límite de confianza inferior	42.66239
Límite de confianza superior	48.21188

Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%, n= 32 trozas evaluadas.

El encino tiene como media de rendimiento 45.43% de transformación de troza a productos primarios en el aserradero, siendo este valor un intermedio entre los rendimientos generados para las otras especies, los límites de confianza están en el rango 42.66% a 48.21% de rendimiento para la especie.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB) siendo la entidad de referencia para el comercio de productos forestales para Guatemala, define parámetros de rendimiento con el fin de regular las actividades de aprovechamiento del país.

Con la motivación anterior se definió el acuerdo de gerencia No. 42.2003 que establece criterios de rendimientos máximos para evitar irregularidades en el comercio, estableciendo que el volumen total de madera a vender sea congruente con el volumen de trozas previamente autorizadas (Acuerdo de Gerencia No.42.2003, 26 de marzo/2003)

Los rendimientos permitidos se dividen en base al mercado de destino y en la especie procesada, detallándose a continuación:

Cuadro 27

Máximos de rendimiento según especie y mercado de destino.

Especie	Rendimiento (%)	
	Nacional	Exportación
Conífera	Hasta 60%	Hasta 40%
Latifoliada	Hasta 45%	Hasta 45%

Usando los criterios establecidos y considerando que las tres especies evaluadas corresponden a latifoliadas, Cedro (*Cedrela odorata L.*) con una media de 50.45% de rendimiento supera el máximo permitido de 45% para el mercado nacional y de exportación, al considerar los límites de confianza se muestra que el límite máximo supera por 10 puntos porcentuales el parámetro permitido mientras que el límite inferior se encuentra cerca del rendimiento permitido con 45.52%.

En el caso de la especie Palo blanco la media de rendimiento se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el INAB con un 41.78% para ambos mercados, los límites de confianza estimados en 38.60% como mínimo y 45.14% como máximo, respaldar el cumplimiento del criterio en la amplitud estimada.

El encino como ultima especie evaluada se encontró ligeramente por encima del máximo permitido con 45.44% de media, al comprobar los límites de confianza se muestra que las trozas procesadas se encontrarán entre el rango de 42.66% a 48.21% de rendimiento.

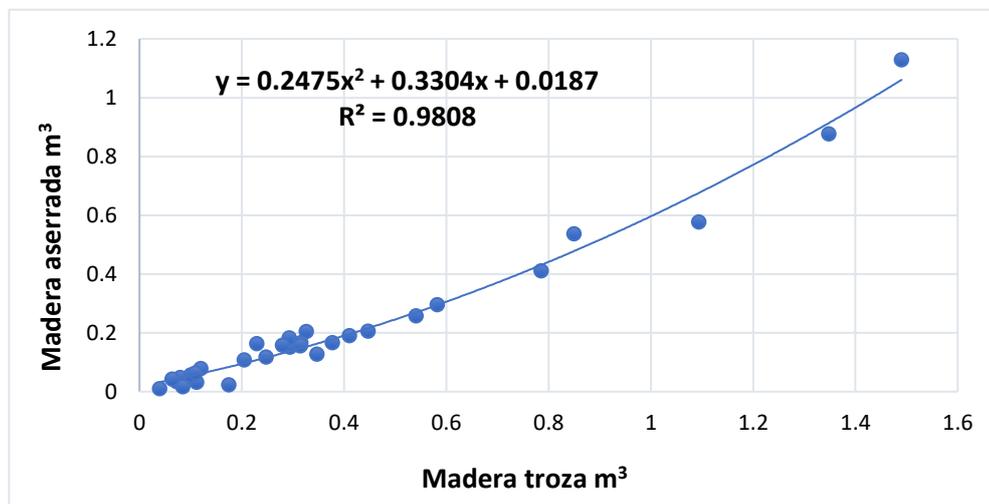
Fórmula de Regresión Lineal

El grado de asociación entre la madera en rollo y la madera aserrada ambas expresadas en metros cúbicos, varía en función de diversos factores asociados a la especie evaluada, como la densidad de la madera, sinuosidad, proporción de duramen y albura entre varios otros.

Modelo Matemático de Cedro (*cedrela odorata* L.)

Figura 6

Modelo de regresión lineal para cedro (*C. odorata* L.)



Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%.

El coeficiente de determinación es una medida que evalúa la calidad de ajuste del modelo y se utiliza para determinar la proporción de la varianza total de la variable dependiente que es explicada por el modelo, teniendo en cuenta el número de variables independientes y el tamaño de la muestra. En este caso, el valor del coeficiente de determinación es de 0.9808, lo cual indica que aproximadamente el 98.08% de la variabilidad en el volumen de madera aserrada o productos primarios puede ser explicada por el volumen de madera en troza.

La expresión matemática que describe la relación entre el volumen de madera en troza (x) y el volumen de madera aserrada (y) es $y = 0.2475x^2 + 0.3304x + 0.0187$. Esta ecuación incorpora diferentes términos que capturan la influencia de las variables independientes en la variable dependiente. El término cuadrático $0.2475x^2$ representa el efecto cuadrático del volumen de madera en troza en el volumen de madera aserrada. Esto significa que a medida que aumenta el volumen de madera en troza, el término lineal $0.3304x$ representa el efecto lineal del volumen de madera en troza en el volumen de madera aserrada, mostrando una relación lineal positiva entre las variables.

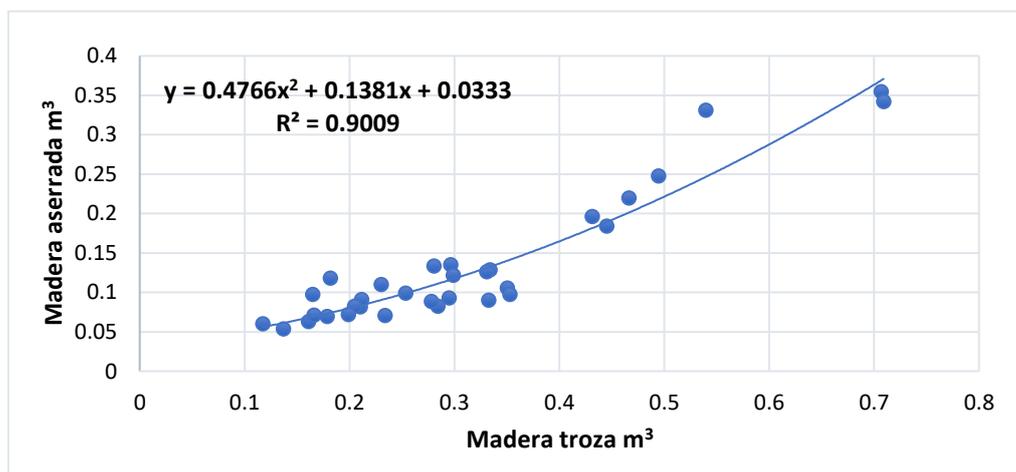
Es importante destacar que existen factores intrínsecos a la especie que generan variabilidad en el grado de transformación de la madera en productos forestales. Estos factores pueden influir en la relación entre el volumen de madera en troza y el volumen de madera aserrada. Por lo tanto, es relevante considerar esta variabilidad al interpretar los resultados y tomar decisiones basadas en el modelo.

Se obtuvieron límites de confianza de la predicción para los coeficientes estimados. Para el intercepto tuvo un valor estimado de 0.0187, con límites de confianza del 90% entre -0.005 y 0.042. En cuanto a las variables predictoras, el coeficiente estimado para volumen en troza fue de $0.3304x$, con límites de confianza del 90% entre 0.227 y 0.434. Para volumen en troza, el coeficiente estimado fue de $0.2475x^2$, con límites de confianza del 90% entre 0.175 y 0.32. Estos límites de confianza estrechos indican alta precisión en las estimaciones y brindan mayor confianza en los resultados del análisis de regresión.

Modelo Matemático de Palo Blanco (*Cyristax donell -Smimithii* Rose.)

Figura 7

Modelo de regresión lineal para palo blanco (*Cyristax donell -Smimithii* Rose.)



Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%.

El coeficiente de determinación para la especie de nombre común palo blanco es de 0.9009, lo cual indica una asociación positiva fuerte entre las variables consideradas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que pueden existir desviaciones en los procesos de medición u otras fuentes de variación no consideradas, lo que podría afectar esta asociación. A pesar de ello, el valor

obtenido sugiere una alta asociación positiva. La expresión matemática que modela la dependencia de las variables es: $y = 0.4766x^2 + 0.1381x + 0.0333$.

En esta ecuación, la variable independiente x representa el volumen en troza de la especie palo blanco, mientras que la variable dependiente y representa el volumen de madera aserrada correspondiente.

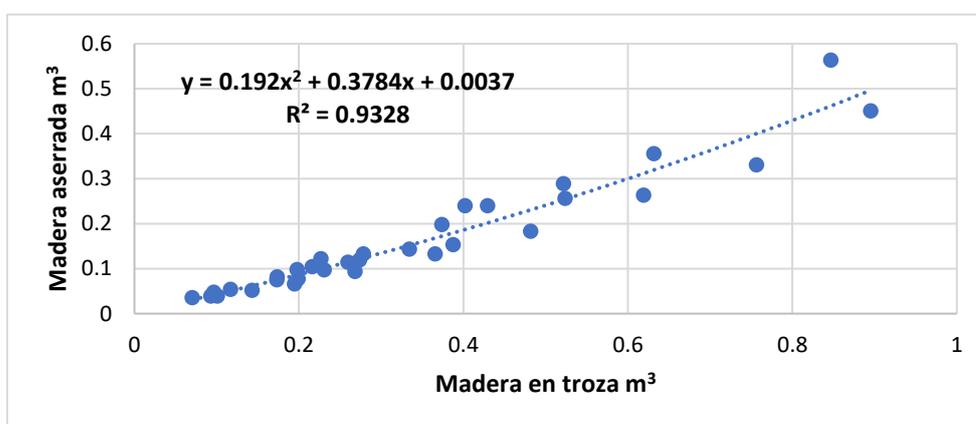
La ecuación muestra una relación cuadrática y lineal entre las variables. El término $0.4766x^2$ refleja el efecto cuadrático del volumen en troza en el volumen de madera aserrada. A medida que aumenta el volumen en troza, el efecto en el volumen de madera aserrada se amplifica de forma cuadrática. El término $0.1381x$ representa el efecto lineal del volumen en troza en el volumen de madera aserrada, mostrando una relación lineal positiva entre las variables. El término constante 0.0333 es un desplazamiento vertical en el modelo.

Se obtuvieron los límites de confianza de la predicción donde el intercepto tuvo un valor estimado de 0.033 , con límites de confianza entre -0.009 y 0.076 . El coeficiente estimado para volumen en troza fue de $0.4766x^2$, con límites de confianza entre 0.179 y 0.774 . Además, el coeficiente estimado para volumen en troza fue de $0.1381x$, con límites de confianza entre -0.105 y 0.381 . Estos límites de confianza respaldan la metodología de los resultados obtenidos.

Modelo Matemático de Encino (*Quercus Peduncularis*)

Figura 8

Modelo de regresión para Encino (*Quercus peduncularis*.)



Nota. Nivel de confianza del 90%, margen de error de muestreo del 10%.

El coeficiente de determinación ajustado para la especie de nombre común encino es de 0.9328, lo cual indica que el modelo de regresión lineal $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$ se ajusta bien a los datos y tiene un buen poder predictivo. Un coeficiente de determinación alto como este sugiere que aproximadamente el 93.28% de la variabilidad en el volumen de madera aserrada, representado por la variable dependiente y , puede ser explicada por el volumen de madera en troza, representado por la variable independiente x .

La expresión matemática $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$ representa la ecuación de la regresión lineal resultante. En esta ecuación, el término $0.192x^2$ indica el efecto cuadrático del volumen de madera en troza en el volumen de madera aserrada. A medida que aumenta el volumen de madera en troza, este efecto cuadrático hace que el cambio en el volumen de madera aserrada sea más pronunciado. El término $0.3784x$ representa el efecto lineal del volumen de madera en troza en el volumen de madera aserrada, mostrando una relación lineal positiva entre las variables. El término constante 0.0037 es un factor adicional que se suma al modelo, representando una contribución constante al volumen de madera aserrada.

También se obtuvieron límites de confianza de la predicción para los coeficientes estimados. Donde se tuvo un intercepto estimado de 0.0037 , con límites de confianza del 90% entre -0.03 y 0.037 . Además, la variable volumen en troza presenta un coeficiente estimado de $0.3784x$, con límites de confianza del 90% entre 0.196 y 0.561 , mientras que la variable volumen en troza tuvo un coeficiente estimado de $0.192x^2$, con límites de confianza del 90% entre -0.004 y 0.388 . Estos límites de confianza indican una alta precisión en las estimaciones de los coeficientes, lo cual brinda mayor confiabilidad en los resultados del análisis de regresión y respalda la robustez de los hallazgos, aportando una mayor certeza en las relaciones entre las variables estudiadas.

El impacto significativo de los análisis por especie es notorio cuando se comparan las regresiones obtenidas: $y = 0.2475x^2 + 0.3304x + 0.0187$ (cedro), $y = 0.4766x^2 + 0.1381x + 0.0333$ (palo blanco), $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$ (encino).

El componente indicativo para todas las regresiones obtenidas es la pendiente de asociación entre las variables que explica cuántas unidades de cambio sufre la variable dependiente por un cambio en la variable independiente.

Los valores de pendiente estimados son diferentes para cada especie esto puede asociarse a dos hechos, el error experimental asociado a las unidades de muestreo como primero y el otro a las diferencias propias de cada especie, dichas diferencias hacen importante entender la relación específica de cada especie para la toma de decisión en el aserradero como la compra de plantaciones forestales, cantidades a procesar para suplir determinada demanda o procesos de optimización en términos de proceso o maquinarias.

Conclusiones

El rendimiento de transformación primaria obtenido en el aserradero Wood Mizer LT15 bajo el protocolo de procesamiento del aserradero “El americano S.A” fue de 50.45% para cedro (*Cedrela odorata*) con límites de confianza de 45.52 a 55.37%, para la especie palo blanco la media se encontró en 41.87% de transformación primaria con límites de confianza comprendidos en 38.60% como mínimo y 45.14% como máximo, finalmente para la troza de encino el promedio de rendimiento fue de 45.44% con límites de confianza de 42.66% a 48.21%.

El análisis de coeficiente de determinación ajustado muestra en todas las especies un alto grado de asociación con pendiente positiva entre la variable regresora y dependiente, la regresión determinada para cedro (*Cedrela odorata*) fue $y = 0.2475x^2 + 0.3304x + 0.0187$, para la especie Palo blanco la expresión generada fue $y = 0.4766x^2 + 0.1381x + 0.0333$ y para la última especie el encino la regresión determinada fue $y = 0.192x^2 + 0.3784x + 0.0037$.

En consideración del acuerdo de gerencia No. 42.2003 establecido por el Instituto Nacional de Bosque (INAB) para la regularización del procesamiento forestal, los rendimientos obtenidos en (*Cedrela odorata L.*) para aserradero Wood Mizer LT15 superan el 45% del límite establecido por la legislación, la especie palo blanco se encuentra por debajo del límite en términos de media porcentual y límites de confianza, el encino como última especie evaluada mostró una media ligeramente por el máximo permitido mientras el límite mínimo de confianza estuvo por debajo del parámetro.

Recomendaciones

Evaluar las piezas de madera consideradas por el aserradero como productos primarios para llevar el procesamiento por encima de los límites máximos conforme a la legislación establecida por el Instituto Nacional de Bosques (INAB) para las especies cedro y encino utilizando el aserrado Wood Mizer LT15.

Realizar estimaciones de productos primarios y secundarios en base a las regresiones obtenidas para la compra de plantaciones, venta de madera procesada y manejo de residuos.

Se recomienda a la empresa "El Americano S.A", continuar con el monitoreo y evaluación de los procesos de transformación de todas las especies maderables que manejan para garantizar un rendimiento óptimo para optimizar procesos y cumplir con las normativas establecidas por el INAB.

Referencias

- Acuerdo de Gerencia No.42.2003 (26 de marzo/2003). <https://cretec.org.gt/wp-content/uploads/2021/03/acuerdogerencia0422003.pdf>
- Instituto Nacional de Bosques. (2016). *Guía para estudios de rendimiento de transformación primaria. Serie Técnica: GT-011.* INAB. https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/3090/Technical/Guia%20rendimientos.pdf?v=1526457646
- Instituto Nacional de Bosques. (2019). *Guía práctica para la cubicación de productos forestales.* Instituto Nacional de Bosques -INAB-. https://inab.gob.gt/images/centro_descargas/manuales/Guia%20practica%20para%20la%20cubicacion%20de%20productos%20forestales%20Nov%202019.pdf
- Mallar, M. Á. (2010). La gestión de los procesos: Un enfoque de gestión eficiente. *Revista Científica "Visión De Futuro"*, 12(1). <https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935475004.pdf>
- Martínez Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13ª ed.). Ecoe Ediciones. https://www.academia.edu/39626329/Estad%C3%ADstica_y_muestreo_Ciro_Mart%C3%ADnez_Bencardino_13ED
- Melgar, W. (2003). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala.* FAO. <https://www.fao.org/3/j0605s/j0605s03.htm>
- Picos, M. J. (2013). *Industria forestal y mercado de la madera: Navegando en la tormenta.* Sociedad Española de Ciencias Forestales. http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/14892/14735
- Riaño Melo, O. y Lizarazo, I. (2016). Estimación del volumen de madera en árboles mediante polinomio único de ahusamiento. *Colombia Forestal*, 20(1), 55–62. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v20n1/v20n1a05.pdf>
- Silva Guzman, J. A., Ramírez Arango, A. M., Fuentes Talavera, F. J., Rodríguez Anda, R., Turrado Saucedo, J. y Richter, H. G. (2014). Diagnóstico de la industria de transformación primaria de las maderas tropicales de México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 6(28), 202–221. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n28/v6n28a14.pdf>