

1. INTRODUCCION

El tajibo (*Handroanthus serratifolius*), conocido por su madera dura y de alta calidad, es una de las especies forestales más valoradas en Bolivia, especialmente en el Bosque Seco Chiquitano. La explotación de este recurso ha sido una actividad económica clave en regiones como Santa Cruz, donde la industria maderera ha jugado un papel preponderante en el desarrollo local. Sin embargo, la extracción y transformación de esta especie presenta retos relacionados con la eficiencia en el aprovechamiento del recurso, lo que hace imprescindible estudiar los rendimientos de los diferentes métodos de corte para optimizar su uso.

En Bolivia, los procesos de transformación del tajibo se llevan a cabo principalmente bajo dos enfoques: corte barraca, donde los troncos son procesados con el objeto de obtener tablas de los más anchos y más largo posible, y el corte predimensionado, un método que implica la predefinición de las dimensiones de la madera antes del corte final para un tipo de producto con mayor valor agregado. Estos métodos tienen un impacto directo en los rendimientos de transformación, tanto en términos de volumen como de diámetro, factores que influyen en la cantidad y calidad de las tablas producidas.

La presente investigación tiene como objetivo cuantificar los rendimientos de transformación del tajibo en función de su diámetro y volumen, comparando los resultados obtenidos mediante los métodos de corte barraca y corte predimensionado. Esta comparación permitirá identificar cuál de estos procedimientos es más eficiente para maximizar el aprovechamiento de la madera, minimizando los desperdicios y mejorando la productividad del sector forestal.

Con el aumento de la demanda de madera aserrada a nivel nacional e internacional, la industria del aserrío necesita ser más competitiva en los procesos de transformación primaria. Para aumentar la productividad y el coeficiente de aserrío del proceso de aserrío, es necesario lograr que la interacción de los parámetros que

las características de las máquinas se describen. Los volúmenes y la calidad de las trozas

Para determinar la rentabilidad del producto, es fundamental conocer el volumen de producción y el rendimiento por tipo de producto. El objetivo del presente estudio es proporcionar información previa para comprender el beneficio real, ya que hay incertidumbre sobre cuánto rinde cada especie.

La industria de la madera enfrenta el desafío de optimizar los procesos de producción y maximizar las ganancias, en esta época de los precios del mercado. En este contexto, el determinar la relación entre el tipo de corte predimensionado o corte barraca del Tajibo (*Handroanthus serratifolius*) con los rendimientos obtenidos de la producción de madera aserrada, así como su impacto en los costos de producción y ganancias de los aserraderos. Los resultados de esta investigación permitirán a los aserraderos tomar decisiones con la información precisa a la hora de comprar materias primas, planificar la producción y definir precios de venta, ayudando a mejorar su eficiencia

Hay una falta de conocimiento sobre cómo varía el coeficiente de conversión de troncas al producir madera aserrada mediante dos tipos de corte, el corte con dimensiones fijas (ancho, largo y espesor) y corte barraca (orientado a maximizar el ancho y el largo). Esta brecha de información en la especie Tajibo (*Handroanthus serratifolius*) limita la capacidad de los aserraderos para determinar cuál de estos métodos optimiza la productividad y rentabilidad en función a los precios de venta, afectando así las decisiones estratégicas en sus negociaciones de la industria.

Los aserraderos, en muchos casos, no integran completamente los rendimientos específicos de las especies y los costos asociados a su transformación en sus cálculos económicos. Esta omisión limita su capacidad para generar indicadores que relacionen producción con rentabilidad, dificultando la proyección rápida de beneficios económicos. Como resultado, enfrentan el riesgo de pérdidas debido a rendimientos bajos de la madera, lo cual incrementa la demanda de metros cúbicos de materia prima para cumplir con las metas de producción.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar y comparar los rendimientos de transformación de madera en tronca a tabla mediante los métodos de corte barraca y corte predimensionado en la especie *Handroanthus serratifolius*, determinando cuál de los dos métodos optimiza la productividad en el Aserradero YMABO.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar el rendimiento de transformación (%) de la madera en tabla en los dos métodos de corte: barraca y predimensionado, en la especie *Handroanthus serratifolius*.
- Calcular el coeficiente de conversión (pt/m³) para cada tipo de corte (barraca y predimensionado) en relación con el aprovechamiento de la madera en tabla.
- Evaluar las características del producto final en términos de dimensiones (largo, ancho y espesor) en los cortes de barraca y predimensionado.
- Desarrollar un modelo matemático de predicción para estimar el volumen de tabla producido a partir de troncas de *Handroanthus serratifolius* en función del tipo de corte utilizado.

Surge la siguiente pregunta de Investigación: ¿Cuál de los dos métodos de corte, barraca o predimensionado, optimiza la productividad en la producción de madera aserrada de la especie *Handroanthus serratifolius* en el Aserradero YMABO, considerando los rendimientos de transformación de tronca a tabla?

1.2. Hipótesis

Se plantea la siguiente hipótesis de investigación para cada una de las preguntas planteadas, estructuradas para guiar una investigación cuantitativa y comparativa sobre la producción de madera aserrada de la especie Tajibo:

H0: El rendimiento (%) de la madera aserrada de Tajibo es igual en el corte predimensionado en comparación con el corte de barraca.

H1: El rendimiento de la madera aserrada de Tajibo es significativamente mayor en el corte predimensionado en comparación con el corte de barraca.

H0: El coeficiente de transformación (pt/m^3) de la madera aserrada de Tajibo es igual en el corte barraca en comparación con el corte de predimensionado.

H1: El coeficiente de transformación (pt/m^3) Tajibo es significativamente mayor en el corte barraca en comparación con el corte de predimensionado.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Justificación Técnica de la División de *Tabebuia* y *Handroanthus* y su Aplicación en los Bosques Bolivianos

La reciente decisión de dividir el género *Tabebuia* en dos géneros, *Tabebuia* y *Handroanthus*, tiene una base sólida en estudios filogenéticos y morfológicos. Este cambio taxonómico es crucial para la correcta gestión y manejo de los recursos forestales, particularmente en Bolivia, donde las especies de *Handroanthus* juegan un papel dominante en varios ecosistemas, especialmente en los bosques secos.

- **Evidencia filogenética y molecular**

La principal razón detrás de la división de *Tabebuia* en *Tabebuia* y *Handroanthus* proviene de estudios filogenéticos que han demostrado diferencias significativas en las secuencias de ADN entre los grupos que antes se incluían bajo *Tabebuia*. El estudio de Grose y Olmstead (2007) utilizó datos moleculares de varias especies y concluyó que los linajes evolutivos de *Handroanthus* y *Tabebuia* son claramente distintos, lo que justifica su separación en géneros diferentes.

- **Diferencias morfológicas**

Además de la evidencia molecular, existen diferencias morfológicas clave que respaldan esta separación. Las especies de *Handroanthus* se distinguen por su madera densa y resistente, un rasgo que no se encuentra en todas las especies de *Tabebuia*. Esta característica es particularmente notable en su duramen, que suele ser de color marrón oscuro a púrpura, con alta densidad (superior a 0.9 g/cm³) y una notable resistencia a la descomposición y al ataque de insectos, lo que les confiere un alto valor comercial, especialmente en la industria de la construcción y la carpintería fina.

En cuanto a las estructuras florales, *Handroanthus* presenta cálices coriáceos o leñosos, muchas veces pubescentes o glandulosos, a diferencia de *Tabebuia*, cuyos cálices suelen ser membranáceos o delgados. Las flores de *Handroanthus* también tienden a ser de colores más vivos, como el amarillo intenso o el púrpura, y con frecuencia aparecen antes del follaje, lo que crea un efecto visual muy característico. Además, los frutos (cápsulas) en *Handroanthus* son generalmente más gruesos y pesados, mientras que en *Tabebuia* son más delgados y ligeros.

Estas diferencias en la morfología de la madera, flores, cálices y frutos, en conjunto con los datos genéticos, justifican la separación de ambos géneros y refuerzan la validez de *Handroanthus* como una entidad taxonómica independiente dentro de la familia Bignoniaceae.

1.2. La importancia del Tajibo (*Handroanthus serratifolius*) en la industria maderera

Su uso predominante es en la fabricación de productos de alta calidad, como pisos, muebles y estructuras, lo que lo convierte en una especie codiciada tanto en el mercado nacional como internacional (Gómez L. P., 2020). Sin embargo, la transformación de esta madera presenta desafíos debido a la variabilidad en los diámetros de los troncos y su dureza, lo que afecta el rendimiento y la productividad en los aserraderos. Las especies forestales *Amburana cearensis* y el *Handroanthus serratifolius* fueron especies que sostienen económicamente los Planes de Manejo, esta especie utilizada para la fabricación de muebles de jardín, pisos para la exportación y para como madera para marcos, puertas, ventanas, vigas y de uso para la construcción.

1.3. Coeficiente de conversión en la producción de tablas

El coeficiente de conversión es un factor clave en la producción de madera aserrada, ya que mide la relación entre el volumen de las trozas y el volumen de tablas obtenidas

tras el proceso de transformación (López, Optimización del rendimiento en la producción de madera aserradae., 2019).

La variabilidad en los diámetros y pesos de las trozas puede influir en la eficiencia de los aserraderos, ya que las maderas más gruesas y pesadas suelen generar mayores rendimientos en términos de volumen aserrado. Estudios previos han demostrado que, en especies similares al Tajibo, la optimización del diámetro de las trozas es fundamental para maximizar los rendimientos productivos y económicos. (Martínez, impacto del diámetro de trozas en la eficiencia de los aserraderos: Un enfoque económico y productivo. , 2021)

1.3 Comparación de métodos de corte: Corte barraca y corte Predimensionado

Existen diferentes técnicas para transformar las trozas en tablas, entre las cuales destacan el corte barraca y el corte predimensionado. El corte barraca implica un aserrado en bruto sin una medición precisa de las dimensiones de las tablas, lo que suele generar mayores pérdidas de material. (Gutiérrez, 2017). Por otro lado, el corte predimensionado se basa en realizar cortes con medidas fijas de ancho, largo y espesor, lo que permite obtener productos más uniformes y de mayor valor comercial.

La elección entre ambos métodos depende de varios factores, como el tipo de madera, los equipos disponibles y el objetivo de la producción, ya que cada uno afecta el rendimiento y la rentabilidad de manera distinta.

1.4 Impacto económico y la productividad en los aserraderos

La falta de una diferenciación clara en los precios de las trozas de acuerdo con su diámetro y calidad ha generado ineficiencias económicas en muchos aserraderos. Los estudios económicos han demostrado que los aserraderos que no optimizan sus procesos de corte enfrentan mayores costos de operación y menores márgenes de ganancia. (Navarro, 2020). En el caso del tajibo, la falta de conocimiento sobre cómo los diferentes diámetros y masas de las trozas afectan la productividad y los

rendimientos de transformación puede llevar a decisiones subóptimas en la elección de los métodos de corte, lo que impacta directamente en la rentabilidad del negocio. (Gómez L. P., 2020).

1.5 Sostenibilidad y aprovechamiento de los recursos forestales

El aprovechamiento sostenible del tajibo es un tema crítico, dado que esta especie se encuentra bajo presión debido a la alta demanda y la sobreexplotación en algunas regiones de América del Sur. (Rodríguez, Conservación y manejo del Tajibo en la región amazónica, 2018).

La implementación de técnicas de corte más eficientes no solo puede mejorar los rendimientos de transformación, sino también reducir la cantidad de trozas necesarias para cumplir con los objetivos de producción, lo que contribuiría a una gestión más responsable de los recursos forestales. (Martínez, mpacto del diámetro de trozas en la eficiencia de los aserraderos: Un enfoque económico y productivo. , 2021). Por lo tanto, la optimización de los procesos de corte y la cuantificación adecuada de los rendimientos son esenciales para garantizar la sostenibilidad de la industria maderera.

1.6 Definición de aserrío

El proceso de aserrío se considera una de las actividades más importantes de la industria forestal y una de las formas más sencillas de transformar la tronca a tabla, cuya eficiencia o rendimientos se evalúa a través de estudios de coeficientes de transformación y de rentabilidad económica del proceso de producción.

Según Seville, (2006) citado por Ticon, (2014), define el aserrado como la primera transformación industrial de la tronca a tabla, para el aprovechamiento óptimo, mediante máquinas de corte (la sierra de cinta, circular o las portátiles) y técnicas que tienden a obtener el mayor volumen de madera aserrada con la más alta calidad posible.

El aserrío se entiende como la transformación de las trozas en madera aserrada de distintas medidas, según el tipo de corte en su producción corte barraca (lo más ancho y lo más largo), corte predimensionado (anchos, largos fijos). Para lograr esta transformación es necesario combinar recursos como son las máquinas, los operadores, los sistemas de recolección de información, los programas de planificación, entre otros (Reyes, 2013).

1.7 Tipos de corte y aserrío de madera (corte barraca vs. predimensionado).

Existen diferentes técnicas para transformar las trozas en tablas, entre las cuales destacan el corte barraca y el corte predimensionado. El corte barraca implica un aserrado en bruto sin una medición precisa de las dimensiones de las tablas buscando lo más ancho y lo más largo, lo que suele generar mayores pérdidas de material si se elabora productos manufacturado de este tipo de tabla, lo recomendable este tipo de madera es el uso para la construcción. (Gutiérrez, 2017). Por otro lado, el corte predimensionado se basa en realizar cortes con medidas fijas de ancho, largo y espesor, lo que permite obtener productos más uniformes y de mayor valor comercial.

1.8. Eficiencia y aprovechamiento en los métodos de aserrío.

1.8.1 Coeficiente de conversión en la producción de tablas

El coeficiente de conversión es un factor clave en la producción de madera aserrada, ya que mide la relación entre el volumen de las tablas (pt) y el volumen de madera en tronca m^{3r} obtenidas tras el proceso de transformación (pt/m^{3r}) (López, 2019).

La variabilidad en los diámetros y pesos de las trozas puede influir en la eficiencia de los aserraderos, ya que las maderas más gruesas y pesadas suelen generar mayores rendimientos en términos de volumen aserrado. Estudios previos han demostrado que, en especies similares al Tajibo, la optimización del diámetro de las trozas es fundamental para maximizar los rendimientos productivos y económicos. (Martínez, 2021).

1.8.2 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 siguiente relación (Quirós et al., 2005):

Donde:

- R = Rendimiento de madera aserrada (%).
- Vta = Volumen de las tablas (m³).
- Vtr = Volumen de las trozas (m³r).

De acuerdo a los estudios de rendimiento de aserrío de trozas a madera simplemente aserrada, que se realizaron en empresas privadas desarrollados en los Municipios de Santa Cruz, brindan. Los resultados de los diferentes estudios de rendimientos para la especie tajibo (*Handroanthus serratifolius*), va desde el 41.42% hasta 53.38%, como se observa en el Cuadro.

Tabla 1 Rendimientos de la madera en tronca a tabla de la especie tajibo (Handroanthus serratifolius)

Especie	Tajibo	Produccion en m3			Rendimiento		
		Nro trozas	Volumen (m3)	Corta Larga total	% Corta	% larga	% total
San Rafael	El gigante	40	56,66	7,03 17,04 24,07	29,20	70,80	42,47
San Rafael	Altamira	40	34,75	4,39 10,53 14,92	29,42	70,58	42,94
San Rafael	Yajo	50	97,88	12,02 32,34 44,36	27,10	72,90	45,32
San Rafael	Santa Lucia	50	54,33	11,56 13,23 24,79	46,63	53,37	45,63
San Miguel	San Juan de Lomerio	40	51,31	6,00 19,24 25,24	23,79	76,21	49,19
Concepcion	Cortez	50	57,43	5,51 20,12 25,63	21,50	78,50	44,63
San Ignacio	Raul	40	38,68	6,26 9,95 16,21	38,63	61,37	41,91
San Ignacio	San Ignacio	40	37,06	4,79 12,68 17,47	27,42	72,58	47,14
San Ignacio	Santa Teresita	40	53,18	20,49 7,90 28,39	72,18	27,82	53,38
San Ignacio	CUMAVI	50	50,79	6,30 14,74 21,04	29,96	70,04	41,42
San Ignacio	MADEROSIV	40	49,00	5,95 14,86 20,81	28,59	71,41	42,47
San Ignacio	MAFLASAN	50	49,75	7,51 15,38 22,89	32,81	67,19	46,01

Fuente: Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierras (ABT)

El rendimiento del proceso de aserrío se puede ver afectado por diferentes variables del proceso como: diámetro, calidad, forma de la troza y dimensiones de productos finales, características del operario, mantenimiento de equipo, tomando en cuenta estas variables se pueden enfocar estudios para determinar cuál variable afecta significativamente el rendimiento y proponer mejoras. (Aldás Ledesma, 2014).

2. Justificación Técnica de la División de *Tabebuia* y *Handroanthus* y su Aplicación en los Bosques Bolivianos

La reciente **decisión de dividir el género *Tabebuia*** en dos géneros distintos, ***Tabebuia*** y ***Handroanthus***, tiene un sólido respaldo en estudios **filogenéticos** y **morfológicos**. Esta reestructuración taxonómica es esencial para la **gestión adecuada** de los recursos forestales, especialmente en **Bolivia**, donde las especies de ***Handroanthus*** juegan un papel clave en los ecosistemas de **bosques secos**. Según **Grose y Olmstead (2007)**, estudios moleculares han demostrado que los linajes de ***Handroanthus*** y ***Tabebuia*** presentan diferencias significativas en sus secuencias de **ADN**, lo que justifica su separación en géneros distintos.

3. Rendimiento en Aserrío de la Especie *Tajibo*

En un estudio realizado por **Melendres Ventura (2016)**, se analizaron 125 muestras de ***Tajibo*** con un volumen total de **162.87 m³**, obteniendo **60.90 m³** en **tablas largas** y **20.36 m³** en **tablas cortas**, lo que resultó en un **rendimiento total de 49.89%**. Este estudio demostró que **especies de madera densa**, como el ***Tajibo***, presentan **rendimientos menores** en comparación con especies de menor densidad, debido a su dureza. Esto se debe a que las especies más duras generalmente presentan un **rendimiento más bajo** en el proceso de aserrío, ya que requieren más energía para ser procesadas (Isurza, 2016).

4. Comparación de Métodos de Corte: Corte Barraca vs. Corte Predimensionado

Los métodos de corte en aserraderos, como el **corte barraca** y el **corte predimensionado**, tienen un impacto directo en los **rendimientos** y la **rentabilidad**. Según **Gutiérrez (2017)**, el corte barraca se caracteriza por un aserrado en bruto, lo que generalmente resulta en **mayores pérdidas de material** debido a la falta de precisión en las dimensiones de las tablas. En contraste, el **corte predimensionado** permite obtener **productos más uniformes** con **mayores márgenes comerciales**, lo que optimiza la **utilización de la materia prima** (Gutiérrez, 2017). El rendimiento de estas técnicas, especialmente en especies como **ajibo**, depende de varios factores, incluyendo el **diámetro** de las trozas y la **calidad** de la madera.

5. Eficiencia del Aserrío y su impacto en la rentabilidad

La **eficiencia en el aserrío** es fundamental para determinar la **rentabilidad** de los aserraderos. Según **Portella (2021)**, el rendimiento en aserrío de especies como el **Tajibo** varía dependiendo de las **condiciones de las trozas**, como el **diámetro**, la **dureza** de la madera y las **tensiones internas** del material. Además, factores operativos, como la **maquinaria utilizada** y la **capacitación del personal**, también influyen en la **productividad** del proceso (Portella, 2021). El **rendimiento promedio** de aserrío para el Tajibo en la región de **San Ignacio de Velasco** es del **44.69%**, con variaciones dependiendo de las características del **aserradero** y la **calidad de las trozas** procesadas (Isurza, 2016).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ámbito de estudio

Se utilizarán datos detallados de producción del aserradero para realizar el análisis de los rendimientos, asegurando una evaluación exhaustiva y precisa de la producción de la especie Tajibo (*Handroanthus serratifolius*).

2.1.1 Localización

Aserradero “YMABO” objeto del presente estudio, se encuentra ubicado políticamente en el Municipio Concepción, del Departamento de Santa Cruz.

La empresa se encuentra ubicada en el municipio de Concepción, pasando 1KM de la población de Concepción, su depósito se encuentra en la misma zona

Tabla 2 Polígono del Área del aserradero

PUNTO	XCOORD	YCOORD
P1	605052	8217668
P2	605130	8217524
P3	605171	8217446
P4	605212	8217358
P5	604977	8217289
P1	605052	8217668

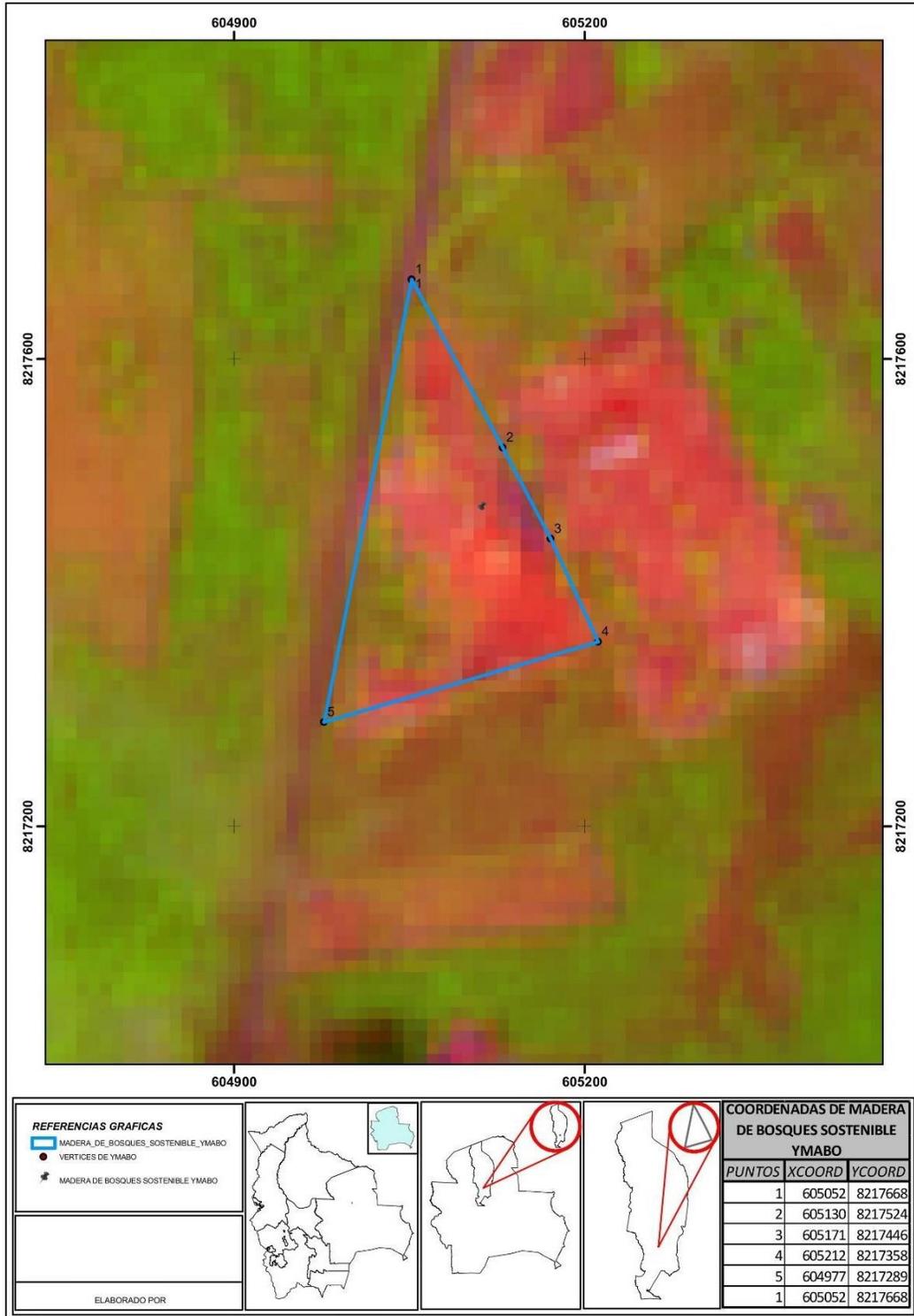


Figura 1 Ubicación del Aserradero YMABO

2.2 Descripción ecológica de Tajibo (*Handroanthus serratifolius*)

El Tajibo (*Handroanthus serratifolius*), conocido comúnmente como ipé o lapacho, es una especie arbórea nativa de las regiones tropicales y subtropicales de América del Sur, con distribución que abarca países como Bolivia, Brasil, Paraguay, Argentina y Perú. Pertenece a la familia Bignoniaceae y es notable por su importancia ecológica y económica en los ecosistemas de bosques secos y húmedos tropicales (Rodríguez, Conservación y manejo del Tajibo en la región amazónica., 2018)

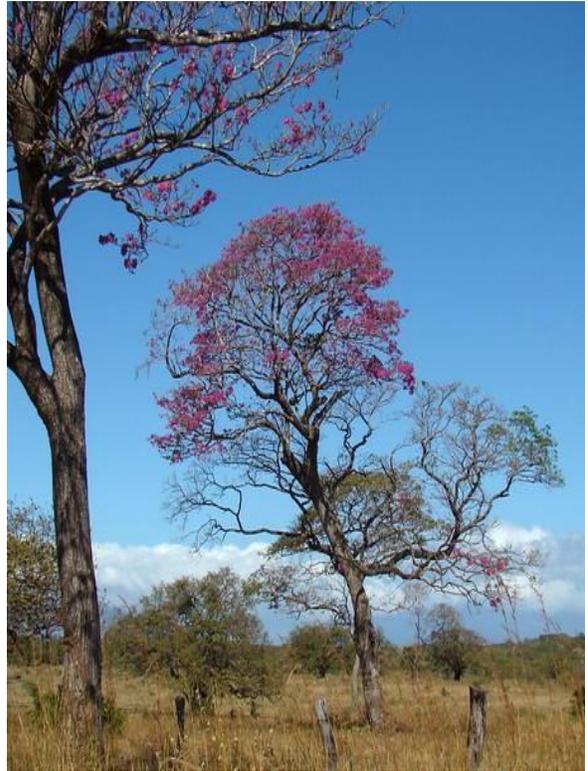
Ecológicamente, el Tajibo se caracteriza por ser una especie de crecimiento lento, alcanzando alturas que varían entre 20 y 30 metros, con un diámetro que puede superar los 100 cm en individuos adultos. Su corteza es gruesa y rugosa, y su madera es extremadamente densa y resistente. Este árbol es una especie clave en los bosques donde habita, proporcionando refugio y alimento a diversas especies de fauna, como insectos, aves y pequeños mamíferos. (Gómez L. &., 2020)

El Tajibo es especialmente resistente a las condiciones adversas, incluyendo períodos prolongados de sequía, lo que le permite prosperar en áreas con suelos pobres y estaciones secas marcadas, como en la región del Gran Chaco y la Chiquitanía en Bolivia. Sin embargo, también se encuentra en áreas de mayor pluviosidad, demostrando su capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitats. Las flores del Tajibo son vistosas y de color rosado a morado, atrayendo polinizadores como abejas y aves, lo que es fundamental para la regeneración natural de esta especie. (López, Adaptaciones ecológicas del Tajibo en ecosistemas tropicales secos. , 2019)

A pesar de su importancia ecológica, el Tajibo enfrenta presiones significativas debido a la sobreexplotación para la obtención de su valiosa madera, lo que ha llevado a la disminución de sus poblaciones en varias regiones. Esta explotación excesiva, combinada con la deforestación y la conversión de sus hábitats naturales para la agricultura y la ganadería, plantea serias amenazas a su conservación a largo plazo. (Martínez, Impactos de la explotación forestal en las poblaciones de Tajibo en Bolivia., 2021)

Taxonomía

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
(sin rango):	Eudicots
Clase:	Magnoliopsida
(sin rango):	Asterids
Orden:	Lamiales
Familia:	Bignoniaceae
Tribu:	Tecomeae
Género:	Handroanthus
Especie:	Handroanthus serratifolius



- **Características dendrológicas:** Árbol grande, hasta 40 m de alto y 100 cm de DAP. Fuste cilíndrico, aletones poco destacables. Copa irregular hasta cilíndrica-cupular. Corteza externa grisácea, algo fisurada. Corteza interna amarilla clara, que se oxida a café oscuro, de textura laminar. Hojas opuestas, compuestas, 5-7 palmadas con bordes enteros a sinuosos. Flores conspicuas de color magenta o rosado. Fruto cápsula bivalva dehiscente (falsa legumbre) conteniendo numerosas semillas membranosas y aladas.

- **Plántulas:** Hojas 5 palmadas, con el borde crenado o aserrado, las hojas glabras. No es fácil de identificar, ya que todas las plántulas del género *Tabebuia* adoptan casi la misma morfología. Sólo se puede tener en cuenta la distribución de las especies con base en los mapas.

- **Distribución:** Presente en toda la zona chiquitana y chaqueña, y en las últimas estribaciones de la cordillera oriental de los Andes, que comprende los Departamentos de Beni, Santa Cruz, Chuquisaca, Tarija, La Paz y Pando. Se encuentra en altitudes de 100 a 1400 m.s.n.m.

- **Ecología:** Especie emergente, decidua, parcialmente demandante de luz, muy común en los bosques deciduos y subhúmedos estacionales, como el bosque de llanura aluvial, bosque chiquitano y bosque serrano chaqueño. En suelos variables, pero de fácil drenaje. Floración vistosa, que ocurre cuando el árbol está deciduo entre julio y agosto. Fructifica de agosto a octubre, las semillas son dispersadas por el viento.

- **Uso.** El uso de la madera del tajibo es para construcción, para elaborar horcones, postes, y ejes de ruedas, muebles de jardín para exteriores y pisos Timothy et al. (1993).

- **Propiedades física**

Contenido de humedad en verde	%
Densidad básica	0,81 g/cm ³
Densidad al 12% de humedad	0,96 g/cm ³
Contracción radial	4,2 %
Contracción tangencial	5,8%
Contracción volumétrica	9,7%
Relación T/R	1,7

- **Propiedades mecánicas**

Módulo de elasticidad	130 x 1000 kg/cm ²
Módulo de rotura	1290 kg/cm ²

E.R. Compresión paralela	748 kg/cm ²
Corte radial	kg/cm ²
Dureza lateral	1380 kg
Tenacidad	kg-m

- Condiciones técnicas para el procesamiento

Trabajabilidad	Difícil de procesar por su dureza buen acabado superficial
Preservación	Impermeable, en las operaciones de tratamiento
Durabilidad	Muy durable, aun en elementos en contacto con el suelo
Secado	

2.3. Aspectos Socioeconómicos

La economía de las familias campesinas en la región se fundamenta en un conjunto de actividades tradicionales, entre las cuales destacan la agricultura, la ganadería, la artesanía, el comercio y, en menor medida, la tala de árboles. Los principales cultivos agrícolas que sostienen a estas comunidades son el maíz, el arroz, la yuca y el plátano, los cuales se producen en sistemas agrícolas de pequeña escala.

En cuanto a la ganadería, el ganado vacuno desempeña un rol esencial en la economía local, con una población estimada en alrededor de 130.000 cabezas de ganado distribuidas a lo largo de toda la comuna. Estos animales son criados tanto para el consumo interno de las familias como para la comercialización en mercados locales y regionales, contribuyendo de manera significativa a los ingresos de los hogares campesinos.

El turismo ha emergido como una de las áreas de actividad económica más rentables, situándose entre los tres sectores más importantes para la generación de ingresos. Entre los principales atractivos turísticos se destaca el Archivo Musical de Chiquitos, el cual es considerado el archivo de música barroca más extenso del mundo. Este archivo alberga aproximadamente 4.000 piezas musicales y se encuentra bajo la dirección del

representante Ñuflo Chávez, constituyéndose en un referente cultural y patrimonial de gran valor para la región.

En lo que respecta a los recursos naturales, la región cuenta con extensos bosques que contienen especies arbóreas de gran valor comercial, muchas de las cuales han sido intensamente explotadas para la obtención de madera. Sin embargo, también se han establecido reservas forestales con el objetivo de preservar la biodiversidad y promover un manejo más sostenible de los recursos forestales.

2.4. Materiales y Métodos

2.4.1 Materiales

Para la ejecución de este trabajo se utilizarán los siguientes equipos y materiales:

Materiales biológicos.

Las muestras extraídas del Aserradero Ymabo del municipio de Concepción del Departamento de Santa Cruz.

Descripción general de la planta industrial

El Aserradero cuenta con instalaciones propias, infraestructura y espacios físicos para desarrollar sus actividades. Su infraestructura es la siguiente:

- Oficina.
- Garaje.
- Un (1) galpón de instalación del aserradero.
- Sierra sin fin o de cinta
- Carro porta troza
- Desorilladora
- Despuntadora
- Sala de afilado

- Patios a campo abierto para apilado de troncas y de madera aserrada

Personal

El aserradero en la fase de aserrío cuenta con un personal de 15 personas en cada turno de trabajo de 8 horas/día y semanalmente se trabaja 5 días.

Sección	Número	Función
Sierra principal	1	Palanquero o aserrador
	1	Pulgueador
	1	Ayudante
Recepción de tablones	2	Recibidores
Desorilladora	1	Desorillador
	1	Ayudante
Despuntadoras	1	Despuntador
	1	Ayudante
Recuperadora	1	Recuperador
	1	Ayudante
Acomodadores	3	Acomodares de madera de acuerdo a su medida
Palero	1	Sacar el aserrín que se acumula en la sierra principal
Total	15	

Tabla 3 Distribución del personal de la planta de aserrío

Materiales de campo.

- tablero
- Pintura spray
- Cinta Diamétrica
- Flexómetro de 10 y 5 metros
- Cuerdas
- Planillas de Campo
- G P S
- Lápices
- Regla milimétrica

Materiales de escritorio.

- Mapa tipológico de la zona
- Computadora
- Calculadora

2.5 Métodos

Evaluar y comparar la eficiencia de dos métodos de corte: Barraca y Predimensionado en el procesamiento de la madera de *Handroanthus serratifolius* (Tajibo) en madera aserrada. Este análisis se centrará en características como volumen, diámetros, longitudes, producción por espesores y rendimientos industriales.

2.5.1. Diseño de Investigación:

El estudio es de tipo comparativo y cuantitativo. Se comparan los resultados de dos métodos de corte: Barraca (flexible en cuanto a espesores) y Predimensionado (corte estandarizado). La evaluación incluirá:

- Características físicas de las trozas (diámetros, longitudes).
- Distribución de la producción por espesores.
- Rendimientos industriales y coeficientes de transformación.
- Análisis estadístico utilizando pruebas no paramétricas.

2.5.2. Muestras

Se analizaron 186 muestras para el corte Barraca y 195 muestras para el corte Predimensionado. Estos tamaños de muestra permiten una comparación significativa de los dos métodos, las muestras fueron tomadas al azar del patio de troncas y sus resultados conforme el ingreso a aserradero.

2.5.3. Recopilación de Datos:

- Volumen de Madera: Se recopilarán datos sobre el volumen procesado por cada método.
- Características Dimensionales: Se registrarán los diámetros y las longitudes de las piezas cortadas.
- Distribución de Espesores: Se evaluará la producción en diferentes espesores y su comparativa entre ambos métodos.
- Rendimiento Industrial: Se medirá el aprovechamiento de la madera en relación con la materia prima procesada en porcentaje (%).
- Coeficientes de Transformación: Se calculará la relación entre el volumen de troza y el producto final obtenido (pt/m³).

2.6. Análisis Estadístico.

2.6.1. Estadística Descriptiva:

Se calculó estadísticas básicas como la media y la desviación estándar para cada medición (diámetros, volúmenes, longitudes).

Fórmulas:

- Media: $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
- Desviación estándar: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$

2.6.2. Prueba de Normalidad:

La prueba de normalidad es un paso esencial en cualquier análisis estadístico, ya que asegura la validez de los supuestos subyacentes de los métodos utilizados. Al detectar si los datos son normales o no, el investigador puede seleccionar las herramientas más apropiadas, garantizando la confiabilidad y la precisión de sus conclusiones.

La fórmula del estadístico W de la prueba original de Shapiro-Wilk es:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x(i))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

La fórmula del estadístico W de la prueba original de Shapiro-Wilk es:

- $x(i)$: Es el i-ésimo valor ordenado de la muestra ($x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(n)$).
- \bar{x} : Es el promedio de la muestra
- a_i : Son los coeficientes que maximizan W bajo la hipótesis de normalidad. Estos coeficientes dependen de la matriz de covarianza esperada de una muestra normal estándar.

Interpretación:

Un valor W cercano a 1 indica que los datos son aproximadamente normales. El valor p asociado permite tomar decisiones:

- $p > 0.05$: No se rechaza la hipótesis nula, los datos son normales.
- $p \leq 0.05$: Se rechaza la hipótesis nula, los datos no son normales.

6.2.3. Prueba de Wilcoxon (Mann-Whitney U)

Se utilizó la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney, con el objeto de comprobar si hay diferencias significativas entre dos grupos independientes, en este caso si la producción de madera en tabla del corte barraca tiene diferencia con la tabla del corte predimensionado. En otras palabras, evalúa si una de las muestras tiende a tener valores más altos o más bajos que la otra.

Se planteó la siguiente Hipótesis:

- H_0 : No hay diferencias entre las distribuciones de los dos grupos (proviene de la misma población).
- H_1 : Hay diferencias significativas entre las distribuciones de los dos grupos.

Cálculos de la Prueba \square

W en la Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney se calcula a partir de los rangos asignados a las observaciones de ambas muestras. Se utilizó las siguientes fórmulas:

Fórmulas para el Cálculo de W :

- **Para el Grupo 1 (muestra 1):**

La fórmula para calcular U_1 (que se usa para obtener W) es:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

Donde:

- R_1 es la **suma de los rangos** del grupo 1.
- n_1 es el número de observaciones en el grupo 1.

- **Para el Grupo 2 (muestra 2):**

La fórmula para calcular U_2 (que se usa para obtener W) es:

La fórmula para calcular U_2 (que se usa para obtener W) es:

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}$$

Donde:

- R_2 es la suma de los rangos del grupo 2.
- n_2 es el número de observaciones en el grupo 2.

Una vez calculados U_1 y U_2 , el valor de W se obtiene como el **mínimo** entre U_1 y U_2 :

$$W = \min (U_1, U_2)$$

El valor de W se compara con una tabla de valores críticos de Mann-Whitney para determinar si la diferencia entre los dos grupos es estadísticamente significativa. Dependiendo del tamaño de las muestras y del nivel de significancia (generalmente $\alpha=0.05$), si el valor de W es menor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula de que las dos muestras provienen de la misma población.

6.2.4. Análisis de Regresión:

Los resultados se ajustaron a los modelos matemáticos para predecir la transformación de troza a tabla, con el objeto de determinar a qué modelo más se ajusta la relación volumen troza y la producción volumen tabla para el corte de Barraca y corte Predimensionado.

Fórmulas de los modelos:

- **Modelo Lineal:** $Y=aX+b$ donde Y es el volumen de madera en tabla, X es el volumen de la troza y a y b son los coeficientes del modelo.
- **Modelo Polinómico:** $Y=aX^2+bX+c$ donde a, b, y c son los coeficientes del modelo polinómico.
- **Modelo Exponencial:** $Y=ae^{bX}$ donde a y b son los parámetros del modelo.
- **Modelo Logarítmico:** $Y=a\ln(X)+b$ donde a y b son los parámetros del modelo.

6.2.5. Validación de Modelos:

Los modelos serán evaluados utilizando el coeficiente de determinación (R^2), que indica qué tan bien el modelo explica la variabilidad de los datos.

Fórmula:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

donde Y_i son los valores observados, \hat{Y} son los valores predichos \bar{Y} es la media de los valores observados.

6.2.6. Calcular Intervalos de Confianza y Validar Modelos de Regresión

Se calculó los **intervalos de confianza** para los modelos de regresión, con el fin de evaluar la precisión de las predicciones y seleccionar el mejor modelo (lineal, polinómico, etc.).

Los intervalos de confianza nos permitirán determinar un rango dentro del cual esperamos que se encuentre la verdadera relación entre el volumen de la troza (en m³) y el volumen de la tabla (en m³), con una probabilidad del 95%.

El **intervalo de confianza** para las predicciones de un modelo de regresión se calcula usando la fórmula general para los intervalos de predicción:

$$\hat{y} \pm t_{\alpha/2} \cdot \sqrt{MSE \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

Donde:

- \hat{y} es el valor predicho del modelo para una observación específica x_0 ,
- $\pm t_{\alpha/2}$ es el valor crítico de la distribución t_{n-1} grados de libertad (dependiendo del nivel de confianza, en este caso, para un 95% de confianza, $\alpha=0.05$),
- MSE es el error cuadrático medio del modelo,
- n es el número total de observaciones,
- \bar{x} es la media de los valores de x ,
- x_0 es el valor de la variable independiente para el cual se quiere hacer la predicción.

Cálculo del Error Cuadrático Medio (MSE): El MSE se calcula utilizando la fórmula:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

donde:

- y_i es el valor observado,
- \hat{y}_i es el valor predicho para cada observación i
- n es el número total de observaciones.

Selección del Mejor Modelo: Los diferentes modelos de regresión (por ejemplo, lineales, polinómicos, exponenciales) serán evaluados con base en los **intervalos de confianza** obtenidos para las predicciones. Se seleccionará el modelo que tenga el intervalo de confianza más **ajustado** (más estrecho), ya que esto indica que el modelo tiene una mayor precisión y que las predicciones están más cerca de los valores reales.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Características de las muestras

El aserradero YMABO es una empresa que brinda servicios de aserrío y también procesa un porcentaje de su propia producción de madera en tronca. Las trozas provienen de diferentes fuentes, las utilizadas en el corte barraca provienen de un Plan General de Manejo Forestal y se caracterizan por ser trozas seleccionadas de primer corte, con mejor porte y calidad; mientras que las del corte predimensionado provienen de un Plan de Desmonte, es decir, de áreas ya aprovechadas con trozas saldos de las anteriores cosechas.

El estudio cuenta con 186 muestras para el corte barraca y 195 muestras para el corte predimensionado. Además, se calculó la desviación estándar con el objetivo de medir la variabilidad de las muestras destinadas a la transformación en cada caso (predimensionado y barraca).

También se realizó la prueba de Wilcoxon, una prueba no paramétrica, debido a que los datos no cumplen con la distribución normal según la prueba de normalidad. Esta prueba permitió determinar si existen diferencias en las fuentes de la materia prima para cada tipo de producción (predimensionado y barraca). Los resultados se presentan en la Tabla N° 6.

Tabla 4 Análisis Estadístico de las Características Promedio de Trozas Según el Tipo de Corte: Dimensiones, Volúmenes y Resultados de Pruebas de Wilcoxon

Tipo de corte	N° muestras (trozas)	Vol troza (m3)	Diametro promedio base (cm)	Diametro promedio punta (cm)	Diametro general (cm)	Promedio largo (m)	Vol troza/m3
Barraca	186	224,07	52,06	46,51	49,28 ± 7,52	6,99	1,20 ± 0,65
Predimensionado	195	69,96	37,87	36,89	36,89 ± 4,46	3,51	0,36 ± 0,12
DE (barraca)		0,65			7,52		
DE (predimensionado)		0,12			4,46		
W:=8445,11655		<53350			<50550		
p=0,05		<0,0001			<0,0001		

Fuente: Propia

Se evidencia diferencias notables en el volumen procesado entre ambos métodos. El corte Barraca registró 224,07 m³, superando ampliamente los 69,96 m³ del Predimensionado, lo que indica que las trozas de manejo forestal sostenible poseen mayores dimensiones y un aprovechamiento más eficiente.

En el volumen troza/m³, Barraca presentó 1.20 ± 0.65 m³/troza, frente a 0.36 ± 0.12 m³/troza del Predimensionado, marcando una reducción del 76,92%. La mayor variabilidad en el corte Barraca podría vincularse a la diversidad en diámetros y longitudes de las trozas.

Los diámetros reflejan esta disparidad: el corte barraca mostró un promedio de 49,28 ± 7,52 cm, contra 36,89 ± 4,46 cm del Predimensionado. La desviación estándar más alta en la materia prima del corte barraca sugiere una dispersión significativa en tamaños, lo que podría afectar la eficiencia del aserrío. En contraste, el Predimensionado exhibe diámetros menores, pero más homogéneos, típicos de material residual. Respecto a la longitud, el corte barraca promedió 6.99 m, un 66,57% superior a los 3.51 m del Predimensionado, reforzando la inferioridad dimensional de este último.

Los análisis estadísticos confirmaron que estas diferencias no son aleatorias. La prueba de Mann-Whitney para el volumen total arrojó W = 53350 (p < 0.0001), validando la significancia estadística. Similarmente, la disparidad en diámetros (W < 50550, p <

0.0001) corrobora que las trozas o materia prima para ambos cortes difieren estructuralmente.

3.2 Producción por espesores

El análisis es de dos métodos principales de corte para la especie tajibo (*Handroanthus serratifolius*):

- a) Corte barraca representa el 80% del volumen total procesado, destaca por su flexibilidad en los espesores de corte, que van de 1 a 10 pulgadas. Esta versatilidad permite su uso en una amplia variedad de productos, desde mobiliario, madera para la construcción hasta la producción de horcones. Dentro de esta categoría, los espesores más utilizados son el de 2 pulgadas, seguido por el de 1 pulgada, reflejando su capacidad de adaptación a diferentes requerimientos del mercado local.

- b) Corte predimensionado representa el 20% del volumen total y se distingue por ofrecer espesores estándar según las necesidades del cliente (1 y 2 pulgadas), las de espesor de 3 y 5 pulgadas, son las últimas tablas que contienen parte de la médula de la tronca. Al igual que en el corte barraca, la medida más solicitada es la de 2 pulgadas, seguida por la de 1 pulgada. Este método es preferido para proyectos que demandan precisión en las dimensiones, como la fabricación de estructuras estandarizadas como pisos, muebles o puertas, normalmente para los mercados de exportación. Los datos analizados en la Tabla N°7 evidencian diferencias notables en la producción y características de cada tipo de corte.

Tabla 5 Distribución de espesores y áreas por tipo de corte para madera larga y corta

Especie	Madera larga			Madera corta		Total	
	Espesor (pulgada)	pt	%	pt	%	pt	%
Tajibo corte predimensionado	1	1.848,92	29,59	1.901,72	56,71	3.750,63	39,06
	2	4.266,50	68,27	1.444,82	43,08	5.711,32	59,47
	3	117,25	1,88	7,13	0,21	124,38	1,30
	5	16,67	0,27	0,00	0,00	16,67	0,17
Subtotal		6.249,33	100,00	3.353,66	100,00	9.602,99	100,00
% en largos		65,08		34,92		100,00	
Tajibo corte barraca	1	4.978,90	17,57	6.713,03	52,65	11.691,93	28,46
	2	14.671,18	51,78	5.776,35	45,31	20.447,53	49,77
	3	1.706,63	6,02	172,00	1,35	1.878,63	4,57
	4	675,14	2,38	29,33	0,23	704,47	1,71
	5	58,33	0,21	27,92	0,22	86,25	0,21
	6	853,50	3,01	12,00	0,09	865,50	2,11
	7	818,42	2,89	10,50	0,08	828,92	2,02
	8	1.977,33	6,98	8,00	0,06	1.985,33	4,83
	9	497,25	1,75	0,00	0,00	497,25	1,21
	10	2.096,67	7,40	0,00	0,00	2.096,67	5,10
Subtotal		28.333,34	100,00	12.749,13	100,00	41.082,47	100,00
% en largos		68,97		31,03		100,00	
Total		34.582,67	68,23	16.102,79	31,77	50.685,46	100,00
% totales en largos		68,23		31,77		100,00	

El análisis de los cortes de madera Tajibo revela una producción total de 50.685,46 pt, donde el corte barraca aporta 41,082.47 pt (81,05%), destacando su rol principal en la producción por su alta diversidad de espesores (1 a 12 pulgadas). Este método, clave para fabricar múltiples productos, tiene en el espesor de 2 pulgadas su mayor volumen (20.477,53 pt, 49,77% del corte), seguido de 1 pulgada (11.691,93 pt, 28,46%), lo que refleja sus demandas masivas en estos espesores de esta especie.

Por su parte, el corte predimensionado suma 9.602,99 pt (18,95% del total), enfocado en espesores estándar (1, 2, 3, 5 pulgadas) definidos por clientes para productos específicos. Aquí también destaca el espesor de 2 pulgadas (6.429,33 pt, 65,0.8%), seguido de 1 pulgada (3.353,66 pt, 34,92%), confirmando su uso en aplicaciones técnicas donde la precisión es prioridad.

La asociación entre ambos cortes equilibra volumen y especialización: mientras la barraca maximiza la producción y diversifica productos (desde muebles hasta materiales de construcción), el predimensionado garantiza calidad en requerimientos estrictos (ej.: estructuras estandarizadas para productos con medidas específicas). El espesor de 2 pulgadas emerge como estratégico, liderando en ambos procesos (68,97% en barraca, 65,08% en predimensionado), Son las medidas más requeridas por el mercado de la madera en tabla de esta especie.

3.3 Rendimientos Industriales en la producción de madera en tabla (%)

Se presenta un resumen del análisis de rendimiento industrial de la madera Tajibo, diferenciando los cortes barraca y predimensionado. Se detallan los volúmenes de madera procesada, el volumen útil obtenido y el porcentaje de rendimiento correspondiente a cada método de corte. Los datos se resumen en la Tabla N°6

Tabla 6 Rendimiento Industrial (%) del aserradero Ymabo

Tipo de corte	Vol. Troza m ³	Vol. m ³ en Larga	Vol. m ³ en Corta	Vol. Total Tabla m ³
Barraca	224,07	66,85	30,08	96,93
	Rendimiento (%)	29,83	13,42	43,26
Predimensionado	69,96	14,74	7,91	22,73
	Rendimiento (%)	21,08	11,31	32,49

El método de corte Barraca exhibe una mayor eficiencia, alcanzando un rendimiento del 43.26%. Esto se traduce en la producción de 96,93 m³ con 43,26% de madera aserrada a partir de 224.07 m³ de troza, lo que implica un aprovechamiento sustancial de la materia prima. La distribución de la producción entre madera larga (66,85 m³, 29,83% respecto al total volumen troza) y corta (30,08 m³, 13,42%) demuestra un equilibrio que se adapta a las demandas de mercados diversos, como el de muebles, construcción y horcones.

En contraste, el método de corte Predimensionado presenta un rendimiento inferior, del 32,49%, generando 22,73 m³ de madera aserrada a partir de 69,96 m³ de troza. Aunque la proporción de madera larga (14,74 m³, 21,08% respecto al total volumen troza) y corta (7,91 m³, 11,31%) es similar al método Barraca, el volumen total de producción es considerablemente menor. Esto sugiere un mayor porcentaje de pérdidas, al porte de las trozas muy bajas respecto a las de corte barraca y posiblemente debido a las especificaciones técnicas más restrictivas que impone este método, como los espesores estandarizados definidos por los clientes.

La diferencia en el rendimiento pone de manifiesto la ventaja del método Barraca, que, gracias a su flexibilidad en cuanto a los espesores, reduce el desperdicio de material. Por otro lado, el método Predimensionado prioriza la precisión dimensional sobre la eficiencia en el aprovechamiento de la madera. Para optimizar el método Predimensionado, se podrían explorar mejoras en el diseño de los cortes o ajustes en los espesores. El método Barraca, por su parte, debería mantener su flexibilidad para seguir satisfaciendo las necesidades de diversos mercados. La combinación estratégica de ambos métodos permite abarcar desde la producción a gran escala hasta los requerimientos más específicos de los clientes, fortaleciendo así la cadena de valor de la madera de Tajibo (*Handroanthus serratifolius*).

3.4 Coeficientes de transformación (pt/m³)

Se presentan los volúmenes de madera procesada, el producto obtenido en pies tabla y el coeficiente de transformación para los cortes Barraca y Predimensionado. Se detalla la distribución entre piezas largas y cortas, así como la relación entre el volumen de troza utilizada y el producto final generado en cada método de corte. Estos datos se resumen en la Tabla N°9.

Tabla 7 Coeficientes de transformación (pt/m³) de producción en aserradero Ymabo

Tipo de corte	Vol. Troza m ³	Vol. pt (Larga)	Vol. pt (Corta)	Total pt
Barraca	224,07	31031,84	13913,39	44945,23
	Coeficiente transformacion (pt/m³)	138,49	62,09	200,59
	% en larga y corta	69,04	30,96	100,00
Predimensionado	69,96	6249,33	3353,66	9602,99
	Coeficiente transformacion (pt/m³)	89,33	47,94	137,26
	% en larga y corta	65,08	34,92	100,00

El método de corte Barraca demuestra una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la madera. Por cada m³ de troza, se generan 200,59 pt de madera aserrada, superando significativamente al método Predimensionado, que produce 137,26 pt/m³. Esta diferencia confirma la ventaja del corte Barraca en cuanto al uso eficiente de la materia prima, especialmente en la producción de piezas largas, con un rendimiento de 138,49 pt/m³, en comparación con las 89,33 pt/m³ del corte Predimensionado. Esta característica es fundamental para abastecer mercados como el de la construcción y la fabricación de muebles.

El objeto de los productos obtenidos mediante ambos métodos refleja estrategias distintas por el requerimiento del mercado. El corte Barraca prioriza la producción de piezas largas, que representan el 69,04% del total de la madera que produce, lo que se alinea con las demandas de mercado locales que requieren grandes volúmenes y versatilidad en los productos. Por otro lado, el corte Predimensionado, aunque también se enfoca en la producción de piezas largas, que constituyen el 65,08% del total, genera un mayor porcentaje de piezas cortas (34,92%). Esto se debe a que este método busca cumplir con las especificaciones técnicas precisas de los clientes, lo que a menudo implica sacrificar eficiencia en el aprovechamiento de la madera.

La diferencia en los volúmenes de troza procesada por cada método (224,07 m³ para Barraca y 69,96 m³ para Predimensionado) subraya que el corte Barraca domina en

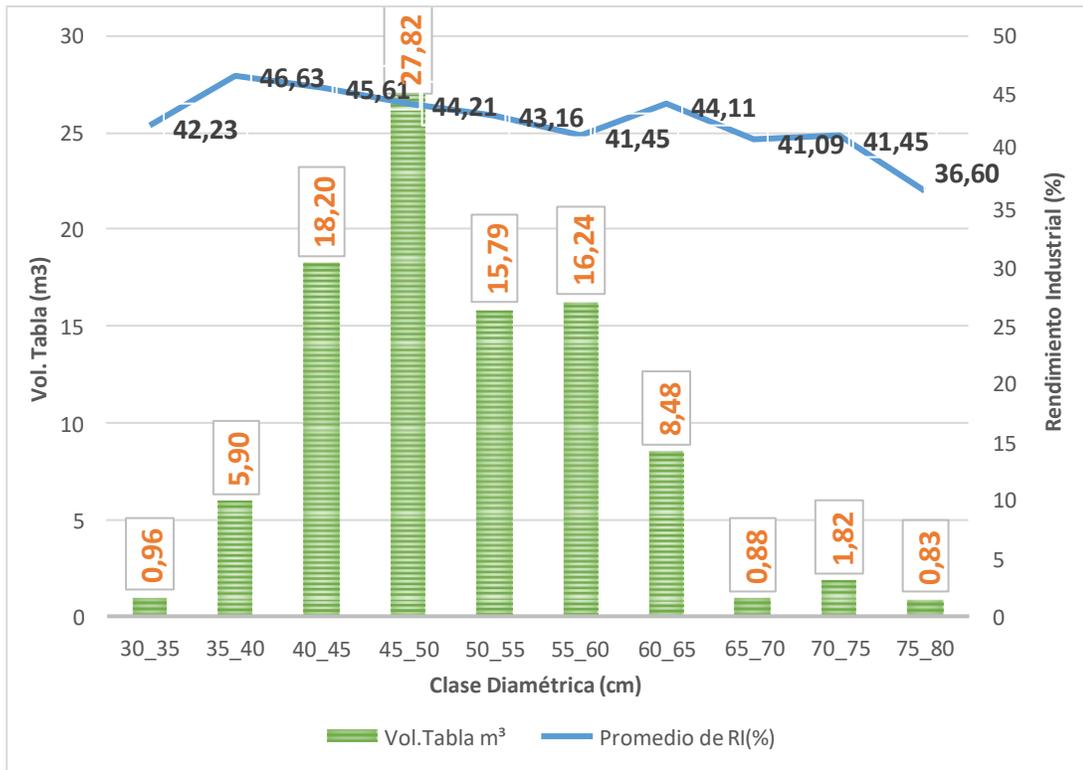
términos de escala de producción, mientras que el corte Predimensionado se centra en atender nichos de mercado especializados que requieren productos con características específicas. La producción de madera de la especie Tajibo (*Handroanthus serratifolius*) es más comercializada en el mercado local y muy poco en el mercado internacional.

3.5. Análisis de rendimientos por Clase Diamétrica.

El Corte Barraca se enfoca en maximizar el aprovechamiento de la madera en términos de longitud y ancho, buscando obtener piezas de mayor tamaño. A partir de los datos (ver gráfico 1):

- Se observa que los rendimientos varían entre 36,60% y 46,63%, con un promedio de 44,25%. Hay una tendencia inicial creciente en el rendimiento a medida que aumenta la clase diamétrica hasta la categoría 35-40 cm, donde se alcanza el mayor rendimiento (46,63%).
- A partir de los 40 cm de diámetro en adelante, los rendimientos fluctúan y tienden a disminuir levemente. Las trozas con diámetros mayores a 70 cm muestran una reducción en el rendimiento (41,45% en 70-75 cm y 36,60% en 75-80 cm), lo que puede atribuirse a un mayor porcentaje de desperdicio o defectos internos en trozas de mayor porte.
- En el corte barraca, el mayor rendimiento se encuentra en diámetros intermedios (35-40 cm), mientras que las trozas demasiado grandes comienzan a tener un menor rendimiento, porque las trozas más gruesas se tienden a sacar madera de 1 y dos pulgadas de espesor, las más delgadas se aprovechan en horcones para obtener mayor rendimiento.

Clase diamétrica corte barraca



Gráfica 1 Rendimientos (%) por Clase Diamétrica (cm) de la especie *Handroanthus serratifolius* en corte barraca.

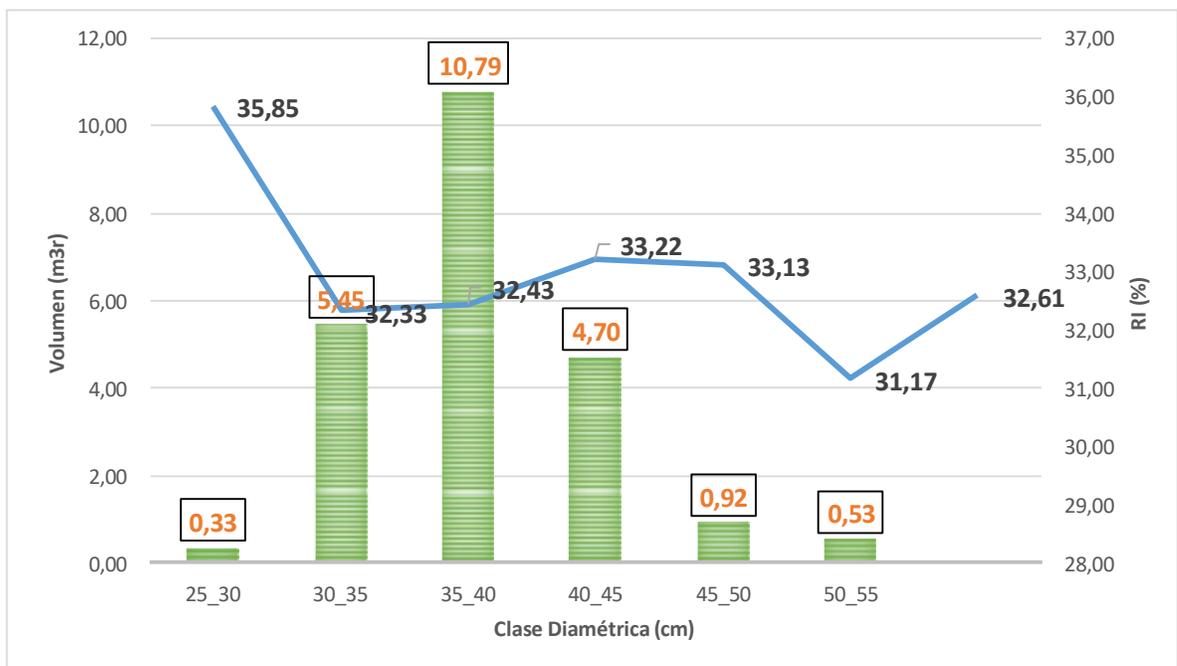
El Corte Predimensionado sigue medidas específicas definidas por el cliente, lo que puede influir en una mayor cantidad de desperdicio debido a restricciones en los tamaños de corte. Según los datos (ver gráfico 2):

- Los rendimientos varían entre 31,17% y 35,85%, con un promedio de 32,61%.
- A diferencia del corte barraca, aquí no se observa una tendencia clara de aumento en el rendimiento con el incremento de la clase diamétrica. Los valores se mantienen relativamente constantes con pequeñas variaciones alrededor del 32-35%.

- La menor eficiencia en este método puede deberse a una mayor cantidad de recortes necesarios para ajustarse a las dimensiones prefijadas.

En el corte predimensionado, el rendimiento es generalmente inferior al del corte barraca, y el porte de las trozas no parece tener un impacto significativo en el rendimiento general.

Clase diamétrica corte predimensionado



Gráfica 2 Rendimientos (%) por Clase Diamétrica (cm) de la especie Handroanthus serratifolius en corte predimensionado.

Comparando Ambos Métodos los Rendimiento Promedio del Corte Barraca: 44,25% y del Corte Predimensionado: 32,61%. El corte barraca tiene un rendimiento 11,64% superior en promedio.

Se observa una Influencia del Porte de la Troza, en el Corte Barraca, las trozas intermedias (35-40 cm) ofrecen los mejores rendimientos. En el Corte Predimensionado, el diámetro no tiene una influencia clara, y los valores se mantienen constantes.

El Corte Barraca abarca más clases diamétricas, incluyendo trozas más grandes (hasta 80 cm). El Corte Predimensionado trabaja con una gama más reducida de diámetros (hasta 55 cm).

Causa de las Diferencias son porque el Corte Barraca tiene una mayor flexibilidad en la obtención de piezas, lo que reduce el desperdicio. El Corte Predimensionado está condicionado por medidas específicas, lo que aumenta la proporción de desperdicio.

El presente estudio evaluó la eficiencia en la transformación de *Handroanthus serratifolius* antes *Tabebuia serratifolia* de troza a tabla, comparando dos métodos de corte: Barraca y Predimensionado. Los resultados obtenidos muestran que el método de corte Barraca exhibe un mayor rendimiento, alcanzando un 43,26 %, mientras que el método de corte Predimensionado presenta un rendimiento inferior, del 32,49 %, generando 22,73 m³ de madera aserrada a partir de 69,96 m³ de troza. Estos valores sugieren que el tipo de proceso de aserrío influye significativamente en la eficiencia de la transformación de madera en troza en productos finales.

Los hallazgos de este estudio coinciden con los resultados obtenidos por Portella Flores (2021), quien evaluó la eficiencia de aserrío en la empresa forestal Otorongo S.A.C en el Perú. Su estudio reportó un rendimiento de 32,92 % de madera rolliza a madera aserrada en la obtención de tablas del *Handroanthus serratifolius* antes *Tabebuia serratifolia*, porcentaje que, tras un proceso de clasificación y reprocesamiento de la madera de menor calidad, se incrementó a 36,40 %. Portella Flores también identificó que factores como el diámetro de los troncos y la calibración de la maquinaria son determinantes en el rendimiento final del aserrío, lo cual respalda los datos obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, los resultados de este estudio también encuentran correspondencia con los hallazgos de Isurza Avendaño (2016), quien evaluó el rendimiento de aserrío en diversas especies comerciales en la región de San Ignacio de Velasco, ubicada en el bosque seco chiquitano. Si bien su estudio no se centró exclusivamente en *Handroanthus serratifolius* antes *Tabebuia serratifolia*, su análisis resalta la influencia de la especie y las condiciones del entorno en la eficiencia del proceso de transformación.

De manera similar, los resultados obtenidos en la presente investigación son comparables con los de Melendres Ventura (2016), quien estudió el rendimiento en aserrío en la región de Guarayos, dentro del bosque húmedo de Guarayos. En su análisis, encontró que la eficiencia en el aserrío varía en función de la calidad de la materia prima y del equipamiento utilizado. Además, determinó que especies de mayor densidad presentan menores rendimientos debido a la resistencia del material, hallazgo que concuerda con los datos obtenidos en este estudio. Su investigación reportó un rendimiento del 44,69 % en la transformación de *Handroanthus serratifolius* antes *Tabebuia serratifolia*, un valor ligeramente superior al encontrado en el presente estudio para el método de corte Barraca, lo que sugiere que las condiciones específicas del proceso de aserrío y las tecnologías empleadas pueden marcar diferencias en la eficiencia de la transformación de la madera.

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian diferencias en la eficiencia de transformación de troza a tabla del *Handroanthus serratifolius* (antes *Tabebuia serratifolia*), según el método de corte empleado. Se observó que el método de corte Barraca presentó un rendimiento del 69,04% en tablas largas y 30,96% en tablas cortas, mientras que el método Predimensionado mostró un rendimiento de 65,08% en tablas largas y 34,92% en tablas cortas. Estos valores indican que, independientemente del método utilizado, la tendencia general en el proceso de aserrío es maximizar la obtención de tablas largas.

En comparación con estudios previos, los resultados de este trabajo son consistentes con los hallazgos de Portella Flores (2021), quien reportó un rendimiento del 74% en tablas largas y 26% en tablas cortas en la empresa forestal Otorongo S.A.C., resaltando la relevancia del control en la selección de la materia prima y la optimización de los parámetros operacionales para mejorar la eficiencia del aserrío. Además, la investigación de Isurza Avendaño (2016) en la región de San Ignacio de Velasco arrojó resultados similares, con un rendimiento de 72,77% en tablas largas y 27,23% en tablas cortas. De igual manera, Melendres Ventura (2016) en la región de Guarayos obtuvo valores de 74,94% en tablas largas y 25,06% en tablas cortas, reafirmando la tendencia observada en nuestro estudio.

Si bien el método de corte Barraca mostró un rendimiento superior en la obtención de tablas largas en comparación con el Predimensionado, la diferencia no es considerablemente alta. Esto sugiere que ambos métodos pueden ser adecuados para la transformación de madera, siempre que se implementen estrategias de optimización en el proceso de aserrío. Además, la comparación con estudios previos confirma que el rendimiento del aserrío puede variar según las condiciones específicas de cada proceso y la calidad de la materia prima utilizada

Se determinó que la variabilidad en los rendimientos está asociada a factores como la densidad de la madera, el tipo de producto final si es para barraca o productos definidos como pisos, muebles, el porte de las troncas, su estado sanitario, el tipo de maquinaria empleada y la habilidad del palanquero. Asimismo, sugiere que la optimización de los procesos de aserrío, mediante una mejor calibración de los equipos y selección de la materia prima, puede incrementar la eficiencia productiva del sector maderero en Bolivia.

3.6. Modelo de ajuste de la transformación de madera en tronca a tabla para los tipos de corte Barraca y Predimensionado

Los resultados de la producción de madera en tabla con el método corte Barraca y el corte Predimensionado fueron sometidos a diferentes modelos matemáticos, se

determinó que el mejor ajuste sea el mayor valor del coeficiente de determinación (R^2) y los de mejor ajuste a las bandas de confianza. Los resultados se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 8 Resultado de los diferentes modelos matemáticos para la producción de madera corte Barraca y Predimensionado.

Regresiones entre variables	Tipo de corte	Regresión	Fórmulas	a	b	c	r	R ² (%)	Ecuaciones estimadas
Tronca (m ³) vs Tabla (m ³)	Predimensionado	Potencial	$Y=aX^b$	0,9606	0,3135		0,94	88,97	$y = 0,3135x^{0,9606}$
		Polinómico	$Y= a+bX+cX^2+dX^3+\dots+nX^k$	0,0580	0,3039	0,0124	0,94	88,99	$y = 0,0124x^2 + 0,3039x + 0,0058$
		Logarítmico	$Y= a+b\ln(X)$	0,2412	0,1154		0,91	83,39	$y = 0,1154\ln(x) + 0,2412$
		Exponencial	$Y= a*b^x$	2,4825	0,0452		0,91	77,69	$y = 0,0452e^{2,4825x}$
Tronca (m ³) vs Tabla (m ³)	Barraca	Lineal	$Y= a+bx$	0,0037	0,3150		0,94	88,98	$y = 0,315x + 0,0037$
		Potencial	$Y=aX^b$	0,9116	0,4401		0,97	93,76	$y = 0,4401x^{0,9116}$
		Polinómico	$Y= a+bX+cX^2+dX^3+\dots+nX^k$	0,0373	0,4056	-0,0026	0,97	93,79	$y = -0,0026x^2 + 0,4056x + 0,0373$
		Logarítmico	$Y= a+b\ln(X)$	0,4954	0,4673		0,91	83,31	$y = 0,4673\ln(x) + 0,4954$
		Exponencial	$Y= a*b^x$	0,6908	0,2013		0,86	73,91	$y = 0,2013e^{0,6908x}$
		Lineal	$Y= a+bx$	0,0429	0,3969		0,97	93,78	$y = 0,3969x + 0,0429$

Comparación para el corte Barraca:

- El modelo polinómico tiene el mayor valor de R^2 (0.9379), lo que indica que proporciona el mejor ajuste a los datos.
- El modelo lineal es muy cercano con $R^2 = 0.9378$, lo que sugiere que la relación entre tronca y tabla puede ser bien representada por una ecuación lineal, pero la polinómica captura mejor la tendencia.
- El modelo potencial también tiene un buen ajuste ($R^2=0.9221$), aunque es ligeramente inferior al polinómico.
- Los modelos logarítmicos y exponenciales tienen un ajuste más débil ($R^2 < 0.84$), lo que indica que no explican tan bien la relación entre las variables.

Ver anexo n° 10

Comparación para el corte Predimensionado:

- El modelo polinómico tiene el mejor ajuste con $R^2 = 0.8899$, seguido muy de cerca por el modelo lineal con $R^2 = 0.8898$. La diferencia entre ambos modelos es mínima, pero el polinómico tiene una ligera ventaja.
- Esto indica que el comportamiento de la relación no es completamente lineal, pero se acerca bastante a una tendencia recta.
- El modelo potencial ($R^2 = 0.8897$) también tiene un buen ajuste, aunque es inferior al polinómico y al lineal. Muestra que la relación sigue una tendencia decreciente en los valores extremos.
- Los modelos logarítmicos ($R^2 = 0.8339$) y exponencial ($R^2 = 0.8235$) tienen los ajustes más bajos, lo que indica que no representan bien la relación entre tronca y tabla.

Ver anexo N° 11

3.7. Intervalos de confianza para los modelos de ajuste para los dos tipos de corte.

Se ha calculado las bandas confianza para los modelos con alto valor de R^2 es un rango en el cual se espera que la verdadera relación entre las variables de volumen (m^3) de tronca versus volumen tabla (m^3) se encuentre con una probabilidad del 95%. Con estos resultados se hizo la validación de modelos de regresión, permitiendo evaluar la certeza de las predicciones y la robustez del modelo, esto nos permitió seleccionar el mejor modelo al observar cuál tiene una banda de confianza más ajustada.

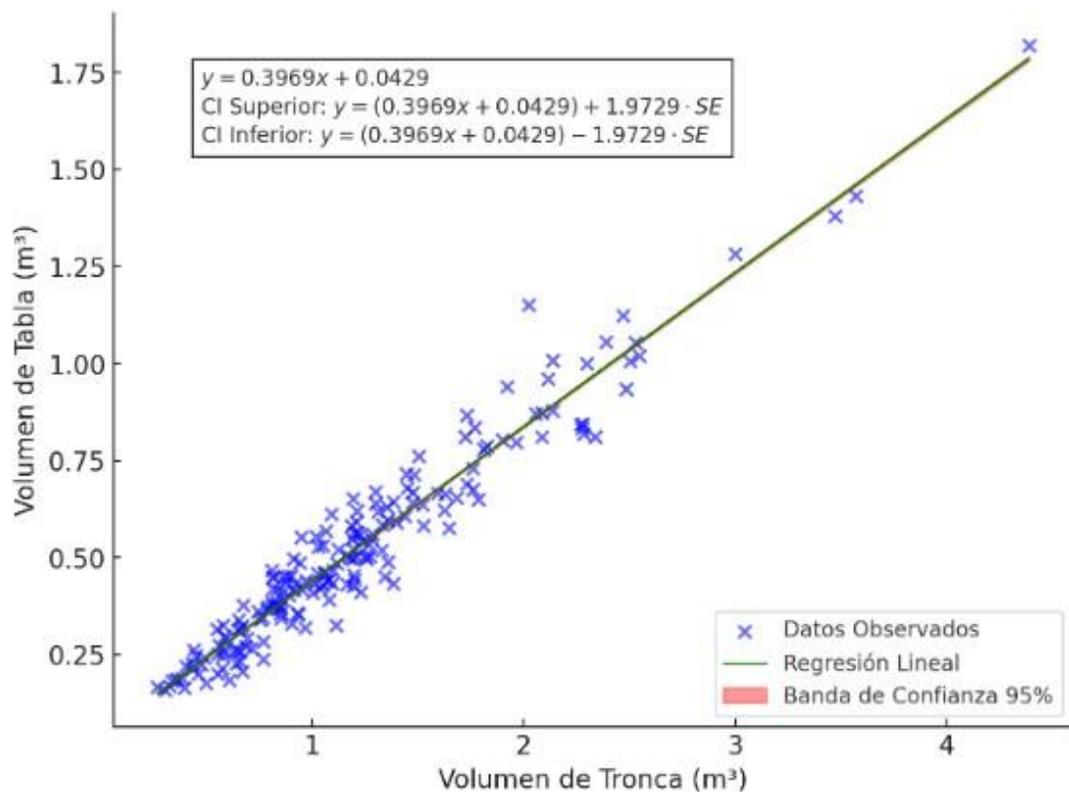
3.7.1. Validación de modelos de regresión para el corte Barraca

Modelo Polinómico tiene un R^2 del 88.99%. Este modelo tiene el mejor valor de R^2 , lo que indica un excelente ajuste, capturando más variabilidad que el modelo lineal. El Modelo Lineal tiene un R^2 del 88.98% similar al modelo polinómico, con un buen

ajuste para una relación lineal entre tronca y tabla, se determinó las bandas de confianza para determinar la robustez para determinar el mejor modelo.

- **El ajuste lineal con Banda de Confianza la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Barraca**

Esta gráfica presenta de manera simplificada la relación entre el volumen de madera de la troza y el volumen total de madera en tabla, junto con los intervalos de confianza al 95%. Representa una relación lineal, lo que implica que, por cada incremento en el volumen del tronco, el volumen total de madera en tabla también aumenta. La ecuación lineal ajustada para la relación entre el volumen de troza (X) y el volumen de tabla (Y) es: $Y=0.397X+0.043$.



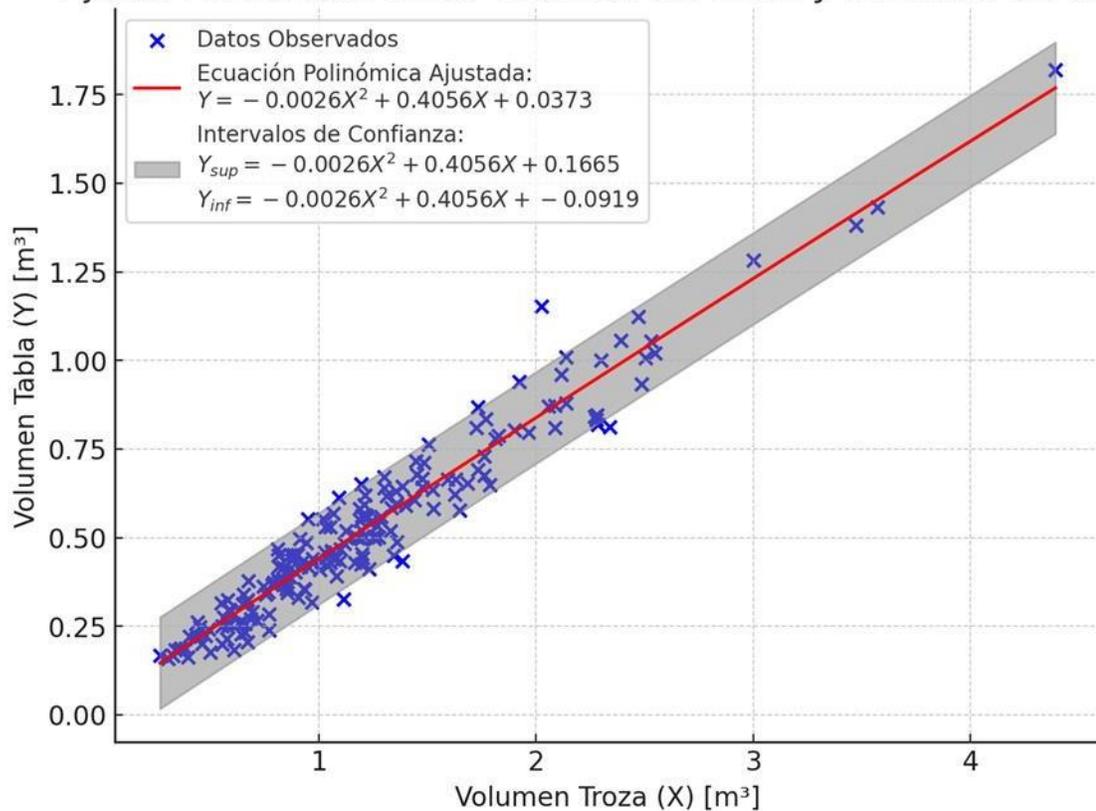
Gráfica 3 Ecuación Lineal y sus Intervalos de confianza al 95% de confiabilidad de la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Barraca

Fuente: propia

- **El ajuste Polinómico con Banda de Confianza la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Barraca.**

Representa una relación Polinómica, lo que implica que, por cada incremento en el volumen del tronco, el volumen total de madera en tabla también aumenta. La ecuación Polinómica ajustada para la relación entre el volumen de troza (X) y el volumen de tabla (Y) es: $Y=0.0026X^2+0.4056X+0.0373$.

Ajuste Polinómico entre Volumen de Troza y Volumen de Tabla



Gráfica 4 Intervalos de confianza al 95% de confiabilidad del ajuste polinómico de la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Barraca.

Fuente: propia

Los resultados de la comparación entre el modelo lineal y el modelo polinómico son los siguientes:

- **Coefficiente de Determinación R²:**

El Modelo Lineal: $R^2=0.938$ y el Modelo Polinómico: $R^2=0.938$. Ambos modelos tienen un R^2 muy similar (casi idéntico), lo que significa que ambos explican aproximadamente el 93.8% de la variabilidad en los datos, lo que indica un buen ajuste en ambos casos.

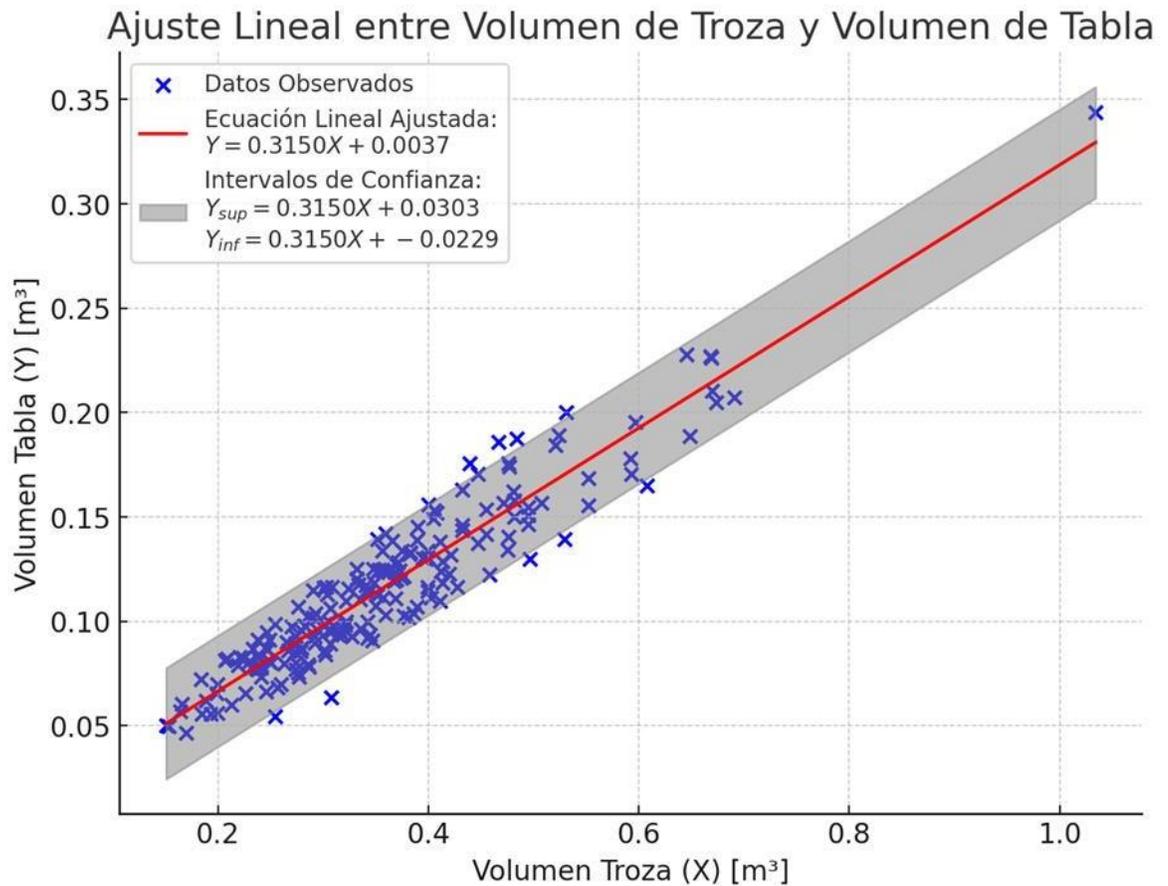
- **Intervalos de Confianza Promedio:**

El Modelo Lineal: Intervalo de confianza promedio de 0.13 y el Modelo Polinómico: Intervalo de confianza promedio de 0.13. Los intervalos de confianza son prácticamente idénticos en ambos modelos, lo que sugiere que la precisión de las predicciones es similar en ambos casos.

3.7.2. Validación de modelos de regresión para el corte Predimensionado

- **El ajuste Lineal con Banda de Confianza la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Predimensionado.**

Los datos observados de color azul representan los valores reales de volumen de tronca y volumen de tabla, la línea de regresión se observa de color verde. Muestra la tendencia lineal ajustada a los datos y su Banda de confianza de color roja representa el intervalo dentro del cual se espera que caigan las predicciones con una probabilidad del 95%.



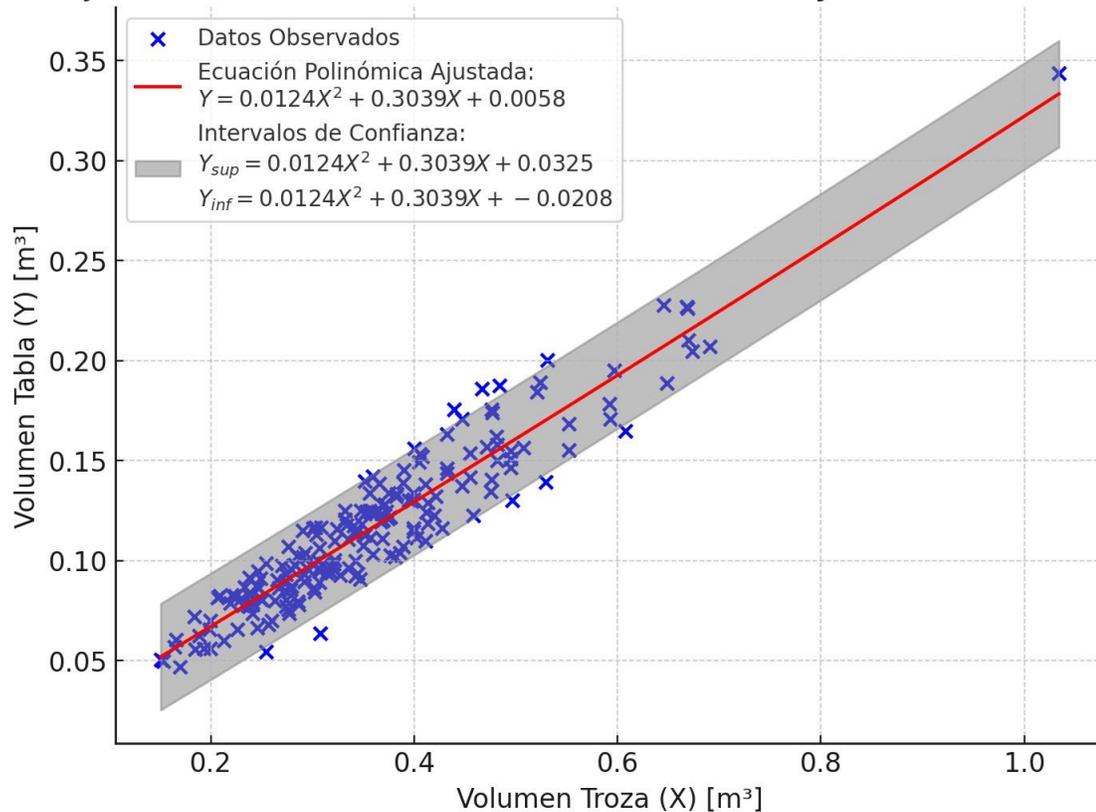
Gráfica 5 Intervalos de confianza al 95% de confiabilidad del ajuste Lineal de la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Predimensionado

Fuente: propia

- **El ajuste Polinómica con Banda de Confianza la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Predimensionado.**

El modelo polinómico captura la curvatura natural de la relación entre tronca y tabla, lo que el modelo lineal no puede hacer. El gráfico muestra la ecuación polinómica ajustada y las ecuaciones de los intervalos de confianza superior e inferior dentro del cual se espera que caigan las predicciones con una probabilidad del 95%.

Ajuste Polinómico entre Volumen de Troza y Volumen de Tabla



Gráfica 6 Banda de confianza al 95% de confiabilidad del ajuste Polinómico de la relación de volumen troza y volumen tabla del corte Predimensionado

Fuente: propia

- **Precisión del Modelo (R²):**

El modelo polinómico tiene un $R^2 = 0.8899$, ligeramente mayor que el modelo lineal ($R^2 = 0.8898$). La diferencia es mínima (solo 0.0001), lo que indica que ambos modelos explican el mismo porcentaje de variabilidad en los datos.

- **Intervalos de Confianza:**

El intervalo de confianza promedio para el modelo polinómico (0.0266) es casi idéntico al del modelo lineal (0.0266). Esto sugiere que ambos modelos tienen la misma precisión en sus predicciones, ya que la variabilidad de los errores es prácticamente igual.

3.8. Análisis estadístico}

3.8.1. Prueba de Normalidad.

Se determinó la normalidad de los datos de investigación. Esto permitió elegir las pruebas estadísticas adecuadas, interpretar correctamente los resultados y garantizar la validez y la fiabilidad de sus conclusiones.

Tabla 9 Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de las muestras para los tipos de corte Barraca y Predimensionado

Variable	n	Media	D.E.	W	p (Unilateral d)
Barraca vol tabla/m ³	186	0,52	0,27	0,90	<0,0001
Predimensionado vol tabla /m ³	195	0,12	0,04	0,93	<0,0001

Fuente: propia

Los datos de barraca con p: <0,0001 y Predimensionado con p: <0,0001, ambas son muy menor a 0,05, indica que no sigue una distribución normal, la prueba de Shapiro-Wilk rechaza la normalidad. dado esto, sería más seguro optar por pruebas no paramétricas si deseas comparar ambos grupos.

3.8.2. Comparación de los grupos de productos de madera en tabla son independientes del corte de tipo Barraca y el Predimensionado.

Con la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney se evaluó si existen diferencias significativas en el "producto tabla" entre tus dos métodos de corte. Su capacidad para manejar datos no normales y su enfoque en rangos la hacen ideal para tu estudio. Al aplicar esta prueba, se determinó con mayor confianza si los métodos de corte son independientes o si uno de ellos produce un "producto tabla" significativamente diferente, los resultados están en el siguiente cuadro.

Tabla 10 Prueba de Wilcoxon para muestras independiente

Clasificación	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n (1)	n(2)	Media (1)	Media (2)	DE (1)	DE (2)	W	p (2 colas)
<i>tipo de corte</i>	<i>tabla m³</i>	<i>Barraca</i>	<i>Predimensionado</i>	<i>186</i>	<i>195</i>	<i>0,52</i>	<i>0,12</i>	<i>0,3</i>	<i>0</i>	<i>53419,50</i>	<i><0,0001</i>

Fuente: propia

Como el valor p: <0,0001 (extremadamente menor a 0.05), se determina que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los dos tipos de corte (Barraca y Predimensionado) con respecto al volumen de tabla en m³ son significativamente diferentes entre los grupos.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados de este estudio validan el método de corte Barraca como una opción más eficiente para la transformación del *Handroanthus serratifolius* en comparación con el método Predimensionado. Esto se debe a factores como el tipo de corte, objetivo final del producto, la calidad de la madera, y las condiciones del entorno en el rendimiento final del aserrío.

El rendimiento de transformación es mayor para el corte barraca con el 43,26% que el corte predimensionado 32,49% en relación con el aprovechamiento de la madera en tabla, en la especie *Handroanthus serratifolius*.

El coeficiente de conversión es mayor para el corte barraca con 200,59 pt/m³ que el corte predimensionado 137,59 pt/m³ en relación con el aprovechamiento de la madera en tabla, en la especie *Handroanthus serratifolius*.

Los resultados de este estudio validan el método de corte Barraca como una opción ligeramente más eficiente en la producción de tablas largas en comparación con el Predimensionado. No obstante, la optimización de parámetros y el control de la materia prima siguen siendo factores fundamentales para mejorar la eficiencia del aserrío.

El corte Barraca prioriza la producción de piezas largas, que representan el 69,04% del total de la madera que produce, lo que se alinea con las demandas de mercado locales que requieren grandes volúmenes y versatilidad en los productos. Por otro lado, el corte Predimensionado, aunque también se enfoca en la producción de piezas largas, que constituyen el 65,08% del total, genera un mayor porcentaje de piezas cortas (34.92%).

De los cinco modelos matemáticos utilizados como el Potencial, Logarítmico, Exponencial, Polinómico y lineal para evaluar la relación entre el volumen de troza (X) y el volumen de tabla (Y) en el corte Barraca y Predimensionado. Los modelos Polinómico y Lineal tienen el mayor R^2 , lo que indica menor error en las predicciones. Captura mejor la variabilidad en la transformación de tronca a tabla que los demás.

No hay una diferencia significativa entre el modelo lineal y el modelo polinómico en términos de ajuste a los datos para el corte Predimensionado. Ambos modelos tienen casi el mismo R^2 y el mismo intervalo de confianza. Cualquiera de los dos modelos podría usarse para describir la relación entre el volumen de troza y el volumen de tabla, ya que ambos explican la variabilidad de los datos de manera similar.

4.2. RECOMENDACIONES

Para mejorar los rendimientos en el método de predimensionado, se recomienda realizar el predimensionado de la madera durante el saneo de la tronca en el monte, ajustándolo a los tipos de productos objetivo. Además, se podrían explorar mejoras en el diseño de los cortes en el aserradero y en los ajustes de los espesores estándar, con el fin de reducir las pérdidas de material.

Asimismo, es fundamental planificar mejor la toma de datos utilizando trozas con dimensiones homogéneas para ambos tipos de corte. Esto permitirá objetivizar con mayor precisión la influencia del tipo de producto en los rendimientos de producción de tabla.