

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE
DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**



**“VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD APARENTE DE LA MADERA DE
CUATRO ESPECIES FORESTALES, MADRE DE DIOS - PERÚ”**

**Tesis presentada por los Bachilleres:
GRANDEZ PIÑA, Erick Alberto.
PAYEZA TUESTA, German Carlos.**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE**

**Asesor: Ing. VELA DA FONSECA, Mauro.
Coasesor: M.Sc. PORTAL CAHUANA,
Leif Armando.**

PUERTO MALDONADO, 2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE
DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y
MEDIO AMBIENTE**



**“VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD APARENTE DE LA MADERA DE
CUATRO ESPECIES FORESTALES, MADRE DE DIOS - PERÚ”**

**Tesis presentada por los Bachilleres:
GRANDEZ PIÑA, Erick Alberto.
PAYEZA TUESTA, German Carlos.**

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE**

**Asesor: Ing. VELA DA FONSECA, Mauro.
Coasesor: M.Sc. PORTAL CAHUANA, Leif
Armando.**

PUERTO MALDONADO, 2022

Dedicatoria

A dios, por darme la dicha de la vida y la salud, por darme su infinita bondad, amor y ser fuente de sabiduría en todo momento. A mis Padres, por brindarme las herramientas necesarias para conseguir los objetivos y metas propuestas, ser los mejores ejemplos de superación y brindarme su bondad e incondicional amor. A mis familiares y amistades, por su apoyo incondicional, consejos y motivación en cada día.

A mi novia por su apoyo incondicional y estar siempre a mi lado, en los buenos y malos momentos...

Atte: Erick Alberto Grandez Piña

A Dios por ser fuente de sabiduría y mi guía durante toda mi vida. A mis padres por ser mis ejemplos de superación, guiarme durante este largo camino y brindarme su apoyo incondicional para poder cumplir cada uno de mis objetivos. A mi familia y amigos. Por su apoyo incondicional. A mis abuelos que en paz descansen que fueron mi inspiración para seguir con mis metas.

A mi hijo con todo el cariño y amor más grande del mundo y a mi pareja por el apoyo incondicional brindado.

Atte: German Carlos Payeza Tuesta

Agradecimiento

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios "UNAMAD", nuestra alma mater de formación y a los docentes de la escuela profesional de ingeniería, facultad de ingeniería forestal y medio ambiente, por sus enseñanzas impartidas y esmero en la formación de profesionales de éxito y contribuir satisfactoriamente a nuestra región de Madre de Dios.

A nuestros asesores; M.Sc Leif Armando Portal Cahuana, Ing. Mauro Vela Da Fonseca por su amistad y apoyo incondicional en la presente investigación, así mismo por estar comprometidos con el desarrollo y la investigación en nuestra región de Madre de Dios, a los amigos, familiares y a todas aquellas personas que apoyaron directa e indirectamente en la ejecución del proyecto.

A nuestros miembros del jurado M.Sc Ramon Romero Mejía, Al M.Sc Telesforo Vasquez Zavaleta, Al Dr. Victor Pareja Auquipata, por proporcionarnos las observaciones para un óptimo trabajo de investigación.

Al Gerente General de la Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L. (CORPFOREST S.R.L.) Ing. Federico Rios Torres, quien permitió el desarrollo de una parte fundamental del presente trabajo de investigación, así por el compromiso asumido con la investigación forestal. Al empresario Alindo Mauricio Muñoz, Gerente General de la empresa INDUMATIS E.I.R.L. quien nos permitió el uso de su personal para la obtención de las rodajas.

PRESENTACIÓN

Se presenta el proyecto de investigación intitulado: “Variación radial de la densidad aparente de la madera de cuatro especies forestales, Madre de Dios - Perú”; como requisito para optar el título de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – UNAMAD.

Se aplica todos los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional y se da un énfasis en las propiedades tecnológicas de cuatro especies forestales comerciales, con la finalidad de profundizar su conocimiento; esto a través de la densitometría de rayos X.

Se espera que pueda al final de la investigación ser una fuente de consulta por parte de estudiantes, egresado, ingenieros y personas vinculadas al sector forestal, local, regional, nacional e internacional.

RESUMEN

La densidad de la madera y su variación son importantes para el conocimiento de la calidad de las maderas. En ese sentido el objetivo de la presente investigación es determinar la variación radial de la densidad aparente de cuatro especies comerciales a través de la microdensitometría de rayos X, Madre de Dios – Perú. Para ello se utilizó muestras de madera extraídas del final de la primera troza de cuatro especies comerciales de la concesión “CORPFOREST S.R.L.”, ubicada en la provincia de Tahuamanu. Dichas especies fueron: *Jacaranda copaia*, *Hura crepitans*, *Myroxylon balsamum* y *Drypetes sp.*, donde las muestras fueron secadas al ambiente y transportadas al laboratorio de Anatomía e Identificación de Madera de la Universidad de Sao Paulo donde se extrajeron muestras de madera con sierra circular doble y secadas a 12% de humedad donde se analizaron con el equipo Faxitron para la densidad aparente y se obtuvo palitos de madera en tres posiciones radiales (30, 60 y 90%) para la obtención del tejido macerado para la caracterización de las morfologías de las fibras finalmente, se analizaron los resultados mediante el software RStudio. Los resultados mostraron que las variaciones de la microdensidad de las cuatro especies son explicadas mediante la anatomía de la madera, específicamente la morfología de las fibras de cada una de las especies estudiadas. De las cuales 2 de las especies estudiadas mostraron variación (*Jacaranda copaia* y *Dripetes sp*)

Palabras claves: tecnología de la madera, Faxitron, fibras, espesor de pared.

ABSTRACT

Wood density and its variation are important for knowing the quality of wood. In this sense, the objective of this research is to determine the radial variation of the apparent density of four commercial species through X-ray microdensitometry, Madre de Dios - Peru. For this purpose, wood samples extracted from the end of the first log of four commercial species from the "CORPFOREST S.R.L." concession, located in the province of Tahuamanu, were used. These species were: *Jacaranda copaia*, *Hura crepitans*, *Myroxylon balsamum* and *Drypetes* sp., where the samples were dried in the environment and transported to the Wood Anatomy and Identification Laboratory of the University of Sao Paulo where wood samples were extracted with a double circular saw. and dried at 12% humidity where they were analyzed with the Faxitron equipment for the apparent density and wooden sticks were obtained in three radial positions (30, 60 and 90%) to obtain the macerated tissue for the characterization of the morphologies of the fibers finally, the results were analyzed using the RStudio software. The results showed that the variations in the microdensity of the four species are explained by the anatomy of the wood. Of which 2 of the studied species varied (*Jacaranda copaia* y *Dripetes* sp).

Keywords: wood technology, Faxitron, fibers, wall thickness.

INTRODUCCION

La Amazonía, el mayor bioma en extensión del mundo, ocupa cerca del 2/5 de América del Sur, el equivalente a 5% de la superficie terrestre (aproximadamente 6.5 millones de km²), y contempla diversos ecosistemas que abrigan la mayor biodiversidad existente. Las formaciones vegetales predominantes son bosques, denominadas de bosques tropicales (*tropical rainforests*) en la clasificación fitogeográfica general, que son encontradas en las zonas de clima caliente, húmedo y de elevada precipitación pluvial, como en las regiones de las Antillas, África, Asia, Insulindia y América del Sur y Central (Roquette, Lobo y Curado 2019). Ese 5% de la Amazonía con un alto grado de biodiversidad (flora, fauna, genético, ecosistemas, etc); ahora bien, la importancia de la biodiversidad, actual y potencial, quedaba de manifiesto, reconociendo que la actividad de los ecosistemas naturales provee lo que ahora se denomina servicios o funciones vitales para la salud del planeta (Núñez, González-Gaudiano y Barahona 2003).

Sin embargo, existe serias y actuales amenazas a este gran bioma y su biodiversidad, los incendios forestales han destruido vastas áreas del Amazonas y atraen la atención mundial son solo la cara más visible de la explotación y degradación de la selva tropical más grande del mundo (Jacobi et al. 2019). Estas amenazas también recaen el territorio amazónico del Perú, con serias amenazas a su alta biodiversidad, pero también se suma a ello la minería ilegal en los bosques amazónicos de Madre de Dios, por ejemplo, la extracción aurífera artesanal y pequeña escala, se está convirtiendo en una causa importante de degradación ambiental en los ecosistemas tropicales en la zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata (Alvarez et al. 2016).

En este escenario es necesario, conocer la diversidad de flora de la región de Madre de Dios y estudiarla a nivel tecnológico desde todos los campos del conocimiento científico como: anatomía de la madera, propiedades de la madera,

preservado, secado, construcciones, química, etc; que ayuden al mejor entendimiento de su comportamiento y utilización. Es por ello que estudios sofisticados de microdensitometría de rayos X en maderas tropicales incrementan significativamente estos conocimientos.

En este contexto, se plantea como objetivo general de este proyecto de investigación: determinar la variación radial de la densidad aparente de cuatro especies comerciales a través de la microdensitometría de rayos X, Madre de Dios – Perú.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| Contenido | |
| PRESENTACIÓN | 1 |
| RESUMEN | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| INTRODUCCION | 4 |
| I. PROBLEMA DE INVESTIGACION | 11 |
| 1.1 Descripción del Problema | 11 |
| 1.2 Formulación del problema | 11 |
| 1.3 Objetivos..... | 12 |
| 1.3.1 Objetivo General..... | 12 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 1.4 Variables..... | 12 |
| 1.5 Operacionalización de las variables..... | 13 |
| 1.6 Hipótesis | 13 |
| 1.7 Justificación..... | 13 |
| 1.8 Consideraciones Éticas..... | 14 |
| II. BASES TEÓRICAS | 16 |
| 2.1. Antecedentes de estudio..... | 16 |
| 2.2. Marco Teórico..... | 20 |
| 2.2.1. Descripciones taxonómicas de las especies a estudiar..... | 20 |
| 2.2.2. Distribución geográfica de las cuatro especies | 21 |
| 2.2.3. Características anatómicas | 21 |
| 2.3. Definición de términos..... | 23 |
| III. METODOLOGIA DE INVESTIGACION | 25 |
| 3.1. Tipo de estudio | 25 |
| 3.2. Diseño de estudio..... | 25 |
| 3.3. Población y muestra | 25 |
| 3.3.1. Población | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2. Muestra | 25 |
| 3.4. Métodos y técnicas | 26 |
| IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| CONCLUSIONES..... | 44 |
| SUGERENCIAS | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 46 |
| ANEXOS | 50 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 01. Operacionalización de las variables..... | 12 |
| Tabla 02. Especies forestales aprovechables según el PO 2019-2022 de la empresa Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L..... | 26 |
| Tabla 03. Valores promedios de las propiedades físicas de las cuatro especies estudiadas..... | 33 |
| Tabla 04. Variación radial de los valores promedios de las propiedades físicas de las cuatro especies estudiadas..... | 34 |
| Tabla 05. Valores promedios de las dimensiones de las fibras de las cuatro especies estudiadas..... | 39 |
| Tabla 06. Variación radial de los valores promedios de las dimensiones de las fibras de las cuatro especies estudiadas..... | 40 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01. Mapa de distribución geográfica de las especies. (A) <i>Jacaranda copaia</i> (B) <i>Hura crepitans</i> (C) <i>Myroxylon balsamum</i> (D) <i>Drypetes sp.</i> Fuente: Tropicos.org..... | 20 |
| Figura 02. Mapa de ubicación de la zona de estudio y rodajas de las cuatro especies estudiadas. | 25 |
| Figura 03. Esquema del proceso de campo y obtención de resultados de la presente investigación..... | 27 |
| Figura 04. A) Sierra dupla cortando muestra de <i>Jacaranda copaia</i> . B) Vista general del equipo de rayos X Faxitron. C) Computadora con imágenes de rayos X de las maderas y muestras en la parte inferior. D) Climatizador al 12% de humedad. E) Disposición de las muestras en la cámara climática..... | 29 |
| Figura 05. A) Foto del equipo Faxitron para rayos X. B) esquema del funcionamiento simplificado del equipo Faxitron..... | 31 |
| Figura 06. Flujograma de la secuencia de análisis para la determinación de la densidad aparente mediante densitometría de rayos X..... | 32 |
| Figura 07. Obtención y evaluación de las fibras del leño de los árboles estudiados en el software <i>Image Pro Plus</i> . A) Muestras de madera y materiales utilizados para la obtención de los palitos. B) Muestra de madera con las posiciones y tubos de ensayos con las muestras. C) Medición de la longitud de las fibras. D) Medición del diámetro y lumen de la fibra..... | 33 |
| Figura 08. Perfil radial de la densidad aparente por medio de la densitometría de rayos X. Las líneas cenizas muestran las gráficas de cada muestra por árbol, la línea roja muestra el promedio para cada especie y finalmente la línea negra punteada muestra la tendencia de la densidad aparente para cada especie..... | 38 |

Figura 09. Perfil radial de dos muestras por especie. A) *Jacaranda copaia*. B) *Hura crepitans*. C) *Drypetes* sp. D) *Myroxylon balsamum*. Imágenes escaneadas e imágenes de rayos X, línea roja perfil de la densidad aparente.....40

Figura 10. Variación de las dimensiones de las fibras en las posiciones corteza (90%), intermediario (60%) y médula (30%).....43

I. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 Descripción del Problema

El Perú presenta una alta diversidad de flora, aproximadamente 6350 especies arbóreas, sin embargo del total de esas especies conocidas, menos del 5% actualmente son explotadas por su valor maderero (Marcelo-Peña 2017). Esto entre otras cosas debido al desconocimiento de las características tecnológicas de las maderas peruanas, lo que conlleva a simplemente no aprovecharlas, porque piensan que no tienen ninguna utilidad, o en muchos casos como en la región de Madre de Dios, a talarlas para el aprovechamiento del oro en el sub suelo.

En estos tiempos estos problemas se agudizan y es necesario los estudios básicos y aplicados en la diversidad de árboles no solo en Madre de Dios sino en todos los bosques del Perú, para ello se debe actualizar los procedimientos, equipos y técnicas para resolver de una manera más rápido esto. Para lo cual la microdensitometría de rayos X, son tecnologías de punta que consigue resultados confiables científicamente en lapsos de tiempo cortos, comparados con estudios clásicos.

1.2 Formulación del problema

Problema principal

¿Cuál será la variación radial de la densidad aparente de las cuatro especies forestales de Madre de Dios?

Problema específico

¿Estas variaciones radiales de densidad aparente de las cuatro especies si presentan será posibles explicarlas mediante su anatomía?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la variación radial de la densidad aparente de cuatro especies comerciales a través de la microdensitometría de rayos X, Madre de Dios – Perú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el perfil radial en dirección médula – corteza de cuatro especies forestales.
- Determinar la variación radial de las fibras en tres posiciones radiales de cuatro especies forestales.
- Explicar con la información anatómica la variación de la densidad aparente de las cuatro especies forestales.

1.4 Variables

Las variables en la presente investigación son:

- Variables Independientes: Diámetro de fibras, espesor de pared, longitud de fibra y ancho de lumen de las cuatro especies forestales.
- Variables Dependientes: Densidad aparente de las cuatro especies forestales.

1.5 Operacionalización de las variables

A continuación, se presenta la Tabla 01 de la operacionalización de las variables.

Tabla 01. Operacionalización de las variables.

| Objetivo | Variable | Unidad |
|--|---|-------------------|
| Determinar el perfil radial en dirección médula – corteza de cuatro especies forestales | Dependiente Densidad aparente | g/cm ³ |
| Determinar la variación radial de las fibras en tres posiciones radiales de cuatro especies forestales | Independiente Diámetro, espesor de pared, longitud y ancho de lumen de las fibras | Micras (µm) |

1.6 Hipótesis

H0: No presenta variación radial significativa de la densidad aparente en la dirección médula corteza de las cuatro especies forestales.

H1: Algunas de las cuatro especies forestales presentan variación radial significativa de la densidad aparente en la dirección médula corteza.

1.7 Justificación

La justificación de este proyecto de investigación recae en el conocimiento científico básico aplicado de la tecnología de la madera de las cuatro especies (*Jacaranda copaia*, *Hura crepitans*, *Myroxylon balsamum*, *Drypetes* sp) forestales

comerciales de la región de Madre de Dios en Perú. La información tecnológica de las maderas peruanas es carente y el sector forestal requiere de las propiedades tecnológicas para realizar un aprovechamiento y procesamiento adecuado y racional.

Además, con esta investigación se pretende brindar información tecnológica y disminuir el desconocimiento tecnológico de estas cuatro especies, respetando en su proceso todos los aspectos ambientales.

Por último, la utilización de tecnología de punta es el estudio de las maderas de Madre de Dios, garantizan información confiable, que muestre el camino de los estudios requeridos en el sector de la industria maderera en el Perú.

1.8 Consideraciones Éticas

La investigación a través de las tesis de grado de la UNAMAD, es una pieza clave para el desarrollo del conocimiento, por esta razón será necesario que se tenga información verídica en la cual se pueda confiar y sea resultado de un proceso técnico científico; para lo cual los tesis de la presente investigación fueron cuidadosos en los aspectos éticos relacionados con las diferentes fases de la investigación desde la planificación hasta el borrador final de la tesis.

Los tesis realizaron las coordinaciones previas con la empresa forestal, que facilitó las muestras de maderas que se estudió; para ello se garantizó que fueron especies forestales establecidas en un Plan General de Manejo Forestal y que fueron incluidas además en el Plan Operativo Anual y sean especies y árboles comercialmente aprovechables en el 2020; para lo cual se recabó toda la información previa.

Cuando se colectaron las muestras de campo (rodajas de madera), solo se realizó en árboles comerciales y talados por la empresa forestal, respetando la Ley Forestal y Fauna Silvestre. Además, se aprovechó las instalaciones de la planta de transformación de la empresa para la obtención de las muestras de madera, para lo cual se respetó el proceso de trabajo de la empresa y se facilitó la secuencia lógica de todo el proceso a los trabajadores que fue involucrado en la misma.

Por último, fue de responsabilidad de los tesisistas al final de la investigación otorgar un ejemplar de la tesis a la empresa para garantizar que la información científica generada sea un proceso de realimentación en el sector forestal. Además, se respetó el reglamento de grados y títulos, estatuto, ley que tenga la UNAMAD, para el correcto desempeño de la tesis en todas sus fases.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Tomazello et al. (2008) mencionan que los rayos X se utilizaron inicialmente para la evaluación cuantitativa de las propiedades de la madera de diferentes especies en piezas de madera de uso especial. La densitometría de rayos X se viene ampliando en diversos estudios como tecnología de la madera, medio ambiente, ciencia y áreas relacionadas. Los autores estudiaron la madera eucalipto. Sus resultados muestran que es posible detectar la degradación de esta madera por hongos (pudriciones blancas) teniendo una decreciente densidad, por la biodegradación de los componentes de la pared celular de las fibras. Consiguieron distinguir en el perfil radial la albura del duramen, por una respuesta a la atenuación de los rayos X, consecuencia de su estructura anatómica y su composición química. Lograron encontrar perfiles característicos de la densidad de la madera de eucalipto. Estos estudios fueron realizados en Brasil en plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* de ocho años de edad.

Oliveira et al.(2012) realizaron un análisis de microdensitometría de rayos X en sentido radial y longitudinal a lo largo del tronco en árboles de *Eucalyptus grandis*. Colectaron seis árboles con una edad de 23 años (plantación), del municipio de Rio claro Rio de Janeiro en Brasil. Los resultados que llegaron fueron: que la densidad de la madera de eucalipto aumenta en sentido radial, caracterizado por la formación de madera juvenil y adulta. La madera de eucalipto no mostró diferencia significativa en el sentido longitudinal (base, ápice del árbol). Por último, llegaron a la conclusión analizando los perfiles radiales que: la madera de eucalipto en función a la densidad aparente, próximo a la corteza puede ser aplicada en la confección de mayor valor agregado.

Van et al. (2014) mencionan que el análisis de los anillos de crecimiento de los árboles y la densitometría de rayos X, todavía se limita a dos dimensiones

principalmente. Requiere una superficie adecuada de las muestras. Los autores elaboraron una potencial tomografía computarizada de rayos X para el análisis de los anillos de crecimiento de los árboles en 3D, tomaron en cuenta el ángulo de los anillos de crecimiento y el grano de la madera, dando como resultado una microdensitometría y ancho de anillo más precisa y una. Por último, proponen una metodología manual como automatizada con el uso de códigos MATLAB permitiendo un análisis rápido y no destructivo.

En la investigación: Evaluación de la densitometría de rayos X para identificar límites de anillos de crecimiento de árboles de dos especies de hoja caduca en bosques semiárido en Brasil, señalan que la presencia de los anillos de crecimientos anuales y visibles en los árboles tropicales (semiáridos), permite la aplicación de métodos dendrocronológicos. Sin embargo, el agua la disponibilidad y la variación de esta pueden causar anillos anuales muy estrechos, irregulares, mal definidos o no definidos, lo que conlleva a la datación incorrecta de los anillos de crecimiento. Estudiaron la densitometría de rayos X, como método para identificar los anillos de crecimiento de las especies (*Aspidosperma pyriformium* y *Poincianella pyramidalis*) de los bosques de Caatinga en el Brasil. Sus resultados destacan la densitometría de rayos X como una herramienta de importancia y complementaria para la identificación de los límites de los anillos de crecimiento en especies de árboles semiáridos especialmente *A. pyriformium*. Puede proporcionar una mayor precisión en los estudios dendrocronológicos en ambientes subtropicales semiáridos (Pagotto et al. 2017).

En el estudio: Microdensitometría de rayos X de la madera: una revisión de los principios existentes y dispositivos. Conceptualizaron la microdensitometría de la madera como el análisis de las variaciones radiales de la densidad a nivel anual o interanual, respecto del anillo de crecimiento. La densidad está relacionada con la calidad de la madera, la biomasa, el contenido de carbono, el crecimiento de los árboles y el clima. La microdensitometría de la madera se utiliza principalmente en estudios dendrocronológicos y climatológicos. Los

investigadores realizaron una revisión exhaustiva de 75 trabajos publicados (artículos científicos) sobre el tema en el 2014 y 2015, este análisis mostro que los equipos basados en películas todavía se usan comúnmente; los otros tres equipos más populares son: SilviScan, Itrax y QTRS también se basan en radiografías de rayos X y ofrecen resultados con una precisión comparable por debajo de 50 μ m por pixel (Jacquin et al. 2017).

En el estudio de: El uso de la densitometría de rayos X para evaluar el perfil de densidad de la madera de árboles de *Tectona grandis* que crecen en plantaciones de rápido crecimiento. Los autores mencionan que la teca, es una especie importante comercial, que se usa ampliamente estudios de dendrocronología tropical, debido a la formación anual de sus anillos de crecimiento y que son sensibles al clima. Sin embargo, los árboles jóvenes de las plantaciones forestales presentan poca visibilidad de los anillos de crecimiento durante los primeros años de crecimiento, lo que limita la aplicación de la dendrocronología. Utilizaron la densitometría de rayos X para determinar el perfil de la densidad de la madera entre y dentro de los anillos de crecimiento anuales y en el límite de entre la albura y el duramen en árboles de teca de plantaciones de crecimiento rápido. Los resultados mostraron que los anillos de crecimiento anual fueron indistintos en árboles de teca menores de 8 años de edad, en árboles maduros, los límites de los anillos de crecimiento anuales son más definidos. Sobre el límite entre la albura y el duramen, la densitometría mostro una disminución en la densidad de la madera; sin embargo dicha disminución fue influenciado por el límite del anillo anual cuando los límites coinciden (Gaitan, Moya y Berrocal 2019).

En el artículo científico: XRing: un paquete R para identificar y medir características de los anillos de árboles mediante perfiles de microdensitometría de rayos X. La densidad de los anillos de crecimiento de los árboles es influenciada por el clima, la variación de esta densidad de los anillos extraída de las imágenes de rayos X han sido ampliamente utilizados en las reconstrucciones

climáticas. El paquete creado de xRing fue desarrollado para identificar y medir los anillos de los árboles en los perfiles de microdensidad de rayos X automáticamente. Paquete del software R gratuito, que ofrece funciones para visualizar y calibrar imágenes de rayos X, para detectar límites de los anillos de crecimiento de árboles e identificar la transición de la madera temprana a madera tardía utilizando la variación de la densidad de la madera entre anillos y dentro de los anillos. Por último, una de las principales ventajas del paquete xRing, es que requiere poco conocimiento del lenguaje R, pero al mismo tiempo se puede cambiar o adaptar fácilmente por usuarios experimentados (Campelo, Mayer y Grabner 2019).

En la investigación intitulada: Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis* (Allemão) A. C.Sm.; estudiaron la densidad aparente a través de la densitometría de rayos X y las variaciones anatómicas de once árboles de *A. cearensis*. Los resultados mostraron diferencias significativas en las tres posiciones estudiadas (médula, intermedia y corteza), diferencia que explicaron mediante la anatomía microscópica de la madera. Mencionan que la microdensitometría de rayos X, es una herramienta de vital importancia en la evaluación radial de la madera y puede facilitar en la delimitación de los anillos de crecimiento (Portal et al. 2019).

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Descripciones taxonómicas de las especies a estudiar

(Tropicos.org, 2021)

- División: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledóneas.
- Orden: Lamiales.
- Familia: Bignoniaceae.
- Género: Jacaranda.
- Nombre científico: *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don.
- Sinónimos Botánicos: *Jacaranda amazonensis* Vattimo.
- Nombre común: Achihua.

- División: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledóneas.
- Orden: Malpighiales.
- Familia: Euphorbiaceae.
- Género: Hura.
- Nombre científico: *Hura crepitans* L.
- Sinónimos Botánicos: *Hura brasiliensis* Willd.
- Nombre común: Catahua.

- División: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledóneas.
- Orden: Fabales.
- Familia: Fabaceae.
- Género: Myroxylon.
- Nombre científico: *Myroxylon balsamum* (L.) Harms.
- Sinónimos Botánicos: *Myroxylon toluiferum* A. Rich.
- Nombre común: Estoraque.

- División: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledóneas.
- Orden: Malpighiales.
- Familia: Putranjivaceae.
- Género: Simira.
- Nombre científico: *Drypetes* sp.
- Sinónimos Botánicos: *Anaua* sp.
- Nombre común: Guacamayo caspi.

2.2.2. Distribución geográfica de las cuatro especies

Se muestra a continuación en la Figura 01, la distribución geográfica y ocurrencia por país en todo el mundo según la base de datos de Tropicos. Org; algo importante de resaltar es que la especies *Drypetes sp*, aún no está reportada para el Perú, o por lo menos no se encuentra en la base de datos.



Figura 01. Mapa de distribución geográfica de las especies. **(A)** *Jacaranda copaia* **(B)** *Hura crepitans* **(C)** *Myroxylon balsamum* **(D)** *Drypetes sp*. Fuente: Tropicos.org

2.2.3. Características anatómicas

Jacaranda copaia:

Color: Blanco (duramen blanco cremoso, albura no diferenciado del duramen).
Olor: No perceptible. Sabor: No distintivo. Brillo: Alto. Grano: recto. Textura: Media. Veteado: En el corte tangencial ausente y en el corte radial reflejos plateados (Acevedo 1994). Anillos de Crecimiento: Diferenciado por bandas oscuras de forma regular. Porosidad: Difusa. Poros : Visibles a simple vista.

Mayormente solitarios y escasos múltiples radiales de 2-6. Parénquima: Visibles a simple vista. Paratraqueal aliforme y aliforme confluyente. Radios: En el corte transversal ligeramente visibles a simple vista y en el corte tangencial no estratificados. Inclusiones : Ausente (Cardozo y Portal 2013).

Hura crepitans:

Color: El árbol recién cortado se observan las capas externas de la madera (albura) de color blanco y las capas internas (duramen) de color amarillo pálido, observándose entre ambas una leve diferencia de color. En la madera secada al aire libre la albura se torna de color blanco (HUE 8/2 2.5Y) y el duramen se torna a marrón muy pálido (HUE 7/4 10YR) (Munsell Soil Color Charts). Olor: No distintivo. Lustre o brillo: Medio. Grano: Recto a entrecruzado. Textura: Media a gruesa. Veteado o figura: Arcos superpuestos (WWF-Panamá 2012).

Myroxylon balsamum:

Duramen de color café rojizo cuando el árbol es recién cortado, cambiando para café oscuro con matiz morado bajo exposición al aire libre; con transición abrupta a la albura de color amarillo pálido. Límites de anillos de crecimiento generalmente indistintos. Veteado suave a semi-pronunciado, textura media, hilo fuertemente entrecruzado. Madera seca sin olor característico (CONAFOR 2007).

Drypetes amazonica:

Características macroscópicas: anillos de crecimiento distintos a simple vista, delimitados por bandas de fibras de la pared más gruesa y oscura. Parénquima visible bajo lente de 10x, difuso en agregados. Vasos visibles a simple vista, con porosidad difusa. Rayos visibles con lente de 10x, no estratificados (Marcelo-Peña 2017).

Densitometría de rayos x:

La tecnología de imágenes densitométricas de la parte interna de la madera permite una clasificación rápida de las propiedades físicas y por rangos de uso, tomando en cuenta resistencia, densidad, patógenos y evaluación de la calidad (Melo, 2010).

2.3. Definición de términos

Anisotropía. - Casi todas las propiedades de la madera difieren en las tres direcciones básicas de anatomía de la madera (axial, radial, tangencial). La dirección axial es la dirección de crecimiento del árbol (dirección de las fibras). La radial es perpendicular a la axial, es la dirección de los radios y corta al eje del árbol. La dirección tangencial es paralela a la radial, en la dirección de la fibra y cortando los anillos anuales.

Árbol. - Es el vegetal leñoso de tallo simple, de cierto grosor, que se ramifica a cierta altura formando la copa (INDECOPI 251,001 1989).

Densidad. - Es una de las más importantes propiedades y parámetros de calidad de la madera y de sus productos.

Fibras. - La madera está formada por fibras de celulosa, sustancia que conforma el de los vegetales, y lignina, que le proporciona rigidez y dureza. esqueleto

Madera. - Es el conjunto de células que conforman el tejido leñoso. En ella se puede distinguir tres partes: la albura, el duramen y la medula (INDECOPI 251,001 1989).

Madera con poros (Latifoliadas). - Es aquella que tiene una estructura celular compleja constituida principalmente de vasos, parénquima y fibras (INDECOPI 251,001 1989).

Microdensitometría de rayos X.- Es una técnica moderna para la medición de las variaciones de la densidad al proporcionar resultados muy precisos y que permite la detectar las variaciones de la densidad en un rango de 10 micrómetros.

Variación de la densidad. - La densidad del leño presenta variabilidad en los sentidos radial e longitudinal del tronco de los árboles y entre los árboles de una misma especie, en función de las características anatómicas y de la composición química.

Corteza. - Es una parte del árbol que puede ser observada directamente y su apariencia es relativa a su habitad o la especie.

Dendrocronología. - La palabra dendrocronología proviene del griego dendros que significa árbol, cronos que significa tiempo y logos que significa estudio. Es el estudio de la edad a través de los anillos de crecimientos que se van registrando por cada fenómeno ambiental (Melo 2010)

III. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de estudio

El tipo de investigación que se realizó fue básico, porque buscó determinar la microdensidad de cuatro especies forestales y responder porque su variación en dirección radial (corteza – médula), a través de su anatomía mediante la medición de los diferentes parámetros medibles de las fibras, lo cual contribuirá en el conocimiento tecnológico de las especies forestales del Perú.

3.2. Diseño de estudio

El diseño de estudio que se planteó para la presente investigación fue del tipo “Diseño Cuantitativo”, porque los resultados fueron objetivos, ya que son independientes de cada especie. Además, se escogió este diseño porque se basa en la determinación microdensitométrico y los promedios de las mediciones de las fibras de las cuatro especies forestales.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población, para la presente investigación fueron las especies de la empresa Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L, que se encuentran en la parcela de corta N°19-A que son: *Jacaranda copaia* (34 árboles), *Hura crepitans* (48 árboles), *Myroxylon balsamum* (18) y *Drypetes sp* (36).

3.3.2. Muestra

La muestra, para la presente investigación fueron 10 árboles de las especies: *Jacaranda copaia*, *Hura crepitans*, *Myroxylon balsamum* y *Drypetes sp*. Dicha cantidad fue determinada según investigaciones al respecto como (Oliveira et al. 2012; Chavesta et al. 2020) que colectaron 6 a 5 árboles por especie y por (Portal

et al. 2019) que utilizó 11 árboles; en función a ello se trabajó con 10 árboles de cada especie seleccionada.

3.4. Métodos y técnicas

➤ Área de estudio

La investigación fue realizada en la concesión Corporación Forestal Tres Fronteras S. R. L. “CORPFOREST S.R.L.”, concedida por el estado peruano, ubicada en la región de Madre de Dios, provincia de Tahuamanu (Figura 02), distrito Iberia-Iñapari; con un área total de la concesión 14621.31 hectáreas. La región Madre de Dios es considerada Capital de la Biodiversidad del Perú, Presenta un clima tropical con dos estaciones marcadas: estación húmeda (noviembre a marzo) y una estación seca (junio a agosto) (Rosero 2009).

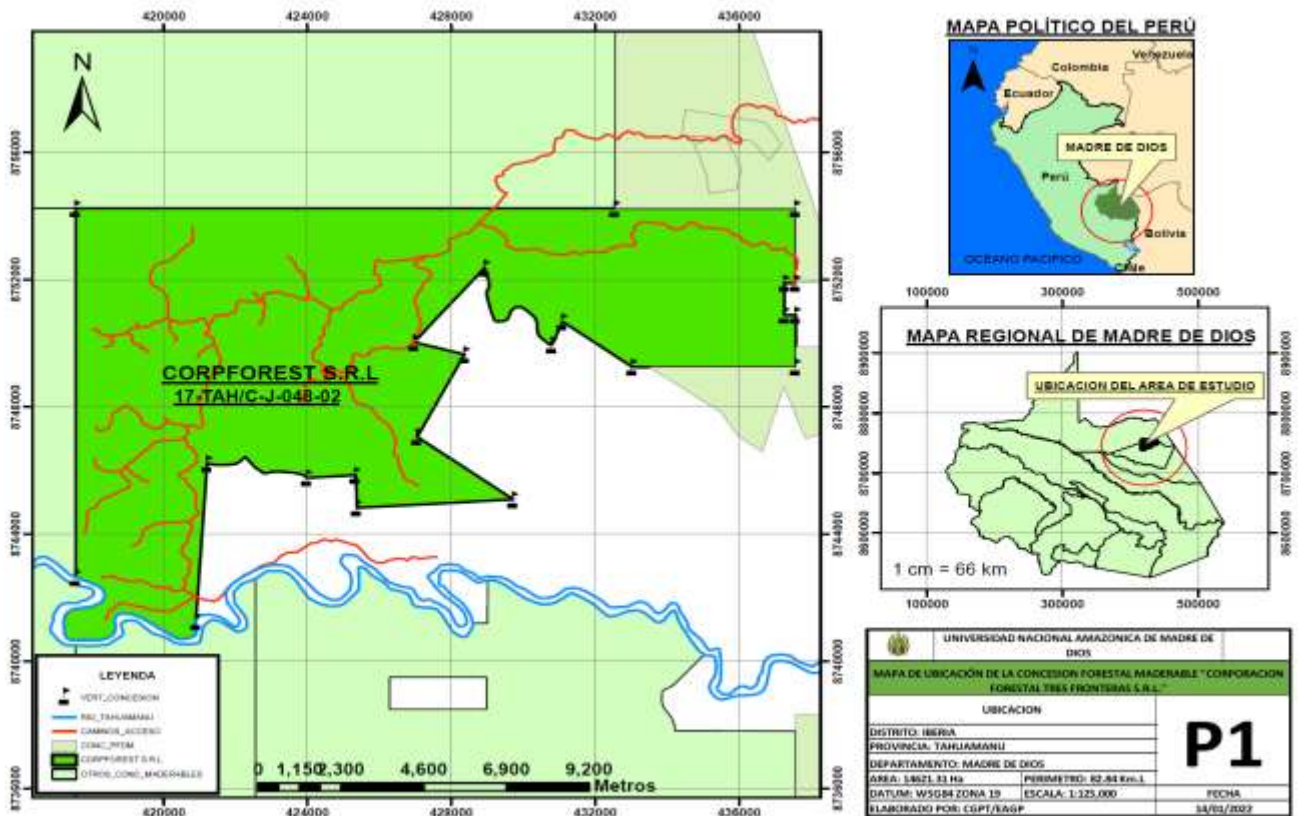


Figura 02. Mapa de ubicación de la zona de estudio y rodajas de las cuatro especies estudiadas.

➤ **Selección de las especies**

Según el Plan Operativo 2019-2022, de la empresa Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L, se contó con 15 especies forestales para su aprovechamiento comercial para el año 2020, según la parcela de corta N°19-A, las cuales se detallan en la Tabla 02. De esta lista se seleccionaron 04 especies forestales, las cuales presentaron más de 10 árboles por especies que es el número de muestra que se colecto por cada especie. En función a ello las especies seleccionadas fueron: *Jacaranda copaia* (achihua), *Hura crepitans* (catahua), *Myroxylon balsamum* (estoraque) y *Drypetes sp* (guacamayo caspi).

Tabla 02. Especies forestales aprovechables según el PO 2019-2022 de la empresa Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L

| N° | NOMBRE COMUN | NOMBRE CIENTIFICO | N° DE ARBOLES | N° ARBOLES TALADOS | SALDO |
|----|-----------------|---------------------------------|---------------|--------------------|-------|
| 1 | Achihua | <i>Jacaranda copaia</i> | 34 | 17 | 17 |
| 2 | Azucar huayo | <i>Hymenaea oblongifolia</i> | 10 | 1 | 9 |
| 3 | Capirona | <i>Calycophyllum spruceanum</i> | 6 | 1 | 5 |
| 4 | Catahua | <i>Hura crepitans</i> | 48 | 27 | 21 |
| 5 | Catuaba | <i>Erismia uncinatum</i> | 16 | 7 | 9 |
| 6 | Estoraque | <i>Myroxylon balsamum</i> | 18 | 1 | 17 |
| 7 | Guacamayo caspi | <i>Drypetes sp</i> | 36 | 6 | 30 |
| 8 | Huimba | <i>Ceiba samauma</i> | 22 | 5 | 17 |
| 9 | Itauba | <i>Mezilaurus itauba</i> | 19 | 6 | 13 |
| 10 | Lupuna | <i>Ceiba pentandra</i> | 6 | 2 | 4 |
| 11 | Misa | <i>Couratari domestica</i> | 7 | 1 | 6 |
| 12 | Pashaco | <i>Schizolobium amazonicum</i> | 33 | 19 | 14 |
| 13 | Sapote | <i>Matisia cordata</i> | 54 | 36 | 18 |
| 14 | Shihuahuaco | <i>Dipteryx micrantha</i> | 9 | 1 | 8 |
| 15 | Yacushapana | <i>Terminalia amazonia</i> | 18 | 3 | 15 |

➤ **Fase de Campo: Colecta del material.**

Teniendo las especies seleccionadas para la presente investigación, se procedió a realizar la fase de campo, recabando informaciones de altura del árbol, diámetro a la altura del pecho (DAP), coordenadas, estado fitosanitario, etc., de acuerdo al expediente aprobado para el PO 2019-2022. Se talo los 40 árboles comerciales y se colectó primeramente las muestras botánicas para hacer la

reconfirmación de las especies forestales, la cual se envió al herbario MOL de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Seguidamente se realizó el transporte de la madera rolliza (troza) hacia el centro de transformación primaria de la empresa INDUMATIS E.I.R.L. ubicado en el distrito de Iberia km 02 carretera Iberia-Puerto Maldonado. Se extrajo de cada troza una rodaja de madera (5 a 6 cm de espesor x el diámetro de cada troza), específicamente al final de la primera troza de cada árbol donde fueron procesadas para obtener 04 muestras por cada rodaja (Figura 03) totalizando 160 muestras de las 04 especies forestales seleccionadas.

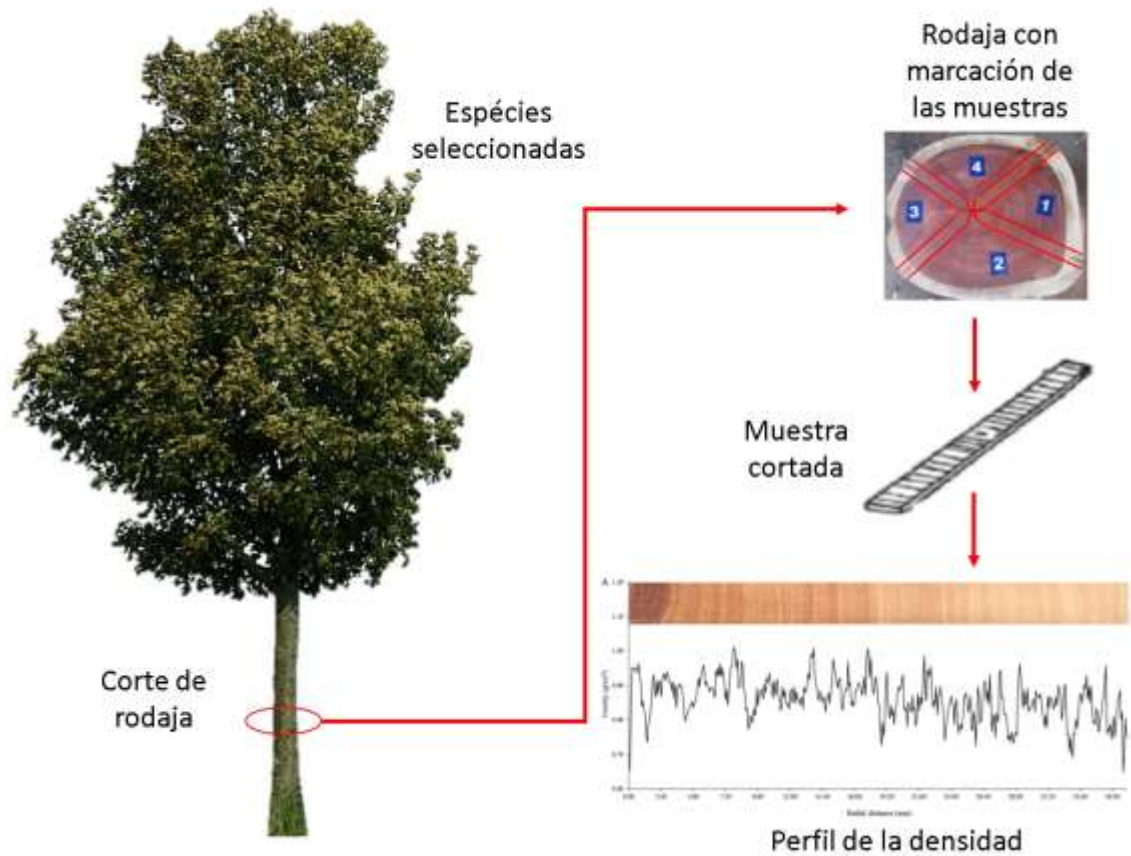


Figura 03. Esquema del proceso de campo y obtención de resultados de la presente investigación.

➤ **Fase de Laboratorio: Determinación de los perfiles de densidad.**

A partir de las rodajas que se extrajeron al final de la primera troza de las cuatro especies seleccionadas (*J. copaia*, *H. crepitans*, *M. balsamum* y *Drypetes sp*), de 5 cm de espesor, para la determinación de la microdensidad de las maderas (perfil de densidad). Para la determinación del perfil radial de la microdensidad de las maderas, se utilizó la metodología descrita por (Roque et al. 2012). A partir de las rodajas se obtuvieron cuatro submuestras radiales (3.0 cm de ancho x 5.0 cm de espesor, corteza - médula); de esas submuestras radiales se obtuvo después de un análisis visual otra muestra de (2.0 cm de ancho x 2.0 cm de espesor, corteza médula); dicha muestra fue pegada sobre un soporte de madera y se cortó en sentido transversal, con una sierra circular doble con un espesor de 1.2 – 1.8 mm aproximadamente; posteriormente las muestras de las cuatro especies se acondicionaron en una cámara de climatización (24 h, 20 ° C, 50% RH; 12% de humedad); después se procedió a llevar a la cámara de irradiación (Equipo de Rayos X Faxitron, modelo LX-60, 5,9 kV, 33 seg), se colocó una cuña de calibración de acetato de celulosa (Figura 04). Las imágenes digitalizadas de las secciones transversales de las muestras de madera y la cuña de calibración (alta resolución, TIFF, 513pp) se analizaron utilizando el software RStudio, con la ayuda del paquete xRing (Campelo, Mayer y Grabner 2019), con el cual se pudo determinar los valores de microdensidad de la madera de las cuatro especies forestales (rango, 0.0017 mm). Los datos se transferirán a una hoja de cálculo en el software Excel y se construyeron los perfiles radiales de la microdensidad de las cuatro especies. Cabe resaltar que las imágenes de rayos X, fueron obtenidas en la Universidad de Sao Paulo, pero el análisis con el software RStudio fue realizado en Madre de Dios, dado que el paquete xRing, puede analizar dichas imágenes.



Figura 04. **A)** Sierra dupla cortando muestra de *Jacaranda copaia*. **B)** Vista general del equipo de rayos X Faxitron. **C)** Computadora con imágenes de rayos X de las maderas y muestras en la parte inferior. **D)** Climatizador al 12% de humedad. **E)** Disposición de las muestras en la cámara climática.

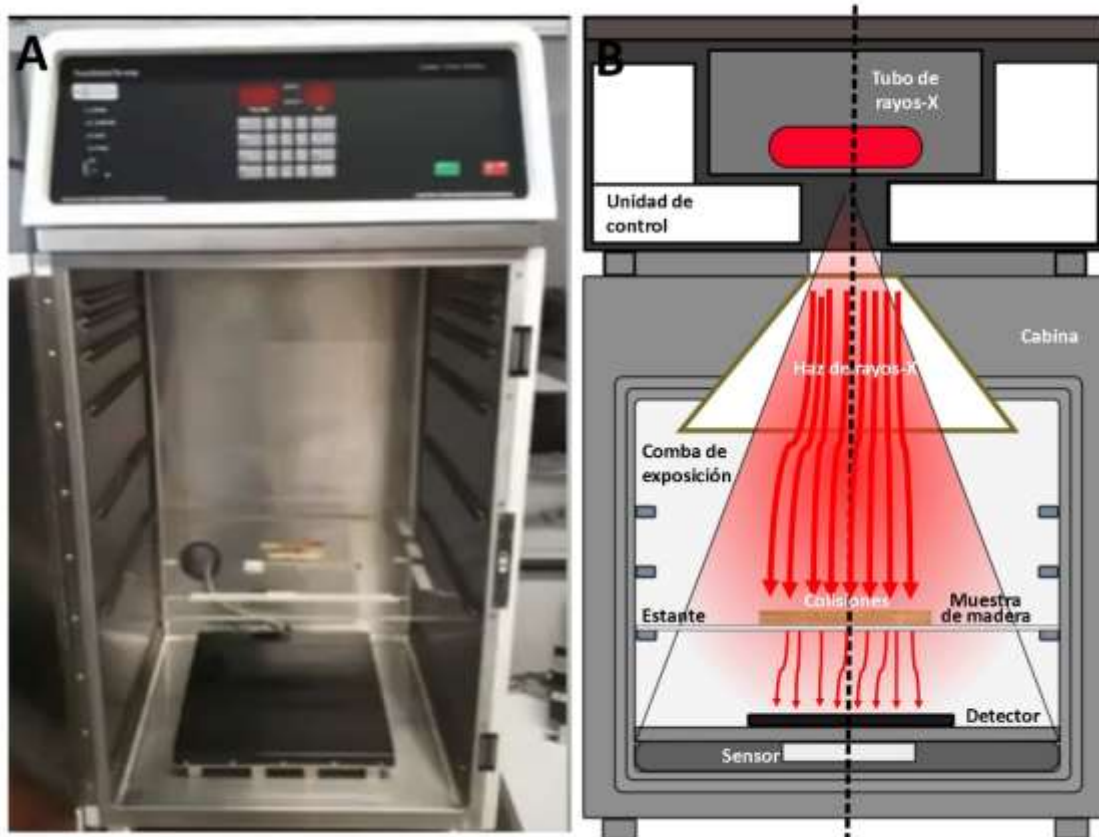


Figura 05. A) Foto del equipo Faxitron para rayos X. B) esquema del funcionamiento simplificado del equipo Faxitron.

➤ **Fase de Laboratorio: Medición de las fibras de las cuatro especies**

Para entender las posibles variaciones del perfil radial de la microdensidad de las cuatro especies forestales, se procedió a un análisis anatómico, a través de las mediciones de las fibras. Primeramente, se obtuvo pequeños bloques de madera en tres posiciones radiales: cerca de la médula, en el medio y cerca de la corteza, de estos bloques de madera se obtuvo el tejido macerado, mediante el método Franklin, transfiriendo a tubos de ensayos las muestras de madera cortadas como palitos de fosforo con ácido acético y peróxido de hidrógeno 120 vol, 1:1, los tubos de ensayos se llevaron a la estufa a 60°C por un lapso de 24 horas, para conseguir la disociación de las células, seguidamente se lavaron con agua

destilada, de donde las fibras se separaron en el porta objetos y se realizó la deshidratación, coloración y montaje de las láminas semipermanentes con glicerina, posteriormente se tomaron las fotos de las fibras en un microscopio óptico en ampliaciones variando de 10 y 40X para las mediciones de: longitud, diámetro, lumen, y estimar el grosor de la pared de la fibras mediante la diferencia del diámetro de las fibras y el diámetro del lumen entre dos (Figura 05). Dichas mediciones se realizaron con el software Image Pro Plus (Chavesta et al. 2020; Portal et al. 2019). Las mediciones fueron realizadas también en Madre de Dios.



Figura 06. Flujograma de la secuencia de análisis para la determinación de la densidad aparente mediante densitometría de rayos X

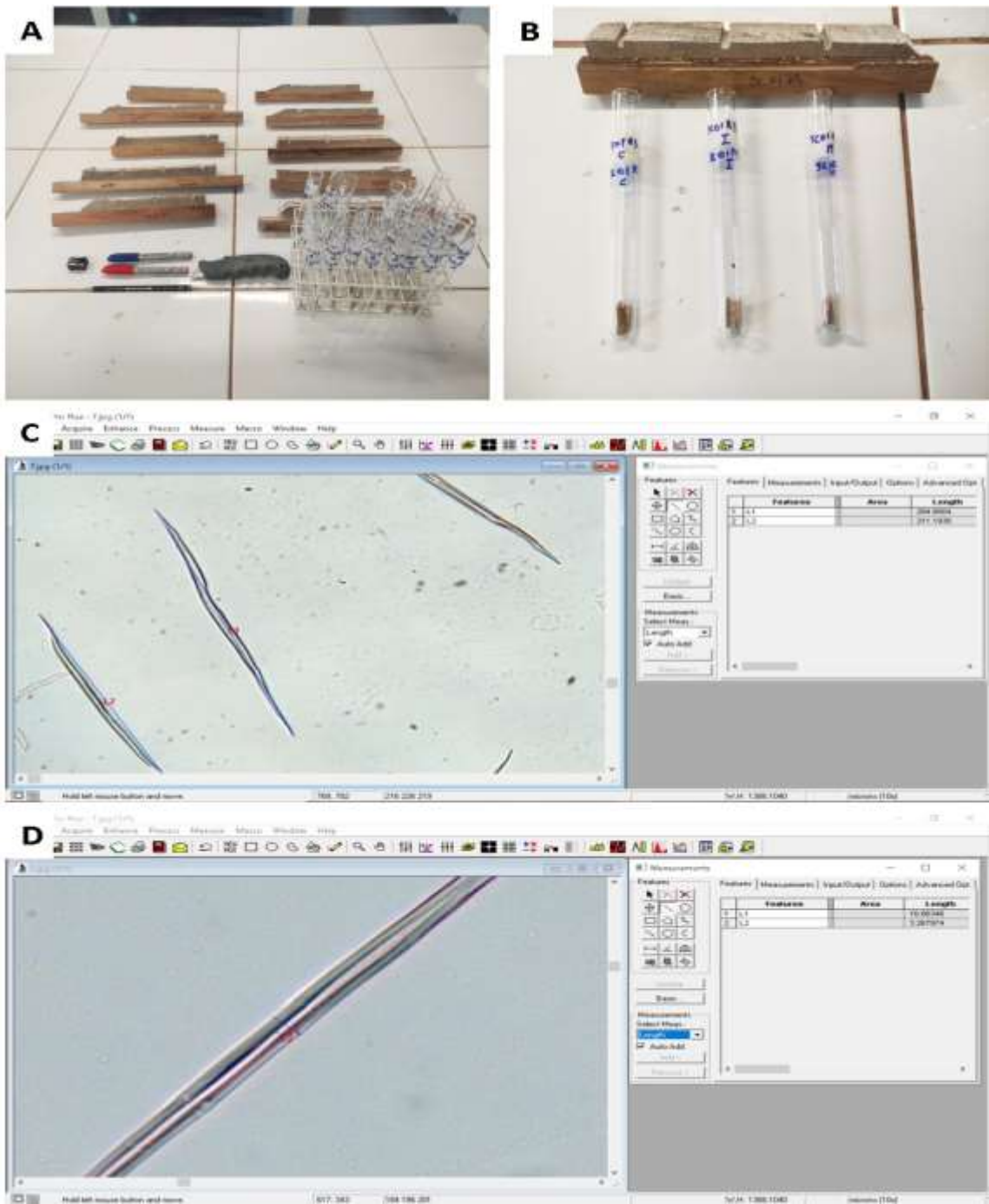


Figura 07. Obtención y evaluación de las fibras del leño de los árboles estudiados en el software *Image Pro Plus*. **A)** Muestras de madera y materiales utilizados para la obtención de los palitos. **B)** Muestra de madera con las posiciones y tubos de ensayos con las muestras. **C)** Medición de la longitud de las fibras. **D)** Medición del diámetro y lumen de la fibra.

La fase de laboratorio: se aclara que la obtención de las imágenes de rayos X (foto radiográfica) y la preparación de las láminas semipermanentes para las mediciones de las fibras de las cuatro especies y las fotos en diferentes aumentos, se realizaron en el Laboratorio de Anatomía e Identificación de la Madera de la Escuela Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” de la Universidad de Sao Paulo Brasil, esto se realizó por colaboración de coasesor MSc. Leif Armando Portal Cahuana, el cual colocó todas las fotos en un drive que compartió a los tesisistas y a través de dos tutoriales 1) para el análisis de la microdensidad de rayos X mediante el software RStudio y 2) para la medición de la morfología de fibras se mostró a los tesisistas el proceso, análisis y procesamiento de los datos; con ellos los tesisistas usando los softwares RStudio e Imagem Pro Plus analizaron y procesaron toda la información en la ciudad de Iberia. Además, se mantuvo un contacto directo con el coasesor mediante WhatsApp y google meet para el esclarecimiento de dudas y el soporte en todo el proceso. Este tipo de colaboración en el laboratorio de la USP se realiza con diferentes investigadores nacionales y extranjeros con acuerdos de que en futuras publicaciones en revistas científicas se considere al laboratorio como miembro de la investigación.

3.5. Tratamientos de los datos

El análisis de los datos de la microdensitometría y las mediciones anatómicas (fibras), se realizaron con el software estadístico RStudio versión 1.4.1106 (R Core Team 2019). Para el factor de conversión de la densidad aparente a densidad básica se utilizó el factor de convergencia de 0.8 recomendado por (Vieilledent et al., 2018) Al estudiar 4022 muestras recolectados en 64 países.

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Perfil radial en dirección médula – corteza de cuatro especies forestales.

Los valores promedios generales para las cuatro especies estudiadas de los datos de las propiedades físicas obtenidas por densitometría de rayos X: densidades aparente y básica (g/cm^3) se presentan en la Tabla 03.

Tabla 03. Valores promedios de las propiedades físicas de las cuatro especies estudiadas.

| Características | Estadísticos | <i>Jacaranda copaia</i> | <i>Hura crepitans</i> | <i>Drypetes sp.</i> | <i>Myroxylon balsamum</i> |
|--------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| Densidad aparente(g/cm^3) | Promedio | 0.47 | 0.68 | 0.82 | 0.99 |
| | SD | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.15 |
| Densidad básica(g/cm^3) | Promedio | 0.37 | 0.54 | 0.66 | 0.79 |
| | SD | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.12 |

SD = desviación estándar.

Los valores de la densidad básica de las especies concuerdan con la literatura científica, por ejemplo *J. copaia* presenta 0.35 g/cm^3 , *H. crepitans* 0.37 g/cm^3 , *Drypetes amazonica* 0.67 g/cm^3 y *M. balsamum* 0.78 g/cm^3 (Zanne et al. 2009); solo para el caso de *H. crepitans* los valores encontrados son mayores esto se puede deber a diversos factores como: hábitat, relieve, edad de los árboles, etc.

Podemos afirmar en función a la densidad básica de las cuatro especies que *J. copaia* se clasifica con densidad baja, *H. crepitans* se clasifica como densidad media, *Drypetes sp.*, se clasifica como densidad alta y finalmente *M. balsamum* se clasifica como densidad muy alta (Acevedo y Chavesta 1991; Sibille 2006).

Los valores promedio de las propiedades físicas y las dimensiones de las fibras en dirección radial (médula - corteza) se presentan en la Tabla 04 para las cuatro especies estudiadas.

Tabla 04. Variación radial de los valores promedios de las propiedades físicas de las cuatro especies estudiadas.

| Características | Posición radial | <i>Jacaranda copaia</i> | <i>Hura crepitans</i> | <i>Drypetes sp.</i> | <i>Myroxylon balsamum</i> |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| Densidad aparente(g/cm ³) | Dirección | 0.47 ^a | 0.68 ^a | 0.80 ^b | 0.98 ^a |
| | Médula | (0.12) | (0.15) | (0.17) | (0.14) |
| | Intermedio | 0.49 ^a | 0.68 ^a | 0.85 ^a | 0.99 ^a |
| | | (0.12) | (0.12) | (0.14) | (0.16) |
| Densidad básica(g/cm ³) | Dirección | 0.42 ^b | 0.67 ^a | 0.81 ^b | 0.98 ^a |
| | Corteza | (0.15) | (0.14) | (0.17) | (0.13) |
| | Dirección | 0.38 ^a | 0.54 ^a | 0.64 ^b | 0.79 ^a |
| | Médula | (0.09) | (0.12) | (0.14) | (0.11) |
| Densidad básica(g/cm ³) | Intermedio | 0.39 ^a | 0.54 ^a | 0.68 ^a | 0.80 ^a |
| | | (0.10) | (0.09) | (0.11) | (0.13) |
| | Dirección | 0.33 ^b | 0.53 ^a | 0.65 ^b | 0.79 ^a |
| | Corteza | (0.12) | (0.11) | (0.13) | (0.10) |

Valores entre paréntesis corresponde a la desviación estándar. Valores con diferentes letras dentro de la misma columna y criterio evaluado difieren estadísticamente entre sí por la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

En la tabla 04 podemos observar que las especies *H. crepitans* y *M. balsamum*, en los tres puntos evaluados (médula, intermediario y corteza) no presentan variaciones significativas y esto se corrobora en la Figura 06 donde las líneas rojas promedios son casi constantes, sobre las especies *J. copaia* la densidad tiende a disminuir cerca de la corteza y para *Drypetes sp.*, tanto en la médula como en la corteza las densidades son similares teniendo mayor densidad en la parte intermediaria. A continuación, en la Figura 06 se presenta el perfil radial (dirección médula - corteza) de la densidad aparente de las cuatro especies estudiadas mediante densitometría de rayos X de los 10 árboles estudiados por especie, donde se muestra las variaciones de la densidad y las tendencias en dirección radial, donde *J. copaia* mostraron un aumento creciente en el sentido radial, *Drypetes sp.*, mostro una disminución en el sentido radial y finalmente, *H.*

crepitans y *M. balsamum* de manera general no presentaron ninguna tendencia significativa en el sentido radial.

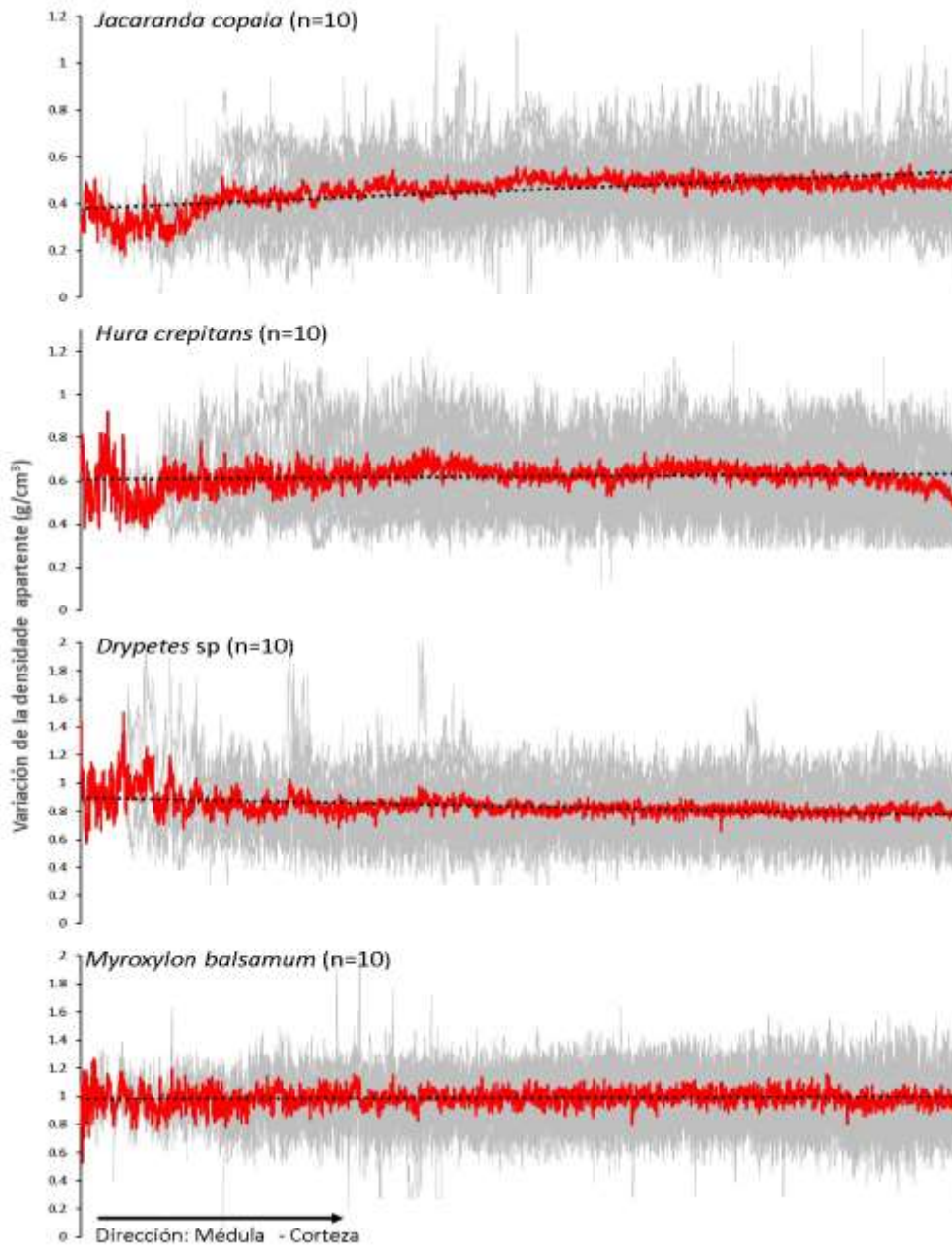


Figura 08. Perfil radial de la densidad aparente por medio de la densitometría de rayos X. Las líneas cenizas muestran las gráficas de cada muestra por árbol, la línea roja muestra el promedio para cada especie y finalmente la línea negra punteada muestra la tendencia de la densidad aparente para cada especie.

Sobre las tendencias de crecimiento de las especies *J. copaia* y *H. crepitans*, coinciden con estudios específicos sobre las tendencias de crecimiento de especies forestales donde manifiestan que especies con densidad igual o inferior a 0.55 g/cm^3 van a aumentar su densidad en dirección médula – corteza (Woodcock y Shier 2002), además estas especies coinciden con otras especies tropicales en su crecimiento radial como: *Anadenanthera peregrina* y *Schizolobium parahymba* que también tienden a aumentar su densidad en esa dirección (Valente et al. 2013; Lobão et al. 2008). Sobre la tendencia de la especie *Drypetes* sp., Woodcock y Shier (2002) manifiestan que especies con densidad superior a 0.55 g/cm^3 tienden a disminuir su densidad en dirección médula – corteza, esto no ocurre con la especie *M. balsamum*, sin embargo esta estabilidad en su densidad coincide con la especie *Cariniana legalis* que también no presenta variación significativa en esa dirección (Lima et al. 2011).

En la Figura 08, se puede observar que para las cuatro especies estudiadas los perfiles de densidad aparente pueden ayudar a la identificación de los límites de los anillos de crecimiento de las cuatro especies donde las especies: *J. copaia*, *H. crepitans* y *M. balsamum* presentan los anillos de crecimiento por zonas fibrosas con el achatamiento de las fibras disminución de los vasos y por ello presenta mayor densidad y eso se representa en picos más altos en el perfil de densidad, por otro lado la especie *Drypetes* sp., se caracteriza por presentar anillos delimitados por parénquima marginal lo que genera picos de densidad bajos, ya que el tejido parenquimático es de almacenamiento y reserva.

Comparando la tendencia de la densidad aparente de la especie *J. copaia* con la especie *Cedrelina cateniformis* estudiada en el departamento de Loreto en el Perú (Campos et al., 1997), muestra que ambas especies presentan una tendencia a aumentar la densidad en la dirección médula – corteza, mencionando el autor

que se debe principalmente que la densidad de algunas especies aumenta en función a la edad.

Sobre las variaciones de las fibras en la dirección radial, por ejemplo, la especie *Drypetes* sp., la tendencia a aumentar la longitud de la fibra en el sentido médula-corteza, también fueron observadas en otras especies tropicales (*Tectona grandis*, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, *Cedrelinga cateniformis*) estudiadas en los países de Perú y Brasil (Campos, 2009; Chuquicaja et al., 2020; Lobão et al., 2012). Sobre la tendencia en dirección radial del espesor de las fibras los resultados de *J. copaia* y *Drypetes* sp., coinciden con los estudios de *Tectona grandis* en una plantación en el departamento de Junín en el Perú (Chuquicaja et al., 2020). Y la tendencia a aumentar espesor de la pared de las fibras en dirección radial médula-corteza de la especie *M. balsamun* coincide con la especie *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* estudiada en Acre-Brasil (Lobão et al., 2012)

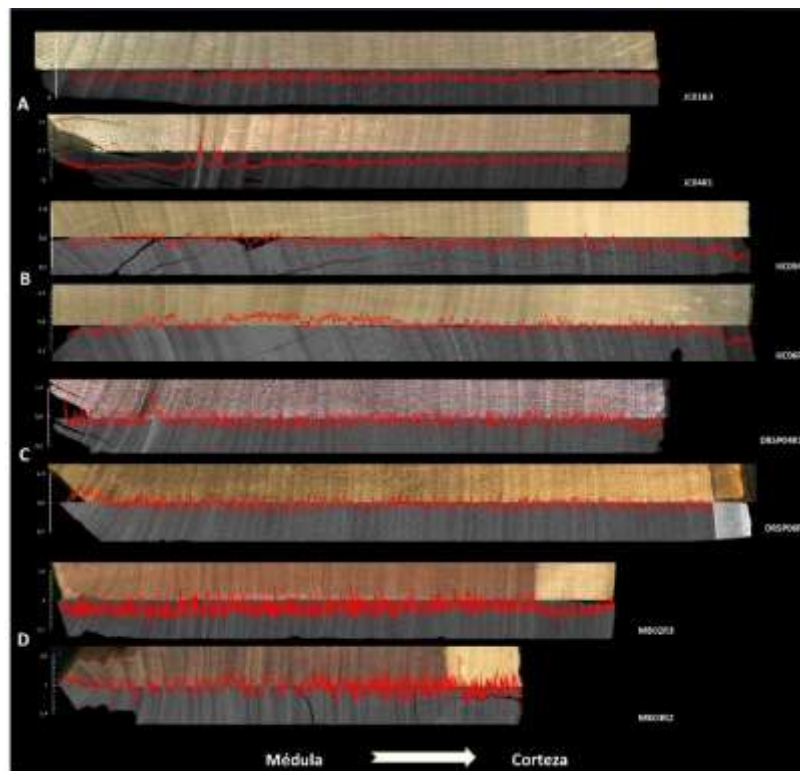


Figura 09. Perfil radial de dos muestras por especie. A) *Jacaranda copaia*. B) *Hura crepitans*. C) *Drypetes* sp. D) *Myroxylon balsamum*. Imágenes escaneadas e imágenes de rayos X, línea roja perfil de la densidad aparente

B. Determinar la variación radial de las fibras en tres posiciones radiales de cuatro especies forestales.

Los valores promedios generales para las cuatro especies estudiadas sobre las dimensiones de las fibras: longitud, diámetro, lumen y espesor (μm) se presentan en la Tabla 05.

Tabla 05. Valores promedios de las dimensiones de las fibras de las cuatro especies estudiadas.

| Características | Estadísticos | <i>Jacaranda copaia</i> | <i>Hura crepitans</i> | <i>Drypetes sp.</i> | <i>Myroxylon balsamum</i> |
|-------------------------------------|--------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|
| Longitud de fibra (μm) | Promedio | 1156.53 | 1337.63 | 1318.40 | 1032.96 |
| | SD | 188.12 | 246.55 | 354.00 | 315.41 |
| Diámetro de fibra (μm) | Promedio | 25.91 | 26.67 | 26.29 | 15.73 |
| | SD | 5.54 | 6.81 | 4.77 | 3.18 |
| Lumen de fibra (μm) | Promedio | 16.47 | 18.50 | 15.57 | 3.66 |
| | SD | 5.43 | 6.87 | 3.50 | 1.24 |
| Espesor de pared (μm) | Promedio | 4.72 | 4.21 | 5.36 | 6.04 |
| | SD | 1.50 | 1.50 | 1.70 | 1.37 |

SD = desviación estándar.

De manera general revisando y comparando la base de datos internacional de anatomistas del mundo IAWA en www.Insidewood.lib.ncsu.edu se pudo comprobar que las cuatro especies estudiadas respecto a la longitud de fibras se encuentran en el ítem (71) donde la longitud de las fibras varía de 900-1600 μm .

Los valores promedio de las dimensiones de las fibras en dirección radial (médula - corteza) se presentan en la Tabla 06 para las cuatro especies estudiadas.

Tabla 06. Variación radial de los valores promedios de las dimensiones de las fibras de las cuatro especies estudiadas.

| Características | Posición radial | <i>Jacaranda copaia</i> | <i>Hura crepitans</i> | <i>Drypetes sp.</i> | <i>Myroxylon balsamum</i> |
|------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| Longitud de fibra (μm) | Dirección | 1135.76 ^b | 1326.59 ^a | 1307.16 ^a | 1034.77 ^{ab} |
| | Médula | (201.98) | (237.50) | (208.57) | (365.00) |
| | Intermedio | 1180.82 ^a | 1349.17 ^a | 1308.51 ^a | 999.02 ^b |
| | Corteza | (189.92) | (252.71) | (184.78) | (196.10) |
| Diámetro de fibra (μm) | Dirección | 1152.99 ^{ab} | 1337.06 ^a | 1341.87 ^a | 1065.08 ^a |
| | Médula | 168.96 | 249.98 | 563.83 | 354.06 |
| | Intermedio | 25.17 ^b | 26.56 ^a | 26.10 ^a | 14.91 ^b |
| | Corteza | (5.58) | (6.57) | (4.83) | (2.84) |
| Lúmen de fibra (μm) | Dirección | 26.6 ^a | 26.64 ^a | 26.49 ^a | 15.99 ^a |
| | Médula | 5.47 | 6.92 | 4.72 | 3.22 |
| | Intermedio | 25.91 ^{ab} | 26.81 ^a | 26.27 ^a | 16.30 ^a |
| | Corteza | 5.48 | 6.94 | 4.77 | 3.27 |
| Espesor de pared (μm) | Dirección | 16.24 ^a | 17.62 ^b | 15.41 ^a | 3.65 ^a |
| | Médula | 5.34 | 4.89 | 3.53 | 1.15 |
| | Intermedio | 16.88 ^a | 18.37 ^{ab} | 15.74 ^a | 3.70 ^a |
| | Corteza | 5.71 | 5.36 | 3.66 | 1.25 |
| Espesor de pared (μm) | Dirección | 16.29 ^a | 19.61 ^a | 15.54 ^a | 3.61 ^a |
| | Médula | 5.23 | 9.57 | 3.27 | 1.31 |
| | Intermedio | 4.46 ^b | 4.46 ^a | 5.34 ^a | 5.62 ^b |
| | Corteza | 1.41 | 1.76 | 1.69 | 1.18 |
| Espesor de pared (μm) | Dirección | 4.88 ^a | 4.13 ^b | 5.37 ^a | 6.14 ^a |
| | Médula | 1.46 | 1.41 | 1.51 | 1.37 |
| | Intermedio | 4.80 ^a | 3.99 ^b | 5.36 ^a | 6.34 ^a |
| | Corteza | 1.57 | 1.20 | 1.87 | 1.45 |

Sobre la variación radial de las dimensiones de las fibras, las especies *J. copaia* y *M. balsamum* mostraron variación significativa en la longitud de fibras, las otras dos especies no mostraron variación significativa. Respecto al diámetro de las fibras las especies que no mostraron variación significativa fue *H. crepitans* y *Dripetes sp.*, sobre el lumen de las fibras también solo una especie *H. crepitans*. Muestro variaciones significativas en la dirección radial. Por último sobre el espesor de la pared de las fibras la única especie que no presento variación fue *Drypetes sp.*

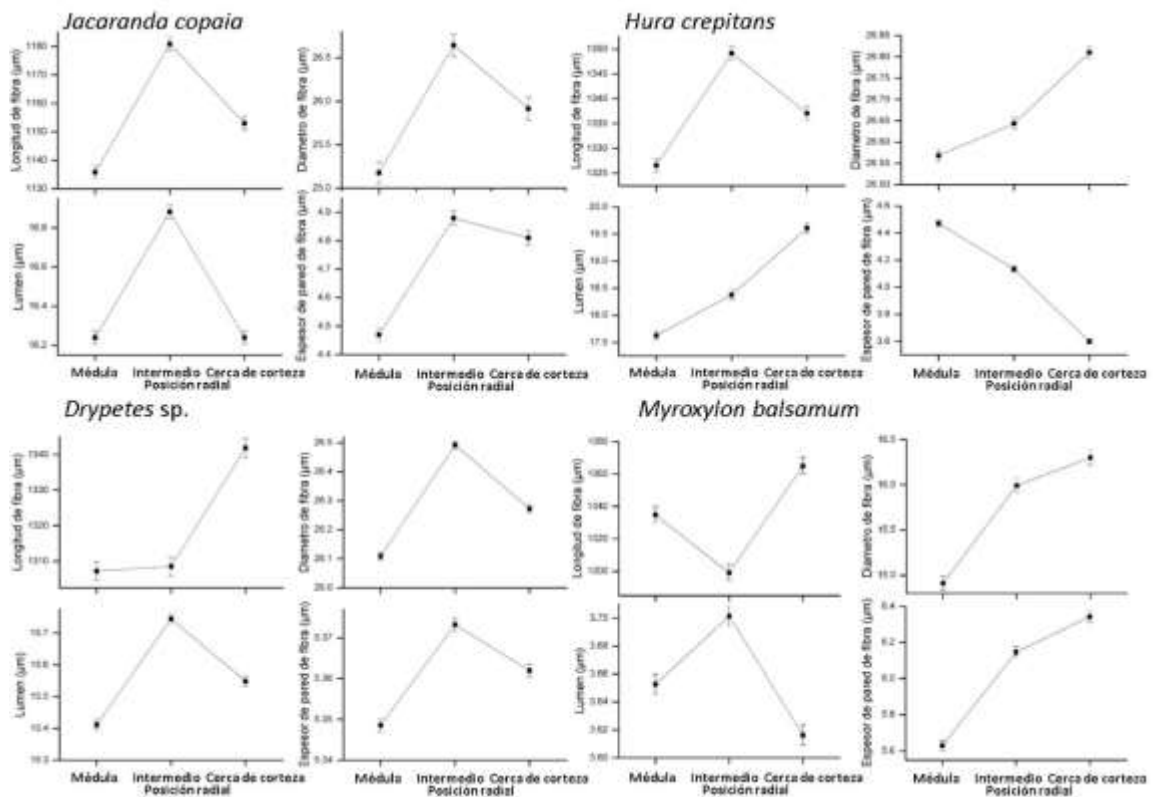


Figura 10. Variación de las dimensiones de las fibras en las posiciones corteza (90%), intermedia (60%) y médula (30%).

Sobre las variaciones de las dimensiones de las fibras en dirección radial en las tres posiciones (médula, intermedia y corteza), en el caso de *J. copaia* podemos observar que en la posición intermedia (60%) presenta mayores valores en todas dimensiones de las fibras cayendo los valores tanto en la médula como en la corteza; para el caso de *H. crepitans* sobre las longitudes de las fibras se observa también que la posición intermedia muestra mayor longitud de fibras (Figura 10), por otra parte, presentan un aumento en dirección radial el diámetro y lumen de las fibras, mientras que el espesor muestra una disminución de médula a la corteza. En el caso de *Drypetes sp.*, se observa que la longitud de las fibras presenta un aumento en la dirección radial mientras que las otras características de las fibras como: diámetro, lumen y espesor de las fibras la posición intermedia presenta los mayores valores, por último, para el caso de *M. balsamum* observamos que para la longitud de las fibras el valor más bajo se

encuentra en la posición intermedia, mientras que el diámetro y el espesor de pared tienden a aumentar en dirección médula – corteza y el lumen presenta el mayor valor en la posición intermedia.

C. Explicación con la información anatómica la variación de la densidad aparente de las cuatro especies forestales.

Como podemos observar en la Tabla 04, las especies: *H. crepitans* y *M. balsamum* estadísticamente no presentaron variación radial significativa de su densidad aparente, donde para *H. crepitans* la longitud y el diámetro de las fibras presentan esta misma tendencia; en el caso de *M. balsamum* solo el lumen de las fibras presentó la misma variación no significativa. Tabla 06

Respecto a las otras dos especies: *J. copaia* y *Drypetes* sp., las dimensiones de las fibras responden directamente las variaciones radiales de la densidad, por ejemplo, en la especie *J. copaia* la longitud, diámetro y espesor presenta el mismo patrón que la densidad en las tres posiciones radiales; para el caso de *Drypetes* sp., observamos según el análisis de las fibras, no representa variación significativa, por lo tanto podemos asumir que la influencia de la densidad estará asociado a otras características como el clima, la topografía, etc.

De manera general la morfología de las fibras nos explica la densidad de la madera que presentan las cuatro especies forestales estudiadas. Por ejemplo, si comparamos la especie de densidad baja como la especie de densidad muy alta, podemos observar que en función al lumen la especie *J. copaia* presenta mayor lumen y menor espesor de pared de la fibra, mientras que en *M. balsamum* opuesto.

Como menciona Chavesta et al. (2020), la densidad de la madera se explica por la estructura heterogénea, consecuencia del crecimiento secundario del árbol que, es un proceso extremadamente complejo y que es influenciado por el clima,

suelo, competencia de otros árboles, técnicas forestales y edad de los individuos; esto se ha mostrado en las especies estudiadas.

CONCLUSIONES

En conclusión, determinamos la variación radial de la densidad aparente de cuatro especies comerciales de la región de Madre de Dios en el Perú, a través de la microdensitometría de rayos X, dichas variaciones fueron explicadas mediante la anatomía de la madera, específicamente la morfología de las fibras de cada una de las especies estudiadas:

- El perfil radial de la densidad aparente de las especies forestales vario en dirección médula a corteza para dos especies (*J. copaia* y *Drypetes sp.*)
- radiales de las fibras en las tres posiciones radiales de las cuatro especies forestales explican la variación de la densidad aparente de las maderas de las cuatro especies forestales.
- Las morfologías de las fibras de las cuatro especies forestales en las diferentes posiciones radiales explican claramente la variación de la densidad aparente de las maderas.

SUGERENCIAS

Creemos importante realizar estudios complementarios de los vasos a nivel microscópico como: frecuencia, diámetro, área, etc.

Incrementar el conocimiento de la variación radial de la densidad en otras especies forestales nativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACEVEDO, M. y CHAVESTA, M., 1991. Informe sobre fichas tecnológicas de la madera y asignación a grupos tecnológicos. . Lima - Perú: Proyecto Dantas.
- ALVAREZ, N., CAMPOS, M., HERNÁNDEZ, A., DELGADO, A., ROMÁN, F. y AIDE, M., 2016. Impacts of Small-Scale Gold Mining on Birds and Anurans Near the Tambopata Natural Reserve, Peru, Assessed Using Passive Acoustic Monitoring. *Tropical Conservation Science*, vol. 9, no. 2, pp. 832-851. ISSN 1940-0829, 1940-0829. DOI 10.1177/194008291600900216.
- CAMPELO, F., MAYER, K. y GRABNER, M., 2019. xRing—An R package to identify and measure tree-ring features using X-ray microdensity profiles. *Dendrochronología*, vol. 53, pp. 17-21. ISSN 11257865. DOI 10.1016/j.dendro.2018.11.002.
- CARDOZO, J. y PORTAL, L., 2013. *Características principales de 10 especies forestales de la región de Madre de Dios*. Puerto Maldonado - Perú.: s.n.
- Campos, L. E. (2009). Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Chuquicaja, C. E., Rocha, M. P. da, Klitzke, R. J., Gonzales, H. E. (2020). Caracterización anatómica radial y axial de la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) plantada en Chanchamayo – Perú. *Revista Ciência da Madeira - RCM*, 11(2), 107-120. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v11n2p107-120>
- CHAVESTA, M., TOMAZELLO, M., CARNEIRO, M. y NISGOSKI, S., 2020. Axial and radial evaluation of the basic density and fiber dimensions of guazuma crinita martius wood. *floresta*, vol. 50, no. 2, pp. 1143. ISSN 1982-4688, 0015-3826. DOI 10.5380/uf.v50i2.58356.
- CONAFOR, 2007. *Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México*. Mexico: s.n.
- CAMPOS, L. E. C., TOMAZELLO, M., VIANA, L. C., TORRES, G. (1997). Uso de la densitometría de rayos x y de la espectroscopia en el infrarrojo cercano para predecir las propiedades tecnológicas de la madera en especies forestales. 7.
- GAITAN, J., MOYA, R. y BERROCAL, A., 2019. The use of X-ray densitometry to evaluate the wood density profile of *Tectona grandis* trees growing in fast-

- growth plantations. *Dendrochronologia*, vol. 55, pp. 71-79. ISSN 11257865. DOI 10.1016/j.dendro.2019.04.004.
- JACOBI, P., GIATTI, L., SILVA, R., CÔRTEZ, P., TURRA, A., LAUDA, Z. y MILZ, B., 2019. THREATENED AMAZON. *Ambiente & Sociedade*, vol. 22, pp. e0005. ISSN 1809-4422, 1414-753X. DOI 10.1590/1809-4422asoceditorialvu2019I3.
- JACQUIN, P., LONGUETAUD, F., LEBAN, J. y MOTHE, F., 2017. X-ray microdensitometry of wood: A review of existing principles and devices. *Dendrochronologia*, vol. 42, pp. 42-50. ISSN 11257865. DOI 10.1016/j.dendro.2017.01.004.
- LIMA, I., LONGUI, E., GARCIA, M., ZANATTO, A., FREITAS, M. y FLORSHEIM, S., 2011. Variação radial da densidade básica e dimensões celulares da madeira de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Kuntze em função da procedência. *CERNE*, vol. 17, no. 4, pp. 517-524.
- LOBÃO, M.S., COSTA, S., TOMAZELLO, M. y CAVALCANTE, A., 2008. Avaliação da qualidade do lenho de árvores de *apeiba tibourbou* aubl. (pente de macaco) malvaceae – densidade básica, contração volumétrica e anisotropia. , pp. 13.
- MARCELO-PEÑA, J., 2017. *Diversidade florística, dendrológica e dendroecologia em florestas estacionais decíduas do Centro e Norte do Peru*. Piracicaba - Brasil: Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- NÚÑEZ, I., GONZÁLEZ-GAUDIANO, É. y BARAHONA, A., 2003. La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, vol. 28, no. 7, pp. 387-393. ISSN 0378-1844.
- OLIVEIRA, B.R.U. de, LATORRACA, J.V. de F., TOMAZELLO FILHO, M., PALERMO, G.P. de M., CARVALHO, A.M. de y PASTRO, M.S., 2012. Microdensitometria de raios X aplicada na determinação da variação da densidade do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. [en línea], [Consulta: 5 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.sifloresta.ufv.br/handle/123456789/15882>.
- PAGOTTO, M., L., CARVALHO, A., NABAIS, C., M., RIBEIRO, A. y LISI, C., 2017. Evaluation of X-ray densitometry to identify tree-ring boundaries of two deciduous species from semi-arid forests in Brazil. *Dendrochronologia*, vol. 42, pp. 94-103. ISSN 11257865. DOI 10.1016/j.dendro.2017.01.007.
- PORTAL, L.A., FIGUEIREDO, J.V., CAMARGO, J.H., VIEIRA, G., OLIVEIRA, D., ALVES, L.M. y FIGUEIREDO, J., 2019. Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis*. *Colombia forestal*,

vol. 22, no. 1, pp. 17-26. ISSN 2256-201X, 0120-0739. DOI 10.14483/2256201X.13083.

R CORE TEAM, 2019. *R: A language and environment for statistical computing. R Founda- tion for Statistical Computing* [en línea]. Vienna: s.n. ISBN 3-900051-07-0. Disponible en: <http://www.R-project.org>.

ROQUE, B., LATORRACA, J., TOMAZELLO, M., PIRES, G., MONTEIRO, A. y PASTRO, M., 2012. Microdensitometria de Raios X Aplicada na Determinação da Variação da Densidade do Lenho de Árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. , vol. 40, no. 93, pp. 103-112.

ROQUETTE, J., LOBO, F. y CURADO, L., 2019. Dendroclimatologia na Amazônia: aplicações e potencialidades. *Ciência Florestal*, vol. 29, no. 1, pp. 451. ISSN 1980-5098, 0103-9954. DOI 10.5902/1980509831995.

ROSETO, J., 2009. *Dendrocronologia de árvores de mogno, Swietenia macrophylla King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru* [en línea]. São Paulo - Piracicaba: Universidade de São Paulo. Disponible en: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-18052009-165913/pt-br.php>.

SIBILLE, A., 2006. *Guía de Procesamiento Industrial Fabricación de Muebles con Maderas Poco Conocidas-LKS*. WWF Perú a través del Proyecto CEDEFOR. Lima - Perú: Primera.

TOMAZELLO, M., BRAZOLIN, S., CHAGAS, M.P., OLIVEIRA, J.T.S., BALLARIN, A.W. y BENJAMIN, C.A., 2008. Application of x-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. En: container-title: Maderas. Ciencia y tecnología, *Maderas. Ciencia y tecnología* [en línea], vol. 10, no. 2. [Consulta: 1 julio 2018]. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/S0718-221X2008000200006. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2008000200006&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

Tropicos.org. (2021). Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 26 Feb 2021 <<https://tropicos.org>>

VALENTE, B., EVANGELISTA, W., SILVA, J. y LUCIA, R., 2013. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. *Scientia Forestalis*, vol. 41, no. 100, pp. 485-496.

VAN, J., WERNERSSON, E., DIERICK, M., VAN, D., BERT MASSCHAELE, BRABANT, L., BOONE, M., VAN, L., HANECA, K., BRUN, A., LUENGO, C. y VAN, J., 2014. 3D tree-ring analysis using helical X-ray tomography.

Dendrochronologia, vol. 32, no. 1, pp. 39-46. ISSN 11257865. DOI 10.1016/j.dendro.2013.07.001.

Vieilledent, G., Fischer, F. J., Chave, J., Guibal, D., Langbour, P., & Gérard, J. (2018). New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database. *American Journal of Botany*, 105(10), 1653-1661. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1175>

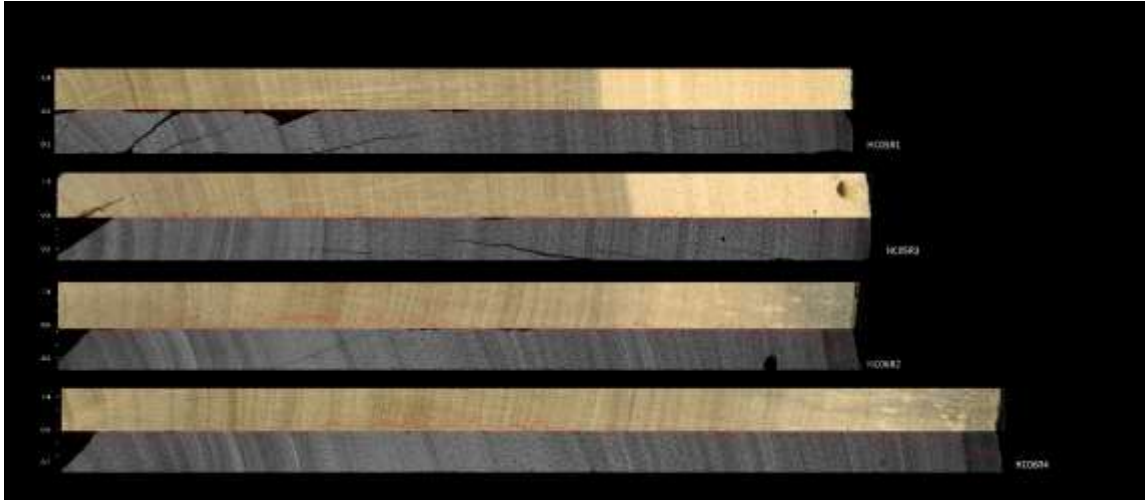
WOODCOCK, D.W. y SHIER, A.D., 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. *Trees*, vol. 16, no. 6, pp. 437-443. ISSN 09311890. DOI 10.1007/s00468-002-0173-7.

WWF-PANAMÁ, 2012. Maderas de Panamá. Woods of Panama. [en línea]. [Consulta: 7 marzo 2018]. Disponible en: http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/catalogo_maderas_de_panama_oct_24_2012.pdf.

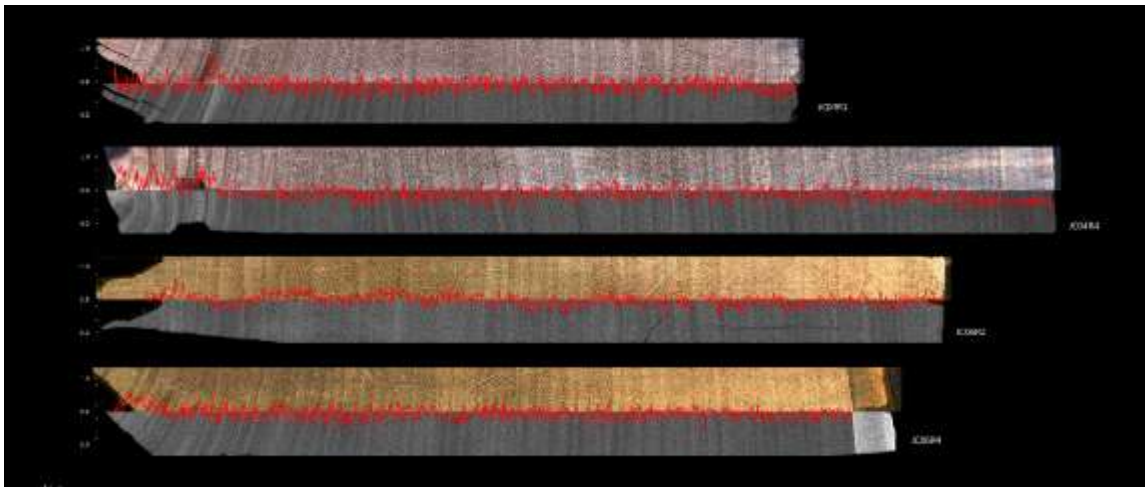
ZANNE, A.E., LOPEZ-GONZALEZ, G., COOMES, D.A., ILIC, J., JANSEN, S., LEWIS, S.L., MILLER, R.B., SWENSON, N.G., WIEMANN, M.C. y CHAVE, J., 2009. Global Wood Density Database. En: {itemType: dataset}, DOI Dryad. Identifier: <https://datadryad.org/handle/10255/dryad.235>. Dryad Digital Repository

ANEXOS

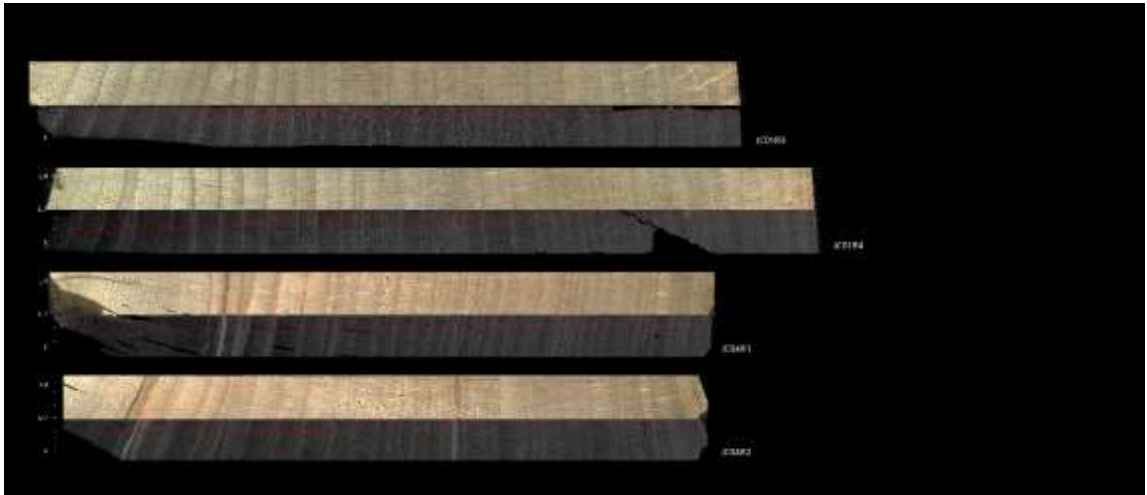
Anexo 01. Perfil radial de la densidad de rayos X de la especie *Hura crepitans*.



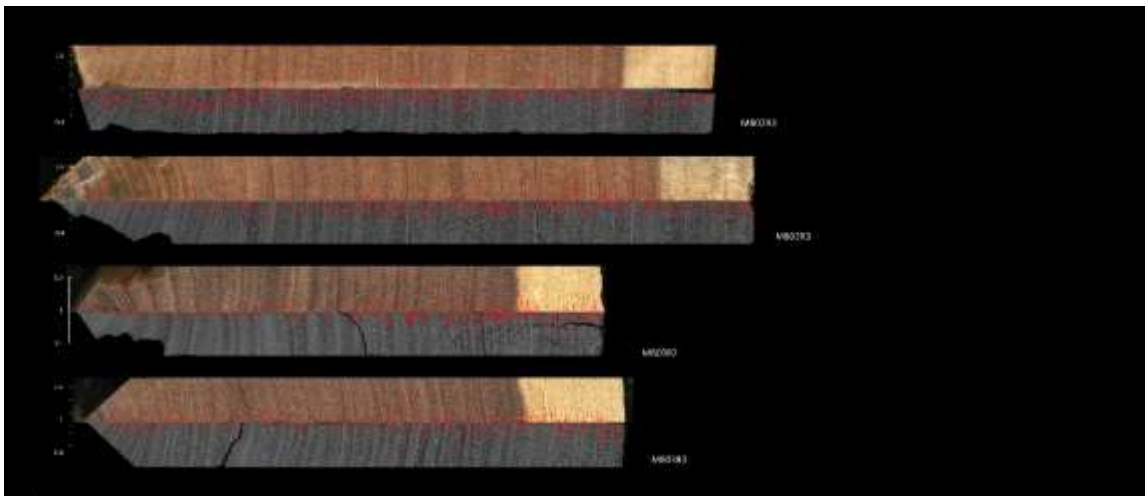
Anexo 02. Perfil radial de la densidad de rayos X de la especie *Drypetes* sp.



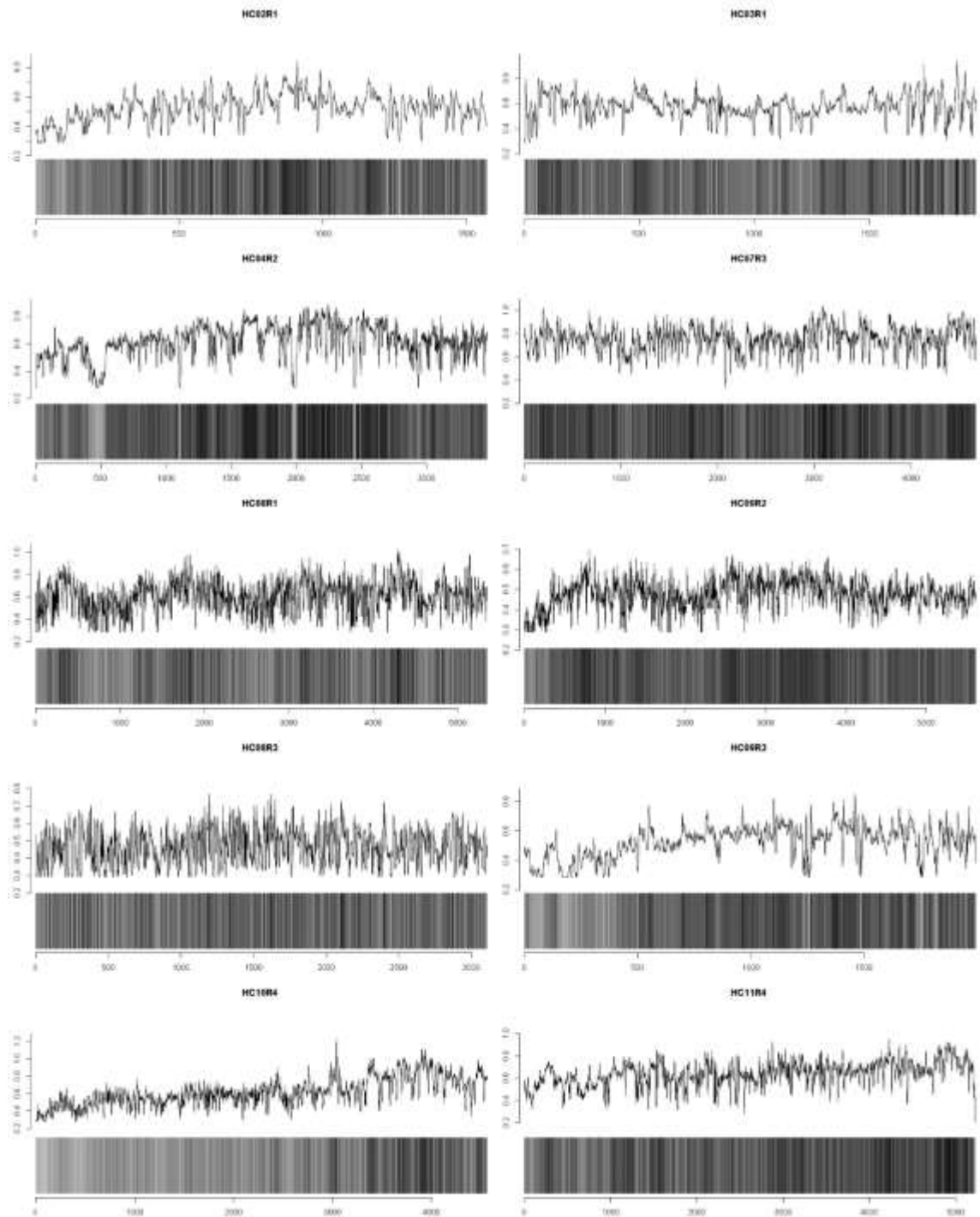
Anexo 03. Perfil radial de la densidad de rayos X de la especie *Jacaranda copaia*.



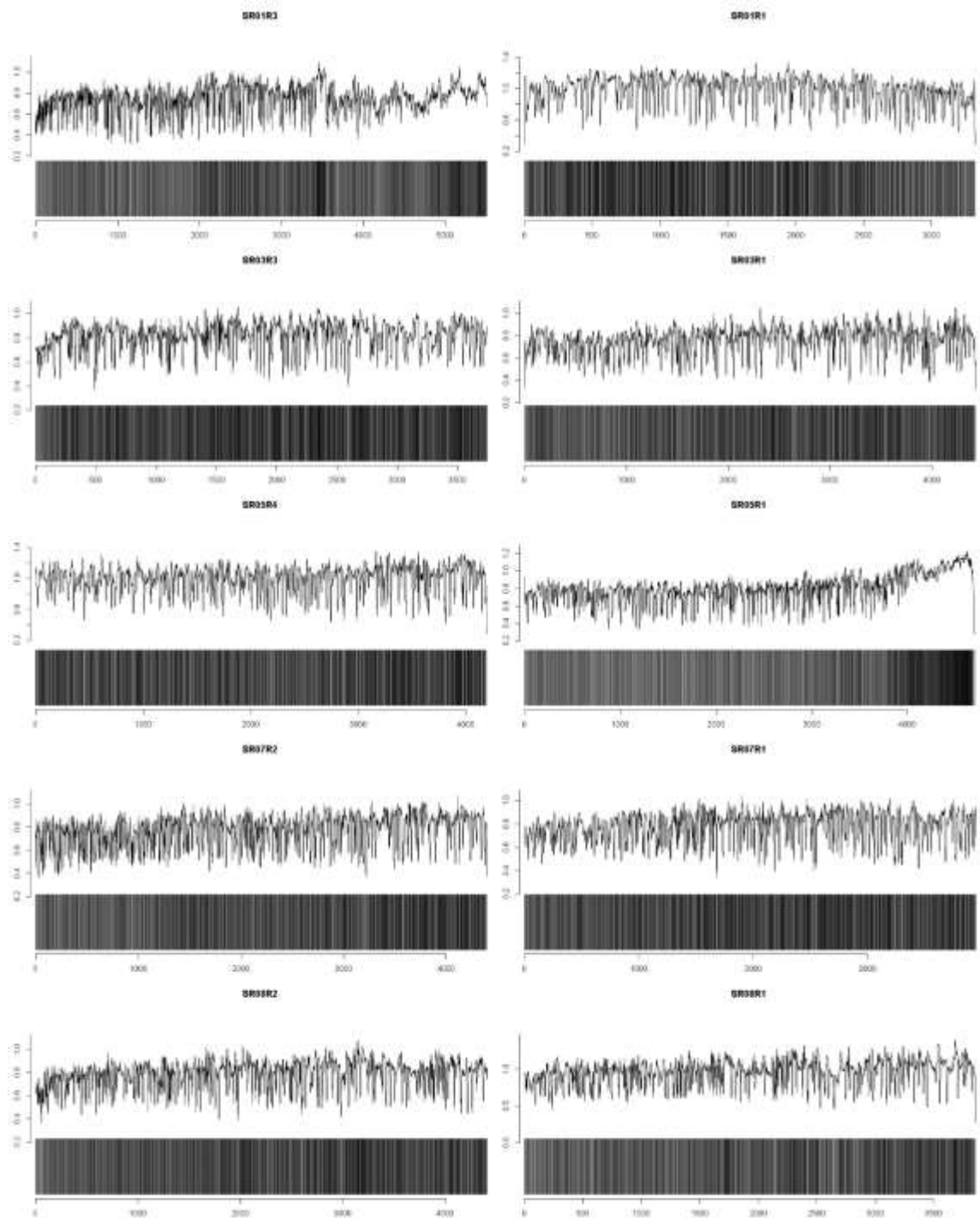
Anexo 04. Perfil radial de la densidad de rayos X de la especie *Myroxylon balsamum*.



Anexo 05. Gráficos generados por el paquete xRing del software RStudio, donde se muestran los perfiles radiales de la especie *Hura crepitans*.



Anexo 06. Gráficos generados por el paquete xRing del software RStudio, donde se muestran los perfiles radiales de la especie *Drypetes* sp.



Anexo 07. Matriz de consistencia

Proyecto de Tesis: “Variación radial de la densidad aparente de la madera de cuatro especies forestales, Madre de Dios - Perú”

| Problemas | Objetivos | Hipótesis | Metodología |
|--|--|---|---|
| <p>Problema Principal</p> <p>¿Cuál será la variación radial de la densidad aparente de las cuatro especies forestales de Madre de Dios?</p> <p>¿Estas variaciones radiales de densidad aparente de las cuatro especies si presentan será posibles explicarlas mediante su anatomía?</p> | <p>Objetivo General Determinar la variación radial de la densidad aparente de cuatro árboles comerciales a través de la microdensitometría de rayos X, Madre de Dios – Perú.</p> <p>Objetivos Específicos Determinar el perfil radial en dirección médula – corteza de cuatro especies forestales. Determinar la variación radial de las fibras en tres posiciones radiales de cuatro especies forestales. Explicar con la información anatómica la variación de la densidad aparente de las cuatro especies forestales.</p> | <p>Hipótesis Nula (H0):</p> <p>H0: No existe variación radial significativa de la densidad aparente en la dirección médula corteza de las cuatro especies forestales.</p> <p>Hipótesis Alterna (H1):</p> <p>H1: Existe variación radial significativa de la densidad aparente en la dirección médula corteza de las cuatro especies forestales.</p> | <p>Tipo de Investigación:</p> <p>El tipo de investigación que se realizará será básico – aplicado, porque busca determinar la microdensidad de cuatro especies forestales y responder porque su variación en dirección radial (corteza – médula), a través de su anatomía mediante la medición de los diferentes parámetros medibles de las fibras, lo cual contribuirá en el conocimiento tecnológico de las especies forestales del Perú.</p> <p>Metodología de la Investigación:</p> <p>En el presente proyecto de investigación se empleará el método descriptivo, el mismo que se complementará con el</p> |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>estadístico, análisis, síntesis, deductivo, inductivo entre otros .</p> <p>Diseño de la Investigación: El diseño de estudio que se plante para la presente investigación es de tipo “Diseño Cuantitativo”, porque los resultados serán objetivos ya que son independientes de cada especie. Además, se escoge este diseño porque se basa en la determinación microdensitométrico y los promedios de las mediciones de las fibras de las cuatro especies forestales.</p> <p>Población: La población, para la presente investigación son las especies de la empresa Corporación Forestal Tres Fronteras S.R.L, que se encuentran en la parcela de corte N°19 que son: <i>Jacaranda copaia</i> (34 árboles), <i>Hura crepitans</i> (48</p> |
|--|--|--|--|

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>árboles), <i>Myroxylon balsamum</i> (18) y <i>Drypetes sp</i> (36).</p> <p>Muestra: La muestra, para la presente investigación son 10 árboles de las especies: <i>Jacaranda copaia</i>, <i>Hura crepitans</i>, <i>Myroxylon balsamum</i> y <i>Drypetes sp</i>. Dichas cantidad fue determinada según investigaciones al respecto como (Oliveira et al. 2012; Chavesta et al. 2020) que colectaron 6 a 5 árboles por especie y por (Portal et al. 2019) que utilizó 11 árboles; en función a ello se trabajará con 10 árboles de cada especie seleccionada, entendiendo que se puede en el proceso descartar algún árbol.</p> <p>Técnica: La técnica que se empleará en el presente proyecto de investigación será destructiva, pues que se utilizará rodajas de madera de especies aprovechadas comercialmente.</p> |
|--|--|--|--|

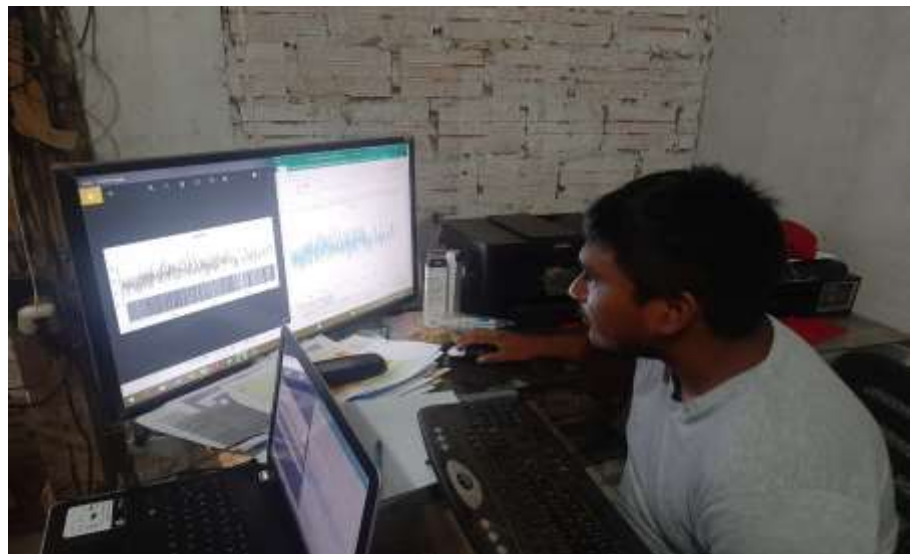
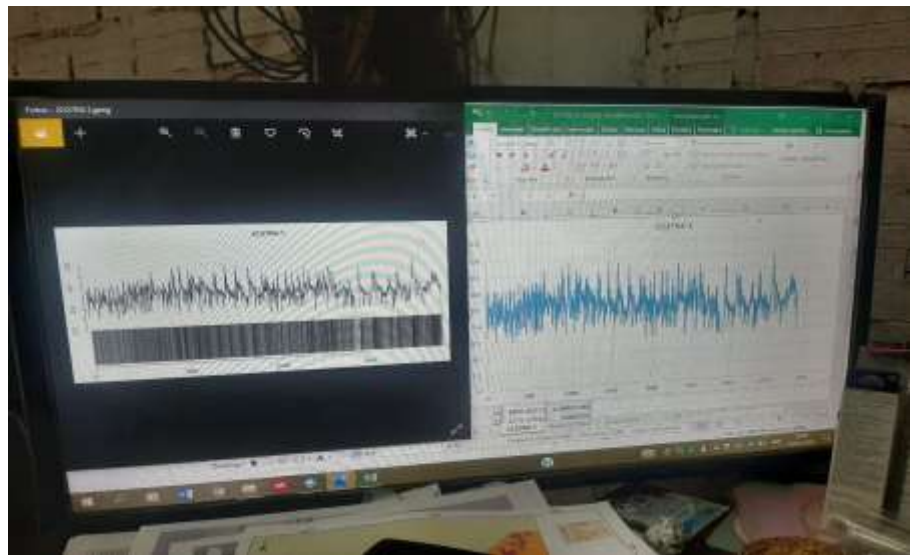
Anexo 08. Fotos de campo.

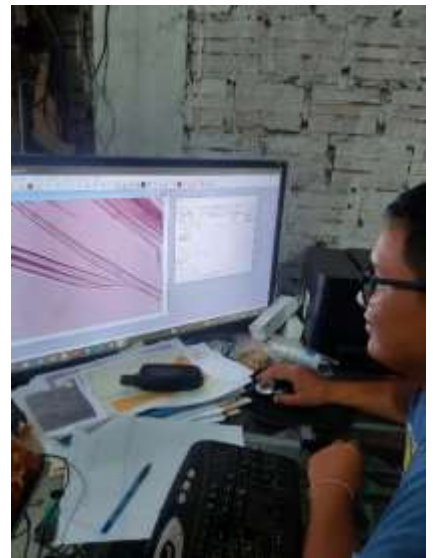


Anexo 09. Fotos del proceso de las planta de transformación



Anexo 09. Fotos de análisis de gabinete





Anexo 10. Constancia de determinación botánica UNALM



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
LABORATORIO DE DENDROLOGÍA Y HERBARIO



"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA

A solicitud del señor **German Carlos Payesa Tuesta**, egresado de la Facultad de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, se proporciona la identidad de los especímenes indicados.

La información proporcionada por el depositante sobre la muestra es:

Proyecto de Tesis : "Variación radial de la densidad aparente de la madera de Cuatro Especies Forestales en Madre de Dios-Perú".

Distrito : Iñapari
Provincia : Tahuamanu
Departamento : Madre de Dios
Colector : German Payesa & Erick Grandez

| NºCOL | NOMBRE CIENTÍFICO | NOMBRE COMÚN | FAMILIA |
|-------|---------------------------------|--------------------|----------------|
| 1 | Hura crepitans L. | "Catahua" | EUPORBIACEAE |
| 2 | Myroxylon balsamum (L.) Dañon | "Estoraque" | FABACEAE |
| 3 | Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don | "Achihua, malleon" | BIGNONIACEAE |
| 4 | Drypetes sp. | "Guacamayo Caspi" | PUTRANJIVACEAE |

Determinado por:

Carlos Reynel Rodríguez Ph. D.

Profesor Principal, Dpto. Académico de Manejo Forestal
Director del Laboratorio de Dendrología y
Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales (MOL).



La Molina, 25 de mayo del 2021