

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr y *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, usando aserradero portátil y estacionario”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

Autor:

Bach. MORALES GUTIERREZ, Jonás
Jhonatan

Asesor:

Dr. CHAMBI LEGOAS, Roger

Puerto Maldonado, julio 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE
DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

“Rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr y *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, usando aserradero portátil y estacionario”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**

Autor:

Bach. MORALES GUTIERREZ, Jonás
Jhonatan

Asesor:

Dr. CHAMBI LEGOAS, Roger

Puerto Maldonado, julio 2024

TURNITIN_JONAS JHONATAN MORALES

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	documents.mx Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	pdfcookie.com Fuente de Internet	1%
5	natura.org.co Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	1%
9	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%

PRESENTACIÓN

El presente Informe final de Tesis contiene una investigación científica original para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

La tesis tuvo como finalidad aportar nuevos conocimientos en el aprovechamiento forestal e industria de la madera de bosques amazónicos del Perú. El tema investigado consistió en evaluar el rendimiento de madera aserrada en aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario de disco “Induspan”, de trozas de *Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr “Sapote” y *Jacaranda copaia* “Achihua”. Los resultados permiten conocer cuánta madera aserrada se obtiene de las trozas y cuánto se convierte en residuo en la transformación realizada dentro del bosque usando máquinas más caseras menos sofisticadas como la configuración de motosierras en “castillo”, o en un centro de transformación de la madera usando el aserradero de disco “Induspan”. La investigación es inédita porque no existe ningún otro estudio evaluando el rendimiento con estos tipos de máquinas; además, es de importancia para muchas pequeñas empresas que utilizan estos sistemas de aserrío y que desconocen el rendimiento de procesar su madera.

Por tanto, la presente tesis es un aporte para mejorar la productividad de la madera en empresas pequeñas y medianas de Madre de Dios, y servirá como documento de consulta para académicos e investigadores de la madera.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar y comparar el rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* "Sapote" y *Jacaranda copaia* "Achihua" utilizando aserradero portátil de motosierras "castillo" y aserradero estacionario de disco "Induspan". El lugar de estudio abarcó una concesión forestal de castaña ubicado en el distrito Las Piedras, provincia Tambopata, departamento Madre de Dios, Perú; de donde se muestrearon 60 trozas de *P. amazonica* y 70 trozas de *J. copaia*, para aserrío usando "castillo" en el bosque de la concesión, y usando el aserradero "Induspan" en un centro de transformación. Se tomaron mediciones de las trozas para el cálculo del volumen rollizo y calidad de las trozas, y se realizó un seguimiento riguroso durante el aserrío de cada troza. Posteriormente, se midieron y contabilizaron las piezas para cálculo del volumen de madera aserrada en unidades métricas por troza. A partir de estas mediciones se calculó el rendimiento en el aserrío por cada troza, es decir el porcentaje del volumen de madera aserrada resultante de la troza, obteniéndose los promedios de rendimiento para cada especie y tipo de aserradero utilizado. Además, se construyeron modelos de regresión para la predicción del volumen aserrado y el rendimiento. Los resultados mostraron que el rendimiento en el aserrío de trozas de *P. amazonica* y *J. copaia* usando el aserradero portátil "castillo" fue de 49,5% y 48,7% respectivamente, mientras que el rendimiento usando el aserradero estacionario "Induspan" fue de 61,2% y 55% respectivamente. Además, el rendimiento fue significativamente superior con "Induspan" comparando con el "castillo", en contraste, las diferencias de rendimiento entre ambas especies no fueron significativos. Los modelos de regresión de volumen aserrado vs. volumen rollizo, fueron adecuados, no obstante, los modelos de rendimiento vs. diámetro promedio presentaron baja calidad de ajuste. En conclusión, el aserradero "Induspan" es adecuado para el aserrío de trozas desde el punto de vista productivo; en cuanto que el aserradero portátil "castillo" es adecuado principalmente para las pequeñas empresas que no cuentan con capital para implementar aserraderos más sofisticados.

Palabras clave: Motosierras; Coeficiente de aserrío; Madera aserrada

ABSTRACT

The objective of the research was to determine and compare the sawmilling yield of *Pterygota amazonica* "Sapote" and *Jacaranda copaia* "Achihua" using a portable chainsaw sawmill "castillo" and a stationary disc sawmill "Induspan". The study site included a Brazil nut forest concession located in Las Piedras district, Tambopata province, Madre de Dios department, Peru; from which 60 logs of *P. amazonica* and 70 logs of *J. copaia* were sampled for sawmilling using "castillo" in the forest of the concession, and using the "Induspan" sawmill in a processing center. Log measurements were taken to calculate log volume and log quality, and each log was closely monitored during sawmilling. Subsequently, the pieces were measured and counted to calculate the volume of sawn timber in metric units per log. From these measurements, the sawing yield per log was calculated, i.e. the percentage of sawn timber volume resulting from the log, obtaining the average yield for each species and type of sawmill used. In addition, regression models were constructed to predict sawlog volume and yield. The results showed that the sawlog yield of *P. amazonica* and *J. copaia* logs using the portable sawmill "castillo" was 49.5% and 48.7% respectively, while the yield using the stationary sawmill "Induspan" was 61.2% and 55% respectively. In addition, the yield was significantly higher with "Induspan" compared to the "castillo", in contrast, the differences in yield between the two species were not significant. The regression models for sawlog volume vs. log volume were adequate; however, the models for yield vs. average diameter presented low quality of fit. In conclusion, the "Induspan" sawmill is suitable for log sawmilling from the production point of view; while the portable "castillo" sawmill is suitable mainly for small companies that do not have the capital to implement more sophisticated sawmills.

Keywords: Chain saws; Sawing coefficient; Sawn timber.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 12% del área total de bosques de producción permanente del Perú corresponden a concesiones forestales para productos forestales diferentes a la madera, que en número de concesiones, representan el 60% del total de concesiones otorgadas (SERFOR 2023). En estas concesiones, debido al menor área, menores volúmenes de extracción de madera, y menor capital económico, el aprovechamiento y el aserrío de la madera se realiza con equipos poco sofisticados como aserraderos portátiles como el “castillo” o estacionarios de disco como el “Induspan” u otros. Las pequeñas empresas dedicadas a esta actividad desconocen los rendimientos de madera aserrada usando estos equipos conllevando a proceso ineficiente del recurso maderable.

Los estudios de rendimiento del aserrío consisten en determinar la proporción de madera aserrada resultante del procesamiento de la troza rolliza, y son importantes realizarlos para determinar la rentabilidad de la operación y conocer la eficiencia del proceso productivo (SERFOR 2021; BOLFOR 1997), además es importante que las empresas conozcas su propios coeficientes de rendimiento para justificar ante la autoridad forestal los altos volumen producidos cuando se excede el volumen aprobado (SERFOR 2021).

En este contexto, el presente estudio busca determinar el rendimiento en el aserrío de trozas de las especies “sapote” (*Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr) y “achihua” (*Jacaranda copaia*) usando un aserradero portátil “castillo” y un aserradero estacionario de disco “Induspan” en concesiones castañeras de Madre de Dios.

Las especies *P. amazónica* y *J. copaia* son dos de las más abundantes y con mayor volumen de producción en las concesiones castañeras de Madre de Dios. No existe información sobre el rendimiento de estas especies durante el aserrado menos aún con el uso de aserraderos portátiles. Por tanto, el desarrollo de la presente investigación aportará con información inédita para la industria de la madera.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.1. Descripción del problema	11
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Objetivos	14
1.4. Variables.....	14
1.5. Operacionalización de variables	15
1.6. Hipótesis.....	16
1.7. Justificación.....	16
1.8. Consideraciones éticas.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de estudio	18
2.2. Bases teóricas	22
2.3. Definición de términos	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	32
3.1. Tipo de estudio	32
3.2. Diseño del estudio	32
3.3. Población y muestra	33
3.4. Métodos y técnicas.....	36
3.4.1. Lugar de estudio.....	36
3.4.2. Reconocimiento de las máquinas de aserrío y centro de transformación.....	38
3.4.3. Selección, evaluación y medición de las trozas	39
3.4.4. Trazabilidad durante el proceso de aserrío	41
3.4.5. Cubicación del volumen rollizo y volumen aserrado	42
3.4.6. Rendimiento en el aserrío de trozas	43
3.4.7. Modelos de predicción.....	43
3.5. Tratamientos de los datos.....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	46
4.1. Dimensiones y calidad de las trozas.....	46
4.2. Rendimiento en el aserrío.....	48
4.3. Modelos de predicción del volumen aserrado y rendimiento.....	52
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las observaciones (puntos), de la recta de regresión (trazo grueso) y de los residuos (trazos finos).	30
Figura 2. Mapa de dispersión de muestra de árboles de <i>Pterygota amazonica</i> “sapote” y <i>Jacaranda copaia</i> “Achihua”	35
Figura 3. Mapa de ubicación del Centro de Transformación de la Madera que cuenta con el aserradero Induspan	37
Figura 4. Aserradero portátil castillo, consiste en dos motosierras configuradas en un marco metálico. Fuente: Extraído de TECMACNC (2018).	38
Figura 5. Aserradero estacionario Induspan de tipo disco.....	39
Figura 6. Medición del diámetro mayor (D1), diámetro menor (D2) y longitud de la troza (L). El diámetro se mide sin considerar la corteza.....	41
Figura 7. Forma de medición del diámetro de un extremo de la troza en trozas de sección transversal irregular (izquierda) y ovoide o elíptica (derecha). Se realizan dos mediciones en forma de cruz (d1 y d2) cuyo promedio representa el diámetro de la sección (D1 o D2).....	41
Figura 8. Marcación de la pieza durante el aserrado. Después del primer corte con la sierra principal (castillo, o Induspan) (A), y después del canteado y despuntado para el almacenamiento de la madera y facilitar el conteo (sólo en el caso de aserrío con Induspan) (B). Fuente: SERFOR (2021).	42
Figura 9. Modelo de regresión lineal simple. Y es la variable dependiente, X es la variable independiente, b_0 es el valor de la intersección en Y, y b_1 es la pendiente de la recta (ambos son los parámetros de la regresión), y “e” es el error.....	43
Figura 10. Dimensiones y calidad de las trozas de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copaia</i> evaluadas en el estudio de rendimiento: Número y calidad de trozas (A), diámetro promedio (B), longitud (C), volumen rollizo (D), usando aserradero portátil de motosierras en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.	47
Figura 11. Comparación del rendimiento promedio en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copia</i> , usando motosierras configuradas en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.	49
Figura 12. Modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> : usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B).	53
Figura 13. Modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Jacaranda copaia</i> : usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B).	53
Figura 14. Modelo de regresión lineal de rendimiento vs. diámetro promedio, en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B); y <i>Jacaranda copaia</i> usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (C) y aserradero estacionario “Induspan” (D).	54
Figura 15. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A).	72

Figura 16. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> usando aserradero estacionario "Induspan".....	72
Figura 17. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Jacaranda copaia</i> usando aserradero portátil de motosierras configuradas en "castillo" (A).....	73
Figura 18. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de <i>Jacaranda copaia</i> usando aserradero estacionario "Induspan".....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	15
Tabla 2. Categorías de calidad de trozas. Extraído de INRENA (2008).....	40
Tabla 3. Resumen descriptivo del rendimiento en el aserrío de trozas de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copaia</i> , usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan.....	48
Tabla 4. Valores de probabilidad (valor-p) del test t de Student de comparación de dos muestras independientes, entre tipo de aserradero usado “castillo vs. Induspan” por especie y entre especies “ <i>Pterygota amazonica</i> vs. <i>Jacaranda copaia</i> ”. *** indica diferencia significativa entre las medias de rendimiento de los dos grupos (valor-p \leq 0,05); ns indica diferencia no significativa entre las medias de rendimiento de los dos grupos (valor-p $>$ 0,05).	49
Tabla 5. Volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por lote (sumatoria de las trozas evaluadas) por especie y total, con aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.	50

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la región amazónica la producción de madera se centra en el aprovechamiento de los bosques naturales principalmente a través de concesiones forestales maderables que representa el 69.5% del total de bosques de producción permanente concesionados, sin embargo, alrededor del 12% del área total corresponden a concesiones forestales para productos forestales diferentes a la madera (SERFOR 2017), que en número, representan el 60% del total de concesiones otorgadas en el Perú (SERFOR 2023).

En Madre de Dios estas concesiones están conformadas principalmente por las concesiones de castaña, de las que se han otorgado 1220 contratos hasta el 2016 (OSINFOR 2018). En las concesiones castañeras es permitido el aprovechamiento maderable con una intensidad máxima de $5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, sin perjuicio que, mediante estudios de investigación se demuestre la posibilidad de aplicar diferentes intensidades (Diario Oficial El Peruano 2016), lo que ha promovido la inversión de empresarios pequeños y medianos en la actividad maderera en las concesiones de castaña de Madre de Dios.

No obstante, debido a que estos volúmenes no son muy altos y las concesiones no son extensas comparados con las grandes concesiones forestales maderables, la inversión es de pequeña escala y por tanto la tecnología utilizada para el aserrío de las trozas es muy básica. Así, es muy común el uso del equipo denominado “castillo” construido de forma casera y que consta de dos motosierras unidas con una misma espada y un marco metálico que permite la graduación del tablón a cortar. El castillo se usa para aserrar a pie del árbol cortado permitiendo facilitar el transporte por tratarse de madera escuadrada. En las concesiones castañeras, además del aserrado

con el castillo, también se opta por transportar las trozas a una planta de aserrío con un aserradero estacionario tales como el aserradero de disco “Induspan”. El uso de este aserradero permite mejor calidad de corte y precisión. Los empresarios forestales usan estos dos sistemas dependiendo del valor comercial de la especie aprovechada, calidad de las trozas, accesibilidad, distancia a la planta de aserrío, etc.

El estudio de rendimiento en el aserrío consiste en determinar la proporción de madera aserrada que resulta de procesar una troza, y es importante para determinar la rentabilidad de la operación, para conocer la eficiencia de este proceso productivo, y para justificar los volúmenes de producción en caso excedan el rendimiento establecido por el SERFOR de aproximadamente de 52%, es decir 220 pies tablares por metro cúbico de madera rolliza (SERFOR 2021; BOLFOR 1997).

De una extensa revisión de literatura, se evidencia que los rendimientos en el aserrío de trozas usando el aserradero portátil artesanal “castillo” y aserraderos estacionarios son desconocidos. En un único estudio de rendimiento usando motosierra se encontró un coeficiente de rendimiento de 51% en el aserrío de *Calycophyllum spruceanum* (Ríos 2019). La mayoría de estudios fueron realizados en aserraderos industriales de grandes empresas forestales en diversas especies de maderas duras, con rendimientos entre 23% y 37% para el producto tablillas para pisos y decking en especies como *Couratari guianensis* y *Handroanthus serratifolius* (Portella 2021), *Myroxylon balsamum*, *Dipteryx sp.*, *Aspidosperma macrocarpon*, e *Hymenaea oblongifolia* (Huarcaya de La Cruz 2011; Paucar 2016; Zapana 2018), y *Manilkara bidentata* (Kahn 2014). En madera comercial larga angosta y corta los rendimientos son más altos entre 42% y 63% para especies como *Ceiba samauma* (Gonzales 2018), *Brosimum utile* (Canchanya 2011), *Copaifera reticulata* y *Ceiba pentandra* (Ramírez 2019), y *Dipteryx micrantha* (Isuiza 2022).

Ante la grande cantidad de pequeños empresarios madereros que optan por aserrar la madera rolliza usando equipos portátiles artesanales como el “castillo” y aserraderos estacionarios de disco es necesario conocer los

rendimientos en el aserrío usando estos equipos, con la finalidad de evaluar la eficiencia del proceso y sugerir cambios o mejoras en el sistema de aserrío empleado, incrementando la rentabilidad y valor de la madera aserrada.

En este contexto, el presente estudio plantea determinar y comparar el rendimiento en el aserrío usando motosierras configuradas en “castillo” y un aserradero estacionario de disco “Induspan” en las especies *Pterygota amazonica* “Sapote” y *Jacaranda copaia* “Achihua” de bosques de concesiones castañeras de Madre de Dios. No existen estudios de rendimiento en el aserrío para estas especies. Además, *P. amazonica* y *J. copaia*, representan un alto volumen de extracción en concesiones castañeras. La madera de *T. amazonica* tiene una densidad básica de 0,62 g cm⁻³, y es utilizada para la fabricación de muebles, tableros, y madera para construcción (ITTO 2023b). Por su parte, *J. copaia* es una madera de baja densidad con 0.35 g cm⁻³, utilizada para la fabricación de muebles, tableros, cajas y embalajes (ITTO 2023a; Ramírez 2012).

1.2. Formulación del problema

El problema general es:

¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia* usando el aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”?

Los problemas específicos son:

- ¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* usando aserradero portátil “castillo”?
- ¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* usando aserradero estacionario “Induspan”?
- ¿Son adecuados los modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas?

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Determinar el rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia* utilizando aserradero portátil “castillo” y estacionario “Induspan”

Objetivos específicos:

- Determinar el rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* utilizando aserradero portátil “castillo” para tablonés.
- Determinar el rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* utilizando aserradero estacionario de disco “Induspan” para tablonés.
- Generar modelos de predicción del volumen aserrado de tablonés en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas.

1.4. Variables

Variable dependiente:

- Rendimiento en el aserrío
- Volumen aserrado

Variables independientes:

- Volumen rollizo
- Diámetro de la troza
- Longitud de la troza
- Calidad de la troza
- Aserrío de trozas
- Especie

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VARIABLES DEPENDIENTES			
Rendimiento en el aserrío			
Es la proporción del volumen de madera aserrada obtenida al aserrar un volumen de madera rolliza, expresado en porcentaje.	$R\% = \frac{V_a}{V_r} \times 100$ donde: R%: Rendimiento en el aserrío Va: Volumen aserrado (m ³) Vr: Volumen rollizo (m ³)	Rendimiento en el aserrío de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Rendimiento en el aserrío de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihua"	Desviación estándar del rendimiento Rendimiento promedio Modelo de regresión entre Rendimiento y diámetro de la troza
Volumen aserrado			
Es el volumen de piezas de madera en forma de paralelepípedos rectangulares, cortada longitudinalmente y transversalmente por medio de sierras mecánicas.	$V_a = \frac{E \times A \times L}{100000}$ donde: Va: Volumen aserrado (m ³) E: Espesor en mm A: Ancho en cm L: Largo en m	Volumen aserrado de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Volumen aserrado de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihua"	Desviación estándar del volumen de madera aserrada Volumen aserrado promedio Modelo de regresión entre Volumen aserrado y volumen rollizo
VARIABLES INDEPENDIENTES			
Volumen rollizo			
Es el volumen de las trozas excluyendo la corteza.	$V_r = \frac{\pi \times L \times (d_1^2 + d_2^2)}{8}$ donde: Vr: Volumen rollizo (m ³) d ₁ : Diámetro mayor en m d ₂ : Diámetro menor en m L: Largo en m	Volumen rollizo de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Volumen rollizo de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihua"	Desviación estándar del volumen rollizo Volumen rollizo promedio
Diámetro de la troza			
Es el diámetro de la sección transversal de los extremos de la troza: diámetro mayor y diámetro menor	d = diámetro de un extremo de la troza	Diámetro mayor Diámetro menor	Desviación estándar del diámetro promedio Diámetro promedio
Longitud de la troza			
Es la dimensión longitudinal de extremo a extremo de la troza.	L = Longitud de la troza	Longitud de la troza	Desviación estándar de la longitud Longitud promedio
Calidad de la troza			
Es la clasificación de la troza de acuerdo a su forma y defectos.	Calidad = A, B, ó C	Calidad de troza A: Troza cilíndrica, derecha, libre de defectos. Calidad de troza B: Troza semilíndrica, sinuosa, o con algún defecto de pudrición o rajadura. Calidad de troza C: Troza irregular, torcida, y con defectos de pudrición o rajadura	Forma de la troza: Cilíndrica, semicilíndrica, irregular. Recitud de la troza: Derecha, sinuosa, torcida. Defectos de la troza: Pudrición, rajadura.
Aserrío de trozas			
Es el proceso de aserrío de las trozas mediante el cual la troza (madera rolliza) se convierte en madera aserrada, usando equipos mecánicos de corte.	Aserrío de trozas = Corte de trozas para generar madera aserrada	Aserrío de trozas con motosierras configuradas en "castillo" Aserrío de trozas con aserradero estacionario de disco "Induspan"	Número de trozas aserradas con motosierras configuradas en "castillo" Número de trozas aserradas con aserradero estacionario de disco "Induspan"
Especie			
Especie de árbol muestreado para la determinación del rendimiento en el aserrío.	Especie = Nombre científico según la nomenclatura taxonómica AGP IV	Especie <i>Pterygota amazonica</i> Especie <i>Jacaranda copaia</i>	Número de trozas de la especie <i>Pterygota amazonica</i> Número de trozas de la especie <i>Jacaranda copaia</i>

1.6. Hipótesis

La hipótesis general es:

El rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia* usando el aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”, es menor a 50%.

Las hipótesis específicas son:

- El rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* usando el aserradero portátil “castillo” es menor a 50%.
- El rendimiento en el aserrío de *P. amazonica* y *J. copaia* usando el aserradero estacionario de disco “Induspan” es menor a 50%.
- Los modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas, son adecuados.

1.7. Justificación

Aspecto económico - social

La investigación es importante porque los resultados permitirán el rendimiento del uso de máquinas portátiles como la motosierra y aserradero de disco Induspan en el aserrío de trozas, beneficiando a los pequeños empresarios de concesiones castañeras que hacen uso de estos equipos menos sofisticados, quienes a partir de esta información podrán comparar, corregir, y mejorar el proceso de aserrío actual.

Aspecto científico

Además la información generada será fuente de respaldo para justificar los volúmenes de producción de madera aserrada usando estos equipos, en caso excedan el rendimiento establecido por el SERFOR de aproximadamente de 52%, es decir 220 pies tablares por metro cúbico de madera rolliza (SERFOR 2021; BOLFOR 1997).

1.8. Consideraciones éticas

Los autores declaran que la investigación se basará en la búsqueda del conocimiento y la verdad sobre los problemas de investigación planteados, en base al método científico. En la elaboración del informe se respetará las pautas indicadas en el Reglamento de grados y títulos de la UNAMAD vigente.

El material biológico a usar corresponde a trozas de árboles apeados de las especies *P. amazonica* y *J. copaia* correspondiente a árboles aprovechables según el Plan Operativo de la Concesión de Castaña (Contrato GOREMAD-GGR-PRMRFFS-DER/TAM-C-OPB/005-12). El uso del material está autorizado por la empresa y titular de la concesión castañera (Anexo 11).

Las actividades a realizar durante la ejecución del estudio no generarán impactos negativos adicionales porque el método consistirá en observar y registrar los volúmenes rollizo y aserrado durante las actividades de aserrío en bosque y planta de transformación.

Durante el levantamiento de datos en bosque y planta de transformación, los tesisistas y ayudantes utilizarán los equipos de protección personal para evitar accidentes y daños físicos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Alcance internacional

En un estudio con especies tropicales de plantaciones forestales en Jalisco, México, se encontraron rendimientos de 34% para *Tabebuia rosea* y 49% para *Enterolobium cyclocarpum* en un aserradero industrial. Debido a que las trozas son de pequeño diámetro, se recomienda emplear aserraderos portátiles y semi-portátiles para reducir el desperdicio de madera (Rueda et al. 2010).

En otro estudio en México, evaluando 87 trozas de pino, se determinó un coeficiente de 31,7%. El costo del aserrío fue de 432 pesos por m³ aserrado (Zavala Zavala y Hernández Cortés 2000).

El coeficiente de rendimiento de aserrío de trozas de la especie *Pinus oocarpa* fue evaluado en 06 aserraderos en Nicaragua con un tamaño de muestra de 90 trozas. Se determinó un coeficiente de rendimiento promedio de 70,26%, no obstante, los rendimientos variaron significativamente entre los aserraderos, con coeficientes entre 64% a 80%. Además, se ajustó una ecuación para la estimación del volumen aserrado a partir del volumen de rollo de la troza: $Y = - 0.0524 + 0.8827X$; y la ecuación para predecir el volumen aserrado a partir del diámetro menor: $Y = -0.31 + 2.1197X$ (Pérez-Flores y Castro-Marín 2021).

En la Amazonía Boliviana, se estudió el rendimiento en aserrío con motosierra aplicando el sistema de corte "Flitchs", para las especies forestales Gabu (*Virola flexuosa*) y Huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*) en 20 trozas por especie, encontrándose un rendimiento de 68,29% para Gabu y 47,07% para Huasicucho. El uso de la motosierra para el aserrío en el lugar de apeo, se

facilita el transporte eficiente de madera hacia los centros de transformación, evitando la carga de madera no utilizable, además al dejar los residuos en el bosque se favorece el reciclaje de nutrientes al suelo y al ecosistema (Quispe 2019).

Por otro lado, en México se estudiaron tres industrias con tecnología de corte fino y dos industrias con sierra de banda (cinta), encontrándose que el rendimiento fue significativamente diferente entre industrias modernas y tradicionales ($P = 0,007$) con coeficientes de aserrío de 60,93 y 53,09 %, respectivamente. El rendimiento no fue afectado por el diámetro y la conicidad de la troza sugiriendo que el rendimiento es principalmente por la capacidad tecnológica de los equipos de aserrío (Rascón-Solano et al. 2023).

Alcance nacional

Estudios de rendimiento en el aserrío de trozas usando aserraderos portátiles son muy escasos. Del único estudio reportado usando motosierra, se tiene que el rendimiento en el aserrío de una muestra de 55 trozas de la especie *Calycophyllum spruceanum* (capirona) fue de 51%, con un costo de aserrío de S/. 162,54 por m³ o S/. 0,38 por pt, en el bosque de Padre Márquez – Loreto, Perú (Ríos 2019).

La grande mayoría de los estudios de rendimiento en el aserrío fueron realizados en aserraderos industriales en la producción de madera comercial (larga, angosta, y corta) y tablillas para pisos y decking, con máquinas como sierra principal de cinta, canteadoras, y despuntadoras.

Respecto a coeficientes de rendimiento en la producción de madera comercial, en el procesamiento de trozas de *Hura crepitans* (catahua) en una planta de transformación de madera de Maynas – Iquitos, Loreto, Perú, se reportó un rendimiento total del 80% en un tamaño de muestra de 57 trozas, correspondiente al 58% de madera larga comercial, 20% para la madera larga angosta, y 2% para la madera de rechazo. Además, existió una fuerte relación entre el rendimiento en volumen y la calidad de las trozas (López 2023).

En 30 trozas de *Brosimum utile* (manchinga) el rendimiento fue levemente menor de aproximadamente 63% en la conversión a madera comercial, en un aserradero “New forest” en Villa Rica, Oxapampa, Perú. Se encontró también un modelo de regresión lineal robusto entre las variables volumen aserrado y volumen rollizo ($r^2 = 0,97$) y entre volumen aserrado y diámetro promedio de la troza ($r^2 = 0,79$) (Canchanya 2011).

En otro estudio evaluando un gran tamaño de muestra con 459 trozas de *Dipteryx micrantha* (shihuahuaco) en la empresa Consorcio Forestal Loreto SAC, en Maynas – Iquitos, Loreto, Perú, el rendimiento de procesar madera rolliza para obtener madera comercial fue de 58%, dividido por tipo de producto se obtuvieron rendimientos de 37%, 1%, 15%, y 6%, respectivamente para madera larga comercial, madera larga angosta, madera corta, y listonería (Isuiza 2022).

En una empresa productora de tablillas para pisos ubicada en Mazamari – Satipo, departamento de Junín, la especie *M. balsamum* presentó un rendimiento de 39% utilizando una muestra de 45 trozas, mientras que la especie *A. macrocarpon* tuvo un rendimiento de 42%, en una muestra de 47 trozas (Paucar 2016).

La literatura científica también aporta información sobre la influencia de la calidad de las trozas en la conversión a madera aserrada, encontrándose que en *Ceiba samauma* (huimba negra), la calidad de las trozas afecta el rendimiento en el aserrío, con un rendimiento de 51%, 43%, y 37% con trozas de primera, segunda y tercera calidad, respectivamente, en un aserradero de Pucallpa, Ucayali, Perú. Asimismo, el rendimiento total de *C. samauma* es de 51% en madera comercial (Gonzales 2018).

Alcance local

En uno de los pocos estudios realizados en Madre de Dios, Perú, se reportaron valores de rendimiento de 42% y 45% en el aserrío de *Copaiba reticulata* (copaiba) y *Ceiba pentandra* (lupuna) respectivamente, para producción de madera comercial larga, angosta, y corta. El estudio fue

realizado en el aserradero del Grupo Cardozo, con una muestra de 30 trozas por especie (Ramírez 2019).

En estudios de rendimiento para un producto de mayor valor agregado como las tablillas para pisos y decking usando especies de madera dura se encontraron menores coeficientes de rendimiento. La mayoría de estos estudios fueron realizados en empresas del departamento de Madre de Dios.

Por ejemplo, en la empresa Maderera Canales Tahuamanu SAC, localizada en Iñapari, Madre de dios, Perú, durante la transformación de madera rolliza a tablillas para pisos y decking se obtuvieron rendimientos de 22% para *Hymenaea oblongifolia* (azúcar huayo), 23% para *Myroxylon balsamum* (estoraque), y 33% para *Dipteryx odorata* (shihuahuaco), en una muestra de 109, 121, y 129 trozas respectivamente para cada especie (Zapana 2018). Asimismo, el modelo de regresión lineal para predecir el volumen aserrado en función del volumen rollizo fue muy eficiente con un $r^2 = 0,71$.

Otro estudio en Madre de Dios, en la empresa Forestal Río Piedras SAC, reportó un rendimiento de 29% en el aserrío de trozas *Manilkara bidentata* (quinilla) para obtención de tablillas para piso y decking, basado en una muestra de 120 trozas. Además, se determinaron los rendimientos por clases diamétricas de las trozas, resultando en coeficientes de rendimientos de 23%, 25%, 30%, 32%, y 32%, respectivamente para las clases diamétricas de 36 cm – 50 cm, 51 cm – 65 cm, 66 cm – 80 cm, 81 cm – 95 cm, y 96 cm – 110 cm, respectivamente, es decir el rendimiento se incrementa a mayor diámetro de las trozas. La relación entre el volumen aserrado y volumen rollizo fue casi perfecta ($r^2 = 0,99$) (Kahn 2014).

Similarmente, en otro aserradero de Iñapari, Madre de Dios, evaluando las especies *M. balsamum* y *D. micrantha* con una muestra de 30 trozas por especie, se obtuvieron rendimientos de 23% y 37% respectivamente, y un $r^2 = 0,95$ de la regresión lineal entre el volumen de madera aserrada y volumen rollizo (Huarcaya de La Cruz 2011).

En Forestal Otorongo SAC, importante empresa maderera de tablillas para pisos y decking de Madre de Dios, se encontraron similares rendimientos de

28% para *Couratari guianensis* (cachimbo) y 33% para *Handroanthus serratifolius* (tahuari) en pisos de primera y segunda calidad (Portella 2021).

En resumen, los estudios en madera comercial larga angosta y corta muestran altos rendimientos entre 42% y 63% para especies como *C. samauma* (Gonzales 2018), *B. utile* (Canchanya 2011), *C. reticulata* y *C. pentandra* (Ramírez 2019), y *D. micrantha* (Isuiza 2022). En contraste, en el aserrío de especies de madera dura para la producción de tablillas para pisos y decking, los rendimientos son notablemente menores, entre 23% y 37% en *C. guianensis* y *T. serratifolia* (Portella 2021), *M. balsamum*, *Dipteryx sp*, *A. macrocarpon*, e *H. oblongifolia* (Huarcaya de La Cruz 2011; Paucar 2016; Zapana 2018), y *M. bidentata* (Kahn 2014). Todos estos estudios muestran el rendimiento de la transformación primaria (se excluye el secado y cepillado) usando equipos y máquinas de aserraderos industriales de mediana y grande capacidad, como las sierras principales de cinta, multilaminadoras, sierras reaserradoras, canteadoras múltiples, despuntadoras, mesas canteadoras, etc.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr

a) Descripción botánica y distribución.

Conocido comúnmente como “sapote”, son árboles que alcanzan 40 m de altura, con dap (diámetro a la altura del pecho 1,3 m) que oscilan entre 60 y 80 cm. Los fustes son rectos y cilíndricos hasta dos tercios de la altura total. Presentan aletones de tamaño medio (ITTO 2023b).

La corteza externa del fuste es de color pardo claro, en algunas partes es agrietada, con lenticelas redondas en cortas filas negruzcas. La corteza interna es fibrosa de color amarillo, cambiando a pardo en contacto con el aire (INIA 2023).

P. amazonica crece en los bosques tropicales no inundables y bien drenadas. Se encuentra en Perú en los departamentos de Huánuco, Ucayali, Loreto, Madre de Dios, San Martín y Cerro de Pasco (ITTO 2023b).

b) Descripción de la madera

La madera de *P. amazonica* no tiene olor ni sabor perceptibles, la albura no se diferencia, el duramen es de color amarillo pálido, de grano recto, vetado y figura bien definidos en arcos superpuestos y jaspeado, de textura media y brillo moderado (INIA 2023; ITTO 2023b).

Es clasificada como madera de poros difusos. Tiene vasos solitarios y vasos múltiples radiales cortos, con diámetro tangencial de 200 micras a más, con una frecuencia de 6 vasos por mm² a menos. Las placas de perforación son simples, y las puntuaciones de vaso-radio similar a las puntuaciones entre vasos en tamaño y forma. El parénquima axial es visible a simple vista, en bandas gruesas y estratificado. Radios menos de 4 por mm, de 0,1 mm o más de anchura y 2 mm o más de altura, no estratificados, 4 seriados. Fibras con puntuaciones minúsculas simples (ITTO 2023b).

P. amazonica es una madera medianamente pesada, con una densidad básica de 0,62 g cm⁻³, densidad aparente de 0,69 g cm⁻³, contracción tangencial de 9,3 %, contracción radial de 4,2 %, con una relación de contracción tangencial/radial de 2,2. Presenta baja durabilidad natural por lo que es recomendable preservar, y tiene buen comportamiento en el secado con un programa suave de doce días para espesores de 2 pulgadas. El aserrado de esta madera es regular a difícil, cepillado regular, fácil de moldurar y taladrar. La madera se usa para construcción de viviendas, elaboración de muebles y carpintería en general (ITTO 2023b; INIA 2023).

2.2.2. *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don

a) Descripción botánica y distribución.

Su nombre común es “achihua”, y es un árbol de hasta 30 m de altura, con fuste recto, cilíndrico y raíces engrosadas. La corteza externa es ligeramente agrietada, de color marrón blanquecina a marrón-grisácea, y la corteza interna amarillenta a blanquecina oxidándose a marrón. Las hojas son compuestas 2-pinnadas, opuestas-decusadas. Raquis no alado. Las flores son en panículas

terminales, amplias, de color azul-purpúrea. Sus hojas y corteza tienen propiedades medicinales (SERFOR 2020; ITTO 2023a).

Es una especie pionera presente en bosques secundarios, poco frecuente en bosques primarios (solo en estado adulto). Crece en suelos ricos en aluminio y hierro en la parte oriental del país, pero también sobre suelos aluviales. Está ampliamente distribuida en los bosques tropicales desde Belice hasta Bolivia (ITTO 2023a).

b) Descripción de la madera.

La madera de *J. copaia* tiene olor y sabor no distintivos, de color blanco amarillento o crema con poca diferencia entre la albura y el duramen. Los anillos de crecimiento son diferenciados por bandas oscuras de forma regular. Tiene grano típicamente recto a ligeramente entrecruzado, textura media a moderadamente gruesa. El veteado es bien definido por líneas vasculares, con brillo acentuado. La durabilidad natural es baja contra la pudrición, mancha azul o ataque de insectos (ITTO 2023a; Acevedo y Kikata 1994).

Con respecto a las características anatómicas, se clasifica como una madera de porosidad difusa, con vasos visibles a simple vista, predominantemente solitarios de forma redonda y oval en hileras oblicuas, radiales o en grupos y múltiples radiales de 2-6 vasos; con una frecuencia de 1 a 6 vasos por mm². El parénquima longitudinal es visible a simple vista, paratraqueal aliforme y aliforme confluyente escaso. Radios ligeramente visibles a simple vista con 1 a 6 radios por mm, biseriados y no estratificados (Acevedo y Kikata 1994).

Es una madera liviana, con densidad básica de 0,35 g cm⁻³, densidad aparente de 0,41 g cm⁻³, contracción tangencial de 4,2%, y contracción radial de 7,1%. La madera es fácil de aserrar, pero tiene tendencia a astillarse. Las superficies son lanudas sobre todo en verde. La madera es difícil de secar al aire. Se comportan bien al cepillado, pero se requiere cuchillas bien afiladas para evitar superficies lanudas. Es utilizado para elaboración de muebles y armarios, madera laminada y chapada, cajas y embalaje, instrumentos musicales, y carpintería en general (ITTO 2023a).

2.2.3. Rendimiento en el aserrío de trozas

2.2.3.1. Definición de rendimiento en el aserrío y su importancia

El rendimiento en el aserrío de trozas o rendimiento del aserrado, es la proporción de madera aserrada obtenida como resultado de aserrar una troza (madera rolliza); esta proporción es comúnmente expresado en porcentaje (%) (BOLFOR 1997; SERFOR 2021; INRENA 2008). También se le conoce como coeficiente de aserrío (BOLFOR 1997) o coeficiente de rendimiento (SERFOR 2021).

El rendimiento en el aserrío (R) se obtiene mediante la relación entre el volumen de madera aserrada (V_a) y el volumen de la troza conocido también como volumen rollizo (V_r), expresado en porcentaje.

El rendimiento en el aserrío varía en función del diámetro medio, la conicidad, la rectitud de los troncos aserrados, el grosor de la madera producida y el tipo de equipo o equipos que se usan en el aserrío (Shmulsky y Jones 2011).

Los estudios de rendimiento son importantes y necesarios porque permite a las empresas de aserrío, comparar el volumen total de entrada de troncos con el volumen de salida de madera aserrada. Con el tiempo, este proceso indica los cambios en la eficiencia de la operación del aserradero, o en la calidad de los troncos, lo que constituye una información crítica para los gerentes y dueños de los aserraderos (Shmulsky y Jones 2011).

Existen varias maneras de mejorar el rendimiento de un aserradero. Entre las más importantes están la reducción del corte de la sierra, la reducción de la variabilidad del espesor de las piezas, lo que está relacionado a la variación del sobredimensionamiento, y la adecuada forma de cortar cada troza y posicionarlo con precisión. También es importante tener en cuenta los cantos y el ancho de las piezas, especialmente al aserrar trozas de pequeño diámetro. La reducción del corte en un aserradero se consigue minimizando los cortes en la sierra principal y definiendo los cantos en sierras secundarias más pequeñas que tienen un corte más fino. Las sierras circulares modernas

suelen tener cortes de aproximadamente 3,2 mm (1/8 pulg.) y producen madera aserrada más lisa y recta (Shmulsky y Jones 2011).

Los estudios de rendimiento permiten predecir el volumen aserrado conociendo el volumen rollizo o el diámetro de las trozas. Con esta información, un aserradero determinado puede entonces determinar exactamente qué clase de tamaño de troza produce el rendimiento más alto y diseñar el abastecimiento de trozas de mejor manera (Shmulsky y Jones 2011).

2.2.3.2. Procedimiento para realizar un estudio de rendimiento

- Es recomendable realizar el estudio para una especie en específico. Sin embargo, se pueden realizar un estudio de rendimiento para varias especies juntas, siempre y cuando las mediciones a realizar y los análisis sean tratados para cada especie por separado (BOLFOR 1997).
- Una vez determinado la especie o las especies a estudiar, es importante reconocer las máquinas, su distribución y flujo del proceso de aserrío de la planta de transformación donde se realizará el estudio. Generalmente un aserradero consta por lo menos de los siguientes equipos:
 - **Sierra principal de carro:** Es la encargada de hacer los cortes en la troza, generando bloques, tablas, tablones y costeros, que serán procesados en las siguientes máquinas. Generalmente es una gran sierra cinta asistida de un carro porta troza y un guinche hidráulico para el corte de las trozas.
 - **Reaserradora o desdobladora:** Es comúnmente una sierra de cinta acondicionada con una mesa de rodillos transportadores. Corta bloques de madera generados en la sierra principal, produciendo piezas de espesor definido.
 - **Sierra multilamina o multilaminadora:** Es una máquina que consta de varios discos múltiples que se encarga de convertir un bloque de madera o tablón en varias piezas de menor espesor.

- **Canteadora:** Es la sierra que corta cantos paralelos, definiendo el ancho de las piezas. Elimina cantos con inclusión de corteza y defectos. Puede ser del tipo de sierra simple, o sierra de disco múltiple con varias sierras que realizan multiples cortes dividiendo una pieza ancha en varias piezas de menor anchura.
 - **Despuntadora:** Es una sierra de disco, por lo general del tipo pendular. Realiza cortes transversales en los extremos de las piezas, definiendo su longitud. Se utiliza también para eliminar defectos en las piezas como rajaduras, grietas, y pudriciones, generando una pieza sin defectos y de menor longitud.
 - **Sierra de recuperación:** Normalmente es una sierra circular de mesa, que se encarga de eliminar defectos de los cantos de las piezas como pudriciones, nudos, rajaduras, y grietas, generando una pieza de menor ancho.
- Posteriormente se debe determinar el tamaño de muestra (# de trozas) del estudio. Para esto, se puede optar por dos métodos:

Según BOLFOR (1997), el primer paso es realizar un pre muestreo de al menos 20 trozas al azar para clasificar las trozas en clases diamétricas representativas y conocer la proporción que representa cada clase. Después, se recomienda un tamaño de muestra de 30 trozas por especie, con un máximo de 120 trozas y mínimo de 10 trozas. Estas trozas deben seleccionarse al azar y distribuirse proporcionalmente a las clases diamétricas definidas. Por ejemplo, si se definieron 03 clases diamétricas: clase 1 (40 cm – 60 cm), clase 2 (60 cm – 80 cm), y clase 3 (80 cm – 100 cm); con proporciones de 30%, 50%, y 20%, respectivamente, y el tamaño de muestra es de 30 trozas, entonces de deben seleccionar aleatoriamente 9 trozas de la clase 1, 15 trozas de la clase 2, y 6 trozas de la clase 3.

El otro método de tamaño de muestra, sigue el cálculo estadístico de tamaño de muestra (n) en base al coeficiente de variación, valor de t de Student y error de muestreo (INRENA 2008). Primero, se calcula el

coeficiente de variación del volumen (CV) de las trozas de la especie seleccionada a partir de un pre muestreo de 30 trozas o más, esta información puede ser tomada del registro de trozas del aserradero. El valor de t de Student (t) es igual a 2 para grados de libertad infinito, y el error de muestreo (E) no deberá ser mayor a 15%. La selección de las trozas se realizará al azar proporcionalmente a las clases diamétricas predefinidas (INRENA 2008).

- A continuación se realiza una clasificación de las trozas por categorías de calidad en base a la forma de la sección transversal, conicidad, rectitud, defectos físicos, y estado sanitario de las trozas (INRENA 2008).
- Se realiza la marcación de las trozas con pintura en la sección transversal escribiendo el código de especie y número de troza o consignando el código de trazabilidad de la troza (SERFOR 2021).
- Se mide los diámetros mayor y menor, y longitud de las trozas para calcular el volumen rollizo (bruto) de las trozas por la fórmula de Smalian (SERFOR 2021).
- Se realiza el seguimiento de las trozas durante el aserrío marcando con tiza las piezas resultantes de cada operación cuidando no mezclar las piezas de diferentes trozas.
- Al final se separan y ordenan las piezas obtenidas de cada troza según por longitud ancho y espesor, para proceder a la cubicación de la madera aserrada (INRENA 2008; BOLFOR 1997).
- El rendimiento de la troza se obtiene dividiendo el volumen aserrado entre el volumen rollizo, en porcentaje mediante la ecuación [1].

2.2.4. Regresión lineal

La regresión lineal simple es el más simple de los modelos lineales. El adjetivo *lineal* significa que el modelo depende *linealmente* de sus coeficientes. Por ejemplo, $Y = a + bX^2$ o $Y = a + b \ln(X)$ son modelos lineales puesto que la variable de respuesta Y depende linealmente de los coeficientes o parámetros a y b , aun cuando Y no depende linealmente de la variable explicativa X . Por el contrario, $Y = aX^b$ no es un modelo lineal porque Y no depende linealmente del coeficiente b . Otra propiedad del modelo lineal es que el residuo es aditivo (Picard, Saint-André y Henry 2012).

La regresión lineal simple supone, que no hay más que una sola variable explicativa X , que la relación entre la variable de respuesta Y y X tiene la forma de una recta: $Y = a + bX$

Donde a es la intersección de la recta y b su pendiente, y que los residuos (ε) tienen una varianza constante: $\text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2$.

Por ejemplo, el modelo $\ln(B) = a + b \ln(DAP)$ es un ejemplo de regresión lineal simple, que tiene como variable de respuesta $Y = \ln(B)$ y como variable explicativa $X = \ln(DAP)$. Corresponde a un modelo de potencia para la biomasa: $B = \exp(a + b \ln(DAP))$. Este modelo se usa frecuentemente para ajustar un modelo de biomasa mono-específico. Otro ejemplo es el modelo de biomasa de dos entradas: $\ln(B) = a + b \ln(D^2H) + \varepsilon$

La hipótesis de varianza constante de los residuos se suma a las dos hipótesis de independencia y de distribución normal (se habla también de homocedasticidad). Se resumen las tres hipótesis al escribir:

$$\varepsilon \underset{\text{i.i.d.}}{\sim} \mathcal{N}(0, \sigma)$$

donde $N(\mu, \sigma)$ designa la ley normal de esperanza μ y la desviación estándar σ , el tilde “ \sim ” significa “está distribuido según”, e “i.i.d.” es la abreviatura “independiente e idénticamente distribuido”.

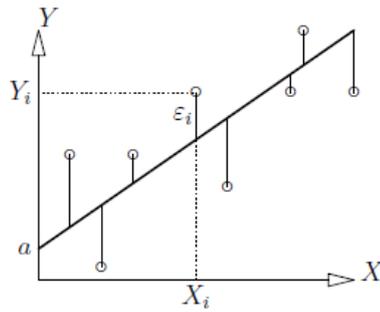


Figura 1. Esquema de las observaciones (puntos), de la recta de regresión (trazo grueso) y de los residuos (trazos finos).

La Figura 1 esquematiza las observaciones y la recta de los valores predichos. El mejor ajuste será el que minimice el error residual (ϵ). Se pueden considerar diversas formas de cuantificar dicho error. Desde un punto de vista matemático, eso equivale a elegir una norma para medir ϵ , y varias normas podrían servir para ello. La que suele usarse es la norma L_2 , que equivale a cuantificar la diferencia residual entre las observaciones y las predicciones mediante la suma de los cuadrados de los residuos, lo que también se denomina suma de cuadrados o suma de cuadrado del error (SCE):

$$SCE(a, b) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2$$

El mejor ajuste es pues aquel que minimiza la SCE. En otras palabras, las estimaciones y de los coeficientes \hat{a} y \hat{b} son los valores de a y b que minimizan la suma de los cuadrados de las diferencias.

2.3. Definición de términos

Troza: Es una sección de longitud variable que se produce al dividir la troza o ramas aprovechables mediante cortes transversales (INACAL 2015).

Volumen rollizo: Es el volumen de madera en bruto contenida en la troza, no se incluye la corteza (INACAL 2015). Comúnmente se calcula mediante la fórmula de Smalian expresado en m^3 (SERFOR 2021).

Fórmula de Smalian: Es una expresión matemática muy utilizada para calcular el volumen rollizo, a partir de los diámetros sin corteza de las

secciones transversales y longitud de la troza. La fórmula de Smalian es exacta sólo si la troza tiene forma de paraboloides; por tanto si la sección tiene forma de cono o neiloide el cálculo del volumen con la fórmula de Smalian será sobreestimado (Marshall y LeMay 1990).

Volumen aserrado: Es el volumen de todas las piezas de madera aserrada obtenida de una troza en el proceso de aserrío. Se expresa en m³ o en pies tablares (pt).

Madera aserrada: Es la pieza en forma de paralelepípedo rectangular cortada longitudinalmente por medio de sierras manuales o mecánicas (INACAL 2015).

Rendimiento en el aserrío de trozas: Es la proporción expresada en porcentaje del volumen de madera aserrada con respecto al volumen de madera rolliza obtenida en el aserrío de trozas de una determinada especie (SERFOR 2021; BOLFOR 1997; INRENA 2008).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio es de tipo correlacional porque busca encontrar la relación existente entre variables de respuesta o dependientes (rendimiento, volumen aserrado) y variables explicativas o independientes (volumen rollizo, diámetros, longitud, y calidad de la troza). Además, es de tipo transversal porque se realiza en una única repetición en el tiempo, al contrario de estudios longitudinales que evalúan el comportamiento de las variables en múltiples momentos o repeticiones a través del tiempo (Hernández Escobar et al. 2018; Behar Rivero 2008).

3.2. Diseño del estudio

El diseño del estudio es del tipo analítico, no experimental; se basa en la observación, medición, y análisis de las variables de estudio (mediciones de las trozas, volumen aserrado, volumen rollizo, rendimiento) y las relaciones entre ellas (Hernández Escobar et al. 2018; Behar Rivero 2008).

El estudio consistió en mediciones de campo de trozas de las especies *P. amazonica* y *J. copaia* de una concesión castañera para determinar el volumen rollizo, antes del aserrío. El estudio comparó dos métodos de aserrío: usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” y usando aserradero estacionario de disco “Induspan”. Después del aserrío, se midió el volumen aserrado obtenido de las trozas, y se procedió a calcular el rendimiento en el aserrío de cada especie con los dos tipos de aserradero. Los datos colectados fueron analizados buscando obtener el rendimiento promedio de cada especie tanto en el aserrío con motosierras configuradas en “castillo” como con el aserradero estacionario “Induspan”. Asimismo, los análisis se enfocaron en evaluar modelos de regresión del volumen aserrado

en función del volumen rollizo de la troza, y del rendimiento en función del diámetro de las trozas, para obtener modelos de predicción del volumen aserrado o rendimiento a partir de las mediciones de las trozas.

3.3. Población y muestra

Población

La población estuvo conformada por el número total de trozas de árboles de *P. amazonica* y *J. copaia* registrados en el Plan operativo de la Concesión de Castaña con Contrato GOREMAD-GGR-PRMRFFS-DER/TAM-C-OPB/005-12, que tiene como titular al Sr. Simion Choque Figueroa, ubicado en el distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

La población fue de aproximadamente 160 trozas de 40 árboles de *P. amazonica*, y 200 trozas de 50 árboles de *J. copaia*, considerando que cada árbol se divide en 04 trozas aproximadamente.

Muestra

El tamaño de muestra (n) fue de 60 trozas en total para *P. amazonica*, es decir 30 para aserrío con castillo y 30 para aserrío con aserradero estacionario Induspan; y 70 trozas en total para *J. copaia*, divididos en 35 para aserrío con castillo y 35 para aserrío con aserradero estacionario Induspan. Las trozas fueron extraídas aleatoriamente de los árboles aprovechados de la Concesión de Castaña. Estas cantidades fueron calculados a partir de la fórmula de tamaño de muestra para poblaciones infinitas [1] (Avery y Burkhart 2002), recomendado en la guía metodológica para determinar el coeficiente de rendimiento (INRENA 2008).

$$n = \left(\frac{CV \times t}{E} \right)^2 \dots\dots\dots[1]$$

Donde n es el tamaño de muestra, CV es el coeficiente de variación en porcentaje del volumen de las trozas, t es el valor de la tabla de t de Student, y E es el error de muestreo en porcentaje que no deberá ser mayor a 15% (INRENA 2008).

El CV se calculó a partir del registro de trozas del aserradero de la empresa, de 92 trozas de *P. amazonica* y 51 trozas de *J. copaia*; resultando un CV de 33,17% y 36,08% respectivamente para las especies. Considerando que t es igual a 2 para grados de libertad infinito, y E de 12%. El tamaño de muestra (n) calculado mediante la fórmula [1] dió como resultado 29,35 trozas redondeando a 30 trozas de *P. amazonica* para cada tipo de equipo de aserrío, es decir 60 trozas en total.

$$n = \left(\frac{33,17 \times 2}{12} \right)^2 = 29,35 = 30 \text{ trozas}$$

$$n_1 = 30 \text{ trozas de } P. amazonica \text{ para aserrío con castillo}$$

$$n_2 = 30 \text{ trozas de } P. amazonica \text{ para aserrío con aserradero Induspan}$$

$$n_{total} = 60 \text{ trozas de } P. amazonica$$

Para *J. copaia* el tamaño de muestra (n) fue de 34,73 trozas redondeando a 35 trozas por tipo de equipo de aserrío, totalizando 70 trozas

$$n = \left(\frac{36,08 \times 2}{12} \right)^2 = 34,73 = 35 \text{ trozas}$$

$$n_1 = 35 \text{ trozas de } J. copaia \text{ para aserrío con castillo}$$

$$n_2 = 35 \text{ trozas de } J. copaia \text{ para aserrío con aserradero Induspan}$$

$$n_{total} = 70 \text{ trozas de } J. copaia$$

Sumando ambas especies, el estudio evaluó en total 130 trozas correspondiente a 33 árboles (Figura 2).

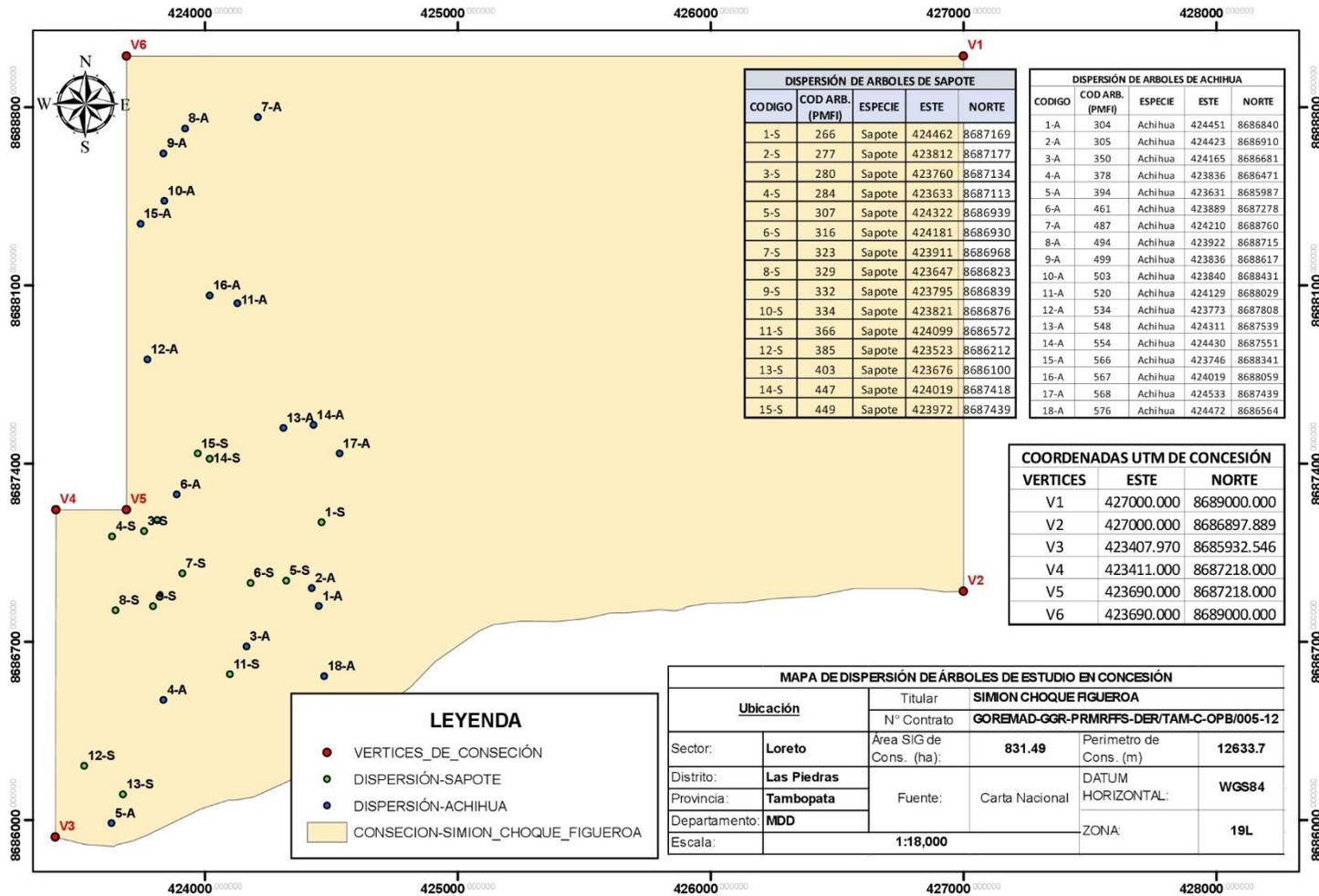


Figura 2. Mapa de dispersión de muestra de árboles de *Pterygota amazonica* "sapote" y *Jacaranda copaia* "Achihua".

3.4. Métodos y técnicas

3.4.1. Lugar de estudio

El lugar de estudio de extracción de la muestra fue el bosque de la Concesión de Castaña con contrato GOREMAD-GGR-PRMRFFS-DER/TAM-C-OPB/005-12, ubicado en el distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. El clima de la zona es húmedo tropical, con temperatura media anual entre 22°C y 24°C y precipitación acumulada anual entre 2200 y 3000 milímetros (GOREMAD 2010). El área muestreada tiene una extensión de 831,49 ha, se encuentra entre las latitudes 8 685 932 y 8 689 000 N, y entre las longitudes 423 407 y 427 000 E.

Todas las trozas muestreadas fueron extraídas aleatoriamente de los árboles aprovechados de la Concesión de Castaña. Las trozas para rendimiento usando el castillo, fueron procesadas en el bosque de la concesión. Las trozas para el estudio de rendimiento usando el aserradero estacionario de disco Induspan fueron procesados en el centro de transformación de la madera de propiedad de la Sra. Hilda Noa Secca, ubicado a la altura del kilómetro 56 de la carretera interoceánica en la localidad de Alegría, distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios (Figura 3).

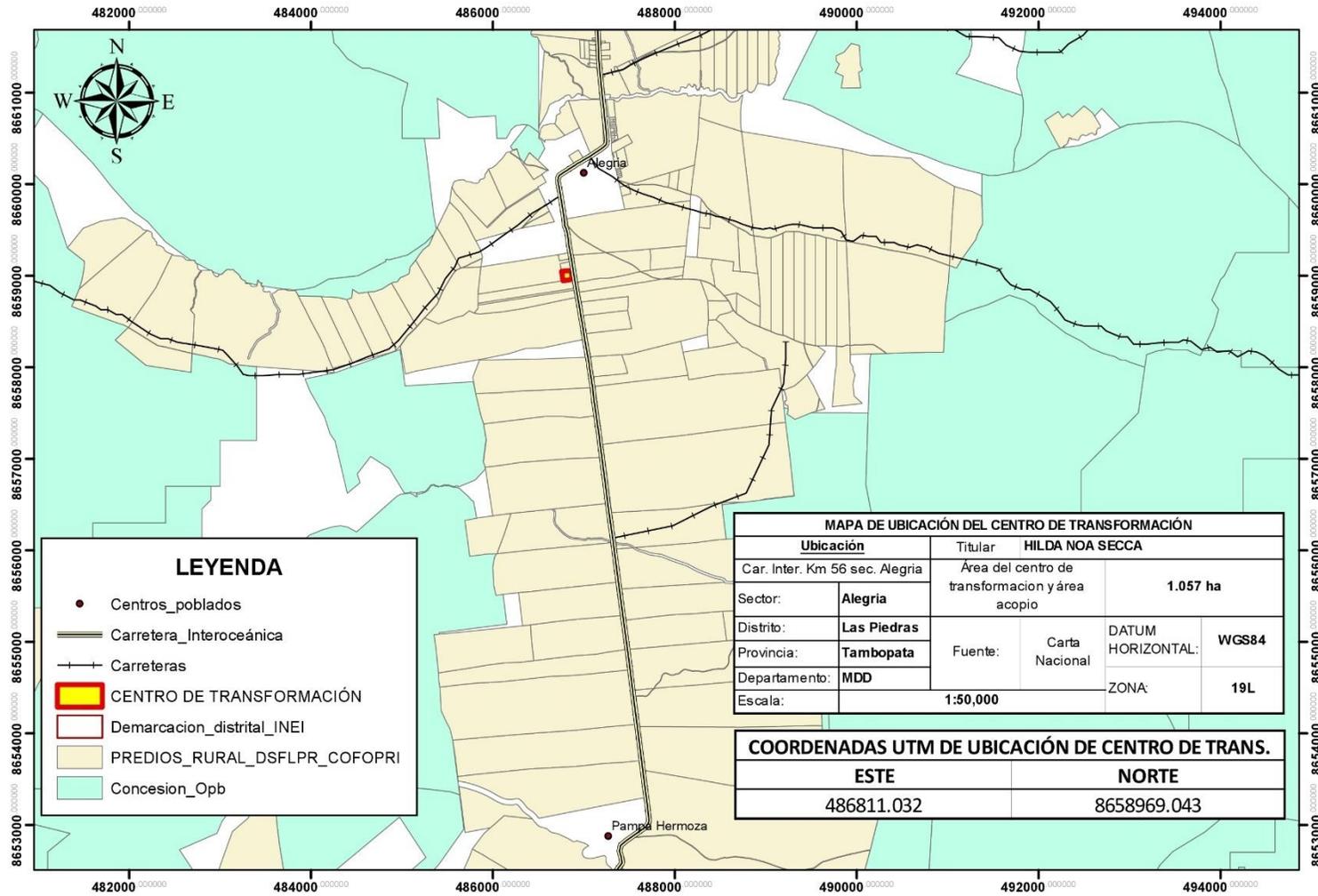


Figura 3. Mapa de ubicación del Centro de Transformación de la Madera que cuenta con el aserradero Induspan

3.4.2. Reconocimiento de las máquinas de aserrío y centro de transformación.

La investigación buscó determinar los rendimientos en el aserrío usando dos equipos de aserrío ampliamente utilizados por pequeños empresarios en Madre de Dios: Aserradero portátil castillo para el aserrío en bosque vs. Aserradero estacionario Induspan para el aserrío en Centro de Transformación.

➤ **Aserradero portátil de motosierras configuradas en “Castillo”**

El aserradero portátil conocido como “Castillo” consiste en dos motosierras montadas en un marco metálico que permite graduar el espesor o ancho del corte longitudinal del tablón. El castillo se usa para aserrar las trozas en el bosque a pie del árbol cortado, permitiendo facilitar el transporte de la madera en forma de madera escuadrada (Figura 4).

Previo al estudio se realizó un reconocimiento del bosque de la Concesión de Castaña y del equipo castillo.



Figura 4. Aserradero portátil castillo, consiste en dos motosierras configuradas en un marco metálico. Fuente: Extraído de TECMACNC (2018).

➤ **Aserradero estacionario “Induspan”**

Por otro lado, también se realizó el aserrío de otro conjunto de trozas usando el aserradero estacionario Induspan en un centro de transformación primaria, del distrito de Las Piedras (Figura 5). El aserradero Induspan es una máquina industrial, cumple la función de la sierra principal para el aserrío primario de trozas. Además, el centro de transformación cuenta con una canteadora y despuntadora para el aserrío secundario (ancho y largo).



Figura 5. Aserradero estacionario Induspan de tipo disco.

3.4.3. Selección, evaluación y medición de las trozas

La selección de las trozas se realizó aleatoriamente del conjunto de trozas disponible en el aserradero.

Las trozas se marcaron en la sección transversal de los extremos con pintura spray de un color diferente de las demás trozas para facilitar el seguimiento en el aserrío. La marcación consistió en escribir con la pintura el código de trazabilidad registrada en los formatos de campo del libro de operaciones (SERFOR 2021).

Posteriormente, se realizó la clasificación visual de las trozas por calidades, basado en la forma de la sección transversal (circular, ovalado, irregular),

conicidad (cilíndrica, semicilíndrica, ahusada y/o irregular), rectitud (derecha, semisinuosa, sinuosa o torcida), presencia y tamaño de huecos y rajaduras, y estado sanitario según la magnitud de ataque de hongos e insectos. Para que una troza sea considerada en una categoría de calidad debe cumplir al menos con tres de las variables (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de calidad de trozas. Extraído de INRENA (2008).

VARIABLE	CALIDAD POR CATEGORIAS		
	PRIMERA (I)	SEGUNDA (II)	TERCERA (III)
Forma de sección	Circular	Ovalada	Irregular
Conicidad	Cilíndrica Cuando el coeficiente de ahusamiento es: ≤ 2 cm/m	Semicilíndrica Cuando el coeficiente de ahusamiento es: > 2 cm/m y ≤ 5 cm/m	Ahusada Cuando el coeficiente de ahusamiento es: ≥ 5 cm/m
Rectitud	Derecha	Semisinuosa	Sinuosa ó torcida
Acañonado ó Huevo	Ninguno	Hasta 25%	Mas de 25%
Rajadura	No presenta	Solo Una (01) ancho(abertura) < 2.5 cm profundidad $< 25\%$ del largo de la troza	Mas de Una (01) ancho(abertura) < 5.0 cm profundidad $< 50\%$ del largo de la troza
Grieta	Solo una (01) largo $\leq 5\%$ del largo de la troza profundidad $\leq 5\%$ del radio (r)	Hasta tres (03) largo $> 5\%$ y $< 10\%$ del largo de la troza profundidad $> 5\%$ y $\leq 50\%$ del radio (r)	Mas de cuatro (04) largo $> 10\%$ del largo de la troza profundidad $> 50\%$ del radio (r)
Abultamiento	No presenta	Solo uno (01)	Mas de uno (01)
Ataque de insectos	No presenta	Ligero	Si presenta
Mancha y/o Pudrición	No presenta	Solo mancha (Hongo cromógeno)	Manchas y/o pudriciones (Hongo xilófago)

Fuente: INRENA (2008).

Para cada troza se midió los diámetros de los extremos, es decir el diámetro mayor (D1) y diámetro menor (D2), en centímetros (cm) excluyendo la corteza. Además, se midió el largo de la troza en metros (m) (Figura 6).

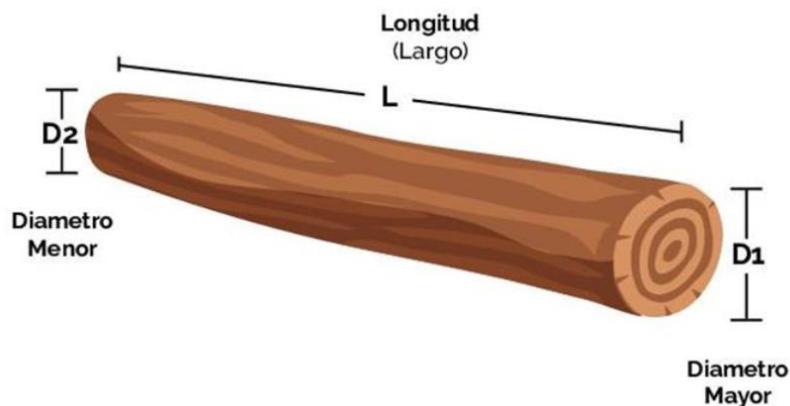


Figura 6. Medición del diámetro mayor (D1), diámetro menor (D2) y longitud de la troza (L). El diámetro se mide sin considerar la corteza.

El diámetro de cada extremo (D1 o D2) se obtuvo de un promedio de dos diámetros medidos (d_1 y d_2) en forma de cruz (Figura 7). Las mediciones fueron registradas en el Formato de registro de ingreso y cubicación de trozas (Anexo 3).

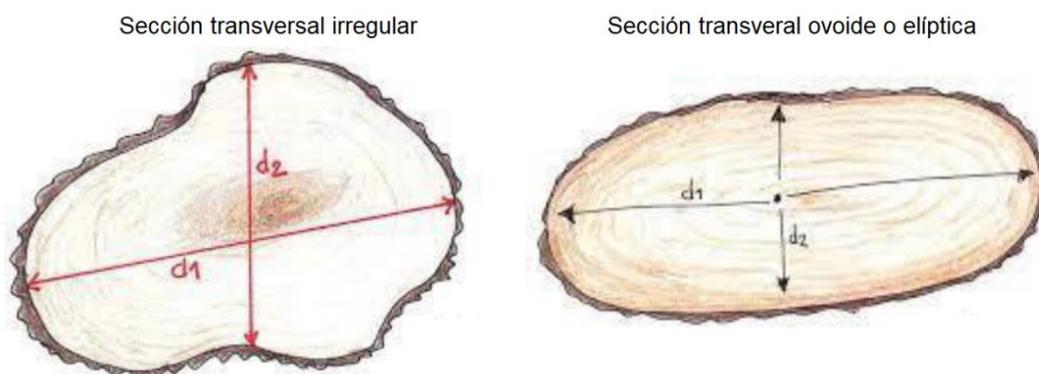


Figura 7. Forma de medición del diámetro de un extremo de la troza en trozas de sección transversal irregular (izquierda) y ovoide o elíptica (derecha). Se realizan dos mediciones en forma de cruz (d_1 y d_2) cuyo promedio representa el diámetro de la sección (D1 o D2).

3.4.4. Trazabilidad durante el proceso de aserrío

La trazabilidad permitió identificar y separar las piezas de madera aserrada de cada una de las trozas aserradas. Cada pieza resultante del primer corte con “castillo” o en la sierra principal “Induspan” (previamente marcada con su código de trazabilidad) fue marcada con crayones o tizas consignando un código correlativo de la troza más el número del tablón obtenido. Esta marca se hizo en una de las caras con la finalidad de evitar que el tablón se mezcle

con tablones de otras trozas durante el canteado o despuntado (Figura 8A) (SERFOR 2021).

Posteriormente, en el caso del aserrío con el aserradero Induspan, las piezas marcadas son canteadas y despuntadas obteniendo sus dimensiones comerciales. Estas piezas fueron nuevamente marcadas con el mismo código en las secciones transversales con crayones o tizas, lo que facilitó el control y registro del número de piezas obtenidas (Figura 8B) (SERFOR 2021).

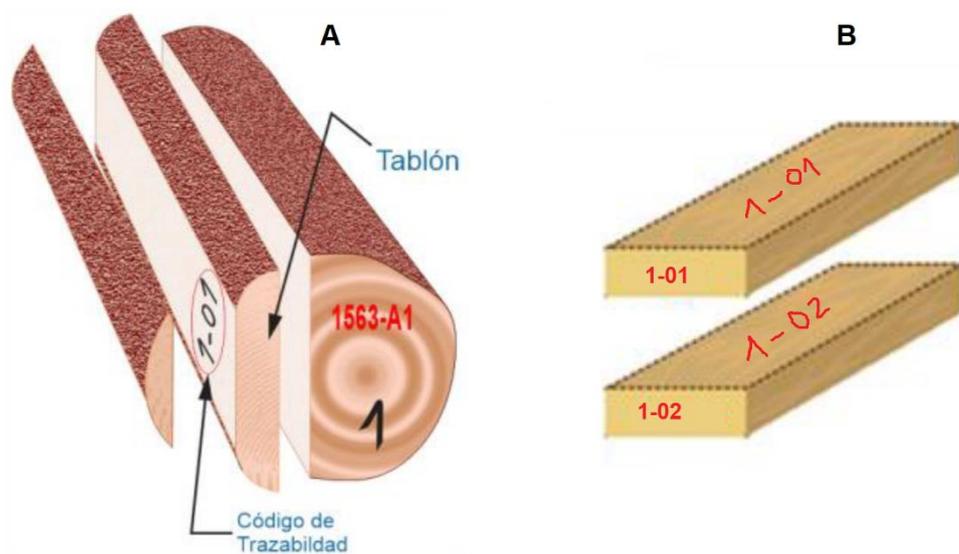


Figura 8. Marcación de la pieza durante el aserrado. Después del primer corte con la sierra principal (castillo, o Induspan) (A), y después del canteado y despuntado para el almacenamiento de la madera y facilitar el conteo (sólo en el caso de aserrío con Induspan) (B). Fuente: SERFOR (2021).

Cada pieza fue medida en su espesor en mm, ancho en cm, y largo en m, y registrado en el Formato de registro de producción de madera aserrada (Anexo 4).

3.4.5. Cubicación del volumen rollizo y volumen aserrado

A partir de las mediciones de los diámetros (D_1 y D_2) y longitud (L) de las trozas se calculó el volumen rollizo (V_r) en m^3 por medio de la fórmula de Smalian [1]:

$$V_r = \frac{\pi(D_1^2 + D_2^2)L}{8} \quad \text{Ecuación [1]}$$

El volumen aserrado en m^3 , se calculó a partir de la sumatoria de los volúmenes de las piezas de madera aserrada [2], las cuales a su vez se calculan con las mediciones de espesor en mm (E), ancho en cm (A), largo en m (L) [3].

$$V_a = \sum V_{pieza} \dots \dots \dots \text{Ecuación [2]}$$

$$V_{pieza} = \frac{E \times A \times L}{100000} \dots \dots \dots \text{Ecuación [3]}$$

3.4.6. Rendimiento en el aserrío de trozas

Conocido el volumen rollizo y volumen aserrado de cada troza, se calculó el rendimiento de cada troza conforme la ecuación [4].

$$R = \frac{V_a}{V_r} \times 100\% \dots \dots \dots \text{Ecuación [4]}$$

El rendimiento por especie (*P. amazonica*, y *J. copaia*), y tipo de aserradero usado (Castillo, e Induspan) fue el promedio del rendimiento de las trozas.

3.4.7. Modelos de predicción

Se construyeron modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas. Estos modelos fueron regresiones lineales simples ajustados mediante el método de mínimos cuadrados (Avery y Burkhart 2002) (Figura 9).

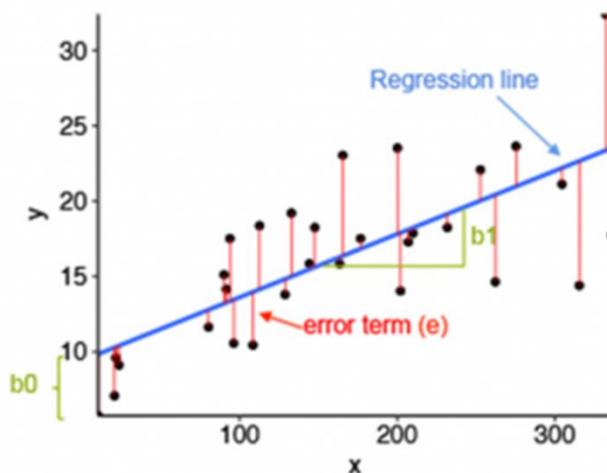


Figura 9. Modelo de regresión lineal simple. Y es la variable dependiente, X es la variable independiente, b_0 es el valor de la intersección en Y, y b_1 es la pendiente de la recta (ambos son los parámetros de la regresión), y “e” es el error.

El modelo de predicción del volumen aserrado (V_a) vs. el volumen rollizo (V_r) fue el siguiente [5]:

$$V_a = b_0 + b_1 V_r \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación [5]}$$

Y el modelo de predicción del rendimiento (R) vs. el diámetro promedio de la troza (D) se definió por [6]:

$$R = b_0 + b_1 D \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación [6]}$$

Donde b_0 es el valor de la intersección en Y , y b_1 es la pendiente de la recta, ambos son los parámetros de la regresión ajustados por el método de mínimos cuadrados.

La evaluación de la calidad de ajuste de los modelos se realizó en base al coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y a la raíz del error cuadrático medio (RMSE) conocido también como error estándar de estimación o residual (Avery y Burkhart 2002).

3.5. Tratamientos de los datos

Los datos colectados fueron ordenados y sistematizados en hojas de cálculo Excel. Inicialmente, se realizó un análisis exploratorio de las dimensiones de las trozas mediante diagramas de caja (boxplot) para observar la distribución de los datos, presencia de outliers (valores atípicos), y normalidad del conjunto de los datos.

El rendimiento promedio del aserrío fue calculado a partir del promedio de los rendimientos de cada troza. Se prepararon gráficos de barras para mostrar la comparación entre el rendimiento en el aserrío usando "Castillo" y el rendimiento en el aserrío usando el aserradero "Induspan" para la especie *P. amazonica* y *J. copaia* separadamente. Se aplicó la prueba de t de Student para dos muestras independientes, con la finalidad de comparar si existen diferencias significativas al 95% de confiabilidad ($\alpha = 0,05$) entre las medias de los rendimientos.

Posteriormente se procedió a ajustar las regresiones lineales [5] y [6] para las dos especies y los dos tipos de aserraderos. Los supuestos de normalidad y

homogeneidad de varianzas para los modelos de regresión fueron comprobados mediante gráficos de residuos vs. valores de la variable independiente, residuos vs. valores predichos, histograma de residuos, gráfico de probabilidad normal de los residuos. Los análisis estadísticos se realizaron en el software R.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Dimensiones y calidad de las trozas

El estudio se realizó con 60 trozas de *P. amazonica* y 70 trozas de *J. copaia*, de las cuales entre el 60% al 90% correspondieron a trozas de 1ra calidad es decir trozas rectas, cilíndricas y sin defectos de rajaduras, grietas o pudrición (Figura 10A). Las trozas de 3ra calidad, es decir trozas defectuosas correspondieron a menos del 1% (entre 1 a 2 trozas).

El diámetro promedio de las trozas varió entre 52 cm a 118 cm para *P. amazonica*, mientras que para *J. copaia* las trozas fueron de menor diámetro entre 50 cm y 76 cm. Los diagramas de caja muestran una distribución simétrica del diámetro promedio de las trozas en ambas especies y tipo de aserradero usado, con algunos valores atípicos superiores “outliers” en *P. amazonica* (Figura 10B).

Respecto a la longitud, las trozas de *P. amazonica* variaron entre 3,15 m y 5 m de largo, no obstante, las trozas aserradas con Induspan fueron más largas que las trozas aserradas con Castillo, con promedios de 4,3 m y 3,4 m respectivamente. Por otro lado, las trozas de *J. copaia* todas tuvieron en torno a 3,15 m de largo (Figura 10C).

Finalmente, el volumen promedio de las trozas fue de 1,6 m³ y 0,9 m³ en *P. amazonica* y *J. copaia*, respectivamente. Entre el método de aserrío usado, las trozas aserradas con castillo fueron ligeramente más voluminosas que las trozas aserradas con Induspan, debido principalmente a su mayor diámetro. Existieron 06 trozas con volúmenes muy grandes atípicos, correspondientes a árboles muy gruesos (Figura 10D y 10B).

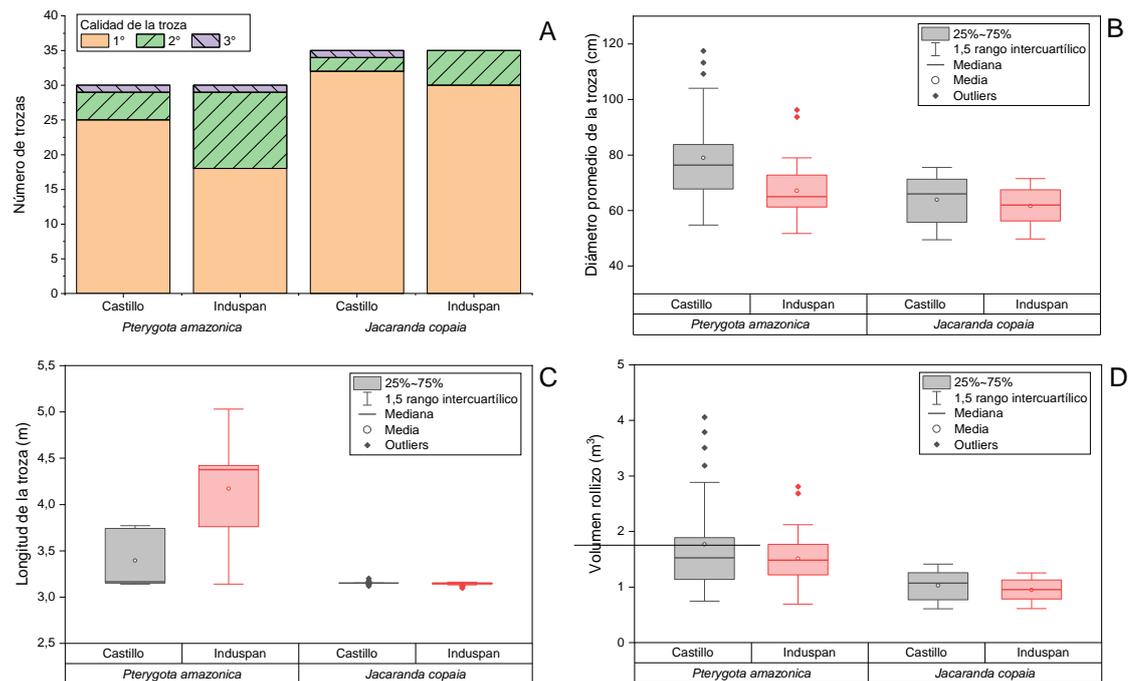


Figura 10. Dimensiones y calidad de las trozas de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia* evaluadas en el estudio de rendimiento: Número y calidad de trozas (A), diámetro promedio (B), longitud (C), volumen rollizo (D), usando aserradero portátil de motosierras en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.

Los resultados del análisis de las dimensiones de las trozas usadas en ambos métodos de aserrío, revelan que las trozas de *P. amazonica* son considerablemente más gruesas, largas, y voluminosas que las trozas de *J. copaia*. Esto se explica por las diferencias de crecimiento y longevidad propias entre ambas especies, siendo conocido que *J. copaia* es una especie pionera de rápido crecimiento y corta longevidad comparado con *P. amazonica*, especie de sucesión intermedia de medio/lento crecimiento (ITTO 2023b; INIA 2023; Reynel et al. 2003). La especie *J. copaia* se caracterizó por presentar predominantemente trozas de 1ra calidad debido a la forma recta y cilíndrica de su fuste (ITTO 2023b). No obstante, en ambas especies predominaron trozas de 1ra calidad, seguidas de 2da calidad, con apenas 1 o 2 trozas de 3ra calidad, indicando que ambas especies proporcionan buena materia prima con pocos o nulos defectos de forma y estructurales, y por tanto, el rendimiento esperado en el aserrío de ambas especies no será afectado por una mala calidad de la materia prima.

4.2. Rendimiento en el aserrío

El rendimiento promedio en el aserrío de trozas de *P. amazónica* usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” fue de 49,5% mientras que usando el aserradero estacionario “Induspan” fue de 61,2%. Similarmente, para *J. copaia* el rendimiento promedio usando “castillo” e “Induspan” fue de 48,7% y 55%, respectivamente (Tabla 3 y Figura 11).

Existió mayor variabilidad del rendimiento en las trozas de *P. amazonica* comparado con *J. copaia*, sin embargo, entre el tipo de aserradero usado, la variabilidad fue semejante.

Tabla 3. Resumen descriptivo del rendimiento en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia*, usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.

Estadísticos	<i>Pterygota amazonica</i>		<i>Jacaranda copaia</i>	
	Castillo	Induspan	Castillo	Induspan
Conteo	30	30	35	35
Media	49,48	61,16	48,72	55,02
Error estándar	1,95	1,99	1,47	1,06
Mediana	47,35	63,09	49,09	55,25
Desviación estándar	10,68	10,91	8,72	6,25
Mínimo	28,11	38,14	30,69	41,39
Máximo	75,33	81,30	65,65	75,65
Nivel de confianza (95.0%)	3,99	4,07	3,00	2,15

En ambas especies el rendimiento promedio fue ligeramente mayor usando el aserradero estacionario “Induspan”. Asimismo, independientemente del aserradero usado, el rendimiento fue ligeramente mayor en la especie *P. amazonica* (Figura 11).

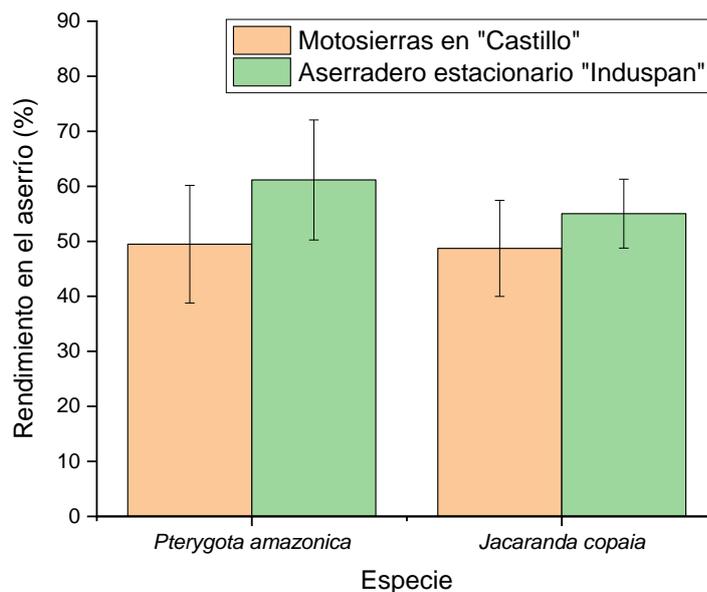


Figura 11. Comparación del rendimiento promedio en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica* y *Jacaranda copaia*, usando motosierras configuradas en “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.

De hecho, los resultados de la prueba de t de Student, mostraron que, para las dos especies, el rendimiento promedio de madera aserrada usando el aserradero “Induspan” es significativamente mayor comparado con el rendimiento promedio usando motosierras en “castillo” (p-valor < 0,05). Además, la comparación entre especies mostró que no existen diferencias significativas entre el rendimiento promedio de *P. amazonica* y *J. copaia* (p-valor > 0,05) (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de probabilidad (valor-p) del test t de Student de comparación de dos muestras independientes, entre tipo de aserradero usado “castillo vs. Induspan” por especie y entre especies “*Pterygota amazonica* vs. *Jacaranda copaia*”. *** indica diferencia significativa entre las medias de rendimiento de los dos grupos (valor-p ≤ 0,05); ns indica diferencia no significativa entre las medias de rendimiento de los dos grupos (valor-p > 0,05).

Especie y tipo de aserrío	Valor de probabilidad test t
<i>Pterygota amazonica</i> - Castillo vs. Induspan	9,65E-05 ***
<i>Jacaranda copaia</i> - Castillo vs. Induspan	9,33E-04 ***
<i>Pterygota amazonica</i> vs. <i>Jacaranda copaia</i>	0,066 ns
Castillo vs. Induspan	4,24E-07 ***

El rendimiento por lote, es decir el rendimiento para el conjunto total, tuvo un comportamiento muy semejante al rendimiento promedio, de 47,4% y 61,4% con “castillo” e “Induspan” respectivamente, en *P. amazonica*; mientras que en *J. copaia* fue de 48,9% y 54,6% con “castillo” e “Induspan” respectivamente. El rendimiento por tipo de aserradero utilizado, también mostró que el aserrío de trozas con “Induspan” produce un mayor rendimiento de madera aserrada (58,5%) comparado con el aserrío usando motosierras en “castillo” (48%). Por otro lado, el rendimiento total por lote fue muy similar entre ambas especies, de 53,8% y 51,6% respectivamente para *P. amazonica* y *J. copaia* (Tabla 5).

Tabla 5. Volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por lote (sumatoria de las trozas evaluadas) por especie y total, con aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.

Especie		Aserrío con Castillo	Aserrío con Induspan	Total
<i>Pterygota amazonica</i>	Volumen rollizo (m ³)	53,06	45,32	98,39
	Volumen aserrado (m ³)	25,14	27,82	52,96
	Rendimiento por lote (%)	47,38	61,38	53,83
<i>Jacaranda copaia</i>	Volumen rollizo (m ³)	35,92	33,12	69,04
	Volumen aserrado (m ³)	17,55	18,10	35,64
	Rendimiento por lote (%)	48,85	54,64	51,63
Total	Volumen rollizo (m ³)	88,98	78,44	167,43
	Volumen aserrado (m ³)	42,69	45,92	88,61
	Rendimiento por lote (%)	47,97	58,54	52,92

El rendimiento en el aserrío de trozas usando el aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” en las dos especies estudiadas *P. amazonica* (49,5%) y *J. copaia* (48,7%) indica que alrededor de la mitad del volumen de la troza es convertida a madera aserrada en el bosque. Otro único estudio usando “castillo” encontró similar rendimiento de 51% en el aserrío de *C. spruceanum* “capirona” en Loreto (Ríos 2019).

Estudios de rendimiento en el aserrío usado “Induspan” son escasos, casi la totalidad de este tipo de estudios fueron realizados en centros de transformación primaria usando aserraderos estacionarios principalmente de

tipo cinta. En el presente estudio, el aserradero estacionario “Induspan” de discos presentó rendimientos de 61,1 y 55% para *P. amazonica* y *J. copaia*, respectivamente para producción de madera comercial. Estos valores son similares o incluso superiores a lo encontrado en aserraderos de sierra principal de cinta, para la producción de madera larga comercial y angosta en Perú. Por ejemplo, rendimiento fue de 63% en *B. utile* “manchinga” (Canchanya 2011), 58% para *D. micrantha* “shihuahuaco”, 51% en *C. samauma* “huimba negra” (Gonzales 2018), 45% en *C. pentandra* “lupuna”, y 42% en *C. reticulata* “copaiba” (Ramírez 2019).

Por tanto, los resultados indican que los rendimientos con el aserradero Induspan son semejantes o mejores a lo reportando en sierras principales de cinta. Esto es importante conocer, pues la mayoría de los centros de transformación de la madera pequeños y medianos de Madre de Dios usan este tipo de aserradero.

El presente estudio se limita al rendimiento en madera comercial en forma de tablonés; por tanto, los rendimientos serán muy superiores a otro tipo de productos de mayor valor agregado donde los rendimientos son más bajos. Por ejemplo, diversos estudios de rendimiento en la producción de tablillas, pisos y decking de maderas duras encontraron valores de rendimiento entre 23% y 37% en *C. guianensis* y *T. serratifolia* (Portella 2021), *M. balsamum*, *Dipteryx* sp, *A. macrocarpon*, e *H. oblongifolia* (Huarcaya de La Cruz 2011; Paucar 2016; Zapana 2018), y *M. bidentata* (Kahn 2014). Todos estos estudios muestran el rendimiento de la transformación primaria (se excluye el secado y cepillado) usando equipos y máquinas de aserraderos industriales de mediana y grande capacidad, como las sierras principales de cinta, multilaminadoras, sierras reaserradoras, canteadoras múltiples, despuntadoras, mesas canteadoras, etc.

Por tanto, productos de mayor valor agregado y menores dimensiones generan menores rendimientos en el aserrío debido a mayor cantidad de cortes que genera pérdidas en aserrín, y mayor rigurosidad en la calidad de la madera generando muchas piezas de descarte. En este contexto es importante el desarrollo de estudios de rendimiento del aserradero Induspan

en la producción de tablillas, pisos y decking para comparación de su eficiencia con los aserraderos de cinta.

El aserrío con el aserradero portátil “castillo” que se realiza en el bosque a pie de árbol, si bien genera menor rendimiento que el aserradero estacionario “Induspan”, tiene la ventaja que reduce los costos para la empresa, pues al aserrar a pie de árbol se transporta con mayor facilidad la madera aserrada que si estuviera como rollos, reduciendo así los costos de transporte. Además, al generar rendimientos cercanos al 50% en ambas especies, es adecuado su uso principalmente para las pequeñas empresas que no cuentan con capital para implementar aserraderos más sofisticados.

4.3. Modelos de predicción del volumen aserrado y rendimiento

Los modelos de regresión lineal para predecir el volumen aserrado a partir del volumen rollizo $V_a = b_0 + b_1 V_r$ (ecuación 5), mostraron un buen desempeño en ambas especies y tipos de aserraderos utilizados.

En las trozas *P. amazonica* aserradas con “castillo”, la variación del volumen aserrado es explicado en un 62% por el volumen rollizo (R^2 ajustado = 0,62), con una alta significancia (valor $p < 0,01$) (Figura 12A). El volumen aserrado de las trozas de la misma especie aserradas con “Induspan” puede predecirse con mayor fiabilidad (R^2 ajustado = 0,69 y valor $p < 0,01$) (Figura 12B). En ambos casos, el error estándar residual o raíz del error cuadrático medio de los residuos (RMSE) fue bajo y varió entre 0,62 y 0,69 m³.

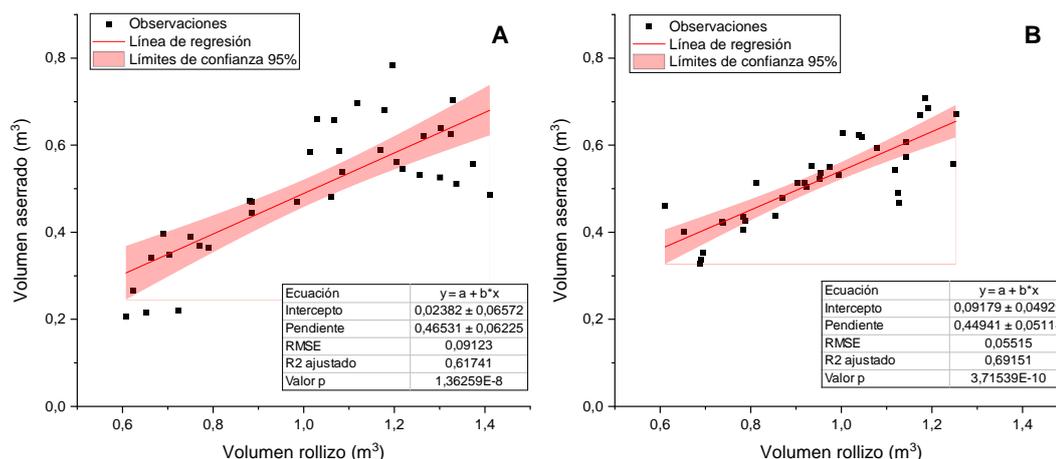


Figura 12. Modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica*: usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B).

Los modelos de volumen aserrado vs. volumen rollizo fueron más eficientes en *J. copaia*. En trozas aserradas con “castillo”, la variación del volumen aserrado es explicado en un 80% por el volumen rollizo (R^2 ajustado = 0,8) siendo el modelo altamente significativo (valor $p < 0,01$) (Figura 13^a). De forma parecida, en el aserrío de trozas con “Induspan” el modelo explica el 77% de la variación del volumen aserrado (R^2 ajustado = 0,77) con una alta significancia (valor $p < 0,01$) (Figura 13B). Los errores residuales de predicción también fueron bajos (RMSE = 0,16 m³ y 19 m³ respectivamente).

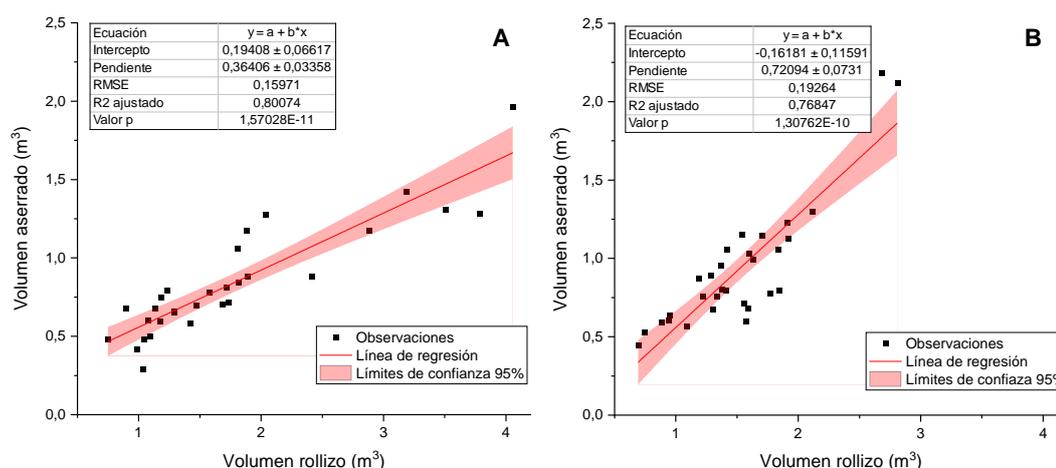


Figura 13. Modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Jacaranda copaia*: usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B).

Los gráficos de dispersión de los residuos, histogramas de los residuos, y probabilidad normal de los residuos mostraron que los modelos de regresión cumplieron con los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas (Anexo 9: Figuras 15, 16, 17, y 18).

En contraste, los modelos de regresión de rendimiento vs. diámetro promedio en ambas especies y tipos de aserradero utilizado, presentaron baja calidad de ajuste y no fueron significativos. Los R2 ajustado variaron entre -0,02 y 0,16 con altos errores estándar residuales de entre 6% y 11%, mostrando que no se puede predecir el rendimiento de madera aserrada a partir del diámetro promedio de las trozas de *P. amazonica* y *J. copaia* (Figura 14).

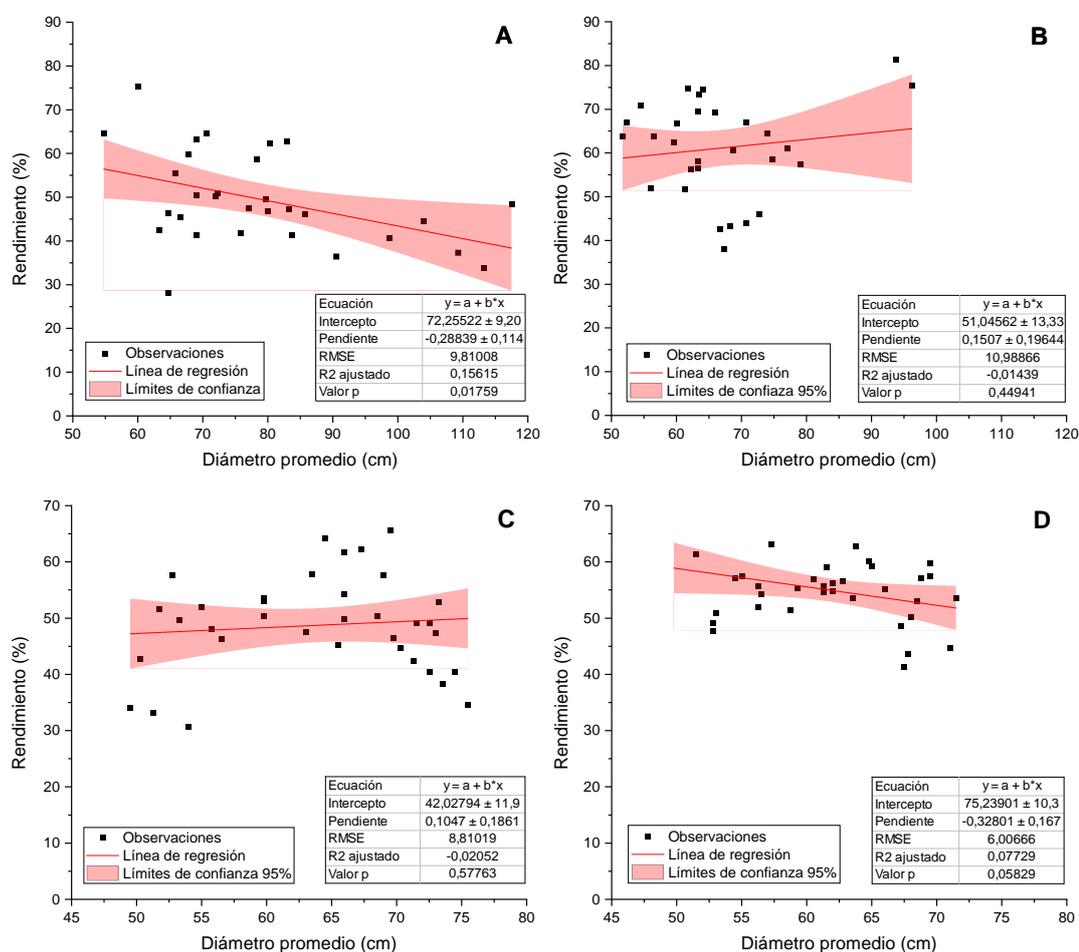


Figura 14. Modelo de regresión lineal de rendimiento vs. diámetro promedio, en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica* usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A) y aserradero estacionario “Induspan” (B); y *Jacaranda copaia* usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (C) y aserradero estacionario “Induspan” (D).

La calidad de los modelos de regresión obtenidos de volumen aserrado vs. volumen rollizo (R^2 ajustado entre 0,61 y 0,8) fueron menores a modelos de *B. utile*, *M. bidentata*, *M. balsamum*, *D. micrantha* que tuvieron ajustes casi perfectos con R^2 entre 0,95 y 0,99 (Huarcaya de La Cruz 2011; Kahn 2014; Canchanya 2011). No obstante, fue semejante a otro modelo para *H. oblongifolia*, *M. balsamum*, *D. odorata* con un $R^2 = 0,71$ (Zapana 2018).

La mejor calidad de ajuste de los modelos de la especie *J. copaia* comparado con *P. amazonica*, puede deberse a la forma más recta y circular de las trozas de *J. copaia*, pues es conocido que los árboles de esta especie tienen estas características, lo que pudo haber contribuido a una relación más estrecha entre el volumen aserrado y volumen rollizo. Además, las trozas de *J. copia* presentaron una distribución más simétrica y menor amplitud del volumen rollizo que sumado a una mejor calidad de las trozas, mejorarían el ajuste de los modelos.

Los modelos construidos para predicción del volumen aserrado a partir del volumen rollizo muestran que además del coeficiente de rendimiento obtenido, es factible usar estas ecuaciones para estimación confiable del volumen aserrado.

En contraste, se demostró que no existe relación entre el rendimiento y el diámetro promedio de las trozas, por tanto, el rendimiento de madera aserrada no puede ser determinado a partir del diámetro de las trozas. Esto es un hallazgo importante porque en la práctica se suele asumir que trozas de mayor diámetro generarán mayor rendimiento, lo cual no necesariamente sucede para las especies *P. amazonica* y *J. copaia* usado el aserradero portátil “castillo” y aserradero estacionario “Induspan”.

CONCLUSIONES

El rendimiento en el aserrío de trozas de *P. amazonica* y *J. copaia* usando el aserradero portátil de motosierras en “castillo” fue de 49,5% y 48,7% respectivamente. Con estos resultados, se acepta la hipótesis planteada de que los rendimientos en ambas especies usando el “castillo” sería menor a 50%.

Por otro lado, el rendimiento en el aserrío de trozas de *P. amazonica* y *J. copaia* usando el aserradero estacionario “Induspan” fue de 61,2% y 55% respectivamente. Con estos resultados, se rechaza la hipótesis planteada de que los rendimientos en ambas especies usando el “castillo” sería menor a 50%.

Respecto a los modelos de regresión de volumen aserrado vs. volumen rollizo, se acepta la hipótesis de que los modelos son adecuados para predecir el volumen aserrado a partir del volumen rollizo de las trozas, tanto en *P. amazónica* como en *J. copaia* usando los dos tipos de aserradero. El R² ajustado de los modelos varió entre 0,62 y 0,80 y fueron altamente significativos (valor $p < 0,01$). No obstante, los modelos de regresión de rendimiento vs. diámetro promedio presentaron baja calidad de ajuste con R² ajustado cercano a 0 y fueron no significativos (valor $p > 0,05$), entonces se rechaza la hipótesis planteada, y por tanto los modelos de predicción del rendimiento a partir del diámetro promedio de las trozas no son adecuados, en ambas especies y tipo de aserradero usado.

Adicionalmente, se encontró que el rendimiento de madera aserrada es significativamente superior usando el aserradero Induspan comparando con el rendimiento usando “castillo”, tanto en *P. amazonica* como en *J. copaia*. Los rendimientos comparando ambas especies no fueron significativamente diferentes. Las comparaciones con el rendimiento obtenido con otros

aserraderos como los de sierra cinta, muestran que el aserradero estacionario “Induspan” genera un rendimiento de madera aserrada, igual o ligeramente superior; por tanto, esto sugiere que el aserradero “Induspan” es adecuado para el aserrío de trozas desde el punto de vista productivo.

El aserrío con el aserradero portátil “castillo” al generar rendimientos cercanos al 50% en ambas especies, es adecuado su uso principalmente para las pequeñas empresas que no cuentan con capital para implementar aserraderos más sofisticados.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios en otras especies forestales comerciales de madera dura para conocer la productividad de los aserraderos implementados con “Induspan” comparado con los aserraderos convencionales de sierra cinta en el aserrío de tablillas, pisos y decking.

El rendimiento de madera aserrada con el uso del “castillo” es prácticamente desconocido para la mayoría de especies forestales, por tanto, es importante realizar más estudios de este tipo para conocer la conveniencia o no del uso del “castillo” en lugar de aserraderos estacionarios.

Se recomienda también complementar los estudios de rendimiento con estudios de costos de producción para determinar si el rendimiento obtenido con diferentes aserraderos se compensa con los costos en pequeños y medianos centros de transformación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, M. y KIKATA, Y., 1994. *Atlas de Maderas del Perú*. Lima: s.n.
- AVERY, T.E. y BURKHART, H.E., 2002. *Forest measurements*. S.I.: McGraw-Hill. ISBN 0073661767.
- BEHAR RIVERO, D.S., 2008. *Introducción a la metodología de la investigación*. S.I.: Editorial Shalom. ISBN 978-959-212-783-7.
- BOLFOR, 1997. Estudio de rendimiento, tiempos y movimientos en el aserrío. Manual práctico. . Santa Cruz, Bolivia:
- CANCHANYA, J.J.Q., 2011. *Determinación del coeficiente de rendimiento en el aserrío de madera para las especie Leche caspi (*Brosimum utile* Ducke C.C. Berg) Villa Rica, Perú* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Disponible en:
<https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/949/T.FRS-117.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- DIARIO OFICIAL EL PERUANO, 2016. *Resolución de Dirección Ejecutiva N° 161-2016-SERFOR-DE* [en línea]. 2016. Perú: s.n. Disponible en:
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-la-primera-disposicion-complementaria-final-de-los-resolucion-no-161-2016-serfor-de-1408348-1/>.
- GONZALES, K.F.L., 2018. *Influencia de la calidad de trozas de Ceiba samauma (Huimba negra) en la conversión a madera aserrada en Pucallpa - Ucayali* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional de Ucayali. Disponible en:
<http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3296/000001326T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- GOREMAD, 2010. Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Tahuamanu-Volumen I. . Puerto Maldonado:
- HERNÁNDEZ ESCOBAR, A.A., RAMOS RODRÍGUEZ, M.P., PLACENCIA

LÓPEZ, B.M., INDACOCHEA GANCHOZO, B., QUIMIS GÓMEZ, A.J. y MORENO PONCE, L.A., 2018. *Metodología de la investigación científica*. S.I.: ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L. ISBN 9788494825705.

HUARCAYA DE LA CRUZ, D.M., 2011. *Rendimiento en aserrío de *Myroxylon balsamum Harms* y *Dipteryx micrantha Harms*, Iñapari - Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.

INACAL, 2015. *Norma técnica peruana NTP 251.001.2015. Madera. Terminología*. 2015. Lima, Perú: Dirección de Normalización - INACAL.

INIA, 2023. Paujilruro blanco. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2023]. Disponible en:
<https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-p4/inia-p4-17.htm>.

INRENA, 2008. Metodología para determinar el Coeficiente de Rendimiento de madera rolliza (troza) a madera aserrada. . Lima, Perú:

ISUIZA, C.T.R., 2022. *Rendimiento volumétrico de la especie *Dipteryx micrantha Harms*, “Shihuahuaco”, en el proceso de aserrío considerando su tipología y dimensiones en la empresa Consorcio Forestal Loreto SAC, Loreto- Maynas -Iquitos - 2021*. S.I.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

ITTO, 2023a. Jacaranda copaia. *Lesser used species* [en línea]. [Consulta: 9 septiembre 2023]. Disponible en:
<http://www.tropicaltimber.info/specie/para-para-jacaranda-copaia/>.

ITTO, 2023b. Pterygota amazonica. *Lesser used species* [en línea]. [Consulta: 9 septiembre 2023]. Disponible en:
<http://www.tropicaltimber.info/specie/paujilruro-ptyergota-amazonica/#lower-content>.

KAHN, H.G.G., 2014. *Influencia de la clase diamétrica en el rendimiento de madera de la especie *Manilkara bidentata* (A. DC.) A. Chev. (Quinilla)*,

para la obtención de Tablillas y Decking , en la empresa " Forestal Río Piedras S.A.C. [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible en:
<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/105>.

LÓPEZ, S.A.B., 2023. *Determinación del coeficiente de rendimiento de la especie Hura crepitans (catahua) en el proceso de transformación de madera en troza a madera aserrada en la empresa Inversiones W&A, Loreto- Maynas - Iquitos - 2022. S.I.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.*

MARSHALL, P.L. y LEMAY, V.M., 1990. *Introduction to Forest Mensuration and Photogrammetry.* Vancouver: The University of British Columbia.

OSINFOR, 2018. Aprovechamiento Forestal Maderable en Concesiones de Castaña. [en línea]. Lima, Perú: Disponible en:
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1016223/APROVECHAMIENTO-FORESTAL-CASTAÑA-VF20200716-31706-16p1wqt.pdf>.

PAUCAR, T.M., 2016. *Coeficiente de aserrío y productividad de tablillas para pisos de las especies Myroxylon balsamum Harms (Fabaceae) y Aspidosperma macrocarpon (Apocynaceae), Mazamari - Satipo. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.*

PÉREZ-FLORES, D. y CASTRO-MARÍN, G., 2021. Coeficiente de aserrío en la transformación de madera proveniente de Pinus oocarpa Schiede, en seis aserraderos de Nueva Segovia y Estelí, Nicaragua. *La Calera*, vol. 21, no. 36, pp. 13–18. ISSN 1998-7846. DOI 10.5377/calera.v21i36.11473.

PICARD, N., SAINT-ANDRÉ, L. y HENRY, M., 2012. *Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción.* S.I.: Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. ISBN 9789253073474.

- PORTELLA, C.J.F., 2021. *Rendimiento en aserrío de Couratari guianensis y Tabebuia serratifolia en la empresa Forestal Otorongo S.A.C, Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- QUISPE, B.W.M., 2019. Rendimiento en aserrío con motosierra, aplicando el sistema de corte “Flitchs”, para dos especies forestales de la amazonia : Gabu (*Virola flexuosa*) y Huasicucho (*Centrolobium ochroxylum*) en las comunidades Nuevo Porvenir y Villa Esperanza del municip. *Apthapi*, vol. 5, no. 2, pp. 1574–1585.
- RAMÍREZ, D.I.C., 2019. *Rendimiento de aserrío de Copaiba (Copaifera reticulata Ducke) y Lupuna (Ceiba pentandra (L.) Gaertn) en Tahuamanu-Madre de Dios*. S.I.: Universidad Nacional de Cajamarca.
- RAMÍREZ, P.N., 2012. Utilización industrial y mercado de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales. *Proyecto PD 512/08 rev.2 (I)* [en línea]. Lima, Perú: Disponible en: [http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical report - Caracterización del mercado y determinación de nichos de 10 especies de bosques secundarios.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical_report_-_Caracterización_del_mercado_y_determinación_de_nichos_de_10_especies_de_bosques_secundarios.pdf).
- RASCÓN-SOLANO, J., AGUIRRE-CALDERÓN, O.A., NÁJERA-LUNA, J.A., OLIVAS-GARCÍA, J.M., ALANÍS-RODRÍGUEZ, E., JIMÉNEZ-PÉREZ, J. y TREVIÑO-GARZA, E., 2023. Comparative analysis of volumetric yield of sawn timber from two sawmill variants in Chihuahua. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 29, no. 3, pp. 17–29. ISSN 20074018. DOI 10.5154/r.rchscfa.2022.09.069.
- REYNEL, C., PENNINGTON, R., PENNINGTON, T., FLORES, C. y DAZA, A., 2003. *Arboles útiles de la Amazonía peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies* [en línea]. S.I.: Tarea Gráfica Educativa. ISBN 9789972973314. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=F5tfAAAAMAAJ>.
- RÍOS, H.P., 2019. *Costos de aserrío y transporte de madera aserrada de Calycophyllum spruceanum (Benth) Hook F. Ex Schumann en el bosque*

de Padre Marquez- Loreto [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Disponible en:

<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>.

RUEDA, A.S., GALLEGOS, A.R., GONZÁLES, D.E., BENAVIDES, J. de D.S., RUIZ, J.A.C. y LÓPEZ, E.A., 2010. Coeficiente de aserrío de madera en rollo de dos especies tropicales producto de plantaciones forestales Article. *Scientia-CUCBA*, vol. 12, no. 1–2, pp. 1–10.

SERFOR, 2017. Mapa de concesiones forestales. [en línea]. Lima, Perú: Disponible en:

[https://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/563/1/05 Mapa Nacional de Concesiones Forestales.pdf](https://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/563/1/05%20Mapa%20Nacional%20de%20Concesiones%20Forestales.pdf).

SERFOR, 2020. *Manual para la identificación botánica de especies forestales de la amazonía peruana*. Lima, Perú: Servicio Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). ISBN 9786124690860.

SERFOR, 2021. Guía metodológica para la determinación del coeficiente de rendimiento de especies forestales. [en línea]. Lima, Perú: Disponible en:

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1920880/Anexo_2_Guia_MetodologicaFF.pdf.

SERFOR, 2023. SNIFFS - Componente Estadístico. *Concesiones Forestales y de Fauna Silvestre vigentes* [en línea]. [Consulta: 30 agosto 2023].

Disponible en: <https://sniffs.serfor.gob.pe/estadistica/es/tableros/titulos-habilitantes/concesiones>.

SHMULSKY, R. y JONES, P.D., 2011. *Forest Products and Wood Science An Introduction*. Sixth edit. S.I.: Wiley-Blackwell. ISBN 9780813820743.

TECMACNC, 2018. *Aserrando a castillo madera - Maderera Aserradero Leon* [en línea]. Perú: Youtube. Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=w9LB30IYVAQ>.

ZAPANA, C.P., 2018. *Rendimiento en aserrío de tres especies maderables*

para la obtención de tablillas y decking en Tahuamanu – Madre de Dios.
S.I.: Universidad Nacional de Centro del Perú.

ZAVALA ZAVALA, D. y HERNÁNDEZ CORTÉS, R., 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques*, vol. 6, no. 2, pp. 41–55. ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2000.621374.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VARIABLES DEPENDIENTES			
Rendimiento en el aserrío			
Es la proporción del volumen de madera aserrada obtenida al aserrar un volumen de madera rolliza, expresado en porcentaje.	$R\% = \frac{V_a}{V_r} \times 100$ donde: R%: Rendimiento en el aserrío Va: Volumen aserrado (m ³) Vr: Volumen rollizo (m ³)	Rendimiento en el aserrío de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Rendimiento en el aserrío de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihoa"	Desviación estándar del rendimiento Rendimiento promedio Modelo de regresión entre Rendimiento y diámetro de la troza
Volumen aserrado			
Es el volumen de piezas de madera en forma de paralelepípedos rectangulares, cortada longitudinalmente y transversalmente por medio de sierras mecánicas.	$V_a = \frac{E \times A \times L}{100000}$ donde: Va: Volumen aserrado (m ³) E: Espesor en mm A: Ancho en cm L: Largo en m	Volumen aserrado de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Volumen aserrado de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihoa"	Desviación estándar del volumen de madera aserrada Volumen aserrado promedio Modelo de regresión entre Volumen aserrado y volumen rollizo
VARIABLES INDEPENDIENTES			
Volumen rollizo			
Es el volumen de las trozas excluyendo la corteza.	$V_r = \frac{\pi \times L \times (d_1^2 + d_2^2)}{8}$ donde: Vr: Volumen rollizo (m ³) d ₁ : Diámetro mayor en m d ₂ : Diámetro menor en m L: Largo en m	Volumen rollizo de la especie <i>Pterygota amazonica</i> "sapote" Volumen rollizo de la especie <i>Jacaranda copaia</i> "Achihoa"	Desviación estándar del volumen rollizo Volumen rollizo promedio
Diámetro de la troza			
Es el diámetro de la sección transversal de los extremos de la troza: diámetro mayor y diámetro menor	d = diámetro de un extremo de la troza	Diámetro mayor Diámetro menor	Desviación estándar del diámetro promedio Diámetro promedio
Longitud de la troza			
Es la dimensión longitudinal de extremo a extremo de la troza.	L = Longitud de la troza	Longitud de la troza	Desviación estándar de la longitud Longitud promedio
Calidad de la troza			
Es la clasificación de la troza de acuerdo a su forma y defectos.	Calidad = A, B, ó C	Calidad de troza A: Troza cilíndrica, derecha, libre de defectos. Calidad de troza B: Troza semilíndrica, sinuosa, o con algún defecto de pudrición o rajadura. Calidad de troza C: Troza irregular, torcida, y con defectos de pudrición o rajadura	Forma de la troza: Cilíndrica, semicilíndrica, irregular. Recitud de la troza: Derecha, sinuosa, torcida. Defectos de la troza: Pudrición, rajadura.
Aserrío de trozas			
Es el proceso de aserrío de las trozas mediante el cual la troza (madera rolliza) se convierte en madera aserrada, usando equipos mecánicos de corte.	Aserrío de trozas = Corte de trozas para generar madera aserrada	Aserrío de trozas con motosierras configuradas en "castillo" Aserrío de trozas con aserradero estacionario de disco "Induspan"	Número de trozas aserradas con motosierras configuradas en "castillo" Número de trozas aserradas con aserradero estacionario de disco "Induspan"
Especie			
Especie de árbol muestreado para la determinación del rendimiento en el aserrío.	Especie = Nombre científico según la nomenclatura taxonómica AGP IV	Especie <i>Pterygota amazonica</i> Especie <i>Jacaranda copaia</i>	Número de trozas de la especie <i>Pterygota amazonica</i> Número de trozas de la especie <i>Jacaranda copaia</i>

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título: Rendimiento en el aserrío de <i>Pterygota amazonica</i> L.O. Williams ex Dorr y <i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don, usando aserradero portátil y estacionario				
Nombre del tesista: Jonás Jhonatan Morales Gutiérrez				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>General</p> <p>¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copaia</i> usando el aserradero portátil "castillo" y aserradero estacionario de disco?</p> <p>Específicos</p> <p>¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando motosierras configuradas en "castillo"?</p> <p>¿Cuánto es el rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando aserradero estacionario de disco?</p> <p>¿Son adecuados los modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas?</p>	<p>General</p> <p>Determinar el rendimiento en el aserrío de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copaia</i> usando aserraderos portátiles</p> <p>Específicos</p> <p>Determinar el rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando motosierras configuradas en "castillo".</p> <p>Determinar el rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando aserradero estacionario de disco.</p> <p>Generar modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas.</p>	<p>General</p> <p>El rendimiento en el aserrío de <i>Pterygota amazonica</i> y <i>Jacaranda copaia</i> usando el aserradero portátil "castillo" y aserradero estacionario de disco, es menor a 50%.</p> <p>Específicos</p> <p>El rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando el aserradero portátil "castillo" es menor a 50%.</p> <p>El rendimiento en el aserrío de <i>P. amazonica</i> y <i>J. copaia</i> usando el aserradero estacionario de disco es menor a 50%.</p> <p>Los modelos de predicción del volumen aserrado en función del volumen rollizo, y predicción del rendimiento en función del diámetro de las trozas, son adecuados.</p>	<p>Variables independientes</p> <p>Volumen rollizo Diámetro de la troza Longitud de la troza Calidad de la troza Aserrío Especie</p> <p>Dimensiones</p> <p>Volumen rollizo por especie Diámetro mayor y menor Longitud de la troza Calidades de troza: A, B, y C Aserrío con "Castillo" e "Induspan" Especies <i>P. amazonica</i>, y <i>J. copaia</i></p> <p>Indicadores</p> <p>Desviación estándar Promedio Modelo de regresión Forma, rectitud, y defectos de las trozas Número de trozas aserradas con "Castillo" Número de trozas aserradas con "Induspan" Número de trozas de <i>por</i> especie Número de trozas de <i>J. copaia</i></p> <p>Variables dependientes</p> <p>Rendimiento en el aserrío Volumen aserrado</p> <p>Dimensiones</p> <p>Rendimiento en el aserrío por especie Volumen aserrado por especie</p> <p>Indicadores</p> <p>Desviación estándar Promedio Modelo de regresión</p>	<p>Diseño</p> <p>Analítico, no experimental.</p> <p>Nivel</p> <p>Investigación aplicada</p> <p>Tipo</p> <p>Correlacional y transversal</p> <p>Métodos</p> <p>Se basa en la observación, medición, y análisis de las variables de estudio (mediciones de las trozas, volumen aserrado, volumen rollizo, rendimiento) y las relaciones entre ellas.</p> <p>Muestra</p> <p>130 trozas: 70 trozas de <i>P. amazonica</i>, y 60 trozas de <i>J. copaia</i>.</p> <p>Recolección de datos</p> <p>El lugar de estudio corresponde a una concesión de castaña, ubicado en el distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, Perú. Reconocimiento de las máquinas de aserrío y centro de transformación: Aserradero portátil "Castillo", y aserradero estacionario "Induspan". Se seleccionarán las trozas de muestra proporcionalmente a las clases diamétricas. Se evaluará y clasificará las trozas por calidades A, B, y C Se codificarán y marcarán las trozas. Las trozas serán medidas en su diámetros y longitud. Se realizará la trazabilidad de las piezas durante el aserrío de las trozas. Se calculará el volumen rollizo y volumen aserrado de las trozas. Se determinará el rendimiento en el aserrío usando el "Castillo", y usando el aserradero "Induspan" Se construirán modelos predictivos del volumen aserrado en función del volumen rollizo, modelos del rendimiento en función del diámetro.</p> <p>Procesamiento de datos</p> <p>Análisis estadístico descriptivo del rendimiento de las trozas, por tipo de aserradero utilizado, y especie. Análisis exploratorio del conjunto de datos, y regresiones lineales simples.</p>

Anexo 4. Formato de registro de producción de madera aserrada

FORMATO 2**REGISTRO DE PRODUCCIÓN DE MADERA ASERRADA**

EMPRESA:	
EVALUADOR:	
MONITOR:	
FECHA:	

CODIGO DE TROZA:	
------------------	--

Nº TABLA	ESPEJOR (mm)	ANCHO (cm)	LARGO (m)	CATEGORIA	OBSERVACION
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					

Anexo 5. Datos de dimensiones de trozas, volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por troza, de *Pterygota amazonica* usando el aserradero portátil "castillo".

Troza	Longitud de la troza (m)	Diámetro promedio (cm)	Volumen rollizo (m3)	Calidad	Volumen aserrado (m3)	Rendimiento (%)
1	3,15	72,25	1,29	1	0,66	50,92
2	3,14	69,00	1,17	1	0,59	50,49
3	3,17	65,75	1,08	1	0,60	55,54
4	3,15	64,75	1,04	2	0,29	28,11
5	3,16	64,75	1,04	1	0,48	46,40
6	3,17	60,00	0,90	1	0,68	75,33
7	3,16	66,50	1,10	1	0,50	45,54
8	3,14	63,25	0,99	1	0,42	42,40
9	3,16	54,75	0,75	1	0,48	64,62
10	3,15	85,75	1,82	1	0,84	46,17
11	3,16	83,25	1,72	1	0,81	47,25
12	3,15	83,75	1,74	1	0,72	41,34
13	3,16	79,75	1,58	1	0,78	49,58
14	3,16	77,00	1,47	1	0,70	47,44
15	3,15	70,50	1,23	1	0,79	64,61
16	3,15	67,75	1,14	1	0,68	59,93
17	3,74	117,50	4,06	1	1,97	48,48
18	3,76	113,25	3,79	2	1,28	33,86
19	3,74	109,25	3,51	2	1,31	37,32
20	3,75	104,00	3,19	1	1,42	44,57
21	3,76	98,75	2,88	2	1,17	40,75
22	3,74	90,50	2,41	3	0,88	36,45
23	3,74	80,00	1,89	1	0,88	46,83
24	3,77	69,00	1,42	1	0,59	41,23
25	3,76	83,00	2,04	1	1,28	62,82
26	3,72	80,25	1,88	1	1,17	62,28
27	3,75	78,25	1,80	1	1,06	58,72
28	3,74	75,75	1,69	1	0,71	41,82
29	3,17	72,00	1,29	1	0,65	50,35
30	3,16	69,00	1,18	1	0,75	63,23

Anexo 6. Datos de dimensiones de trozas, volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por troza, de *Pterygota amazonica* usando el aserradero estacionario "Induspan".

Troza	Longitud de la troza (m)	Diámetro promedio (cm)	Volumen rollizo (m ³)	Calidad	Volumen aserrado (m ³)	Rendimiento (%)
1	4,40	62,25	1,34	1	0,76	56,36
2	4,42	64,00	1,42	1	1,06	74,47
3	4,42	67,25	1,57	2	0,60	38,14
4	4,40	56,00	1,09	2	0,57	51,92
5	3,75	79,00	1,84	1	1,06	57,44
6	3,71	74,00	1,60	1	1,03	64,46
7	4,41	61,25	1,30	2	0,67	51,64
8	5,03	68,25	1,84	2	0,80	43,29
9	4,40	68,75	1,64	1	0,99	60,66
10	3,75	66,00	1,28	1	0,89	69,30
11	3,76	63,50	1,19	1	0,87	73,32
12	3,14	60,00	0,89	2	0,59	66,77
13	4,38	59,50	1,22	2	0,76	62,35
14	3,76	56,50	0,95	1	0,60	63,88
15	4,42	52,25	0,95	1	0,64	67,08
16	3,86	96,25	2,81	2	2,12	75,37
17	3,89	93,75	2,69	2	2,18	81,30
18	3,20	54,50	0,75	1	0,53	70,79
19	3,29	51,75	0,69	1	0,44	63,83
20	4,34	70,75	1,71	1	1,14	66,91
21	4,50	70,75	1,77	2	0,78	43,92
22	4,37	63,25	1,37	1	0,80	58,14
23	3,74	72,75	1,56	2	0,72	45,98
24	4,36	63,25	1,37	1	0,95	69,50
25	4,55	66,75	1,59	3	0,68	42,58
26	4,54	77,00	2,12	1	1,30	61,14
27	4,37	74,75	1,92	2	1,13	58,66
28	5,02	61,75	1,54	1	1,15	74,63
29	4,43	74,00	1,91	1	1,23	64,41
30	4,49	63,25	1,41	1	0,80	56,48

Anexo 7. Datos de dimensiones de trozas, volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por troza, de *Jacaranda copaia* usando el aserradero portátil "castillo".

Troza	Longitud de la troza (m)	Diámetro promedio (cm)	Volumen rollizo (m ³)	Calidad	Volumen aserrado (m ³)	Rendimiento (%)
1	3,15	53,25	0,70	1	0,35	49,69
2	3,14	50,25	0,62	2	0,27	42,78
3	3,15	51,25	0,65	2	0,22	33,08
4	3,14	70,25	1,22	1	0,54	44,76
5	3,12	66,00	1,07	1	0,66	61,64
6	3,20	63,50	1,01	1	0,59	57,76
7	3,14	59,75	0,88	1	0,47	53,59
8	3,15	51,75	0,66	1	0,34	51,57
9	3,15	65,50	1,06	1	0,48	45,28
10	3,15	69,75	1,21	1	0,56	46,55
11	3,15	72,50	1,30	1	0,53	40,48
12	3,15	52,75	0,69	1	0,40	57,61
13	3,15	49,50	0,61	3	0,21	34,02
14	3,15	56,50	0,79	1	0,37	46,25
15	3,15	54,00	0,72	1	0,22	30,69
16	3,15	64,50	1,03	1	0,66	64,21
17	3,16	73,00	1,32	1	0,63	47,30
18	3,17	68,50	1,17	1	0,59	50,35
19	3,15	73,50	1,34	1	0,51	38,27
20	3,16	63,00	0,99	1	0,47	47,63
21	3,15	75,50	1,41	1	0,49	34,51
22	3,15	74,50	1,37	1	0,56	40,48
23	3,15	59,75	0,89	1	0,47	52,97
24	3,15	59,75	0,88	1	0,45	50,44
25	3,15	55,75	0,77	1	0,37	48,03
26	3,15	72,50	1,30	1	0,64	49,09
27	3,15	73,25	1,33	1	0,70	52,95
28	3,15	71,50	1,27	1	0,62	49,06
29	3,15	66,00	1,08	1	0,59	54,33
30	3,15	71,25	1,26	1	0,53	42,32
31	3,17	66,00	1,08	1	0,54	49,77
32	3,15	55,00	0,75	1	0,39	52,00
33	3,15	69,50	1,20	1	0,78	65,65
34	3,15	67,25	1,12	1	0,70	62,24
35	3,15	69,00	1,18	1	0,68	57,68

Anexo 8. Datos de dimensiones de trozas, volumen rollizo, volumen aserrado, y rendimiento por troza, de *Jacaranda copaia* usando el aserradero estacionario "Induspan".

Troza	Longitud de la troza (m)	Diámetro promedio (cm)	Volumen rollizo (m ³)	Calidad	Volumen aserrado (m ³)	Rendimiento (%)
1	3,13	51,50	0,65	1	0,40	61,45
2	3,14	49,75	0,61	1	0,46	75,65
3	3,15	52,75	0,69	1	0,33	47,70
4	3,14	69,50	1,19	1	0,69	57,49
5	3,12	67,75	1,12	2	0,49	43,67
6	3,16	62,00	0,95	1	0,54	56,23
7	3,14	63,75	1,00	1	0,63	62,78
8	3,15	54,50	0,74	2	0,42	57,17
9	3,14	61,50	0,93	1	0,55	59,13
10	3,15	71,00	1,25	2	0,56	44,67
11	3,15	62,00	0,95	1	0,52	54,87
12	3,15	56,25	0,78	1	0,44	55,69
13	3,15	52,75	0,69	2	0,34	49,12
14	3,15	57,25	0,81	1	0,51	63,16
15	3,15	59,25	0,87	1	0,48	55,25
16	3,15	66,00	1,08	1	0,59	55,11
17	3,16	68,75	1,17	1	0,67	57,13
18	3,12	69,50	1,18	1	0,71	59,85
19	3,14	63,50	0,99	1	0,53	53,53
20	3,15	64,75	1,04	1	0,62	60,06
21	3,15	56,25	0,78	1	0,41	51,89
22	3,14	58,75	0,85	1	0,44	51,37
23	3,15	53,00	0,70	1	0,35	51,00
24	3,12	61,25	0,92	1	0,51	55,77
25	3,14	56,50	0,79	1	0,43	54,33
26	3,15	67,50	1,13	2	0,47	41,39
27	3,12	71,50	1,25	1	0,67	53,60
28	3,15	65,00	1,05	1	0,62	59,22
29	3,15	62,75	0,97	1	0,55	56,56
30	3,14	68,00	1,14	1	0,57	50,25
31	3,14	60,50	0,90	1	0,51	57,02
32	3,10	55,00	0,74	1	0,42	57,46
33	3,15	67,25	1,12	1	0,54	48,57
34	3,10	68,50	1,14	1	0,61	53,12
35	3,13	61,25	0,92	1	0,50	54,59

Anexo 9. Dispersión y distribución de residuos de los modelos de regresión lineal: Volumen aserrado vs. volumen rollizo.

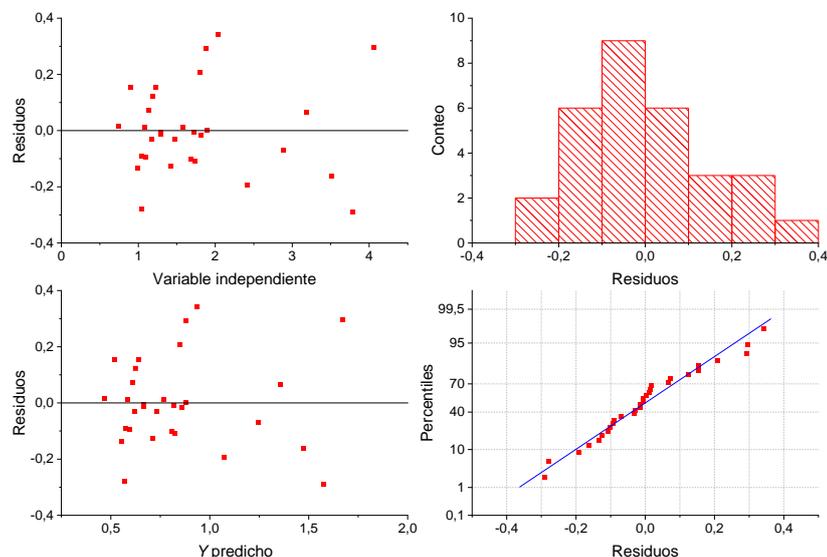


Figura 15. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica* usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A).

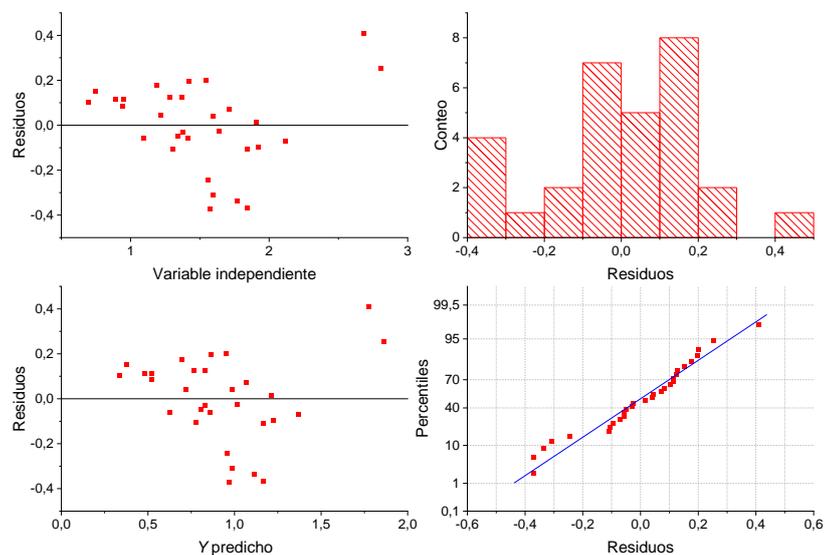


Figura 16. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Pterygota amazonica* usando aserradero estacionario “Induspan”.

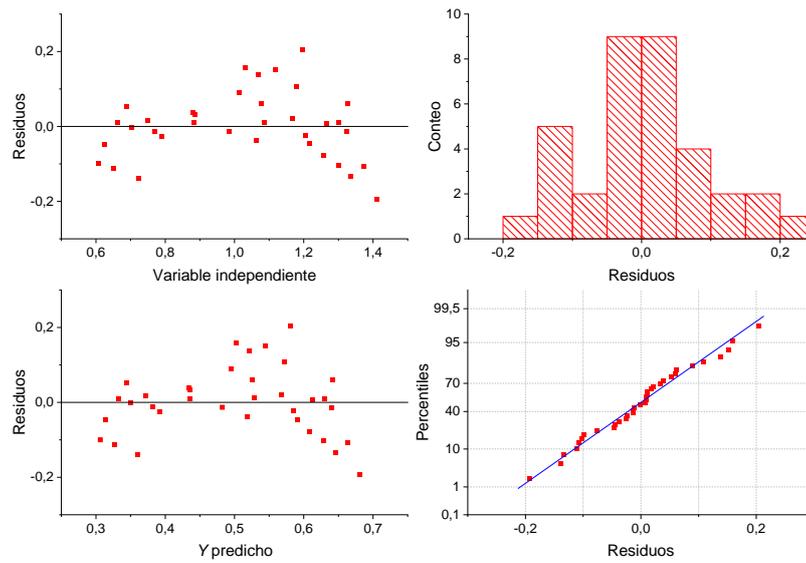


Figura 17. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Jacaranda copaia* usando aserradero portátil de motosierras configuradas en “castillo” (A).

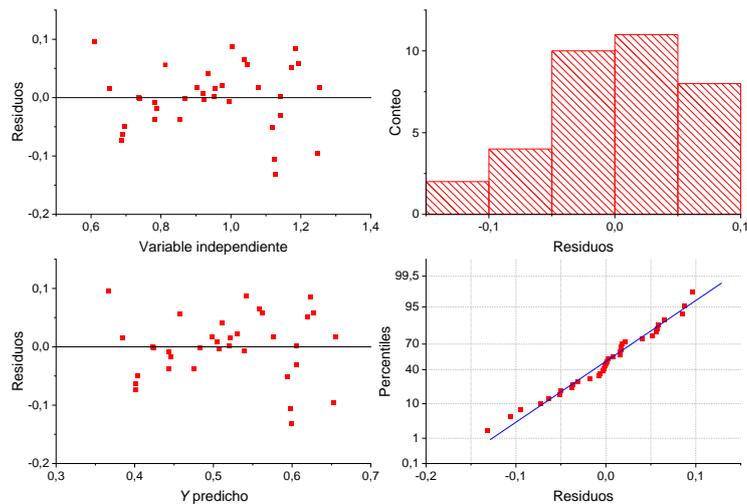


Figura 18. Dispersión y distribución de residuos del modelo de regresión lineal de volumen aserrado vs. volumen rollizo, en el aserrío de trozas de *Jacaranda copaia* usando aserradero estacionario “Induspan”.

Anexo 10. Fotografías de la ejecución del estudio



Foto 01: Madera aserrada de Achihua.



Foto 02: Madera aserrada de Sapote.



Foto 03: Cubicación de madera rolliza.



Foto 04: Medición del diámetro de troza.



Foto 05: Medición de longitud de troza.



Foto 06: Aserrío de madera con aserradero.



Foto 07: Apilado de madera aserrada en planta de transformación.



Foto 08: Madera aserrada con castillo.



Foto 09: Colocación de código a troza de estudio.

Anexo 11. Carta de aceptación de la concesión forestal para realización del estudio.

"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"
"MADRE DE DIOS, CAPITAL DE LA BIODIVERSIDAD DEL PERÚ"

MADERERA LUCIANA

De: HILDA NOA SECCA

RUC: 10429529340

Puerto Maldonado, 9 de octubre del 2023

Sr:

JONAS JHONATAN MORALES GUTIERREZ

Presente.-

Asunto: Aceptación para realizar proyecto de investigación

Referencia: Carta N° 001-2023-JJMG

Es muy grato dirigirme a usted con la finalidad de hacer conocimiento que de acuerdo al documento en referencia, esta empresa autoriza el desarrollo de proyecto de investigación titulado: "Rendimiento en el aserrío de *Pterygota amazonica* L.O. Williams ex Dorr y *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don, utilizando aserradero portátil y estacionario", el mismo que estará a cargo del Sr. Jonás Jhonatan Morales Gutierrez, proveniente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, carrera profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

Agradeciendo por anticipado la referencia brindada hacia nuestra empresa.

Atentamente:



HILDA NOA SECCA

Dueña de Maderera Luciana

Anexo 12. Constancia de identificación botánica de las especies estudiadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS
 "Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"
 Año de la unidad, la paz y el desarrollo



Centro Investigación Herbario Alwyn Gentry (HAG)

El que suscribe, director del Centro de Investigación Herbario Alwyn Gentry (HAG) de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), deja:

CONSTANCIA

Que el Bachiller. JONAS JHONATAN MORALES GUTIERREZ, Tesis de la carrera de Ingeniería forestal y medio ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, han presentado 02 especímenes para su identificación. Los ejemplares presentados provienen del sector Loreto. Distrito Las Piedras, Región Madre de Dios, estas fueron verificadas e identificadas en este Centro de Investigación HAG-UNAMAD.

Los especímenes en mención se detallan en el siguiente cuadro:

Código de Colecta	Nombre científico	Familia Según APG IV (2016)
JM-01	<i>Pterygota amazonica</i> L.O. Williams ex Dorr	Malvaceae
JM-02	<i>Jacseranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Bignoniaceae

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada para los fines que considere conveniente.

Puerto Maldonado, 14 de diciembre de 2023

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
 Centro de Investigación Herbario Alwyn Gentry

 MSc. Susana Hualpa Jirassakuldech
 DIRECTORA DEL HERBARIO