

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS
FORESTALES**



**“TURNO DE CORTA DE *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.
MEDIANTE DENDROCRONOLOGÍA EN UN BOSQUE
SECUNDARIO DE MADRE DE DIOS”**

**Presentada por:
MAURO VELA DA FONSECA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS
FORESTALES**

Lima – Perú

2023

TURNO DE CORTA DE Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. MEDIANTE DENDROCRONOLOGÍA EN UN BOSQUE SECUNDARIO DE MADRE DE DIOS

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

14%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 hdl.handle.net Internet Source 2%

2 repositorio.unamad.edu.pe Internet Source 1%

3 www.teses.usp.br Internet Source 1%

4 doku.pub Internet Source 1%

5 orcid.org Internet Source 1%

6 www.slideshare.net Internet Source 1%

7 www.delta-intkey.com Internet Source <1%

8 www.dspace.espol.edu.ec Internet Source <1%

periodicoscientificos.ufmt.br

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN BOSQUES Y GESTIÓN DE RECURSOS
FORESTALES**

**“TURNO DE CORTA DE *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.
MEDIANTE DENDROCRONOLOGÍA EN UN BOSQUE
SECUNDARIO DE MADRE DE DIOS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

MAURO VELA DA FONSECA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado

Dr. Gilberto Domínguez Torrejón
PRESIDENTE

Dra. María Isabel Manta Nolasco
ASESORA

Dr. Manuel Chavesta Custodio
CO-ASESOR

Mg.Bot. Mercedes Flores Pimentel
MIEMBRO

Mg.Sc. Víctor Barrena Arroyo
MIEMBRO

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres: Guillermo y Adelina,

por la orientación recibida y a mis hijos

Miguel Ángel y Cinthia Emily.

AGRADECIMIENTO

A mi Asesora la Dra. María Manta Nolasco y co-Asesor Dr. Manuel Chavesta Custodio, por ser el guía en la elaboración de esta tesis de maestría, gracias a su amplio conocimiento en los trabajos de campo y gabinete.

A mis colaboradores que estuvieron presentes con el apoyo en el momento necesario, que son mis colegas de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Dr. Gabriel Alarcón Aguirre, Dr. Leif Armando Portal Cahuana, Dr. Percy Amílcar Zevallos Pollito.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Antecedentes de estudios dendrocronológicos y de crecimiento	3
2.2 Los recursos forestales de la Región Madre de Dios.....	8
2.3 Bosques degradados en Madre de Dios.....	9
2.4 Bosques secundarios en Madre de Dios	9
2.5 Características de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	13
2.6 Aspectos silviculturales y manejo forestal de <i>Ochroma pyramidale</i>	16
2.7 Turno técnico de corta o aprovechamiento, turno económico y turno silvicultural.....	17
2.8 La dendrocronología.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 Área de estudio.....	22
3.2 Instrumentos y equipos.....	23
3.2.1 Materiales de colecta de campo	23
3.2.1 Materiales de laboratorio y procesamiento de las muestras	24
3.2.2 Materiales de escritorio	24
3.3 Muestreo	25
3.3.1 Selección, extracción y colecta de muestras de madera.....	25
3.3.2 Caracterización de los anillos de crecimiento del leño de los árboles	27
3.3.3 Análisis climático de los anillos de crecimiento.....	30
3.2.4 Incremento en diámetro de la especie.....	30
3.2.5 Modelos de crecimiento	31
3.2.6 Determinación del turno técnico de corta de máxima producción	32

3.2.7	Determinación de la edad del DMC legal establecido para <i>Ochroma pyramidale</i>	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		34
4.1	Formación y anualidad de los anillos de crecimiento de <i>O. pyramidale</i>	34
4.2	Características macroscópica y microscópicamente la madera de <i>O. pyramidale</i>	37
4.3	Relación entre la variación del crecimiento dimétrico, la precipitación y la temperatura	41
4.4	Crecimiento diamétrico de <i>O. pyramidale</i>	44
4.5	Ecuaciones de crecimiento de <i>O. pyramidale</i>	45
4.6	Turno técnico de corta de máxima producción de <i>O. pyramidale</i>	46
4.7	La edad de corte referida al diámetro mínimo de corte (DMC) legal de <i>O. pyramidale</i>	49
V. CONCLUSIONES		52
VI. RECOMENDACIONES		53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		54
VIII. ANEXOS		72

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1: Estudios dendrocronológicos en el Perú.	4
Tabla 2: Control de calidad de la datación cruzada de los anillos de crecimiento de los árboles de <i>O. pyramidale</i>	35
Tabla 3: Resultados estadísticos de la datación y estandarización de la cronología de <i>O. pyramidale</i>	36
Tabla 4: Edad de los árboles y diámetros medido en campo.....	37
Tabla 5: Ficha Biométrica de <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.....	40
Tabla 6: Incrementos dimétricos de árboles de <i>O. pyramidale</i> en relación a la edad.	44
Tabla 7: Coeficientes de variación de los parámetros en el ajuste y criterios de selección de cinco modelos de crecimiento no lineales de <i>Ochroma pyramidale</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1: Áreas degradadas en la región de Madre de Dios. A y B) se muestran áreas degradadas al margen derecho de la carretera Interoceánica Sur Km 108. C, D y E) Socavones y cascajo producto del aprovechamiento del oro, dejando destruido los bosques.....	12
Figura 2: <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.: distribución geográfica en América Latina. (Tomado de Francis 1991).....	16
Figura 3: A) Ubicación del área de estudio, sector Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Laberinto, provincia de Tambopata, Madre de Dios – Perú.....	23
Figura 4: Fase de campo. A) Área de estudio. B) Obtención de los datos dasométricos y coordenadas. C) Trozado de los árboles. D) Obtención de las rodajas de madera.....	26
Figura 5: Rodajas de <i>Ochroma pyramidale</i> . A) Medición de los anillos de crecimiento del árbol 03. B) Software de medición Image-Pro Plus (2000). C) Rodaja del árbol 03 con marcaciones de los puntos cardinales.....	28
Figura 6: Programas utilizados en la sincronización y construcción de la cronología de crecimiento de <i>Ochroma pyramidale</i> . A) Software COFECHA (1986). B) Salida del software COFECHA. C) Software ARSTAN. D) Salida del software ARSTAN.	29
Figura 7: Serie cronológica master estandarizado y el número de muestras de los árboles de <i>O. pyramidale</i>	36
Figura 8: Rodaja de la madera de <i>Ochroma pyramidale</i> , escaneada a una resolución de 1200 dpi.	38
Figura 9: Fotografías macroscópicas y microscópicas de <i>Ochroma pyramidale</i> . A) Sección transversal macroscópica, mostrando la delimitación de los anillos de crecimiento de la especie. B) y C) Sección tangencial y radial macroscópica. C) Sección radial macroscópica. D), E) y F) Secciones microscópicas: transversal, tangencial y radial. Secciones microscópicas transversal y tangencial con aumento de 10x y la sección radial microscópica con aumento de 40x.....	41
Figura 10: Sensibilidad climatológica de <i>O. pyramidale</i> a la temperatura máxima mensual y la precipitación mensual. (*) denota significancia a 0.05.....	42

Figura 11: Curvas de crecimiento y Modelo I para la especie <i>Ochroma pyramidale</i> , en base a los modelos de crecimiento de Schumacher.	47
Figura 12: Turno técnico de máxima producción determinada por las curvas del incremento corriente anual-ICA y el incremento medio anual-IMA para <i>Ochroma pyramidale</i>	48
Figura 13: Edad mínima de corte considerando DMC establecido por la legislación Forestal y de Fauna Silvestre para la especie <i>Ochroma pyramidale</i>	49

ÍNDICE DE ANEXOS

	Páginas
Anexo 1: Rodajas escaneadas de topa a 1200 dpi.	72
Anexo 2: Datos organizados para el procesamiento estadístico.....	73
Anexo 3: Datos de las mediciones anatómicas.....	76
Anexo 4: Panel fotográfico.....	80
Anexo 5: Coordenadas UTM de la ubicación de los árboles.....	82
Anexo 6: Certificado de identificación botánica, en el cuadro siguiente se consideran las especies encontradas con las que crece la <i>O. pyramidale</i> en el área de estudio..	83

RESUMEN

Los bosques secundarios tropicales del Perú son ecosistemas forestales de gran importancia. Aunque están generalmente degradados, perturbados, muy amenazados, y estudiados inadecuadamente, estos bosques se regeneran naturalmente y pueden ser productivos. Entender el crecimiento de las especies forestales en ambientes perturbados, así como el turno de corta es de suma importancia para la ordenación y el aprovechamiento forestal de los bosques secundarios dominados por *Ochroma pyramidale*, así como para la conservación de la especie y la generación de actividades comerciales. El objetivo principal del estudio fue determinar el turno de aprovechamiento de la madera de árboles de *Ochroma pyramidale* que crecen en bosques Amazónicos secundarios degradados de Madre de Dios mediante técnicas dendrocronológicas, para ello se usó la técnica dendrocronológica para determinar la edad de los árboles de *Ochroma pyramidale*. Los resultados permiten afirmar que la especie marca anillos de crecimiento, la tasa de crecimiento anual de la especie *O. pyramidale* en Madre de Dios es 1.1 cm/año-1. Con la aplicación de los modelos de crecimiento diamétrico, se determinó que la edad del turno técnico de corta de máxima producción es 12 años y la edad del turno técnico de corta de máxima producción media es 6 años, lo cual resulta sorprendente. De manera que el turno técnico de la especie en áreas degradadas, permitiría decidir sobre el aprovechamiento racional de la especie y tomar decisiones técnicas –administrativas sobre el Diámetro Mínimo de Corta (DMC) establecido por el estado peruano.

Palabras claves: Anillos de crecimiento, crecimiento radial, dendrocronología, edad, diámetro mínimo de corta, turno.

ABSTRACT

The tropical secondary forests of Peru are forest ecosystems of great importance. Although generally degraded, disturbed, highly threatened, and inadequately studied, these naturally regenerating forests can still be productive. Understanding the growth of forest species in disturbed environments, as well as the felling shift, is of the utmost importance for the management and exploitation of secondary forests dominated by *Ochroma pyramidale*, as well as for the conservation of the species and the generation of commercial activities. The main objective of the study was to determine the timber harvesting shift of *Ochroma pyramidale* trees growing in degraded secondary Amazonian forests of Madre de Dios, using dendrochronological techniques to determine the age of *Ochroma pyramidale* trees. The results allow us to affirm that the annual growth rate of the species *O. pyramidale* in Madre de Dios is 1.1 cm/year⁻¹. With the application of the diameter growth models, it was determined that the age of the technical felling shift with maximum production is 12 years and the age of the technical felling shift with maximum average production is 6 years, which is surprising. So that the technical turn of the species in degraded areas, would allow deciding on the rational use of the species and making technical-administrative decisions on the Minimum Cutting Diameter (MCD) established by the Peruvian state.

Key words: Growth rings, radial growth, dendrochronology, age, minimum cut diameter, shift.

I. INTRODUCCIÓN

Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb, conocida como Topa o Palo Balsa; es una especie pionera del bosque húmedo tropical que alcanza de 10 a 30 m de altura y hasta 100 cm de DAP en bosques primarios (Francis 1991). Cuando se hacen claros en el bosque primario, la regeneración natural de la Topa es impresionante, creando así el inicio de la etapa sucesional y dando condiciones para que entren otras especies y puedan progresar allí (Dezzeo 2014). Esta especie presenta gran potencial maderable y de importancia en la recuperación de áreas degradadas, pues es común encontrarla en áreas intervenidas (Flores *et al.* 2020, Jiménez-Romero *et al.* 2017, Marichal *et al.* 2017, Nóbrega *et al.* 2017, Thomaz *et al.* 2020).

Ecuador es uno de los principales países productores y comercializadores de esta madera, ya que la zona ecuatorial presenta condiciones geográficas y climáticas óptimas para su desarrollo (Briones 2020, Núñez *et al.* 2018, Osorio *et al.* 2010); además es de importancia en otros países sudamericanos como Bolivia, Brasil, Colombia y Perú (Herrera *et al.* 2018). Los costos variables promedios de una hectárea de *O. pyramidale* son de 1845.43 dólares, mientras que los costos fijos promedios ascienden a 631.63 dólares, siendo el costo total de producción promedio de 2477.06 dólares; con producciones promedios de 150 m³ ha, a un precio de venta promedio de 40.00 dólares/m³, lo que permite obtener ingresos brutos de 6000.00 dólares por ha, dando como utilidad 3522.94 dólares y una relación Beneficio Costo de 1.42 dólares (González *et al.* 2018, Marín *et al.* 2018, Núñez *et al.* 2018, Osorio *et al.* 2010).

Es una especie ampliamente utilizada en la fabricación de aviones, barcos, cascos y cubiertas de lanchas a motor de gran velocidad y aeromodelismo más avanzados del mundo (Jiménez-Romero *et al.* 2017, Villacís 2012). También es fuente de materia prima para la fabricación de tanques para químicos, tinas de baño, paletas para generadores eólicos de electricidad, botes, maquetas arquitectónicas, partes y aviones en el aeromodelismo y láminas (Coello 2015, Villacís 2012).

O. pyramidale tiene posibilidad de estar apta para la producción de madera a los 10 años, además su manejo forestal, según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-

IIAP, se pronostica en 20 años, lo que demuestra el gran potencial de esta especie, en el proceso de restauración del bosque, concepto clave que implica remediación y recuperación de paisaje (González *et al.* 2018, Lascano 2021).

Los principales factores para que los criterios de manejo no hayan tenido un éxito similar a lo esperado, se atribuyen principalmente a la falta de información sobre las tasas de crecimiento. En este contexto, la dendrocronología permite obtener información diamétrica valiosa considerable a largo plazo (Sierra 2020). Esta ciencia, permite recuperar datos en cualquier etapa de la vida de los árboles, mediante métodos destructivos y no destructivos, lo que demuestra su versatilidad y aplicabilidad, siempre y cuando la especie desarrolle anillos de crecimiento (Escalante *et al.* 2020).

Los individuos de *O. pyramidale* localizados en la región de Madre de Dios-Perú; Acre-Brasil y Pando-Bolivia (MAP) forman anillos, caracterizados por un pequeño aumento de la frecuencia de vasos de menor diámetro, asimismo, es marcado por una serie de filas fibrosas con diámetros radiales cortos y paredes secundarias espesas (Mariño 2020); situación semejante fue reportada por otros investigadores (Caballero 2018, Jara 2021), en la que indica que los anillos de esta especie no son definidos abiertamente, no obstante, la delimitación es clara, cuando son señalados el leño temprano y tardío; a partir de estos los anillos se definen.

En vista que *O. pyramidale* tiene gran potencial ecológico y comercial, una limitante es la escasa información sobre tasas de crecimiento en áreas deforestadas, bosques secundarios degradados por la agricultura y suelos degradados por la minería de oro en Madre de Dios, en ese sentido, la investigación busca demostrar la formación de anillos de crecimiento, caracterización macroscópica y microscópica, determinar, determinar el turno de corta y tasas de crecimiento mediante técnicas dendrocronológicas considerando la variación climática.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DENDROCRONOLÓGICOS Y DE CRECIMIENTO

Según los registros bibliográficos en el Perú, la dendrocronología fue iniciada por Schwyzer, 1988 en la Amazonía peruana con el análisis de las especies de *Myrciaria dubia*, *Chorisia sp.* *Amburana cearensis* y *Cedrela sp.* En el Noroeste del Perú, la Universidad de Piura (1987) fue la pionera en trabajar con especies del bosque ecuatorial estacionalmente seco-BEES como *Capparis angulata*, *Bursera graveolens* y *Loxopterygium huasango*, caracterizando su crecimiento mediante sus anillos (Flores 1994, Martínez 2002).

Rodríguez *et al.* (2005) caracterizaron los anillos de crecimiento de *Bursera graveolens* y *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth obteniendo elevadas correlaciones con los eventos del Fenómeno El Niño (López *et al.* 2005). Becerra (2011), Becerra y Zevallos (2014) estudiaron el turno silvicultural, en función de la dendrocronología en las especies *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger. Igualmente, Rosero-Alvarado (2009) realizó dicho análisis en árboles de *Swietenia macrophylla* King de la selva sub-tropical amazónica del Perú.

En la Tabla 1, se presentan investigaciones realizadas en temas de dendrocronología en el Perú.

Tabla 1: Estudios dendrocronológicos en el Perú

Autor (Año)	Especie estudiada	Lugar de colecta	Tipo de Investigación
Schwyzzer (1988)	<i>Myrciaria dubia</i> , <i>Chorisia</i> sp. <i>Amburana cearensis</i> y <i>Cedrela</i> sp.	Loreto	Artículo científico
Flores (1994)	<i>Bursera graveolens</i>	Piura	Tesis de grado
Martínez (2002)	<i>Loxopterygium huasango</i>	Piura	Tesis de grado
Rodríguez <i>et al.</i> (2005)	<i>Bursera graveolens</i> y <i>Prosopis pallida</i>	Piura	Artículo científico
Becerra (2010)	<i>Cedrela odorata</i> , <i>Retrophyllum rospigliosii</i> , <i>Prumnopitys harmsiana</i> ,	Cajamarca	Tesis de Maestría
Rosero (2009)	<i>Swietenia macrophylla</i>	Madre de Dios	Tesis de Maestría
Campo (2009)	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Madre de Dios	Tesis de Maestría
Huaman (2011)	<i>Hymenaea coubaril</i>	Madre de Dios	Tesis de Maestría
Schipper (2011)	<i>Cedrela odorata</i>	Madre de Dios	Tesis de Maestría
Lazo (2017)	<i>Prosopis limensis</i>	Lambayeque	Tesis de Maestría
Portal (2017)	<i>Amburana cearensis</i> , <i>Apuleia leiocarpa</i> , <i>Myroxylon balsamum</i> , <i>Hymenaea oblongifolia</i> y <i>Dipteryx odorata</i>	Madre de Dios	Tesis de Maestría
Portal <i>et al.</i> (2020)	<i>Jacaranda copaia</i>	Madre de Dios	Artículo científico

Fuente: Elaboración propia.

En relación al crecimiento de árboles Condit *et al.* (1993) detecto las historias de crecimiento de por vida de 160 especies a partir de los datos recopilados en una parcela censal permanente de 50 ha en el bosque húmedo tropical de Panamá. La mayoría de las 160 especies nunca se habían estudiado en detalle antes, y las especies recién encontradas con crecimiento rápido podrían proporcionar mejores técnicas para reforestar suelos degradados en América Central. Para estimar el crecimiento durante la vida, se ajustaron regresiones polinomiales a las tasas de crecimiento instantáneo expresadas como una función del diámetro transformado logarítmicamente a la altura del pecho (DAP). Estas funciones representan una ecuación

diferencial en DAP, y las soluciones explícitas para las ecuaciones proporcionaron trayectorias en DAP en función de la edad (comenzando en 1 cm DAP, que fue el tamaño más pequeño incluido en el censo). Se calcularon las trayectorias del DAP para 160 especies, y se presentan datos de crecimiento completo para las 28 especies que se clasificaron entre las 15 más rápidas en alcanzar un DAP de 10, 30 o 60 cm. Las trayectorias del DAP basadas en el crecimiento de una desviación estándar por encima de la media también se estimaron para estas especies ajustando una regresión polinomial a los residuos alrededor de la regresión original. El árbol de más rápido crecimiento en la parcela de 50 ha fue la balsa, *O. pyramidale*, que alcanzó 10 cm en 5 años y 30 cm en 10 años. Por lo que, se recomienda que la especie sea sometida a pruebas adicionales en ensayos de reforestación (Condit *et al.* 1993).

Según Guimarães *et al.* (2018) el crecimiento de un árbol o plantación forestal se ve afectado por el suministro de recursos (luz, agua y nutrientes), la fracción de recursos adquiridos y la eficiencia en el uso de los mismos 15 meses después de la siembra. Las especies exhibieron diferentes estrategias de establecimiento según lo indicado por el desempeño del rasgo funcional de la hoja, *O. pyramidale*, *Trattinnickia rhoifolia* y *Ceiba pentandra* son especies de uso eficiente de los recursos, tienen altas tasas de fotosíntesis saturadas de luz y son tolerantes al estrés por irradiación alta, las especies con mejor desempeño durante el establecimiento inicial puede mejorar el diseño de plantaciones mixtas en áreas perturbadas. Además, la selección de las características más correlacionadas con el rendimiento del crecimiento puede ser más informativa para el seguimiento de la reforestación; en consecuencia, se pueden adoptar intervenciones silvícolas previas antes de la reducción de las tasas de crecimiento y supervivencia.

Albeiro-Junior *et al.* (2019), evaluaron la influencia temporal del efecto de borde en la dinámica de crecimiento de *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke por análisis de anillos de árboles basado en incrementos de área basal y eventos de liberación. Esta especie es una de las especies arbóreas más frecuentes del tipo de bosque de tierra firme en la Amazonía central de Fragmentos Forestales, los resultados mostraron que los efectos de borde cambiaron la dinámica de crecimiento de los árboles durante al menos 10 años después de la perturbación, lo que indujo una reducción del 18 por ciento en el crecimiento de los árboles durante este período y registró un aumento de los eventos de liberación o raleo. Concluyen que los anillos de crecimiento de los árboles de borde son bioindicadores valiosos para evaluar la extensión temporal de los efectos de borde y, por lo tanto, deben considerarse como indicadores

ecológicos relevantes de los cambios ambientales históricos y la fragmentación forestal, lo que promueve nuevos conocimientos sobre la capacidad de resiliencia de los árboles cuando son expuestos a procesos de fragmentación forestal.

Godoy-Veiga *et al.* (2019), mencionan que la gran diversidad de características anatómicas de la madera que se encuentran en los árboles en todo el mundo da como resultado una amplia variedad de tipos de límites de anillos de crecimiento que no siempre son fáciles de reconocer, especialmente en las maderas tropicales. Sin embargo, la presencia de límites claramente visibles entre los anillos de los árboles es esencial para cualquier estudio de los anillos de los árboles. Se propone el uso de la autofluorescencia de la madera para mejorar la visualización de los anillos de los árboles, la luz multiespectral emitida por el microscopio estereoscópico de fluorescencia se puede filtrar en longitudes de onda específicas para mejorar la visualización de las características anatómicas de la madera. Se probó en un conjunto de 38 especies de árboles con diferentes tipos de límites de anillos de crecimiento. Aunque los resultados son específicos de la especie, se ha demostrado que la fluorescencia mejora la visualización de los límites de los anillos de crecimiento al mejorar el contraste entre los tipos de células. Los científicos que luchan con el conteo de anillos de árboles y la datación cruzada debido a la dificultad de visualización de los anillos de árboles pueden encontrar útil la fluorescencia. También puede ayudar a identificar nuevas especies adecuadas para estudios de anillos de árboles, para futuras investigaciones con anillos de crecimiento con *O. pyramidale* sería importante utilizar esta técnica moderna.

Wang *et al.* (2019), evaluaron las características macroscópicas y las estructuras microscópicas de estas muestras de madera de balsa natural, aerogel de madera y aerogel de madera/compuesto PDMS, lo que confirma que la madera de balsa natural amarillenta se vuelve blanco marfil después de la deslignificación, y los colores del aerogel y aerogel/compuesto de PDMS casi permanece sin cambios después de la funcionalización hidrófoba. Para caracterizar las morfologías microscópicas y las estructuras de la balsa natural, el aerogel de madera y el compuesto de aerogel de madera/PDMS, se utilizó un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo, la madera de balsa natural exhibió una estructura porosa con un diámetro de luz celular de 30-50 μm en la sección transversal. Después de la eliminación de la lignina y la hemicelulosa, se conservó la estructura microscópica de la pared celular en forma de panal. Sin embargo, aparecieron poros a microescala en la laminilla media (LM) y en las esquinas de la pared celular. Se produjeron poros a nanoescala entre las

nanofibras de celulosa debido a la eliminación parcial de hemicelulosa y lignina, lo que resultó en un aumento de la porosidad de aproximadamente un 5.3 por ciento. La porosidad total del aerogel de madera es del 96.7 por ciento. El contenido de lignina se redujo del 24.9 por ciento para la madera de balsa natural al 6.2 por ciento para el aerogel de madera, y el contenido de hemicelulosa se redujo en un 10.1 por ciento. El contenido relativo de celulosa aumentó del 48.6 por ciento al 78.6 por ciento para el aerogel de madera. Mientras tanto, la densidad disminuyó de 135.2 mg/cm³ para la madera de balsa natural a 52.4 mg/cm³ para el aerogel.

Por otro lado, Richter y Dallwitz (2000) determinaron las siguientes características; a) Distribución geográfica: México y Centroamérica, Caribe, Sudamérica tropical (cultivada en África y Asia), b) Característica general: duramen básicamente blanco o de gris a marrón (nunca de color oscuro). Color de la albura similar al color del duramen. Densidad 0,1–0,2(–0,4) g/cm³, c) Vasos: madera porosa difusa. Vasos en múltiplos, comúnmente en filas radiales cortas (2–3 vasos). Diámetro medio del vaso tangencial 130–215–260 µm. Número medio de vasos/mm² 1–2. Placas de perforación simples. Los hoyos entre vasos se alternan, diámetro promedio (vertical) de 7 a 9 µm. Fosas de rayos de vasos con bordes reducidos o aparentemente simples, redondeados o angulares, d) Traqueidas y fibras: de paredes muy finas. Longitud media de fibra 1690–2170–3600 µm. Huecos de fibra comunes tanto en paredes radiales como tangenciales, e) Parénquima axial: Parénquima axial apotraqueal. Parénquima axial apotraqueal difuso y difuso en agregados. Parénquima axial paratraqueal escaso a vasicéntrico. Parénquima axial fusiforme y en forma de hebras. Número medio de células por hebra: 2–4(–8), e) Rayos: 2–4 radios por mm tangencial, multiseriados, (1–)3–7(–10) células de ancho. Radios compuestos por dos o más tipos de células (heterocelulares). Radios heterocelulares con celdas cuadradas y verticales restringidas a filas marginales, principalmente 1 fila marginal de celdas verticales o cuadradas o principalmente 2 a 4 filas marginales de celdas verticales o cuadradas (principalmente 1 a 2 filas marginales). Células de la vaina presentes. Células de mosaico presentes (solo células más altas que las células procumbentes= tipo 'Pterospermum'), f) Inclusiones minerales: Cristales extremadamente raros presentes, drusas, localizados en células de los radios. Las drusas se observaron solo esporádicamente, pero se mencionan con frecuencia en la literatura. Sílice no observada.

Finalmente Armijos (2019) evaluó la anatómica de 50 especies forestales en el sur del Ecuador, en cuanto a *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) (Balsa) los anillos de crecimiento poco

visibles o ausentes, anillos con poros difusos, vasos en patrones radiales o diagonales, vasos exclusivamente solitarios (90 por ciento o más), parénquima axial difuso en agregados, cuatro células por hebra de parénquima, radios comúnmente de 4 a 10 series, y todas las células procumbentes.

2.2 LOS RECURSOS FORESTALES DE LA REGIÓN MADRE DE DIOS

La Región Madre de Dios está situada en la zona sur-oriental del Perú limita por el Norte con la Región Ucayali y el Brasil, por el Este con Bolivia, por el Sur con Puno y por el Oeste con Cuzco. De localización estratégica, al tener la calidad de región bifronteriza con regiones de dos países, como es Brasil y Bolivia (Alarcon *et al.* 2021, León 2014). Es una de las regiones peruanas que presenta un gran potencial de recursos forestales maderables y no maderables, hídricos e hidrobiológicos, mineros y de energía fósil, fuera de ser considerada con una amplia biodiversidad con un gran futuro sustentable (GOREMAD y IIAP 2009).

Según el mapeo y evaluación forestal del bosque de producción (Kometter 2003) y la Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios (GOREMAD y IIAP 2009) se clasifica en Bosque de Terraza Baja, Bosque de Terraza Alta, Bosque de Terraza disectada (I y II), Bosque de Colina Baja (I y II), Bosque de Colinas Altas. *Ochroma pyramidale* es una especie pionera, típica de bosques secundarios naturales, se encuentra principalmente en elevaciones bajas, en suelos profundos junto a corrientes de agua; crece fácilmente en claros, bosques talados y taludes de caminos, se reporta en las regiones tropicales y subtropicales, en bosques pluviales, dependiendo de las condiciones del sitio, por lo que, es común encontrarlo en Bosque de Terraza Baja y bosque de Terraza disectada (GOREMAD y IIAP 2009, Kometter 2003).

No obstante, existe una percepción relevante en Madre de Dios sobre la grave amenaza que la minería aurífera descontrolada y contaminante representa en la biodiversidad, el capital humano, las inversiones y en general para el futuro de la Región (Forero y Gómez 2021, Merediz 2017). La fertilidad de los suelos ha sido severamente impactada, lo cual supone limitaciones para la recuperación natural del bosque en las áreas de Madre de Dios (Alarcon *et al.* 2021, Caballero 2018, Velásquez 2017).

Respecto a la sucesión forestal y la posibilidad de la restauración ecológica en las áreas degradadas por minería ilegal existe la posibilidad que sean recuperados, aprovechando la

capacidad y la resiliencia de las especies pioneras en áreas mucho más degradadas de lo que se piensa, siendo ellas *O. pyramidale* y *Cecropia peltata* L. entre las más importantes (Garate-Quispe *et al.* 2021, Román-Dañobeytia *et al.* 2015, Michí y Ibarra 2015, Román-Dañobeytia *et al.* 2021).

2.3 BOSQUES DEGRADADOS EN MADRE DE DIOS

La minería artesanal en el Perú es una actividad que toma gran impulso, con gran informalidad en Madre de Dios, a partir de la década del 80, en un contexto de recesión económica, crisis del campo, violencia política generada por el terrorismo, determinó procesos migratorios, principalmente a zonas con filiación aurífera, dado los altos precios alcanzados por este metal; lo que explica que un elevado porcentaje de esta actividad está orientado a la explotación de yacimientos auríferos aluviales, al promulgarse a comienzos del año 2002, la Ley N° 27651-“Ley de formalización y promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” y, posteriormente, su respectivo reglamento -D.S. 013-2002-E.M- se creó el marco jurídico perfectible para el reconocimiento oficial de la minería artesanal/ informal e incluso hasta para definirla, dado que anteriormente se tenía que recurrir en “préstamo” a la definición que sobre esta actividad había adoptado el Banco Mundial (“Tipo más primario de minería, caracterizado por individuos o grupos de individuos que explotan depósitos en pequeña escala con métodos manuales o equipos muy simples”) y obviamente se han creado también las condiciones básicas para aspirar a la integración de la minería artesanal/ informal en el sector de la economía formal (Figura 3) (Brack *et al.* 2011).

2.4 BOSQUES SECUNDARIOS EN MADRE DE DIOS

Múltiples servicios ofrecen los bosques secundarios representando una estrategia de bajo costo, altamente efectiva e inmediata para mitigar las crisis de biodiversidad, el clima y en última instancia los servicios ecosistémicos vitales para la sociedad, como el suministro de agua. En contraste, árbol exótico las plantaciones tienen efectos negativos en los servicios de regulación del agua. Se destaca el potencial de *Ochroma pyramidale* en estos bosques para la gestión del territorio que apoya iniciativas ambientales integradas y múltiples (Tito *et al.* 2022).

Sin embargo, estos bosques están siendo impactados por actividades mineras, por ejemplo, como en la región de Madre de Dios. Como podemos observar en: Alarcón-Aguirre *et al.*

(2023) evaluaron la dinámica de la vegetación en tierras degradadas por la minería aurífera en el sureste amazónico peruano. El estudio evaluó la regeneración natural de la vegetación y las propiedades fisicoquímicas del suelo para una cronosecuencia en Madre de Dios (Perú). Los resultados registraron 1023 individuos distribuidos en 80 especies y 27 familias. Las familias más abundantes fueron Fabaceae, Annonaceae y Euphorbiaceae. mientras las especies *Inga thibaudiana*, *Ochroma pyramidale* y *Cecropia membranacea* fueron las de mayor presencia en las diferentes categorías de regeneración. Esta observación nos ayuda a comprender la dinámica de recuperación de áreas degradadas por la minería aurífera en la Amazonía, en particular la respuesta de diferentes especies a este tipo de perturbación. La continua expansión de la minería aurífera en Madre de Dios también ha aumentado la extensión de las tierras degradadas donde se está produciendo una recuperación lenta como evidencia el estudio (Alarcón-Aguirre *et al.* 2023).

Chambi-Legoas *et al.* (2021) estudiaron la regeneración natural después de la minería de oro en la dinámica de restauración de bosques tropicales en la Amazonia de Madre de Dios. Registraron 3129 individuos de 71 especies de plantas leñosas. Además, 35 especies fueron clasificadas como pioneras, 23 como secundarias tempranas y 13 como secundarias tardías. El 70 por ciento de los individuos correspondieron a plántulas (61 especies), el 20 por ciento a brinzales (43 especies) y el 10 por ciento a árboles pequeños (21 especies). La densidad total de tallos fue de 2155, 2200 y 1798 ind. ha⁻¹ durante 1 a 4, 5 a 7 y 8 a 19 años después de la extracción, respectivamente. Las pioneras *Ochroma pyramidale* y *Cecropia engleriana* mostraron la mayor densidad de individuos en todas las edades.

Morales *et al.* (2020) evaluaron la cronosecuencia de la regeneración natural en yacimientos mineros abandonados en la selva amazónica de Madre de Dios, Perú. Encontraron un total de 753 individuos en ambos yacimientos, que representaban 144 especies dispersas en 44 familias. El número total de individuos y especies en cada yacimiento minero fue significativamente diferente. En Paolita se identificaron 436 individuos y 164 especies, mientras que en Santa Rita se encontraron 317 individuos y 120 especies. Los resultados mostraron una variación de especies e individuos a lo largo del gradiente de etapas sucesionales, así como la dominancia de algunas especies. El número de individuos por parcela y la composición de especies fue variable. Al igual que otros estudios, confirmaron que el número de plántulas en las etapas antiguas de regeneración era pequeño en comparación con las etapas tempranas. Las etapas sucesionales tempranas tenían una mayor cantidad de especies

pioneras y, aunque algunas especies pioneras se encontraron en el bosque remanente sugiriendo que en algún momento el bosque antiguo fue perturbado, los resultados mostraron que hay algunas familias exclusivas de las etapas tempranas y antiguas (URTICACEAE y SAPOTASEA respectivamente) mientras que otras están presentes en todas las etapas (MORACEAE). La densidad de tallos también cambia a lo largo de los años después del abandono junto con la dominancia. Por ejemplo, en la explotación minera de Santa Rita, parcelas con 8 años después del abandono, *Hieronyma alchorneoides* (Allemão) y *Guatteria megalophylla* (Diels) fueron las especies más representativas en los primeros estadios con una Abundancia Relativa (RA) igual a 20,83 por ciento y 25 por ciento respectivamente. La abundancia relativa de ambas especies cambió significativamente. Sólo se encontró un individuo de *Guatteria megalophylla* (Diels) en ambos bosques de referencia, y no se encontró regeneración natural de *Hieronyma alchorneoides* (Allemão) en las etapas antiguas. En el sitio minero de Paolita, *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. y *Cecropia pachystachya* Trécul fueron dos de las especies más abundantes en la parcela P2 (2 años después del abandono) con una AR igual a 41,79 por ciento y 17,91 por ciento respectivamente, pero, a medida que el bosque madura en edad (P6 = 6 años) la AR de ambas especies cambió drásticamente (1,8 por ciento y 3,64 por ciento respectivamente) y estas dos no se encontraron en el bosque viejo. La presencia o ausencia de algunas especies generalmente sugiere que el área ha sido perturbada en algún momento de su crecimiento sucesional. Las especies pioneras, como *Hieronyma alchorneoides*, *Ochroma pyramidale* y *Cecropia pachystachya* son especies de sucesión temprana o especies pioneras con un crecimiento rápido, bajos requerimientos de nutrientes, pero con altos requerimientos de luz (Kennard 2016).

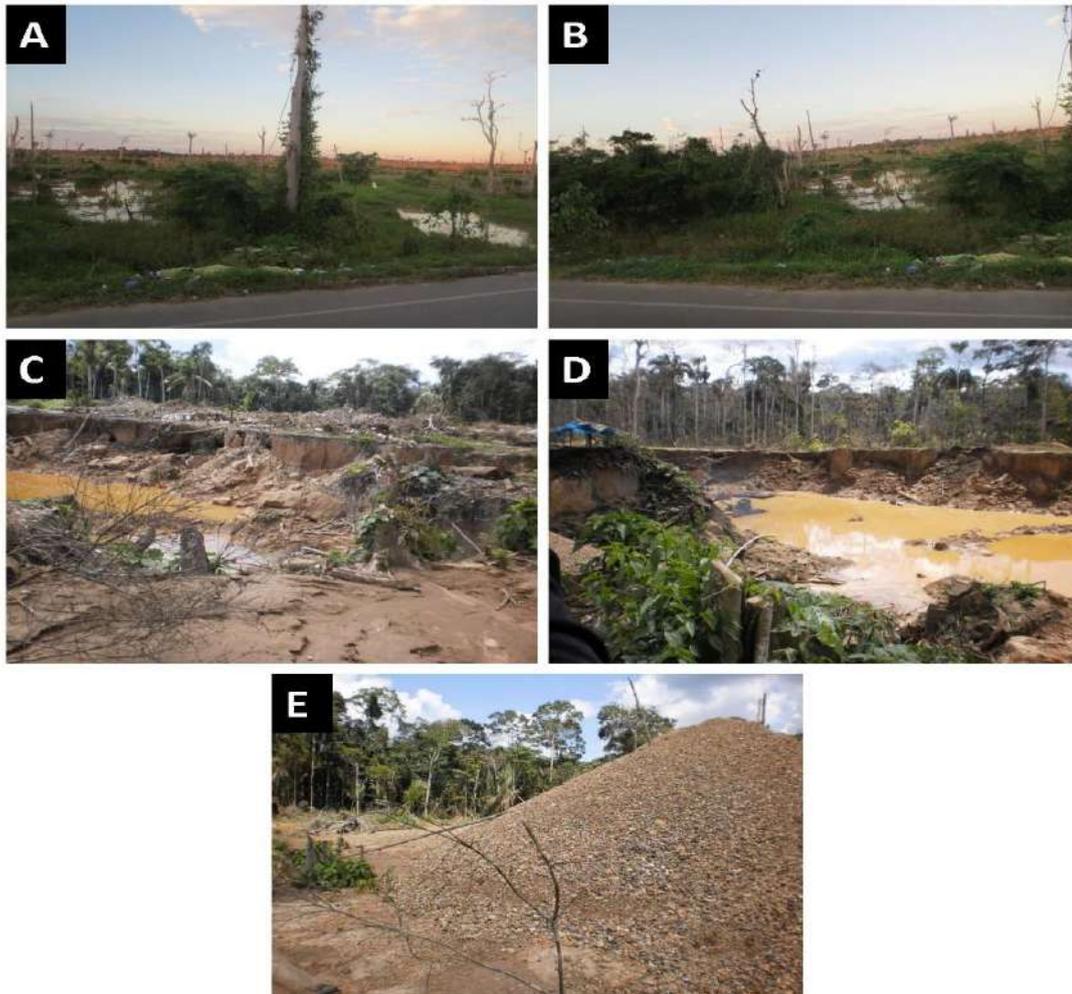


Figura 1: Áreas degradadas en la región de Madre de Dios. A y B) se muestran áreas degradadas al margen derecho de la carretera Interoceánica Sur Km 108. C, D y E) Socavones y cascajo producto del aprovechamiento del oro, dejando destruido los bosques

Fuente: Elaboración propia

Además, el área basal (Dominancia Relativa) cambiará a través de las etapas de sucesión como se ve en los resultados. Las etapas tempranas en la parcela de Santa Rita tuvieron una Dominancia Relativa (DR) de 33,26 por ciento y 23,25 por ciento para *Cecropia pachystachya* Trécul y *Ocotea obovata* (Ruiz & Pav.) Mez respectivamente mientras que las parcelas en Paolita mostraron una DR de 49,99 por ciento y 19,81 por ciento para *Muntingia calabura* L. y *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. respectivamente.

La deforestación para la extracción de oro informal se está expandiendo rápidamente en Madre de Dios a una tasa de 6145 ha año⁻¹ y ahora excede todas las otras formas de pérdida forestal combinadas, incluidas la ganadería, la agricultura y la tala (Alarcón *et al.* 2021, Asner *et al.* 2013, Asner y Tupayachi 2016, Cabral *et al.* 2018). Los mineros informales en Madre de Dios extraen principalmente depósitos de oro aluvial secundario que se encuentran en las riberas de los ríos y áreas limítrofes. Las máquinas de minería hidráulica con bombas son actualmente el método de minería predominante, donde el oro se recupera agregando Mercurio (Hg) a los sedimentos extraídos, que une las partículas de oro formando una amalgama (Velásquez 2017). La amalgama de oro y mercurio luego se calienta en el campo liberando vapores de Hg al aire y aumentando el riesgo de contaminación en el suelo, las plantas, los animales y los seres humanos (Román-Dañobeytia *et al.* 2021, Velásquez 2017).

Según datos de la Defensoría del Pueblo, durante 2010 se registraron 246 conflictos sociales, 117 vinculados con problemas medioambientales por la actividad irresponsable del hombre. Sin embargo, la delicada situación en la que se encuentra la región de Madre de Dios rebasa cualquier caso particular que se pueda citar, no solo por su dimensión y la cantidad de actores implicados, sino porque sus efectos nocivos sobre el medio ambiente se multiplican, al tratarse de un impacto generalizado (MINAM 2021). En este contexto se requiere tomar las acciones necesarias desde el Estado, organizaciones sociales y no gubernamentales que ayuden en la recuperación.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE *Ochroma pyramidale* (CAV. EX LAM.) URB

De la dendrología

Es un árbol perennifolio, de 15-30 m, hasta 35 m de altura; diámetro 20-40 cm, hasta 60 cm. copa amplia, abierta, redonda o irregular. Hojas simples, dispuestas en espiral, láminas de 13-35 cm, ampliamente ovada, grandes, frecuentemente 3-sublobadas, base cordada; margen entero o reptando; nervio principal de 7-9 cm, muy prominentes en el envés; peciolada de color marrón-rojizo. Tronco recto y cilíndrico, con bases de tipo tabular pequeñas; ramas gruesas ascendentes, extendidas, distantes y escasas (Anchundia 2021, Jara 2021, Núñez *et al.* 2018, Pinargote 2019).

Corteza externa lisa con cicatrices lineares protuberantes de origen peciolar de color pardo a pardo-grisácea, con lenticelas pequeñas, suberificadas y protuberantes. Corteza interna,

cremo-amarillo, cremo-rosado, cambiando a pardo-rosado, textura fibrosa, de un grosor de 8-12 mm (Anchundia 2021, Jara 2021, Núñez *et al.* 2018, Osorio *et al.* 2010, Pinargote 2019).

Flores grandes, solitarias, axilares, sobre pedúnculos hasta de 20 cm de largo; tenuemente perfumadas, actinomorfas, de 10-17 cm; cáliz rojo a morado; pétalos amarillo-pálidos, con los bordes rojizos. Fruto tipo cápsula de 15-25 cm por 3-5 cm de diámetro, verdes y semi-leñosas, tornando a negras al madurar, extensas, con 8-10 fisuras prominentes longitudinales, se evidencia ranuras divididas en 5 partes; con 500-800 semillas/fruto. Semillas ahusadas muy pequeñas y estrechas, de 2.5-4 mm por 1-1.5 de ancho, con extremos acuminados, son muy livianas, rodeadas de abundante algodón sedoso de color beige a amarillo (Anchundia 2021, Jara 2021, Núñez *et al.* 2018, Osorio *et al.* 2010, Pinargote 2019).

Los individuos reclutados a los 6 meses de edad inician a crecer de forma más rápida, compitiendo con las demás poblaciones en germinación, por ser especie heliófita. Su crecimiento, una vez reclutado es veloz, pudiendo formar árboles entre los 6-10 años, creciendo hasta 3 veces más en altura por año, que cualquier otra especie. Los árboles pueden alcanzar 15-18 m en altura y un diámetro de 60-75 cm en 5-6 años (Zambrano 2021). Su ciclo de vida es corto, pudiendo llegar como mínimo a los 7 años, no obstante, algunos pueden prolongar su existencia hasta más de 20 años. Es una especie plástica, estableciéndose con facilidad sobre áreas quemadas disturbadas, contaminadas o degradadas por la actividad agropecuaria, maderera y minera. Su floración inicia al tercer a cuarto año y la producción de sus frutos puede llegar de 20-48 por árbol. Cada fruto contiene 828 semillas en promedio. El número de semilla por individuo se encuentra entre los 6,000-39,000, la que regenera con bastante facilidad (Francis 1991, Zambrano 2021).

Ecología y distribución geográfica

Es una especie típica de sucesiones secundarias. Por lo general forma rodales puros. Se desarrolla en zonas planas y/o en laderas sobre sitios abiertos con alta luminosidad, claros de bosques y orilla de caminos. Crece a lo largo de las riberas de los ríos y se le encuentra en zonas de litoral húmedo (Román-Dañobeytia *et al.* 2015).

Especie típicamente indicadora de clima Ecuatorial o Tropical Húmedo (Af) o clima Tropical Monzónico (Am) muy húmedo. Clima tropical muy uniforme. En su hábitat natural la temperatura máxima promedio anual es de 27 °C y la mínima de 22 °C. La precipitación anual

total es de 1,300 mm, aproximadamente. También prospera en terrenos fértiles, no muy profundos y algo calizos, asimismo en suelos en derivaciones de material calizo, metamórfico y/o ígneo, inclusive se le encuentra en zonas arcillosas y húmedas (Barragán 2015, Zambrano 2021).

Anatomía de la Madera

La madera *O. pyramidale*, se caracteriza por ser de color blanco, castaño muy pálido a crema, muy liviana y blanda, no presenta olor ni sabor, textura gruesa y grano recto (Arévalo y Londoño 2005). A nivel macroscópico y microscópico, los poros son solitarios y múltiples radiales, parénquima apotraqueal difuso, en agregado abundante, son simples la platina de perforación, fibras no septadas, los radios cuadrados o erectos (homocelulares) y en heterocelulares procumbentes, cuadradas o rectas (Acevedo y Kikata 1994; León, 2014; Armijos 2019).

Distribución geográfica

Su distribución radica en toda América tropical, desde México a través de América Central hasta Perú, Bolivia y Brasil (Arévalo y Londoño 2005). Es una especie de importancia comercial en el Ecuador, en la cuenca del Río Guayas se produce hasta 95 por ciento de la cosecha mundial de la madera de esta especie. El palo balsa, también, se ha introducido y se ha cultivado con gran éxito en plantaciones en la India, Sri-Lanka, Malasia, Vietnam, Borneo, Fiji, las Islas Salomón, las Filipinas y Papua Nueva Guinea. En las Antillas, se le encuentra en las regiones de bosques lluviosos, entre 300-1,000 m de altitud (Figura 2) (Craker 2018, Das *et al.* 2021, Francis 1991).

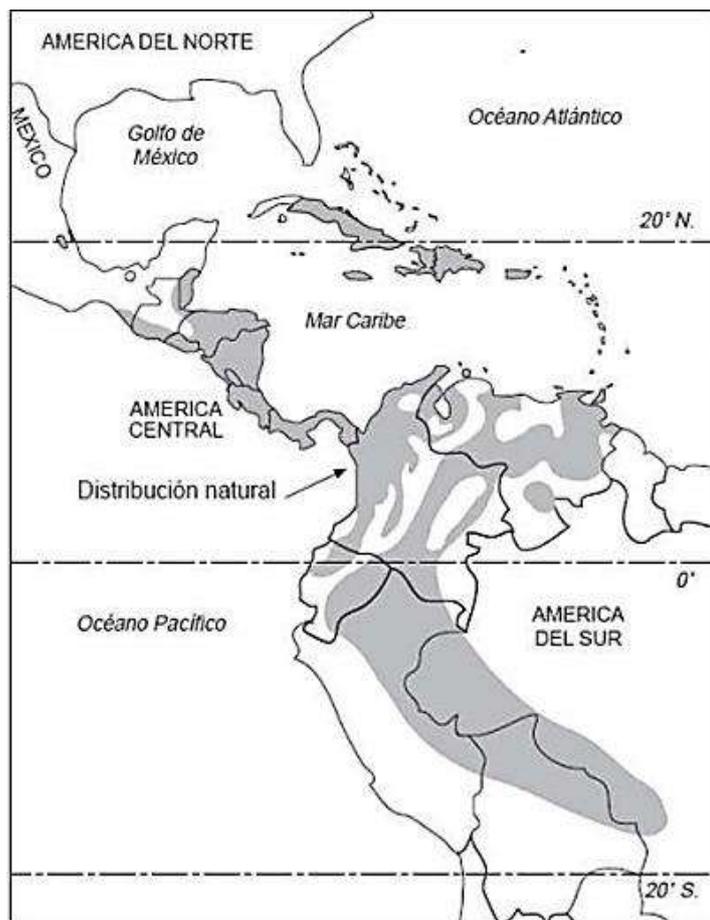


Figura 2: *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.: distribución geográfica en América Latina

Fuente: Tomado de Francis 1991

2.6 ASPECTOS SILVICULTURALES Y MANEJO FORESTAL DE *Ochroma pyramidale*

Los frutos se recolectan directamente del árbol cuando toman una coloración café rojiza. Su transporte se hace en sacos de yute, para luego colocarlos sobre sacos de lona y exponerlos al sol por periodos de 3-4 horas, por uno o dos días, hasta que los carpelos logran abrirse. A continuación, se procede a remover la lana que envuelve la semilla. Las semillas son ortodoxas¹ (Aleman *et al.* 2019, Verzino *et al.* 2020), y se almacenan en recipientes cerrados a 4-5° C con contenidos de humedad de 5-6 por ciento, en estas condiciones mantienen su viabilidad hasta por cinco años. Un kilogramo contiene de 70000-140000 semillas (Aleman *et al.* 2019, Verzino *et al.* 2020).

¹ “son las semillas que sobreviven a los periodos de desecación y congelación durante su conservación ex situ. Según informaciones del departamento de Agricultura de Estados Unidos existen variaciones entre tipos de semillas en su capacidad de soportar las bajas temperaturas y los periodos de sequedad”

Su propagación puede ser natural o con tratamiento pregerminativo. En Costa Rica, se obtuvo 68 por ciento de germinación, con inmersión en agua por un periodo 3 minutos a 80°C o también, con una inmersión en ácido sulfúrico durante 32 minutos; llegando a 73 por ciento de germinación, mientras que las semillas sin tratamiento no superaron 24 por ciento de germinación. Se recomienda la siembra directa en bolsas, ya que las plántulas son muy sensibles al trasplante. La semilla debe colocarse superficialmente en el sustrato y mantenerse bajo luz directa con humedad (Aleman *et al.* 2019, Verzino *et al.* 2020).

En plantaciones experimentales se han utilizado espaciamientos de 3x3 m; no obstante, por su rápido crecimiento del tronco y copa (7-8 m), se puede utilizar espaciamientos mayores, sobre todo para sistemas agroforestales. Como especie pionera que crece sobre cualquier tipo de suelo es fácil manejar la regeneración natural, la cual es abundante en la época de dispersión de la semilla (Aleman *et al.* 2019, Verzino *et al.* 2020). Existen registros en Perú que evidencian que crece 4.3 cm de diámetro por año (Navarro 2018). También, en evaluaciones de parcelas permanentes en Chanchamayo (Perú) se registró un crecimiento de área basal de 0.0018 m² por año (Arme y Malpartida 2019).

En Costa Rica, en un ensayo de adaptabilidad de 84 especies forestales, el palo balsa alcanzó los mejores rendimientos con volumen promedio de 0.417 m³/árbol a los tres años. Por otro lado, en plantaciones a campo abierto alcanzó una sobrevivencia de 55 por ciento, con un DAP de 16.4 cm, altura de 11.6 m y volumen promedio de 0.285 m³/árbol y en plantaciones bajo sombra parcial presentó una sobrevivencia de 91 por ciento, DAP de 17.3 cm, altura de 14.2 m y volumen medio de 0.4176 m³/árbol, a los tres años. No obstante, la mortalidad en ambos sitios fue alta después de los ocho años (Aleman *et al.* 2019, Verzino *et al.* 2020).

2.7 TURNO TÉCNICO DE CORTA O APROVECHAMIENTO, TURNO ECONÓMICO Y TURNO SILVICULTURAL

La gestión de un rodal boscoso implica diferentes turnos y formas de estimarlos. Los turnos referidos a una especie forestal se utilizan para lograr un mayor volumen de producción de los bosques naturales y las plantaciones, así como una mayor conservación y rentabilidad logrando la sostenibilidad económica, ambiental y social (Balarezo y Porras 2020, Palacios-Cruz *et al.* 2020).

El turno más comúnmente usado es el “turno técnico”, que es el tiempo que tarda un bosque en llegar al diámetro adecuado para la corta final, por lo que se le llamado también turno de corta o aprovechamiento. El turno técnico de una especie forestal se estima a través de la función de crecimiento o producción del rodal. El turno técnico puede ser: de Máxima Producción y de Máxima Producción Media, el turno de Máxima Producción es el punto más alto de la función de crecimiento, determina la máxima producción total del rodal, y representa el turno de corta donde la producción marginal es igual a cero, mientras la función del turno de Máxima Producción Media, se obtiene dividiendo la función de producción máxima entre la edad de la plantación (Azañero 2021, Escalante *et al.* 2020, Manta 1988).

El turno técnico de una especie depende de las condiciones locales de suelo, la disponibilidad de agua, la estación del año, la forma del terreno y de las otras especies de árboles que compiten en un sitio dado (Ugarte-Guerra y Román-Dañobeytia 2020), estas características biofísicas pueden condicionar que la especie marque los anillos de crecimiento. Por otro lado, las propiedades físicas de la madera de una especie pueden variar con las características del crecimiento biológico del árbol, su uso y valor en el mercado (Abarca-Alvarado 2021, López y Escobar 2021, Manta 1988).

El turno económico definido como aquel tiempo en que la especie ya no puede crecer más y cuando el incremento marginal empieza ser decreciente; por lo tanto, el capital invertido da ganancias decrece y se producen pérdidas en la producción maderera. El turno económico incorpora aspectos de tipo económico, tales como costos de producción, precios de la madera, calidad de la madera y tasa de interés, a las tasas de crecimiento biológico de una especie forestal (Bonilla y Alarcón 2015). Asimismo, el concepto de turno forestal óptimo, desde el punto de vista económico, empieza de un trabajo de 1849 del forestal alemán Faustmann, el procedimiento aceptado hoy en día para determinar turnos económicamente óptimos, se conoce como el turno o solución de Faustmann (Balteiro 1997, Guera *et al.* 2019). Dicho paradigma conceptualiza el turno óptimo como aquél que maximiza la siguiente expresión, que corresponde al VAN que subyace a una cadena de infinitos ciclos de plantación (Faustmann 2018):

$$\text{Max VAN} = P f(t) - K e^{it} / e^{it} - 1 \text{ [Ecuación 01]}$$

En esta expresión:

P = precio de la madera,

$f(t)$ = la función de producción o curva de crecimiento,
 i = es la tasa de descuento adoptada, y
 K son los gastos de forestación.

Contrariamente, la aplicación de la teoría del turno económicamente óptimo ha sido poco estudiada; sin embargo, suele definirse como la vida de la masa forestal que maximiza el valor actual neto (VAN) de la inversión subyacente, considera una serie de supuestos como la existencia de un mercado perfecto del dinero, rendimiento y precios futuros de madera e insumos-constantes, entre otros (Bonilla y Alarcón 2015).

El turno silvicultural es un término que ha sido usado en la producción maderera de bosques naturales. El turno silvicultural es definido como la edad en que una especie forestal es biológicamente reproductiva (Lamprecht 1989, 1990, Manta 1988); capaz de dejar descendencia fértil en el bosque. De esta manera se asegura la conservación y sostenibilidad de la producción de la especie en dichos ecosistemas. Además, menciona que este turno deja de tener relevancia cuando se administra plantaciones forestales maderables comerciales, ya que se entiende que para el establecimiento de estos ecosistemas artificiales se dispone de semillas forestales que aseguran la sostenibilidad de la actividad productiva maderera (Lamprecht 1989, 1990, Manta 1988).

Tener en cuenta que en algunos lugares como el Gobierno de Navarra (España) y en los Estados Unidos la Administración con competencias en el sector forestal, fijan directamente los turnos mínimos de corta para algunas especies, o impone condiciones sobre la cantidad de madera que se puede aprovechar en cada período en los bosques públicos (Balteiro 1997). En el caso del Perú, la Administración forestal ha fijado el concepto del Diámetro Mínimo de Corta (DMC) para las principales especies forestales maderables; es decir, el Turno Mínimo de Corta (Guillén 2014, Manta 1988).

2.8 LA DENDROCRONOLOGÍA

La palabra dendrocronología proviene del griego: dendros que significa árbol, cronos tiempo y logos ciencia o conocimiento. Ciencia que estudia anillos de crecimiento de los árboles, analiza su estructura interna y estudia la información registrada en ella para aplicaciones a cuestiones ambientales e históricas. Aprovecha parámetros mensurables de la estructura de anillos, determinando el año exacto de su formación, para deducir condiciones

medioambientales del pasado, tales como el clima, plagas, incendios forestales, actividad volcánica, contaminación, entre otros (Dean 1997, Guibal y Guiot 2021, Kaennel y Schweingruber 1995).

La dendrocronología nace del hecho que la mayoría de los árboles forman anillos anuales de crecimiento que son visibles en la sección transversal del tronco, exhibiendo patrones característicos en cada especie de árbol. Son cuatro condiciones necesarias para que estos patrones sean usados en el datado de especies (Kaennel y Schweingruber 1995).

Para la aplicación de la dendrocronología, se tienen condiciones como: (1) los árboles muestreados deben agregar un anillo por año. (2) El crecimiento total de una especie durante una estación es el resultado de muchos factores que interactúan entre sí. (3) El factor climático limitante del crecimiento anual debe variar en intensidad de año a otro, el anillo formado debe reflejar fielmente tal variación en su ancho. (4) La variable ambiental y factor limitante del crecimiento, debe ser uniformemente efectivo sobre un área geográfica grande. Si esto no sucede, las cronologías compuestas se tendrían que realizar para cada área pequeña (Albiero-Júnior *et al.* 2019, Quintilhan *et al.* 2021).

Las muestras de los árboles tropicales en dendrocronología es una de las fases muy importantes y delicadas. En primer lugar, se deben escoger los ejemplares más viejos (los más grandes) que hayan tenido condiciones uniformes a lo largo de toda su vida. Una vez localizado un conjunto de árboles de la misma especie y condiciones climáticas parecidas se escogen los ejemplares que sean más sensibles a sequías: aquéllos que se encuentren en pendiente, lejos de competidores y de cursos o reservas de agua. Se toman, al menos, dos muestras por árbol: una por el lado norte y otra por el lado sur (Portal *et al.* 2020, Delmás 2020, Escalante *et al.* 2020, Guibal y Guiot 2021, Malatesta 2020, Mamani 2019, Martinez 2002, Quintilhan *et al.* 2021).

Sobre las metodologías de colectas de muestras básicamente existen dos formas: i) Método destructivo, que consiste en tumbar el árbol y obtener rodajas de madera de la base del árbol, sin embargo si los árboles a coleccionar presentan modificaciones en sus raíces como raíces tablares, fúlcreas u otro tipo la colecta se debe realizar al final de la primera troza esto con la finalidad de los anillos no tengan deformaciones generadas por las raíces y sea más fácil el proceso de análisis de los anillos de crecimiento (Brienen y Zuidema 2005, Granato *et al.*

2019). ii) Método no destructivo, que consiste en coleccionar las muestras de madera a través de barrenos de Pressler a la altura del pecho (Gutiérrez 2009, Portal *et al.* 2021) y también existe el barrenado motorizado donde se utiliza un motor a gasolina y se adapta una roca hueca donde se extraerán las muestras (Aragão *et al.* 2022, Marcelo-Peña *et al.* 2020) en ambos sistemas, después de obtención de las muestras el orificio generado es colocado una pasta cicatrizante y tapado con un bloque de madera o silicona, con la finalidad de que no entren hongos o insectos (Portal *et al.* 2020, Santini 2018).

Además, las muestras coleccionadas por cualquiera de los dos métodos, son analizadas de manera general utilizando técnicas dendrocronológicas de la siguiente forma: i) se realiza el lijado y posterior pulido de la sección transversal. ii) posteriormente se realiza la digitalización de las muestras a una resolución de 1200 dpi., respetando los códigos de campo (Schongart *et al.* 2004). iii) posteriormente se realiza las mediciones mediante softwares de medición generales como ImageJ o Image Proplus y softwares de medición especializado para dendrocronología como: CooRecorder y CDendro (Cybis 2020), siguiendo el parámetro básico de medir en la dirección del radio y previamente identificado y señalado los límites de los anillos de crecimiento. iv) finalmente dependiendo del software aplicado se exportarán en Microsoft Excel (usando los softwares generales) o en archivos específicos del propio software (softwares especializados). v) con esta información se procederá a determinar las correlaciones entre el ancho de los anillos de crecimiento de los árboles. vi) una vez que sea igual o mayor de 0.32 se procederá con la misma información a construir la cronología de la especie. vii) con la información generada con las técnicas dendrocronológicas se procederá a determinar aspectos del crecimiento de los árboles (Groenendijk *et al.* 2014, Barbosa *et al.* 2018, Portal *et al.* 2020).

Finalmente, los métodos para determinar (identificar) los anillos de crecimiento de los árboles se tienen: la anatomía clásica (Marcelo-Peña *et al.* 2020, Stahle *et al.* 1999); la densitometría de rayos X (Tomazello *et al.* 2008, Portal *et al.* 2019); autofluorescencia (Godoy *et al.* 2019); intensidad de azul (Buckley *et al.* 2018); entre otras técnicas y métodos que se han aplicado en las especies tropicales con la finalidad de destacar e identificar correctamente los anillos de crecimiento.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en el sector Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Laberinto, provincia de Tambopata, región Madre de Dios, en el suroriente del Perú, en un área aproximada de 10 ha (Figura 3). Geográficamente se encuentra entre los paralelos 12° 34' 39" y 12° 46' 39" de latitud Sur y los meridianos 69° 26' 46" y 69° 31' 33" de longitud Oeste; altitud entre 200 m y 220 msnm. El departamento de Madre de Dios presenta un clima tropical, con una precipitación anual promedio de 2300 mm y una temperatura anual promedio de 25°C, con una estación seca en los meses de junio, julio y agosto (Sánchez-Cuervo *et al.* 2020, Portal *et al.* 2020). Según la base de datos climate Charts.net (Figura 3/B), se tiene que la temperatura del área de estudio promedio es de 25.1 °C y precipitación promedio de 2441 mm (Zepner *et al.* 2020). La vegetación se caracteriza por especies de bosques secundarios intervenidos y degradados por la agricultura, principalmente especies pioneras y arbustos (Figura 3/C) como *Cecropia* sp., *Ochroma pyramidale*, *Solanum* sp., *Piper* sp., *Calathea* sp., gramíneas entre otras (Chambi-Legoas *et al.* 2021). Según la Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios, señala desde el punto de vista ecológica y económica como: zona para producción agropecuaria y/o zona de recuperación de tierras para cultivos permanentes asociados con forestales (GOREMAD 2001). Sobre la fisiografía, el área de estudio está conformada fisiográficamente por terrazas altas ligeramente disectadas con áreas mal drenadas de 0 a 4 por ciento de pendiente (GOREMAD 2001).

El área de estudio donde se recolecto muestras de la especie *O. pyramidale* presentó una asociación con familias y especies importantes en las diferentes etapas de sucesión, entre ellas destacan, las familias: Annonaceae, Urticaceae, Malvaceae, Hypericaceae, Melastomataceae, Apocynaceae, Piperaceae, Moraceae, Melastomataceae, Annonaceae, Rubiaceae, Bixaceae, Rutaceae, Fabaceae, Verbenaceae, Salicaceae, y las especies: *Annona secandens* Diels, *Banara arguta* Briq, *Aegiphila cordata* Poepp, *Senna multijuga* (Rich) H.S. Irwin & Barneby, *Zanthoxylum acuminatum* (S.w) S.w., *Bixa urucurana* Willd., *Psychotria marginata* Sw., *Annona papilionella* (Diels) H. Rainer., *Bellucia pentamera* Naudin., *Brosimum guianense*

(Aubl.) Huber., *Piper crassinervium* Kunth., *Himatanthus articulatus* (Vahl), *Miconia affinis* DC., *Vismia gracilis* Hieron., y *Cecropia engleriana* Sncthl (Anexo 6).

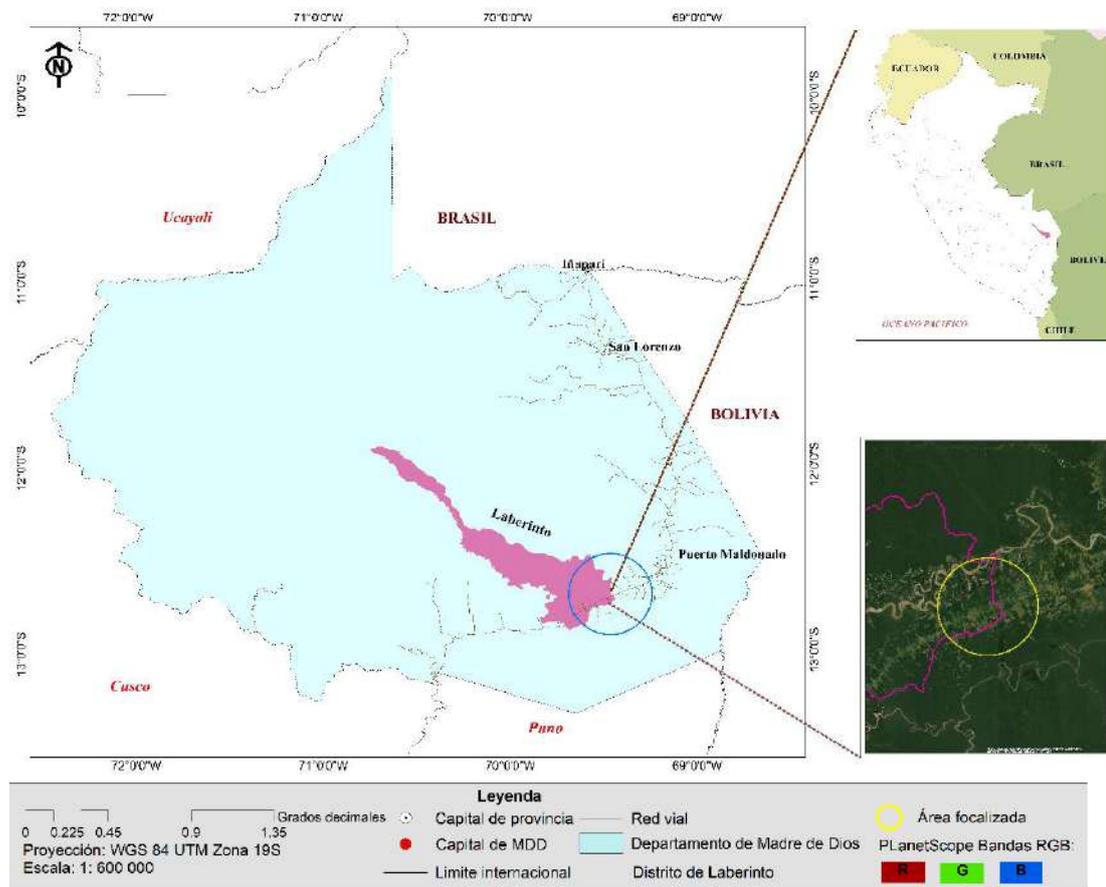


Figura 3: A) Ubicación del área de estudio, sector Víctor Raúl Haya de la Torre, distrito de Laberinto, provincia de Tambopata, Madre de Dios, Perú

3.2 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

3.2.1 Materiales de colecta de campo

Para la presente investigación a nivel de maestría se utilizó los siguientes materiales de campo:

- Motosierra Stihl 070.
- Wincha.
- Spray.
- Machete.
- GPS marca Garmin.
- Forcípula.

- Libreta de campo.
- Motofurgón.
- Cámara fotográfica.

3.2.1 Materiales de laboratorio y procesamiento de las muestras

Se utilizaron los siguientes materiales de laboratorio:

- Lijadora orbital.
- Lijadora vibratoria.
- Scanner marca Epson.
- Cámara fotográfica marca Nikon.
- Safranina.
- Alcohol a diferentes concentraciones.
- Agua destilada.
- Ácido acético glacial.
- Agua oxigenada.
- Glicerina.
- Bálsamo de Canadá.
- Microscopio binocular marca Leica.
- Microscopio estereoscopio marca Leica.
- Micrótopo de deslizamiento horizontal marca Leica.
- Otros.

3.2.2 Materiales de escritorio

Para el desarrollo de la tesis se utilizaron los siguientes materiales de escritorio:

- Laptop marca HP.
- Impresora marca HP.
- Software COFECHA.
- Software ARSTAN.
- Software RESPO.
- Hojas bond A4.

- Archivadores.
- Tablero de campo.
- Fichas de campo.
- Lapiceros, marcadores, lápiz 2b.
- Otros.

3.3 MUESTREO

Para el trabajo se seleccionaron 13 individuos de *Ochroma pyramidale*, que crecían en un bosque secundario de 23 años aproximadamente, perturbado por el hombre, quien cambió el uso del suelo para realizar chacras exclusivamente. Se buscó elegir individuos que crecían en condiciones topográfica, edáficas y micro climáticas similares para asegurar una muestra homogénea. (en el Anexo 5 de muestra de las coordenadas y datos dasométricos). Se especifica que para la anatomía de la madera (macroscópica y microscópica) se utilizaron 03 árboles de los 13 colectados, esto con la finalidad de cumplir con la Norma Técnica Peruana (NTP N°251.008 2016); para el análisis de los anillos de crecimiento (dendrocronología) se utilizaron los 10 árboles restantes y para los análisis del crecimiento se usó solos los árboles que conforma la cronología de la especie.

Las muestras botánicas se entregaron al herbario Alwyn Gentry de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios para su identificación (ver anexo 6).

3.3.1 Selección, extracción y colecta de muestras de madera

Se empleó el método destructivo, para ello, se obtuvieron rodajas completas de los fustes de los árboles cortados por encima de 1,30 m de altura y trozas de 60 cm de largo con ayuda de una motosierra Stihl 070 (Figura 4), de donde se cortaron dos (02) rodajas de 3 pulgadas de espesor, codificadas y llevadas al aserradero con un motofurgón. Todas las muestras, antes de ser cortadas fueron orientadas de acuerdo con los puntos cardinales (Brienen y Zuidema 2003, Del Valle 2021). También, se obtuvieron diferentes datos dasométricos como el diámetro a la altura del pecho y altura, con ayuda de una forcípula. El procesamiento de lijado y pulido se realizó en la Planta Piloto de Tecnología de la Madera y el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), ubicado a 16.5 km de la ciudad de Puerto Maldonado, carretera Interoceánica Sur (Puerto Maldonado a Iñapari).

Las rodajas de madera fueron obtenidas de la base del árbol y fueron fechados en el momento de la corta. Asimismo, se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP), y se codificó cada una de las muestras, para su seguimiento, registrado en los formatos de campos respectivos. Las rodajas por cada árbol después del lijado y pulimiento se seleccionaron los mejores discos, se eligió una por cada árbol, en las que se visualizaron con facilidad las características anatómicas que permitirán delimitar los anillos de crecimiento.



Figura 4: Fase de campo. A) Área de estudio. B) Obtención de los datos dasométricos y coordenadas. C) Trozado de los árboles. D) Obtención de las rodajas de madera

Para la caracterización anatómica se utilizaron tres árboles y para la definición de los anillos de crecimiento diez árboles. La descripción anatómica y demarcación de los anillos de crecimiento se realizó conforme a la norma International Association of Wood Anatomists (IAWA 1989).

3.3.2 Caracterización de los anillos de crecimiento del leño de los árboles

Las rodajas fueron lijadas en sus secciones transversales, usando lijas de diferente grano (180-600 grano/pulgada²) para identificar y delimitar los anillos de crecimiento; fueron fotografiados usando un Microscopio estereoscópico binocular (Estereoscopio Binocular de 1x-3x Modelo ed-1302-p Eu). La caracterización anatómica y delimitación de los anillos de crecimiento fueron realizadas en función de la norma International Association of Wood Anatomists (IAWA 1989). (Para mayor detalle ver Anexo 4).

Descripción General y Macroscópica

Para la descripción se tomó en cuenta la diferencia entre albura y duramen, el color, brillo, olor, sabor, tipo de grano, textura, veteado. Además, sobre las características macroscópicas, se tomó en cuenta los poros, parénquima, radios. Esto también acompaña un registro de imágenes macroscópicas y de la rodaja que ayudan a la caracterización. Tanto las características generales y macroscópicas, se realizaron siguiendo los parámetros de la norma internacional de la Comisión de Panamericana de Normas Técnicas (COPANT 1974).

Descripción Microscópica

De las trozas de la base del árbol de 60 cm se obtuvieron cubos de madera 1cm³ de lado de las tres rodajas, las que fueron ablandadas en agua destilada y glicerina en una relación 4:1. Seguidamente, se obtuvieron láminas histológicas de las tres secciones del cubo: transversal, radial y tangencial, con un grosor de 12-18 µm, usando un micrótopo de deslizamiento horizontal marca LEICA. Después las láminas fueron deshidratadas en alcohol a diferentes concentraciones (30, 60, 96 por ciento), para posteriormente colorearlas con safranina y fijar el colorante con xilol. Las láminas fueron montadas en portaobjetos y cubiertas con una lámina) cubre-objetos, agregándose una gota de bálsamo de Canadá y luego colocadas en estufa para su secado final. Posteriormente se tomaron microfotografías a los tres tipos de secciones.

Proceso de Maceración

Para obtener fibras y vasos que permitan sus mediciones se prepararon astillas similares a palitos de fósforos, las que fueron introducidas en un vaso de vidrio para su maceración en ácido acético glacial y agua oxigenada 120 vol., a una proporción 1:1, las que fueron mantenidas en una estufa a 60 °C por espacio de veinte horas. Cuando las muestras tuvieron

un color blanco se procedió a lavarlas con agua destilada cuatro veces y después se procedió de manera similar a lo realizado en láminas histológicas, para ser registradas y realizar microfotografías de las fibras y vasos; se utilizó un microscopio binocular acoplado a una cámara fotográfica profesional Canon Eos Rebel T5i 18mp.

Análisis de los anillos de crecimiento

En los discos se marcaron y evaluaron 4 líneas o secciones siguiendo la dirección radial de los discos, desde la médula hacia la corteza. Estas fueron usadas para la delimitación de los anillos de crecimiento, usando un microscopio estereoscópico Leica-KL. En cuanto se observaron y analizaron los elementos xilémicos en la línea trazada, se definieron y demarcaron los anillos de crecimiento con un lápiz. Posteriormente fueron digitalizadas las secciones trabajadas a través de un Scanner HP Scanjet 3800, (1200 dpi) y pasados al Software Image-Pro-Plus versión 4.5.0.29 del año 2000 (Figura 5), para su respectiva medición de ancho de cada anillo de crecimiento por árbol.



Figura 5: Rodajas de *Ochroma pyramidale*. A) Medición de los anillos de crecimiento del árbol 03. B) Software de medición Image-Pro Plus (2000). C) Rodaja del árbol 03 con marcaciones de los puntos cardinales

Sincronización de los anillos de crecimiento en los árboles

Después de haber obtenido las medidas de ancho de los anillos de crecimiento en las rodajas de cada árbol, se construyó la serie de los anillos para su sincronización, y se inició el control de la calidad de las mediciones realizadas para los diez árboles, verificando la existencia de sincronización entre ellas (co-datado), usándose el software COFECHA (Holmes *et al.* 1986), como se muestra en la Figura 6. Además, el software COFECHA nos da el valor de sensibilidad promedio de los árboles estudiados, donde este índice se refiere a la actividad cambial sensible a los factores ambientales y se queda plasmado en los anillos de crecimientos (Gutiérrez 2009).



Figura 6: Programas utilizados en la sincronización y construcción de la cronología de crecimiento de *Ochroma pyramidale*. A) Software COFECHA (1986). B) Salida del software COFECHA. C) Software ARSTAN. D) Salida del software ARSTAN

Para comprobar la estimación del crecimiento de los anillos de crecimiento de *Ochroma pyramidale*, se correlacionó con el clima (precipitación y temperatura), para ello, se consideró como ruido (error) todos los factores diferentes a la temperatura y precipitación, que afectarían el ancho de cada anillo de crecimiento de la madera de los árboles. El ruido es

denominado al error atribuido a otros factores que no son la precipitación y la temperatura, siendo variables aleatorias, es por ello nuestro objetivo fue extraer la señal de interés (precipitación y temperatura) utilizando técnicas matemáticas y estadísticas y al resto de señales se considera ruido (Gutiérrez 2009).

3.3.3 Análisis climático de los anillos de crecimiento

Para la correlación del crecimiento de los anillos de los árboles de *Ochroma pyramidale* y la función clima (precipitación y temperatura) se utilizó el orden correlativo de los anillos de crecimiento, desde el cambium vascular a la médula (cronologías medias).

Las cronologías medias del crecimiento de los árboles fueron obtenidas con el software ARSTAN (2006) y este crecimiento se correlacionó con la precipitación y temperatura, mediante el coeficiente de correlación de Pearson, utilizando el software RESPO (Holmes, 1994). Se analizaron dos diferentes escenarios con el programa RESPO:

- a. Al inicio del crecimiento del árbol, inicio de época de lluvias considerando el mes de noviembre, y
- b. Al finalizar la época de las lluvias, considerando inclusive el mes de mayo, se seleccionó el primer escenario, para describir la mejor relación crecimiento-clima, ello, debido a los periodos marcados de estrés hídrico en la Amazonia (Vera 2019).

La información de los valores mensuales de temperatura y precipitación, fueron obtenidas de la base de datos del National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP-NCAR-Reanalysis). Con la información meteorológica se construyó los climatogramas que facilitó la interpretación de la correlación de los anillos de crecimiento con el clima local.

3.2.4 Incremento en diámetro de la especie

Para evaluar el incremento en diámetro se utilizó los árboles de *O. pyramidale* con las mediciones de los anillos de crecimiento de las cuatro series, utilizando las variables a) incremento corriente anual en diámetro (ICAD); b) incremento diametral acumulado (IDA) y c) incremento medio anual en diámetro (IMAD) (Huaman 2011):

a) Incremento corriente anual en diámetro-ICAD (cm).

$$ICAD_n = 2r_n \text{ [Ecuación 02]}$$

Dónde: $ICAD_n$ = Incremento corriente anual en diámetro al año n,
 r_n = valor del ancho del anillo en el año n.

b) Incremento diametral acumulado-IDA (cm),

El IDA fue obtenido por la suma de los valores de los anchos de los anillos de crecimiento de cada serie (Ecuación 03).

$$IDA_n = \sum_1^n ICAD \quad \text{[Ecuación 03]}$$

Dónde: IDA_n = incremento en diámetro acumulado hasta el año n,
 $\sum_1^n ICAD$ = sumatoria del ICAD desde el año 1 hasta el año n

c) Incremento medio anual en diámetro-IMAD (cm).

El IMAD fue obtenido dividiendo el incremento dimétrico acumulado (IDA) por el número de años transcurridos (Ecuación 04).

$$IMAD_n = \frac{IDA_n}{n} \text{ [Ecuación 04]}$$

Dónde: $IMAD_n$ = Incremento medio anual en diámetro en el año n,
 IDA_n = Incremento diametral acumulado hasta el año n,
 n = Año transcurrido o edad del árbol.

El ICAD se calculó utilizando las cinco (05) ecuaciones de los modelos de crecimiento de Schumacher, descritos por Campos y Leite (2006), la formulación padrón se basó tomando en consideración la tasa de crecimiento de los árboles de la especie, obteniéndose la tasa de crecimiento anabólica, considerada proporcional al tamaño del organismo o población, elevada a una potencia, en tanto que la tasa catabólica es directamente proporcional al tamaño, tal como se presenta en la Ecuación 2.

3.2.5 Modelos de crecimiento

A continuación, se presentan los cinco (05) modelos matemáticos de simulación de crecimiento en función a la edad (Schumacher 1933), utilizados para predecir el crecimiento de *O. pyramidale* en función a la edad del árbol.

$$cad = e^{a+b(l/i)} \cdot \partial \quad [\text{Modelo 01}]$$

$$cad = e^{a+b \cdot i^{-c}} \cdot \partial \quad [\text{Modelo 02}]$$

$$cad = a \cdot b^{(l/i)} \cdot \partial \quad [\text{Modelo 03}]$$

$$cad = a \cdot b^i \cdot \partial \quad [\text{Modelo 04}]$$

$$cad = a \cdot i^b \cdot \partial \quad [\text{Modelo 05}]$$

Donde:

Cad = Crecimiento acumulado en diámetro (cm).

a, b, c = Coeficiente del modelo.

i = Edad de los árboles.

∂ = Error aleatorio

Para describir el crecimiento de los árboles muestreados en función a la edad, se utilizó los resultados del mejor modelo de crecimiento de Schumacher (1933), recomendado por Campos y Leite (2006), para ello se utilizó el software R Studio.

Los criterios de selección del mejor modelo de crecimiento fueron: el modelo con los valores más bajos de Coeficiente de Akaike (AIC), menor Error Estándar Residual (EER) y el modelo con coeficiente de variación más bajo, usando el paquete estadístico R (ver datos ordenados Anexo 2).

Es importante mencionar, que otros investigadores también han aplicado dichos modelos de crecimiento e inferido sobre la edad de varias especies de los bosques tropicales del Perú (Madre de Dios y Lambayeque) y Brasil (Acre), en función al crecimiento diamétrico de las especies (David *et al.* 2019, Pires *et al.* 2021).

3.2.6 Determinación del turno técnico de corta de máxima producción

Con los resultados obtenidos del mejor modelo de crecimiento diamétrico en función a la edad del árbol, se diseñó un gráfico para analizar el comportamiento del crecimiento de la especie y determinar la edad del turno técnico de corta máxima de producción. La curva obtenida correspondió a la media o promedio obtenido de la muestra completa, con la que se estimó la edad del turno técnico de corta de máxima producción.

Para calcular la edad del turno técnico de corta se usó uno de los métodos señalados por Campos y Leite (2006), esto es igualando las funciones Incremento Corriente Anual en Diámetro-ICAD con la función del incremento medio anual en diámetro-IMAD, para luego despejar la edad.

3.2.7 Determinación de la edad del DMC legal establecido para *Ochroma pyramidale*

El Diámetro Mínimo de Corta (DMC) legal y administrativo establecido por el estado peruano es 41 cm (INRENA 2002). De acuerdo a ello se procedió a calcular la edad a la que corresponde dicho diámetro utilizando el mejor modelo de crecimiento.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FORMACIÓN Y ANUALIDAD DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *O. pyramidale*

Se encontró una demarcación clara de los anillos de crecimiento en todas las rodajas extraídas de la sección transversal del tronco de los 10 árboles que crecieron en un bosque perturbado. Así la formación de los anillos de crecimiento es anual, mostrando todos ellos señales comunes de crecimiento; los límites de los anillos de crecimiento están demarcados por capas de fibras de 2 a 3 células con espesores de paredes más gruesas, donde la visibilidad aumenta cuando hay mayor concentración de fibras y una mayor frecuencia de vasos. Estos hallazgos presentan pequeñas similitudes con los estudios de Armijos (2019), quien afirma que los anillos de crecimiento son poco visibles o ausentes. De igual forma con Fuentes y Arango (2005), Campos *et al.* (2008) y Silva (2008), Richter y Dallwitz (2000); León (2014) quienes sostienen que los anillos de crecimiento están presentes pero son muy pobremente definidos o distintivos. Estas diferencias pueden ser explicadas en función a las condiciones climáticas y fisiográficas del área de estudio.

Respecto a la sensibilidad de los anillos de crecimiento a las alteraciones climáticas conforme a Grissino-Mayer (2001), clasifica como sensibilidad baja a valores entre: 0.1-0.19, media entre: 0.20-0.29 y sensibilidad alta a valores > 0.30 , por lo tanto, los 09 árboles de *O. pyramidale*, están siendo afectados por las variaciones del clima local, cuyo valor promedio de sensibilidad es alto (0.55). Así mismo, teniendo en consideración a Fritts (1974) y Fritts y Swetnam (1989), se podría afirmar que el ancho de los anillos de crecimiento de la sección transversal tienden a presentar mayor variabilidad por efecto del clima local.

De acuerdo a investigaciones y publicaciones, la mayoría de las especies arbóreas de la Amazonia presentan limitaciones en cuanto a la distinción de anillos, sin embargo, hay especies que muestran características de anillos claros y bien marcados, siendo este patrón más común en las especies de Lauraceae. Reconocer estos patrones anatómicos periódicos en la xilema de los árboles es el primer paso para comprender el ritmo de crecimiento y su ciclo anual (López y Villalba 2016; Reis-Ávila y Oliveira 2017).

Por estos motivos aunque Campos *et al.* (2008) manifiestan que los anillos de crecimiento son poco distintivos en *O. pyramidale*, los hallazgos en la presente investigación si muestran la anualidad de los anillos en los árboles, esto es, la formación de estructuras periódicas, como las bandas de crecimiento, así como evidencias de que la especie tiene un crecimiento periódico debido a sus características específicas y la estacionalidad ambiental. De acuerdo con esta afirmación, los resultados de la investigación muestran que los anillos de los árboles están correlacionados con las variables climáticas, lo cual es discutido en el acápite correspondiente. En tal situación, se puede afirmar que la estacionalidad térmica en la Amazonia influye en la actividad cambial, lo que conduce a la formación de anillos de árboles (López *et al.* 2013, López y Villalba 2016, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2022, Reis-Avila y Oliveira 2017) y en su crecimiento.

La anualidad fue confirmada a través del examen de sincronización de los anillos de crecimiento de *O. pyramidale* medidos, con los anillos calculados por el programa COFECHA. Se eliminó las mediciones de un árbol ya que bajaban la correlación entre los anillos medidos y los anillos calculados, se procedió a eliminar la medición de ese árbol (Tabla 2), trabajando en adelante con 9 árboles.

Tabla 2: Control de calidad de la datación cruzada de los anillos de crecimiento de los árboles de *O. pyramidale*

Especie	N° de árboles/series		Cronología (intervalo)	Edad máxima
	Antes	Después		
<i>O. pyramidale</i>	10 (40)	09 (32)	1997 - 2017	21 años

La anualidad en la formación de los anillos de crecimiento de *O. pyramidale* permitió la determinación de la edad de los árboles, a través de la construcción de la cronología master de los anillos de crecimiento de los 09 árboles de *O. pyramidale* (Figura 7).

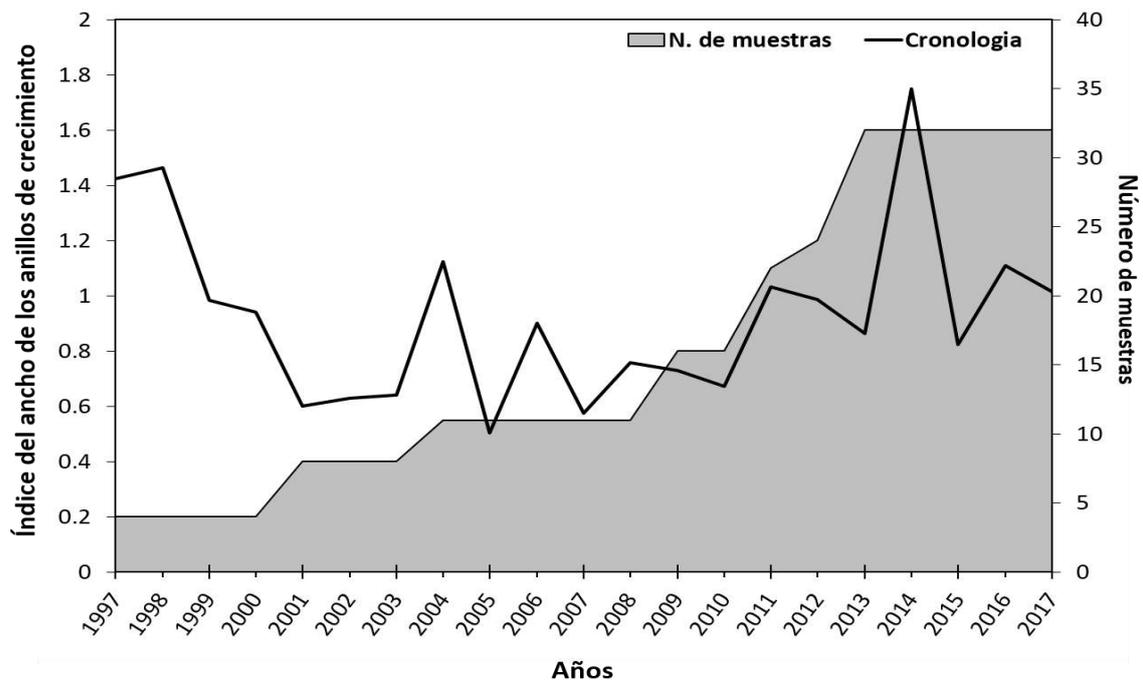


Figura 7: Serie cronológica master estandarizado y el número de muestras de los árboles de *O. pyramidale*

En la Tabla 3 se muestra que los resultados estadísticos de la datación y estandarización de la cronología de *O. pyramidale* indican que la edad máxima de los árboles fue 21 años para la zona de estudio (1997 a 2017). con una inter correlación positiva media de significancia de 42 por ciento y máxima de 99 por ciento de inter correlación. El resultado muestra que los árboles presentan un comportamiento similar en el área de estudio y están bien datados.

Tabla 3: Resultados estadísticos de la datación y estandarización de la cronología de *O. pyramidale*

Características	<i>O. pyramidale</i>
N° de árboles	09
Promedio de Inter correlación	0.42
Promedio de sensibilidad	0.55
Cronología (serie master)	1997 – 2017
Edad máxima	21 años

Fuente: elaboración propia

Con las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento con técnicas dendrocronológicas, fue posible determinar el crecimiento el diámetro de los 9 árboles. En la Tabla 4 se puede observar, que la especie en los bosques secundarios degradados en el sector Víctor Raúl Haya de la Torre, de edades comprendidas entre los 5-21 años; presentan un crecimiento diamétrico a la altura del pecho (DAP) entre 12 - 20 cm. con crecimiento no muy variable, por ser de diferentes edades. Destaca el hecho de que arboles de menores edades pueden alcanzar diámetros mayores a 10 cm, y que los árboles de mayor edad no experimenta mayor crecimiento diametral.

Tabla 4: Edad de los árboles y diámetros medido en campo

Árbol	Edad del árbol (años)	DAP medido (cm)
1	17	19
2	9	17
3	7	20
4	9	16
5	7	12
6	5	13
7	5	16
8	14	18
9	21	17
Promedio	10.44	16.44
Mínimo	5	12.00
Máximo	21	20.00

Fuente: elaboración propia

4.2 CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICAMENTE LA MADERA DE *O. pyramidale*

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización macroscópica y microscópica de la especie:

Características Generales

En condición seca al aire, no existe diferencia visual marcadas entre albura y duramen (Figura 7), esta diferenciación se puede observar para todos los árboles estudiados en el Anexo 1. La albura es de color blanquecino y el duramen es de color rosado crema a marrón claro. Brillo

alto; olor no perceptible; sabor no distintivo; grano recto a ligeramente entrecruzado; textura media; veteado en arcos superpuestos generados por los anillos de crecimiento y jaspeado muy tenue generados por el grosor de radios.

La transición entre albura y duramen, coinciden con lo reportado por (León 2014) en los bosques de Venezuela, donde manifiestan que no existe transición entre la albura y el duramen; sin embargo, discrepa con (MAE y FAO, 2014) en los bosques de Ecuador, donde menciona que existe una transición de albura al duramen gradual.

Características Macroscópica

Anillos de crecimiento visibles a simple vista; demarcados por zonas fibrosas tangenciales de coloración oscura Figura 8.

Poros/Vasos visible a simple vista; solitarios y escasamente múltiples de 2,3.

Parénquima visible con lupa de 10x; parénquima apotraqueal difuso y difuso en agregado.

Radios visibles a simple vista en sección transversal y en la sección tangencial SON no estratificada.



Figura 8: Rodaja de la madera de *Ochroma pyramidale*, escaneada a una resolución de 1200 dpi

Los resultados de las características macroscópicas coinciden con León (2014) y Richter y Dallwitz (2000), donde la parénquima es del tipo apotraqueal difuso y difuso en agregados, asimismo, para los autores antes mencionados los anillos de crecimiento no son definidos.

Características Microscópica

Vasos con porosidad difusa, con $9 (\pm 5.0)$ vasos/mm² clasificados como pocos; arreglo radial; contorno circular a oval; longitud promedio de $418.8 (\pm 98.95)$ μm clasificados como medianos; diámetro tangencial promedio de $137.6 (\pm 41.13)$ μm clasificados como medianos (Tabla 2). Placa de perforación simple; puntuaciones intervasculares alternas; puntuaciones radiovasculares semejantes a las intervasculares en forma y tamaño. **Parénquima axial** del tipo apotraqueal difuso y difuso en agregado.

Radios con $6 (\pm 1.30)$ /mm; heterocelulares con células cuadradas y erectas; multiseriados, longitud promedio de $1100.8 (\pm 398.47)$ μm ; ancho promedio de $92.0 (\pm 23.44)$ μm ; número de células de alto en promedio de $25.8 (\pm 8.71)$ células; número de células de ancho en promedio de $4.0 (\pm 1.07)$ células (Figura 8).

Fibras del tipo libriformes; no septadas; longitud de $1583.4 (\pm 229.73)$ μm clasificados como cortas; diámetro promedio $33.2 (\pm 13.66)$ μm ; lumen promedio de $18.4 (\pm 7.36)$ μm ; espesor de la pared promedio de $7.4 (\pm 4.20)$ μm . (ver información anatómica para los tres árboles en Anexo 3)

Tabla 5: Ficha Biométrica de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb

Variables	Nº de datos	Promedio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo	C.V (%)
Diámetro tangencial de vasos μm	75	137.6	41.13	49.72	210.82	30
Número de vasos/mm^2	75	8.7	4.91	2	20	56
Altura de radios μm	75	1100.8	398.47	403.22	1807.20	36
Ancho de radios μm	75	92.0	23.44	41.96	140.56	25
Células de alto de radios	75	25.8	8.71	12	49	34
Células de ancho de radios	75	4.0	1.07	2	8	27
Número de radios/ mm	75	6.3	1.30	3	9	20
Diámetro total de fibras μm	75	33.2	13.66	14.76	74.52	41
Lumen de las fibras μm	75	18.4	7.36	7.80	37.26	40
Espesor de pared de fibras μm	75	7.4	4.20	0.09	20.9	56
Longitud de fibras μm	75	1583.4	229.73	1015.49	2114.32	15
Longitud de elementos vasculares μm	75	418.8	98.95	221.21	686.78	24

Fuente: elaboración propia.

Sobre la estructura microscópica de la madera de *Ochroma pyramidale*, comparada con otros estudios realizados coincide con las descripciones de (MAE y FAO 2014), para la especie, al señalar que longitudinalmente los vasos son alargados y delgados, cortos y anchos con sus extremos inclinados; en su pared lateral presentan puntuaciones ordenadas en forma alterna y aureolada; elementos de vasos muy cortos, aumentando de forma proporcional con la edad. Además, comparando con lo descrito por (Acevedo y Kikata 1994), sobre el diámetro tangencial de los vasos y la longitud del elemento vascular, en ambos casos es un poco superior a los encontrados en la presente investigación de 186 a 198 μm y 499 a 519 μm respectivamente; esta diferencia anatómica puede deberse por diversos factores bióticos y abióticos.

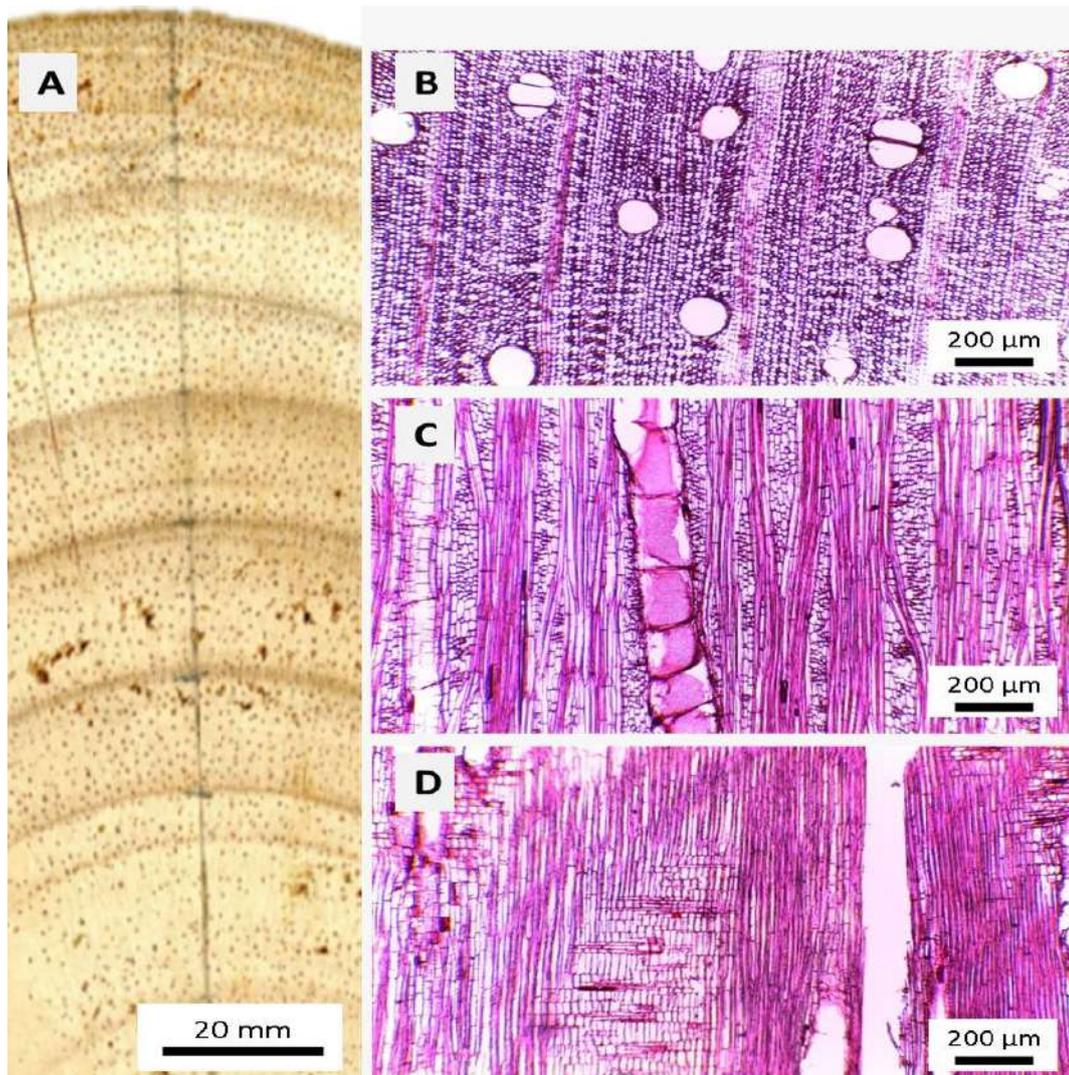


Figura 9: Fotografías macroscópicas y microscópicas de *Ochroma pyramidale*. A) Sección transversal macroscópica, mostrando la delimitación de los anillos de crecimiento de la especie. B) y C) Sección tangencial y radial macroscópica. C) Sección radial macroscópica. D), E) y F) Secciones microscópicas: transversal, tangencial y radial. Secciones microscópicas transversal y tangencial con aumento de 10x y la sección radial microscópica con aumento de 40x

4.3 RELACIÓN ENTRE LA VARIACIÓN DEL CRECIMIENTO DIMÉTRICO, LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA

Del análisis de correlación entre los índices de crecimiento de *O. pyramidale* y la precipitación, estas fueron positivas y negativas. Sin embargo; ninguna de las correlaciones negativas

registrados con la precipitación fue estadísticamente significativas (Figura 10). La correlación negativa ocurre durante la estación lluviosa, donde la reducción de la tasa de crecimiento ocurre en los meses de noviembre y diciembre (año previo), enero, febrero, marzo, abril, mayo (año corriente), enero, febrero, marzo, abril (año posterior).

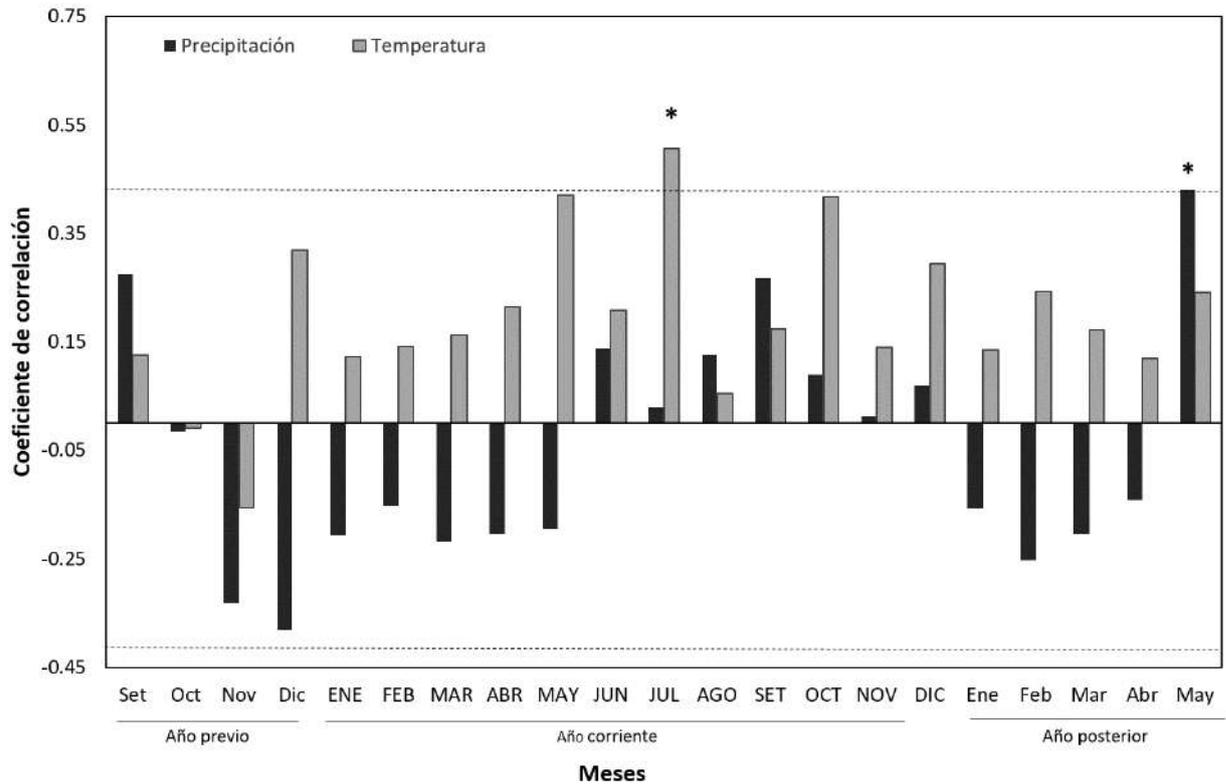


Figura 10: Sensibilidad climatológica de *O. pyramidale* a la temperatura máxima mensual y la precipitación mensual. (*) denota significancia a 0.05

Según Taiz *et al.* (2017) la saturación del agua en el suelo, puede ocasionar la asfixia temporal y la inhibición del crecimiento del sistema radicular, con consecuencia en la reducción de tasas de crecimiento en diámetro del tronco de los árboles. Sin embargo, de acuerdo a Botosso y Tomazello (2001), después de esa gradual reducción; al final del periodo de lluvias, sigue una lenta y gradual retorno del crecimiento, a partir del inicio y durante el periodo seco, retornando a la actividad cambial esto es, al crecimiento en el ancho de los anillos de crecimiento.

Por otro lado, existe una correlación positiva entre la temperatura y el ancho de los anillos de crecimiento de *O. pyramidale*; siendo significativa y consistente en el periodo de tiempo evaluado. Este resultado puede estar relacionada al hecho de que la temperatura no sufre grandes variaciones a lo largo del año ni en forma interanual (Figura 10). Así mismo, es

importante considerar la interacción de la temperatura con las características ecológicas de *O. pyramidale*, por ser una especie pionera corresponde al grupo de las heliófitas efímeras, que compite ventajosamente con las demás especies del bosque que buscan luz, y crecen rápidamente por requerir plena exposición al sol (Huanca y Guerreros 2020; Vela 2019; Manta 1988).

Se verifico, la influencia de la precipitación y la temperatura mensual en el ancho de los anillos de crecimiento de *O. pyramidale*, debido a las correlaciones positivas y significativas. Para el mes de julio (temperatura de la estación seca) del año corriente ($r=0.43$; $p<0.05$) y en el mes de mayo (precipitación al final de la estación lluviosa) del año posterior ($r=0.43$; $p<0.05$) las correlaciones son significativas. Finalmente se puede afirmar que el resultado en el crecimiento radial de los árboles de *O. pyramidale*, presenta una mayor relación con la temperatura que con la precipitación.

El estudio nos permite probar los efectos de regulación de las condiciones climáticas sobre el crecimiento mediante el análisis de la sincronía de crecimiento de los árboles en una población en relación con las condiciones climáticas (Reis-Avila y Oliveira 2017, López y Villalba 2016, López *et al.* 2013). Un patrón de crecimiento en bosques degradados es una fuerte evidencia de la influencia de factores limitantes ambientales, como el clima, que operan de la misma manera sobre toda la población (López *et al.* 2013, López y Villalba 2016, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2022, Reis-Avila y Oliveira 2017). Los mismos autores explorando el sincronismo de crecimiento de varias especies, mostrando valores del coeficiente de correlación media de 0.33, inferior a *O. pyramidale* ($r=0.43$; $p<0.05$) (Rahman *et al.* 2018, Albiero-Júnior *et al.* 2019, Rahman *et al.* 2018, López *et al.* 2013). Por lo que, podemos afirmar que los arboles estudiados tuvieron una buena calidad de Inter correlación para estudios dendrocronológicos (Portal-Cahuana *et al.* 2023). La cronología se construyó con todas las series e individuos y, sin embargo, mostró un buen potencial dendroclimático. Estos valores descriptivos de las cronologías obtenidos en nuestro estudio son comparables con los obtenidos en otros estudios dendrocronológicos de la región Amazónica (Portal-Cahuana *et al.* 2023, Reis-Avila y Oliveira 2017). Los perfiles de correlación revelaron que tanto la precipitación como la temperatura de la temporada de crecimiento actual influyen en el crecimiento anual de árboles de *O. pyramidale*. Las correlaciones negativas con la lluvia y las correlaciones positivas con la temperatura media mostraron que el crecimiento está asociado negativamente con la disponibilidad de agua en la temporada de crecimiento actual (Rahman

et al. 2018, López y Villalba 2016, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2022). Las altas temperaturas aumentan las tasas de evapotranspiración y producen condiciones de agua menos favorables durante la estación seca y lluviosa, lo que lleva a la formación de anillos estrechos. En sitios de la Amazonia, tanto la temperatura como la precipitación tienen poder sobre el crecimiento anual total, pero depende de qué tan fuerte sea la estacionalidad de las lluvias (Portal-Cahuana *et al.* 2023, Rahman *et al.* 2018, López *et al.* 2013, López y Villalba 2016, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2022, Reis-Avila y Oliveira 2017, Portal-Cahuana *et al.* 2023, Rahman *et al.* 2018, López *et al.* 2013, López y Villalba 2016, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2022, Reis-Avila y Oliveira 2017).

4.4 CRECIMIENTO DIAMÉTRICO DE *O. pyramidale*

En la tabla 6 se observa el resultado de la aplicación de las fórmulas de incrementos en los diámetros de los 9 árboles estudiados. Se observa que presentan un comportamiento variable, resaltando el “árbol 1” con 17 años de edad que alcanzó un incremento de diámetro acumulado-IDA de 12.91 cm y un incremento medio anual-IMA de 0.76 cm/año; que comparado con el árbol 5 de 7 años tuvo el menor IDA (6.96 cm), y un IMA de 0.99 cm/año.

Tabla 6: Incrementos dimétricos de árboles de *O. pyramidale* en relación a la edad

Árbol	edad	IDA (cm) ¹	IMA (cm/año) ²
1	17	12.91	0.76
2	9	11.12	1.24
3	7	9.70	1.39
4	9	7.09	0.79
5	7	6.96	0.99
6	5	7.91	1.58
7	5	8.89	1.78
8	14	10.84	0.77
9	21	12.81	0.61
Media	10.44	9.80	1.10

Nota: 1. Incremento dimétrico acumulado, 2. Incremento medio anual.

Existen árboles con las mismas edades por ejemplo (3 y 5) con 5 años y (2 y 4) con nueve años donde el incremento medio anual son diferentes pese a tener la edad igual, esto se puede deber a diferentes factores como el sitio, disponibilidad de agua, competencia, que hacen que puedan presentar variabilidad en su crecimiento pese a la misma edad (Valerio y Salas 1998), sin embargo en menores edades por ejemplo 5 años (árboles 6 y 7) se observó un IMA similar.

El incremento medio anual-IMA promedio, mínimo y máximo para los árboles de *O. pyramidale* fue 1.10, 0.61 y 1.78 cm/año respectivamente. Se resalta que estos resultados son de árboles de bosques naturales perturbados. Comparando el incremento medio anual-IMA de plantaciones de *O. pyramidale*, en Ecuador (Meza 2016), estos son significativamente mayores (3.45 a 5.64 cm/año). Estas diferencias están relacionadas al desarrollo tecnológico en las plantaciones con esta especie, que contempla mejoras en las técnicas de germinación, siembra, distanciamientos, nutrientes, entre otros (Meza 2016).

Cuando se compara el incremento anual de *O. pyramidale* con otras especies forestales de rápido crecimiento, se comprueba que es mayor a otras especies forestales heliófitas de bosque húmedo tropical. Por ejemplo, Quinto-Mosquera y Moreno-Hurtado (2010) encontraron que en un bosque pluvial tropical el incremento corriente anual de *Pourouma chocoana* fue 0.36 cm/año, para *Miconia punctata* 0.30 cm/año (en Colombia). Mientras, Portal *et al.* (2020) determinaron que el incremento medio anual-IMA de *Jacaranda copaia*, en Madre de Dios, fue 0.80 cm/año. Sin embargo, es importante mencionar que dichos autores calcularon dichos crecimientos diamétricos con diferentes modelos de crecimiento que podrían influir en la diferencia de resultados.

4.5 ECUACIONES DE CRECIMIENTO DE *O. pyramidale*

En la Tabla 7 se presentan los resultados de los modelos de crecimiento, para determinar la edad del turno técnico de corta de la especie. De acuerdo con los requisitos propuestos en la metodología, fue seleccionado el Modelo 1. Este modelo según Clutter *et al.* (1983) ayuda a explicar que paso y que puede pasar con el crecimiento de la especie en el tiempo. Por ello, no debe haber controversia o discusión en utilizar el Modelo 1 para describir el crecimiento de *O. pyramidale*, a pesar de tener un error estándar residual promedio de 2.58 cm (Tabla 7), el modelo es considerado aceptable. Además, es necesario considerar el número de árboles (9) analizados en la presente investigación, las series medidas por árbol (4), y las variables de crecimiento entre los árboles analizados, da robustez a los resultados.

Tabla 7: Coeficientes de variación de los parámetros en el ajuste y criterios de selección de cinco modelos de crecimiento no lineales de *Ochroma pyramidale*

Modelo	Coeficientes			AIC	EER	CV
	A	b	C			
Modelo 1	2.18894 (0.08846)	-2.76199 (0.55137)	----- --	448.9318	2.58	55.80
Modelo 2	3.2068 (1.6271)	-2.8251 (1.3080)	0.3338 (0.3524)	481.7266	2.567	55.52
Modelo 3	2.464900 (0.336173)	0.895582 (0.006267)	----- --	504.1793	2.689	58.15
Modelo 4	3.060072 (0.328296)	1.066000 (0.009143)	----- --	498.8237	2.652	57.35
Modelo 5	1.96767 (0.35184)	0.51962 (0.07767)	----- --	480.3849	2.561	55.39

Leyenda: coeficientes (a, b, c), coeficiente de Akaike (AIC), Error Estándar Residual (EER) en cm y el coeficiente de variación (CV) en porcentaje. Fuente: elaboración propia.

4.6 TURNO TÉCNICO DE CORTA DE MÁXIMA PRODUCCIÓN DE *O. pyramidale*

La producción de madera de forma sostenible requiere de la determinación de la edad de a la máxima producción volumétrica de acuerdo a su crecimiento en el tiempo y así definir la edad técnica de corte para aprovechamiento. Así mismo, se requiere implementar actividades silviculturales, que permitan estimular el crecimiento de la especie acorde a los requerimientos del mercado y ecológicos de la especie. En la Figura 11, se muestra las curvas de crecimiento de los árboles analizados, así como la curva de crecimiento del modelo seleccionado para la especie.

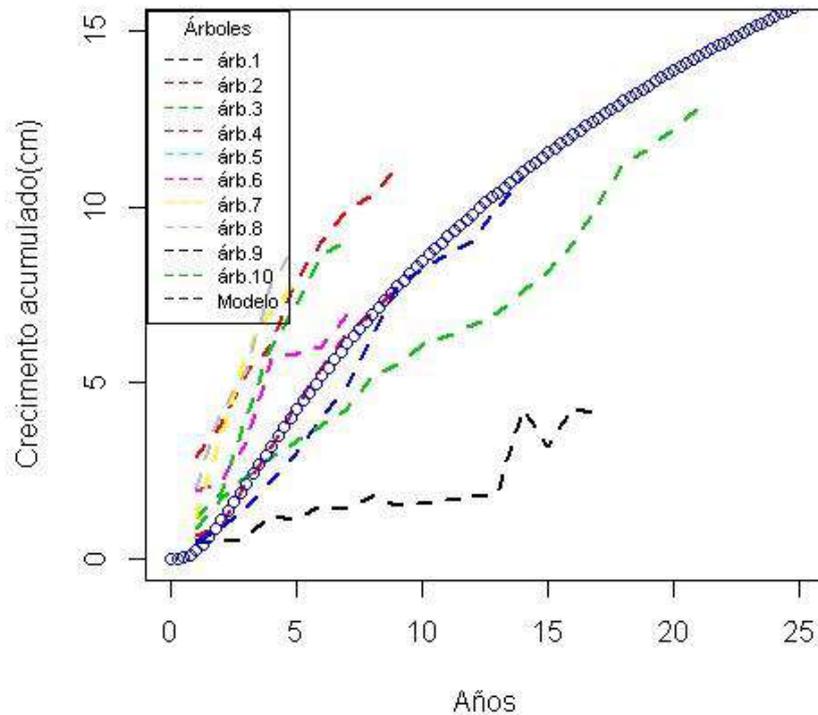


Figura 11: Curvas de crecimiento y Modelo I para la especie *Ochroma pyramidale*, en base a los modelos de crecimiento de Schumacher

En la Figura 11 se observa, que la intercepción de la curva del ICA e IMA de la especie *O. pyramidale* ocurre a los 12 años, edad que corresponde a la edad técnica de corte o turno técnico de corte de máxima producción. A esta edad el diámetro promedio de la especie es 13.8 cm. Es decir, que a partir de los 12 años en adelante el crecimiento de *O. pyramidale* es decreciente. En ese sentido, el mejor momento para intervenir los rodales a través de cortas de explotación o raleos, es 12 años. Imaña y Encinas (2008) consideran a este turno como el mejor momento de intervenir el bosque en los diferentes sistemas silviculturales para la producción de madera.

Los resultados son similares a los reportados por otras investigaciones sobre *O. pyramidale* (Armas y Paredes 2019, Armey Malpartida 2019, Balteiro 1997, Bustamante 2017, Chávez 2021, Condit *et al.* 1993, David *et al.* 2019, Garate-Quispe *et al.* 2021, Quinto-Mosquera y Moreno-Hurtado 2010), por lo que, podemos afirmar que la especie crece rápidamente en los primeros años, produciendo madera de baja gravedad específica, mientras, que a medida que el árbol avanza en edad, aumenta la gravedad específica de la madera lo cual está relacionado con la mayor necesidad de soporte estructural. Después de 4 a 6 años, el crecimiento se hace

más lento, la madera se vuelve más densa, con lo cual pierde valor comercial, si la producción está orientada a tableros para molinos de viento.

El aumento de la gravedad específica parece continuar incluso en árboles de mayores diámetros, sin importar qué tan lejos está la madera de la médula (variación radial), tal es el caso en Costa Rica, donde encontraron que la gravedad específica aumentaba radialmente de 100 a 200 por ciento. Por ello, los productores de madera de *O. pyramidale* cosechan los árboles de 4 a 6 años, es decir, cuando la gravedad específica de la madera es la baja y la madera es blanda (Rueda y Williamson 1992, Wiernann y Williamson 1988).

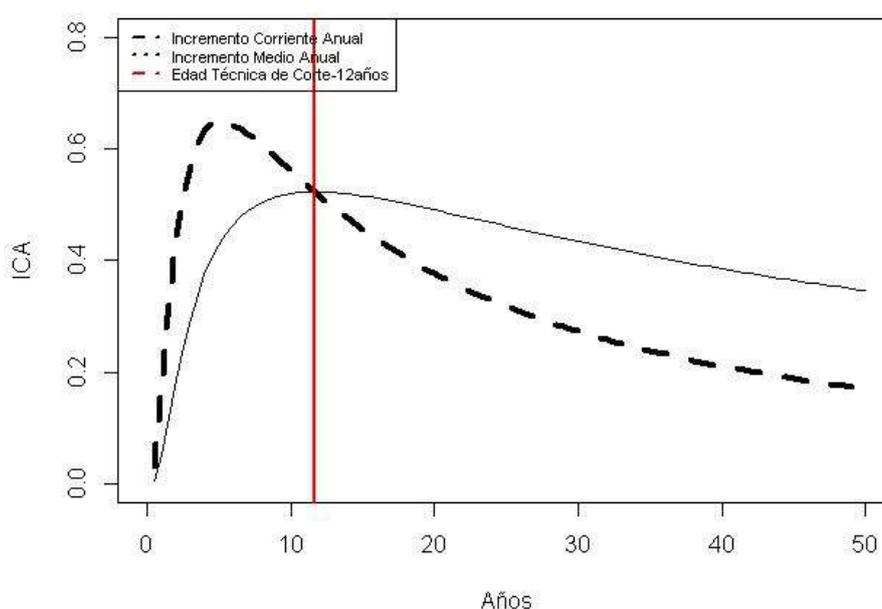


Figura 12: Turno técnico de máxima producción determinada por las curvas del incremento corriente anual-ICA y el incremento medio anual-IMA para *Ochroma pyramidale*

De acuerdo con el modelo de crecimiento 1, a los 6 años *O. pyramidale*, tendrá un diámetro aproximado de 10.77 cm. En función a ello, se propone que el DMC establecido por la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, baje de 41 cm a 11 cm de DAP, como una forma de optimizar el uso racional de la especie, esto es, usando el turno técnico de corta de máxima producción. Así mismo, de acuerdo a Manta (1988) el turno silvicultural de la especie sería 6 años de edad, ya que cosechando los árboles de *O. pyramidale*, a los 6 años, la permanencia de la especie está garantizada, pues la floración y diseminación en el bosque natural se inicia al tercer o

cuarto año de su establecimiento, con lo que se estaría asegurando la conservación de la especie en el bosque.

De acuerdo a los resultados encontrados se puede afirmar que la especie de *O. pyramidale*, debe ser aprovechada a la edad de 12 años, ya que la especie alcanza el máximo incremento medio anual-IMA. Sin embargo, debido a que el mercado nacional e internacional demanda la madera blanda y juvenil, se puede usar como turno técnico de corta la edad de 6 años, ya que esta edad armoniza las propiedades tecnológicas de la madera y el valor comercial actual de *O. pyramidale* (Chávez 2021, Utia 2012).

4.7 LA EDAD DE CORTE REFERIDA AL DIÁMETRO MÍNIMO DE CORTE (DMC) LEGAL DE *O. pyramidale*

El DMC para la especie *O. pyramidale*, es 41 cm, el cual fue establecido por la Resolución Jefatural N°458-2002-INRENA, del 13 de diciembre del 2002. Es necesario resaltar que se desconoce los criterios para determinar este DMC. Parece que fue un criterio cualitativo de protección, y no tomó en cuenta el turno económico, silvicultural técnico de la especie, la edad que tuviera a los 41 cm de diámetro, y los usos comerciales de la madera.

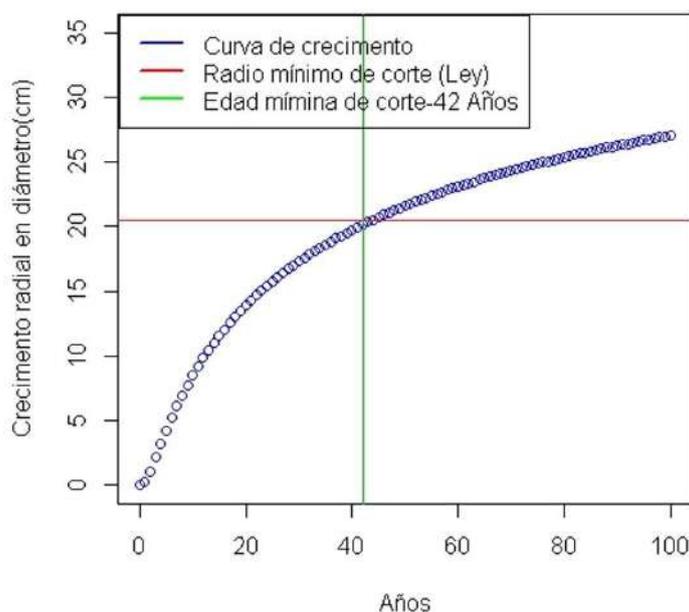


Figura 13: Edad mínima de corte considerando DMC establecido por la legislación Forestal y de Fauna Silvestre para la especie *Ochroma pyramidale*

De acuerdo a la curva de crecimiento de la especie (Figura 13) se observa que *O. pyramidale*, demoraría 42 años para alcanzar el DMC legal ya que gráficamente alcanza el radio de 20.5 cm a los 42 años. Esto significa que legalmente se puede aprovechar la madera de *O. pyramidale* a los 42 años según los resultados de esta investigación.

De los antecedentes y resultados de la investigación, podemos afirmar que para varias especies tropicales de la cuenca Amazónica y de la Amazonia peruana y en especial en áreas degradadas no existe información sobre el crecimiento del área basal, en este contexto, la especie *Ochroma pyramidale* forma parte del vacío de información. Este hecho no impide, pero si limita la determinación del período de rotación de aprovechamiento (Rahman *et al.* 2018). Las regulaciones de manejo forestal en el Perú se basan en gran medida en estimaciones de las tasas de crecimiento de los bosques tropicales en otros lugares y el establecimiento de ciclos de rotación e intervalos de cosecha similares para la mayoría de las especies, incluso en diferentes regiones (Rahman *et al.* 2018, Portal-Cahuana *et al.* 2023, López *et al.* 2013). El intervalo y la intensidad de cosecha, expresados como el porcentaje de área basal que se extrae en cada corte, brindan los principios básicos para el manejo sustentable de los bosques, los cuales deben proponerse con base en las tasas de crecimiento reales para las diferentes especies y sitios (Rahman *et al.* 2018). Con base en estimaciones imprecisas del crecimiento de los árboles, muchas especies podrían cortarse antes de que alcancen su momento óptimo de cosecha (López *et al.* 2013, Rahman *et al.* 2018). A pesar de las limitaciones, nuestros resultados son comparables a los reportados por otros estudios en diferentes tipos de bosques y nivel de perturbación de la Amazonia peruana y, sientan las bases para iniciar procesos de manejo de la especie *O. pyramidale* (Reis-Avila y Oliveira 2017, Albiero-Júnior *et al.* 2019, López *et al.* 2013, Rahman *et al.* 2018, López *et al.* 2013, Rahman *et al.* 2018).

Adicionalmente, según Manta (1988) muchas especies heliófitas efímeras, no alcanzan grandes diámetros por las funciones que desempeñan dentro de la dinámica de los bosques húmedos tropicales naturales, es decir, que en muchos casos no se encontraran individuos con el DMC legal, especialmente si se trata de un área perturbada por la minería. Con lo cual se limita el aprovechamiento de la especie. Por otro lado, investigadores determinaron que la especie aumenta la densidad de la madera con la finalidad de reforzar su estructura leñosa para garantizar su supervivencia (seguridad biomecánica) puesto que, al ser una especie pionera *O. pyramidale* crece rápido en altura, pero llega un momento que su altura y el tamaño de su copa puede generar fallas o rupturas, por efectos del viento, principalmente. Por ello, aumenta la

densidad de la madera de la médula a la corteza. Sin embargo, estas características físicas de la madera la descalifican para los fines de producción comercial actual (Hietz *et al.* 2013, Lehnebach *et al.* 2019, Salvo *et al.* 2017, Woodcock y Shier 2002).

V. CONCLUSIONES

- La especie *Ochroma pyramidale* que crece en un bosque secundario degradado por la agricultura, presenta anillos anuales de crecimiento
- La especie presenta un crecimiento anual de los anillos, promedio de 1.1 cm/año.
- El turno técnico de corta de máxima producción de *Ochroma pyramidale* es 12 años, donde los diámetros medios alcanzan los 13.2 cm.; sin embargo, si el aprovechamiento es para molinos de viento el turno técnico de corta de la especie sería desde los 6 años de edad.
- Se ha determinado una relación entre la temperatura, la formación de anillos y el crecimiento, siendo significativamente positiva con la temperatura, lo que conduce a un crecimiento rápido de la especie para alcanzar el dosel superior, donde la temperatura es mayor. La relación entre el crecimiento de la especie y la precipitación es variable; en las épocas de mucha precipitación los niveles de saturación del suelo son altos e inhibe el crecimiento dimétrico de la especie.

VI. RECOMENDACIONES

- Es necesario dar a conocer sobre el crecimiento y turno de corta de *O. pyramidale*. ya que su DMC debe ser fijados de acuerdo al turno técnico de corta, turno económico y silvicultural en un intento de detener la tala ilegal de la madera.
- Las instituciones con competencias en el sector forestal deberían promover la regeneración natural y artificial de la especie para contribuir a la recuperación de los bosques naturales e incluir a esta especie en la lista de maderas tropicales para exportación, como un intento de ofrecer producción forestal como una alternativa a la minería ilegal.
- Hacer estudios fenológicos para confirmar la edad reproductiva de la especie, y así, asegurar la permanencia de la especie en los ecosistemas forestales de Madre de Dios
- Colectar árboles en áreas perturbadas por otros agentes, para comparar y conocer si el comportamiento de la especie en relación a la persistencia de la anualidad de los anillos de crecimiento.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Alvarado, MM. 2021. Propiedades, secado, trabajabilidad y control genético de la madera de nueve clones de *Swietenia macrophylla* de 8 años, Sarapiquí, Costa Rica.
- Acevedo, M; Kikata, Y. 1994. Atlas de Maderas del Perú. I. Japón, UNALM – Universidad de Nagoya, vol.I. 202 p.
- Alarcón, G; Díaz, J; Vela, M; García, M; Gutiérrez, J. 2016. Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999-2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado–Inambari). *Revista Investigaciones Altoandinas* 18(3):319-330.
- Alarcón, G; Diaz Revoredo, JL; Barriga Paredes, VÁM. 2021. Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana.
- Alarcón, GA; Robles, RRC; Duarez, FMG; Achata, LR; Chacón, LEG; Garate-Quispe, J. 2021. Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana: un estudio de caso en Madre de Dios. *Ecosistemas* 30(2):2175-2175.
- Albiero-Júnior, A; Venegas-González, A; Botosso, PC; Roig, FA; Camargo, JLC; Tomazello-Filho, M. 2019. What is the temporal extension of edge effects on tree growth dynamics? A dendrochronological approach model using *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke trees of a fragmented forest in the Central Amazon. *Ecological Indicators* 101:133-142.
-
- _____. 2019. What is the temporal extension of edge effects on tree growth dynamics? A dendrochronological approach model using *Scleronema micranthum* (Ducke) Ducke trees of a fragmented forest in the Central Amazon (en línea). *Ecological Indicators* 101:133-142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.040>.

- Aleman, EI; Sánchez, RR; Roca, LB; Boix, YF; Dubois, AEF; Kindelán, GA; Aguilera, JG; Zuffo, AM. 2019. Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. *Ciência em Foco* :79.
- Anchundia, JJ. 2021. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex lam.) urb.(balsa) de tres años de edad. B.S. thesis. s.l., Quevedo: UTEQ.
- Aragão, JRV; Zuidema, PA; Groenendijk, P. 2022. Climate-growth relations of congeneric tree species vary across a tropical vegetation gradient in Brazil. *Dendrochronologia* 71:125913. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125913>.
- Arévalo, R; Londoño, A. 2005. MANUAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MADERAS QUE SE COMERCIALIZAN EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA. Primera. Tolima - Colombia, s.e. 161 p.
- Armas, MLT; Paredes, LUN. 2019. Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 8(2):98-106.
- Arney Malpartida, RM. 2019. Diversidad arbórea en tres estadios sucesionales en bosques en la Selva Central del Perú.
- Armijos, A. 2019. Evaluación anatómica de 50 especies forestales en el Sur de Ecuador. PhD [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Loja. Facultad de Agropecuaria. Ecuador.
- Asner, GP; Llactayo, W; Tupayachi, R; Luna, ER. 2013. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring (en línea). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(46):18454-18459. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>.
- Asner, GP; Tupayachi, R. 2016. Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon (en línea). *Environmental Research Letters* 12(9):094004. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7dab>.
- Azañero, WO. 2021. Caracterización ecológica y económica de bolaina blanca (*Guazuma crinita* C. Mart.) en la cuenca media del río Huallaga.

- Balarezo, AC; Porras, LÁ. 2020. Diversidad de especies vegetales de interés etnobotánico en la Comunidad Chorreras, Provincia de Pastaza. B.S. thesis. s.l., Universidad Estatal Amazónica.
- Balteiro, LD. 1997. Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. Revista española de economía agraria :181-224.
- Barbosa, AC; Pereira, G; Granato, D; Santos, RM; Fontes, MA. 2018. Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. Australian Journal of Botany 66(5):414. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT17212>.
- Barragán, MS. 2015. Evaluación de la calidad de plantaciones de balsa *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. de un año de edad, en los cantones Valencia y Mocache, provincia de Los Ríos. B.S. thesis. s.l., Quevedo: UTEQ.
- Becerra, V. (2011). Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en la región Cajamarca-Perú. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Escuela de Postgrado.
- Becerra, V; Zevallos, P. 2014. Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en San Ignacio, región Cajamarca-Perú. *Ceprosimad* 2(2):33-47.
- Bonilla, JA; Alarcón, JA. 2015. Turnos técnico y económico de tala para árboles de Romerillo blanco en Ecuador. *Ecología Aplicada* 14(2):127-137.
- Botosso, PC; Tomazello, M. 2001. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e. Indicadores ambientais: conceitos e aplicações :145.
- Brack, A; Ipenza Peralta, CA; Álvarez, J; Sotero, V. 2011. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: Una bomba de tiempo.
- Brienen, R; Zuidema, P. (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. s.l., Programa Manejo de Bosques de la Amazonia Boliviana Instituto de Geología.

- Brienen, RW; Zuidema, PA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia* 146(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0160-y>.
- Briones, JV. 2020. Diámetros mínimos y máximos de aprovechamiento en plantaciones de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.(BALSA) en la Provincia de Los Ríos, 2020. B.S. tesis. s.l., Quevedo-UTEQ.
- Buckley, BM; Hansen, KG; Griffin, KL; Schmiede, S; Oelkers, R; D'Arrigo, RD; Stahle, DK; Davi, N; Nguyen, TQT; Le, CN; Wilson, RJS. 2018. Blue intensity from a tropical conifer's annual rings for climate reconstruction: An ecophysiological perspective. *Dendrochronologia* 50:10-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.04.003>.
- Bustamante, W. 2017. Análisis de parámetros morfométricos en plantaciones de *Ochroma lagopus* (BALSA) en la Provincia de los Ríos. Master's Thesis. s.l., Quevedo: UTEQ.
- Caballero, APP. 2018. Caracterización física y mecánica de la madera de dos variedades de *Ochroma pyramidale* provenientes de Lacanjá Chansayab, Chiapas. PhD Thesis. s.l., El Colegio de la Frontera Sur.
- Cabral, AIR; Saito, C; Pereira, H; Laques, AE. 2018. Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data (en línea). *Applied Geography* 100:101-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.003>.
- Campos, JCC; Leite, HG. 2006. Mensuração florestal: perguntas e respostas. s.l., UFV.
- Campos, LE; Lobão, MS; Rosero-Alvarado, J. 2008. Potencialidad de especies forestales para dendrocronología a través de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en la Amazonía Peruana-Brasilera. *In VII Congreso Nacional de Estudiantes Forestales, Madre de Dios, Perú.* s.l., s.e.

- Chambi-Legoas, R; Ortega Rodriguez, DR; Figueiredo, F de M de; Peña Valdeiglesias, J; Zevallos Pollito, PA; Marcelo-Peña, JL; Rother, DC. 2021. Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. *Frontiers in Forests and Global Change* 4:594627. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.594627>.
- Chávez, G del C. 2021. Determinación del rendimiento volumétrico de madera aserrada de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. del centro de acopio San Eloy, Rocafuerte. B.S. thesis. s.l., Jipijapa. UNESUM.
- Clutter, JL; Fortson, JC; Pienaar, LV; Brister, GH; Bailey, RL. 1983. Timber management: A quantitative approach. s.l., John Wiley & Sons, Inc.
- Coello, JC. 2015. Mejora del proceso de paneles de balsa en el área Ck de la Empresa Plantabal SA del cantón Quevedo, año 2014. B.S. thesis. s.l., Quevedo-Ecuador.
- Condit, R; Hubbell, SP; Foster, RB. 1993. Identifying fast-growing native trees from the neotropics using data from a large, permanent census plot (en línea). *Forest Ecology and Management* 62(1):123-143. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90046-P](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90046-P).
- COPANT (1974). Maderas: Método para la descripción de las características generales, macroscópicas y microscópicas de las maderas angiospermas y dicotiledóneas: anteproyecto de Norma. Caracas-Venezuela, COPANT 30: 1 – 019. 25 p.
- Craker, LE. 2018. Plant Alkaloids: A Guide to Their Discovery and Distribution. s.l., Routledge.
- Cybis. 2020. Cybis CooRecord. Saltsjobaden: Cybis Elektronik & Data AB (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.cybis.se/forfun/dendro/helpcoorecorder7/index.htm>.
- Das, G; Shin, H-S; Ningthoujam, SS; Talukdar, AD; Upadhyaya, H; Tundis, R; Das, SK; Patra, JK. 2021. Systematics, Phytochemistry, Biological Activities and Health Promoting Effects of the Plants from the Subfamily Bombacoideae (Family Malvaceae). *Plants* 10(4):651.

- David, HC; Carvalho, JOP; Pires, IP; Santos, LS; Barbosa, ES; Braga, NS. 2019. A 20-year tree liberation experiment in the Amazon: Highlights for diameter growth rates and species-specific management (en línea). *Forest Ecology and Management* 453:117584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117584>.
- Dean, JS. 1997. *Dendrochronology*. s.l., Springer. p. 31-64.
- Del Valle, JA. 2021. Costo de establecimiento y crecimiento inicial de una plantación de *Ochroma pyramidale* (Cab. Ex. Lam) Urb.(balsa) en el cantón El Empalme, provincia del Guayas. B.S. thesis. s.l., Quevedo-Ecuador.
- Delmás, MD. 2020. Datación por dendrocronología. *In* Métodos cronométricos en arqueología, prehistoria y paleontología. s.l., Dextra. p. 71-88.
- Escalante, E; López, L; Villalba, R. 2020. Anillos de crecimiento de *Machaerium acutifolium* (Fabaceae): Historia de crecimiento y capacidad productiva en bosques secos tropicales (E Bolivia). *Ecología en Bolivia* 55(2):85-93.
- Faustmann, M. 2018. Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. s.l., Routledge. p. 1-40.
- Flores. 1994. Relación dendrocronológica entre el crecimiento radial del sapote y eventos climáticos. PhD Thesis. s.l., Tesis de Bachillerato, Universidad de Piura, Piura.
- Flores, BM; Staal, A; Jakovac, CC; Hirota, M; Holmgren, M; Oliveira, RS. 2020. Soil erosion as a resilience drain in disturbed tropical forests. *Plant and Soil* 450(1):11-25.
- Forero, JD; Gómez, LM. 2021. Análisis de la afectación ocasionada por la extracción minera aurífera artesanal e ilegal sobre los componentes económico, social y biótico en la vereda San Antonio del municipio de Santander de Quilichao (Cauca).
- Francis, JK. (1991). *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa Bombacaceae. s.l., Monograph SO-ITF-SM-41.
- Fritts, HC. 1974. Relationships of ring widths in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation. *Ecological Monographs* 44(4):411-440.

- Fritts, HC; Swetnam, TW. 1989. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in ecological research* 19:111-188.
- Fuentes, R; Arango, A. 2005. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima. Ibagué Colombia. Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA y Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima.
- Garate-Quispe, JSG; Robles, RRC; Huacachi, OS; Aguirre, GA. 2021. Desarrollo estructural y composición florística arbórea en áreas afectadas por minería aurífera en la Amazonía peruana: a 20 años de su reforestación. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92(2):5.
- Garcia-Orth, X; Martínez-Ramos, M. 2008. Seed dynamics of early and late successional tree species in tropical abandoned pastures: seed burial as a way of evading predation. *Restoration Ecology* 16(3):435-443.
- Godoy, M; Slotta, F; Alecio, PC; Ceccantini, G; Buckeridge, MS; Locosselli, GM. 2019. Improved tree-ring visualization using autofluorescence. *Dendrochronologia* 55:33-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.03.003>.
- Godoy-Veiga, M; Slotta, F; Alecio, PC; Ceccantini, G; Buckeridge, MS; Locosselli, GM. 2019. Improved tree-ring visualization using autofluorescence (en línea). *Dendrochronologia* 55:33-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.03.003>.
- González, B; Oviedo, B; Simba, L. 2018. Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale* sw). *Revista Científica Ciencia y tecnología* 18(20).
-
- _____. 2018. Un cultivo resiliente para enfrentar el cambio climático, la balsa (*Ochroma pyramidale* sw). *Revista Científica Ciencia y tecnología* 18(20).
- GOREMAD. 2001. Propuesta de Zonificación Ecológica Económica del departamento de Madre de Dios (en línea). Iquitos - Perú, Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana. 153 p. Consultado 7 feb. 2019. Disponible en http://repositorio.iiap.org.pe/bitstream/IIAP/143/2/Rodriguez_libro_2001.pdf.

- GOREMAD; IIAP. 2009. Macro Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios (en línea). s.l., s.e. Disponible en <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estudio-zonificacion-ecologica-economica-departamento-madre-dios>.
- Granato-Souza, D; Stahle, D; Barbosa, A; Feng, S; Torbenson, M; de Assis Pereira, G; Schöngart, J; Barbosa, J; Griffin, D. 2019. Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon. *Climate Dynamics* 52(3-4):1857-1869. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4227-y>.
- Grissino-Mayer, HD. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA.
- Groenendijk, P; Sass-Klaassen, U; Bongers, F; Zuidema, PA. 2014. Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa. *Forest Ecology and Management* 323:65-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.037>.
- Guera, OGM; Silva, JAA da; Ferreira, RLC; Álvarez Lazo, D; Barrero Medel, H. 2019. Modelos matemáticos para la determinación del turno óptimo en plantaciones forestales. *Madera y bosques* 25(1).
- Guibal, F; Guiot, J. 2021. *Dendrochronology*. s.l., Springer. p. 117-122.
- Guillén, R. 2014. Estimación del volumen de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) usando ecuaciones de ahusamiento para el departamento de Madre de Dios.
- Guimarães, ZTM; dos Santos, VAHF; Nogueira, WLP; Martins, NO de A; Ferreira, MJ. 2018. Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area (en línea). *Forest Ecology and Management* 430:618-628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.048>.
- Gutiérrez, M. 2009. La dendrocronología: métodos y aplicaciones. España, s.e. 309-322 p.
- Herrera, I; Ordoñez, L; Cruz, C; Freire, E; Rizzo, K. 2018. Malezas y plantas exóticas en las cercanías de una ciclo-vía en un área protegida y sitio Ramsar (Isla Santay) en la Costa de Ecuador. *INVESTIGATIO* (11):17-28.

- Hietz, P; Valencia, R; Joseph Wright, S. 2013. Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. *Functional Ecology* 27(3):684-692.
- Huaman, C. 2011. Dendrocronología de árboles de azúcar huayo (*Hymenaea courbaril* L.) en la región de Madre de Dios (provincia de Tahuamanu)- Perú. Tesis de maestría. Lima - Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 123 p.
- Huanca, I; Guerreros, AF. 2020. Análisis de la composición arborea y estructura de un bosque pluvial premontano en el sector Quincemil, Camanti (Cusco-Perú).
- IAWA. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin, new series* 10(3):219-332.
- Imana, J; Encinas, O. 2008. *Epidometría Forestal* (en línea). Unversidade de Brasília, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales - Departamento de Engenharia Floresta; Universidad de los Andes - Facultad de Ciencias Forestales 1(1ra edición):169. Consultado 24 jul. 2023. Disponible en https://www.academia.edu/39203782/EPIDOMETRIA_FORESTAL.
- INRENA. 2002. Diámetro mínimo de corta para las especies forestales. *Reolución Jefatural N°458-2002-INRENA*. . s.l., s.e. 3. p.
- Jara, JM. 2021. “Comparación de las propiedades físico-mecánicas de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.(balsa) de tres y cuatro años de edad creciendo en el cantón Quevedo, provincia de los Ríos. B.S. thesis. s.l., Quevedo-Ecuador.
- Jiménez-Romero, E; Garcías Franco, L; Carranza Patiño, M; Carranza Patiño, HM; Morante Carriel, J; Martínez Chévez, M; Cuásquer Fuel, J. 2017. Germinación y crecimiento de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. en Ecuador. *Scientia Agropecuaria* 8(3):243-250. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.07>.
- Kaennel, M; Schweingruber, FH. 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. *WSL FNP, Haupt* 133:162-184.
- Kometter, R. 2003. Mapificación y evaluación forestal del bosque de producción permanente del departamento de Madre de Dios. INRENA. 68 pp. s.l., s.e.

- Lamprecht, H. 1989. Silviculture in the tropics: tropical forest ecosystems and their tree species: possibilities and methods for their long-term utilization. s.l., Eschborn, DE: GTZ, (no. 634.95 L239s ing.).
- _____. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. s.l., GTZ, (no. 634.95 L239s esp.).
- Lascano, WS. 2021. Valoración económica de plantación de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam). Urb.(balsa) en el sector Colonia Eloy Alfaro de la parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fe, perteneciente a la provincia de Los Ríos, Ecuador. B.S. thesis. s.l., Quevedo-Ecuador.
- Lehnebach, R; Bossu, J; Va, S; Morel, H; Amusant, N; Nicolini, E; Beauchêne, J. 2019. Wood density variations of legume trees in French Guiana along the shade tolerance continuum: heartwood effects on radial patterns and gradients. *Forests* 10(2):80.
- León, W. 2014. Anatomía de maderas de 108 especies de Venezuela. s.l., s.e., (Publicaciones especiales). 267 p.
- Lobão, M; Chagas, M; Sette, C; Carvalho, I; Tomazello, M. 2010. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatómicas e usos da madeira. *CERNE* 16:97-105.
- López, A; Escobar, J. 2021. Definición de la clase estructural de una especie de madera determinada a partir de muestras con alta comercialización en el mercado local de maderas estructurales.
- López, L; Villalba, R. 2016. An assessment of *Schinopsis brasiliensis* Engler (Anacardiaceae) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia (en línea). *Dendrochronologia* 40:85-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.07.002>.
- López, L; Villalba, R; Bravo, F. 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia (en línea). *Forest Ecology and Management* 292:49-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.011>.

- López, L; Villalba, R; Stahle, D. 2022. High-fidelity representation of climate variations by Amburana cearensis tree-ring chronologies across a tropical forest transition in South America (en línea). *Dendrochronologia* 72:125932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2022.125932>.
- MAE; FAO. 2014. Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales. s.l., MAE-FAO Ecuador.
- Malatesta, KI. 2020. Dendrocronología de *Schizolobium parahyba* (vell.) SF Blake de bosques secundarios del Fundo el Bosque de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Tambopata-Madre de Dios.
- Mamani, EM. 2019. Dendrocronología en Árboles de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken., en el Sector La Joya–Tambopata–Madre de Dios. FALTA INFORMACIÓN
- Manta, MI. 1988. Análisis silvicultural de dos tipos de bosque húmedo de bajura en la vertiente atlántica de Costa Rica.
- Marcelo-Peña, J; Roig, F; Goodwin, Z; Tomazello, M. 2020. Characterizing growth rings in the trees of Perú: a wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia* :125728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>.
- Marichal, R; Praxedes, C; Decaëns, T; Grimaldi, M; Oszwald, J; Brown, GG; Desjardins, T; da Silva Junior, ML; Martinez, AF; Oliveira, MN. 2017. Earthworm functional traits, landscape degradation and ecosystem services in the Brazilian Amazon deforestation arc. *European Journal of Soil Biology* 83:43-51.
- Marín, RC; Bueno, MO; Cespedes, DG; Cordova, PM; Reasco, WL. 2018. Aceleración de la germinación de semillas de balsa (*Ochroma pyramidale*) por medio de métodos físicos y biológicos. *UTCiencia" Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo"* 5(3):207-213.
- Mariño, EN. 2020. Potencial dendrocronológico y caracterización anatómica de especies de importancia económica de Los Varillales de Jenaro Herrera-Perú.

- Martinez, ECI. 2002. Reconstrucción climática a partir del anillado de árboles de la costa norte del Perú. PhD Thesis. s.l., Tesis de Bachillerato, Universidad de Piura, Piura.
- Merediz, C. 2017. Impacto de la formalización minera sobre el uso y defensa del territorio comunal de las CC. NN. Boca Inambari y Tres Islas, Madre de Dios.
- Meza, EA. 2016. Efecto de la calidad de sitio forestal en el incremento medio anual de *Ochroma Pyramidale* (balsa), Provincia de Manabí, año 2015. Propuesta de reforestación. Master's Thesis. s.l., Quevedo: UTEQ.
- Michí, AI; Ibarra, FM. 2015. Evaluación del potencial de reforestación de 4 especies nativas para la recuperación de áreas degradadas por la minería en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional Tambopata, Madre de Dios.
- MINAM. 2021. Bosque y pérdida de bosque del Perú (en línea). s.l., s.e. Disponible en <http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>.
- Moore, T. 2018. La deforestación en Madre de Dios y sus implicancias para los pueblos originarios. Deforestación en tiempos de cambio climático :195.
- Navarro, LE. 2018. Comportamiento de diferentes tipos de sustratos en el crecimiento inicial y sobrevivencia de plántulas de *Ochroma pyramidale*, “topa”, vivero forestal, Ciefor Puerto Almendras, Loreto, Perú. SUNEDU.
- Nóbrega, RL; Guzha, AC; Torres, GN; Kovacs, K; Lamparter, G; Amorim, RS; Couto, E; Gerold, G. 2017. Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. PloS one 12(6):e0179414.
- NTP N°251.008. 2016. Maderas. Selección y Colección de Muestras. s.l., s.e.
- Núñez, CNV; Moncayo, G; Muñoz, CN; Melo, JG. 2018. Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma Pyramidale*) Ecuatoriana. In Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE. s.l., s.e.
- Osorio, BG; Fonseca, CS; Navarrete, EDT; Simba, L; Chancay, XR. 2010. Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la provincia de Los Ríos-Ecuador. Ciencia y Tecnología 3(2):7-11.

- Palacios-Cruz, DJ; Héctor, M; Ángeles-Pérez, G; Fierros-González, AM; Santiago-García, W. 2020. Sistema de crecimiento y rendimiento para evaluar sumideros de carbono en bosques de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. bajo aprovechamiento forestal. *Agrociencia* 54(2):241-257.
- Perz, S; Castro, W; Rojas, R; Castillo, J; Michaelson, ABC; Roca, MG; Guadalupe, Ó; Gutiérrez, T; Hurtado, A; Mamani, Z. 2016. Capítulo 8: La Amazonía como un sistema socio-ecológico: Las dinámicas de cambios complejos humanos y ambientales en una frontera trinacional. *NATURALEZA Y SOCIEDAD* :219.
- Pinargote, EJ. 2019. Determinación de la densidad de madera de balsa (*Ochroma pyramidale* Cav. Ex Lam. Urb.) en plantaciones comerciales de cuatro diferentes edades en el litoral Ecuatoriano. B.S. thesis. s.l., Quevedo-UTEQ.
- Pires, SA de O; de Mendonça, AR; da Silva, GF; d'Oliveira, MVN; de Oliveira, LC; Silva, JPM; da Silva, EF. 2021. Growth modeling of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* for improved management in native forests in the Amazon (en línea). *Ecological Modelling* 456:109683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109683>.
- Portal, LA; Figueiredo, JV; Camargo, JH; Vieira, G; Oliveira, D; Alves, LM; Figueiredo, J. 2019. Variabilidad radial física y anatómica del leño de árboles de *Amburana cearensis*. *Colombia forestal* 22(1):17-26. DOI: <https://doi.org/10.14483/2256201X.13083>.
- Portal, LA; Huamán, BA; Mamani, EM; Palermo, P de M; Latorraca, JV. 2021. Dendrochronology of two forest species in the urban area of the city of Puerto Maldonado, Peru. *Floresta (Serie 10.5380/rf.v51 i3. 72410)* 51(3):10. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v51 i3. 72410>.
- Portal, LAP; Soarez, JC; Huacac, LOS; Alvarado, GS; Guevara, BAH. 2020. DENDROCRONOLOGÍA DE *Jacaranda copaia* QUE CONTIENE REGISTRO ENSO EN MADRE DE DIOS, PERÚ. *Nativa* 8(4):572-578.

- Portal-Cahuana, LA; Fontana, C; Assis-Pereira, G; Groenendijk, P; Roig, FA; Tomazello-Filho, M. 2023. Thirty-four years of dendrochronological studies in Perú: A review of advances and challenges (en línea). *Dendrochronologia* 78:126058. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2023.126058>.
- Quintilhan, MT; Santini Jr, L; Rodriguez, DRO; Guillemot, J; Cesilio, GHM; Chambi-Legoas, R; Nouvellon, Y; Tomazello-Filho, M. 2021. Growth-ring boundaries of tropical tree species: aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles. *Dendrochronologia* :125878.
- Quinto-Mosquera, H; Moreno-Hurtado, F. 2010. Crecimiento de árboles en un bosque pluvial tropical del chocó y sus posibles efectos sobre las líneas de energía. *Revista de Biología e Ciencias da Terra* 10(2):12-28.
- Rahman, M; Islam, M; Bräuning, A. 2018. Tree radial growth is projected to decline in South Asian moist forest trees under climate change (en línea). *Global and Planetary Change* 170:106-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.08.008>.
- Reis-Avila, G; Oliveira, JM. 2017. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology (en línea). *Dendrochronologia* 44:103-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.04.002>.
- Richter, HG; Dallwitz, M. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval (en línea). English, French, German, and Spanish. Version: 4th May. Disponible en <https://www.deltaintkey.com/wood/en/www/bomoclag.htm>.
- Rodríguez; Mabres, A; Luckman, B; Evans, M; Masiokas, M; Ektvedt, TM. 2005. “El Niño” events recorded in dry-forest species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia* 22(3):181-186.
- Roldan, P; Grabiell, D. 2017. Análisis de la estructura de las exportaciones e importaciones de madera del Perú, período 2011-2016.

- Román-Dañobeytia, F; Cabanillas, F; Lefebvre, D; Farfan, J; Alferez, J; Polo-Villanueva, F; Llacsahuanga, J; Vega, CM; Velasquez, M; Corvera, R. 2021. Survival and early growth of 51 tropical tree species in areas degraded by artisanal gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering* 159:106097.
- Román-Dañobeytia, F; Huayllani, M; Michi, A; Ibarra, F; Loayza-Muro, R; Vázquez, T; Rodríguez, L; García, M. 2015. Reforestation with four native tree species after abandoned gold mining in the Peruvian Amazon. *Ecological Engineering* 85:39-46.
- Rosero-Alvarado, J. 2009. Dendrocronologia de árvores de mogno, swietenia macrophylla king., meliaceae, ocorrentes na floresta tropical amazônica do departamento de madre de dios, Perú. PhD Thesis. s.l., Universidade de São Paulo.
- Rueda, R; Williamson, G. 1992. Radial and Vertical Wood Specific Gravity in *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. (Bombacaceae). *Biotropica* 24(4):512. DOI: <https://doi.org/10.2307/2389013>.
- Salvo, LP; Leandro-Zuñiga, L; Contreras, H; Cloutier, A; Elustondo, D; Ananías Abuter, R. 2017. Radial variation of density and anatomical features of *Eucalyptus nitens* trees.
- Sánchez-Cuervo, AM; de Lima, LS; Dallmeier, F; Garate, P; Bravo, A; Vanthomme, H. 2020. Twenty years of land cover change in the southeastern Peruvian Amazon: implications for biodiversity conservation. *Regional Environmental Change* 20(1):8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01603-y>.
- Santini, L. 2018. Estudo dendrológico e anatômico do lenho das árvores do Parque da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo: subsídios para a sua conservação. Piracicaba - Brasil, Universidade de São Paulo. 503 p.
- Schongart, J; Junk, W; Piedade, MT; Ayres, JM; Huttermann, A; Worbes, M. 2004. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains and the El Niño-Southern Oscillation effect (En container-title: global change biology). *Global Change Biology* 10(5):683-692. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00754.x>.
- Schumacher, FX. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J Agric Res* 47:719-734.

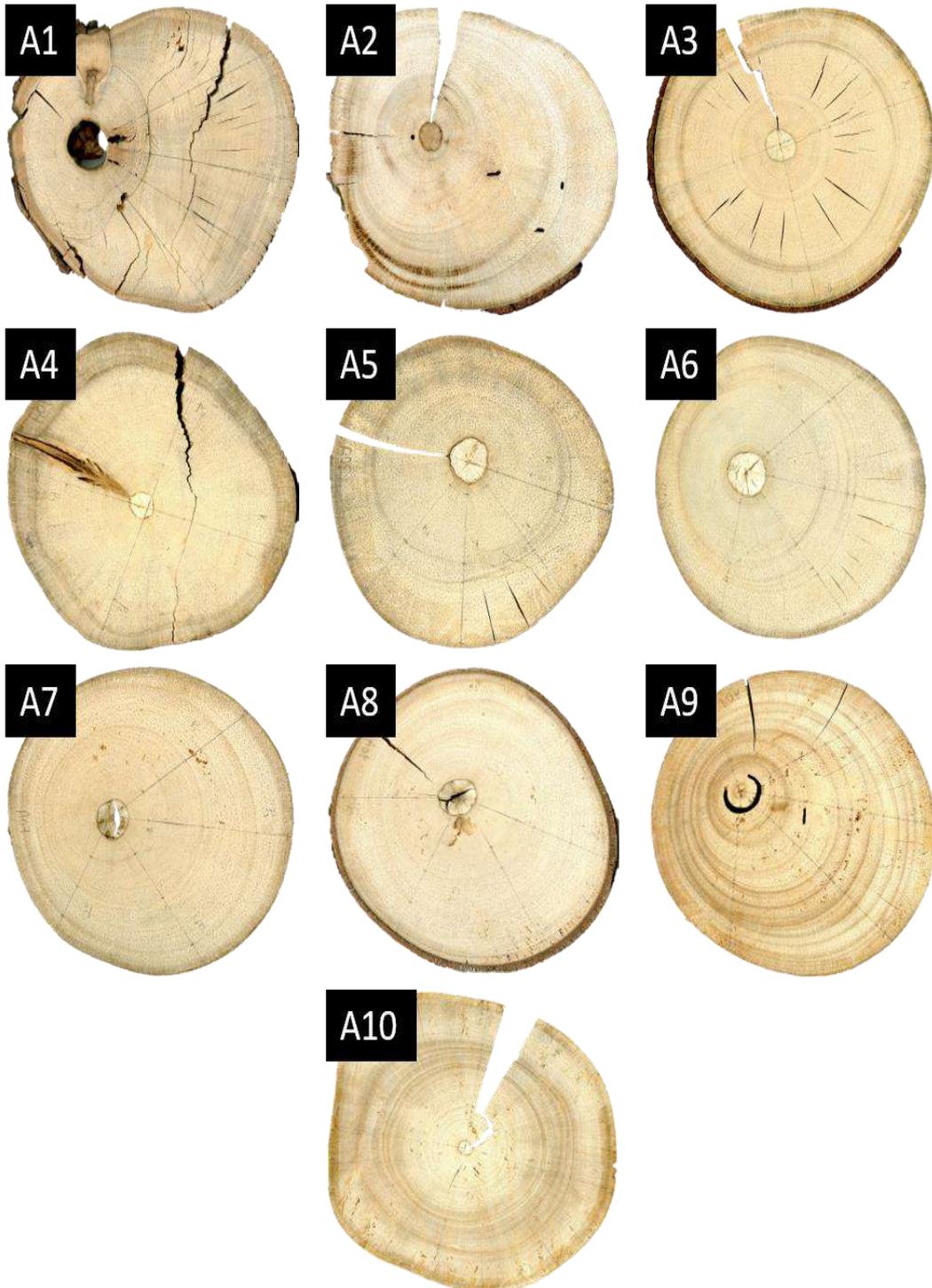
- Schwyzler, A. 1988. Anillos de crecimiento en cuatro árboles tropicales de Jenaro Herrera. Loreto: Boletín de Lima 58.
- Sierra, RM. 2020. Identificación de especies maderables comerciales mediante características organolépticas, Irazola–Ucayali.
- Silva, JA. 2008. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Coordinación, Educación y Desarrollo Tecnológico. Conafor. 62p 71:53-71.
- Stahle, DW; Mushove, PT; Cleaveland, MK; Roig, F; Haynes, GA. 1999. Management implications of annual growth rings in *Pterocarpus angolensis* from Zimbabwe (En container-title: forest ecology and management). *Forest Ecology and Management* 124(2-3):217-229. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00075-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00075-4).
- Taiz, L; Zeiger, E; Møller, IM; Murphy, A. 2017. Fisiología e desenvolvimento vegetal. s.l., Artmed Editora.
- Thomaz, EL; Nunes, DD; Watanabe, M. 2020. Effects of tropical forest conversion on soil and aquatic systems in southwestern Brazilian Amazonia: A synthesis. *Environmental research* 183:109220.
- Tito, R; Salinas, N; Cosio, EG; Boza Espinoza, TE; Muñiz, JG; Aragón, S; Nina, A; Roman-Cuesta, RM. 2022. Secondary forests in Peru: differential provision of ecosystem services compared to other post-deforestation forest transitions. *Ecology and Society* 27(3):art12. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-13446-270312>.
- Tomazello, M; Brazolin, S; Chagas, MP; Oliveira, JTS; Ballarin, AW; Benjamin, CA. 2008. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood (en línea) (En container-title: maderas. ciencia y tecnología). *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(2). DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2008000200006>.
- Ugarte-Guerra, J; Román-Dañobeytia, F. 2020. Tasas de crecimiento de cuatro especies nativas en plantaciones forestales comerciales en cuatro regiones de la Amazonía peruana. *Revista Forestal del Perú* 35(3):44-55.

- Utia, KY. 2012. Secado al natural en métodos de apilado en triángulo y caballete de la especie forestal topa (*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urban.).
- Valerio, J; Salas, C. 1998. Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales (en línea). Santa Cruz Bolivia, s.e. Consultado 14 ene. 2019. Disponible en <http://www.ambienteforestalnoa.org.ar/userfiles/biblioteca/descarga/silviculturabosquestropical.pdf>.
- Vela, F. 2019. Composición florística y estructura de bosque reservado de la universidad nacional agraria de la selva, en parcela permanente de medición, Tingo María-Perú.
- Velásquez, MG. 2017. Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios, Perú.
- Vera, PR. 2019. Efectos fisiológicos y moleculares de *Ochroma pyramidale* (BALSA) sometidas a estrés hídrico. B.S. thesis. s.l., Quevedo-UTEQ.
- Verzino, GE; Joseau, MJ; Frassoni, JE. 2020. Elaboración de un protocolo de gestión para bancos de germoplasma de especies leñosas de Argentina con semillas ortodoxas: El Protocolo del Banco Nacional de Germoplasma de Prosopis (BNGP)–Segunda Parte. Nexo agropecuario 8(2):8-18.
- Villacís, WP. 2012. Proyecto de factibilidad agroforestal para siembra de balsa (*Ochroma pyramidale*) para la península de santa Elena en la comunidad de Limoncito. Master's Thesis. s.l., Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas.
- Wiernann, M; Williamson, G. 1988. Extreme radial changes in wood specific gravity in some tropical pioneers. WOOD AND FIBER SCIENCE 20(3):344-349.
- Woodcock, D; Shier, A. 2002. Wood specific gravity and its radial variations: the many ways to make a tree. Trees 16(6):437-443.
- Zambrano, BM. 2021. Planificación, ejecución y análisis económico de un raleo comercial en una plantación de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.(balsa) establecida en el sitio Respaldo de Chaume, parroquia Santa María del cantón El Carmen, provincia de Manabí. B.S. thesis. s.l., Quevedo: UTEQ.

Zepner, L; Karrasch, P; Wiemann, F; Bernard, L. 2020. ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth* 14(3):338-356. DOI: <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Rodajas escaneadas de topa a 1200 dpi



Anexo 2: Datos organizados para el procesamiento estadístico

Árbol	An	ICA (cm)	ICAC (cm)	IMA (cm)
1	1	0.43	0.43	0.43
1	2	0.37	0.47	0.61
1	3	0.42	0.62	0.69
1	4	0.84	1.19	0.62
1	5	0.39	1.08	0.63
1	6	0.71	1.53	0.60
1	7	0.40	1.41	0.61
1	8	0.66	1.74	0.57
1	9	0.34	1.52	0.54
1	10	0.30	1.58	0.52
1	11	0.30	1.65	0.50
1	12	0.35	1.77	0.49
1	13	0.37	1.86	0.66
1	14	2.68	4.24	0.69
1	15	1.14	3.17	0.78
1	16	1.96	4.32	0.81
1	17	1.25	4.10	0.80
2	1	2.86	2.86	2.86
2	2	0.91	3.77	5.48
2	3	1.47	5.24	7.50
2	4	0.81	6.05	9.48
2	5	1.86	7.92	11.28
2	6	1.12	9.04	12.93
2	7	0.85	9.88	14.41
2	8	0.47	10.35	15.80
2	9	0.77	11.12	17.17
3	1	1.16	1.16	1.16
3	2	0.71	1.87	1.99
3	3	2.12	3.99	2.00
3	4	2.02	6.01	1.81
3	5	1.22	7.23	1.73
3	6	1.40	8.63	1.65
3	7	1.24	9.00	1.47
4	1	0.63	0.63	0.63
4	2	0.33	0.96	1.05
4	3	1.14	2.10	1.07
4	4	1.10	3.20	1.09
4	5	1.15	4.35	1.08
4	6	1.05	5.40	1.06
4	7	0.98	6.38	1.00
4	8	0.59	6.97	0.96
4	9	0.72	7.69	0.95

6	1	1.90	1.90	1.90
6	2	0.33	2.23	1.65
6	3	1.06	3.29	1.89
6	4	2.37	5.66	1.46
6	5	0.17	5.83	1.21
6	6	0.20	6.03	1.16
6	7	0.93	6.96	1.14
7	1	1.13	1.13	1.13
7	2	2.33	3.46	2.93
7	3	2.40	5.86	2.34
7	4	1.17	7.02	1.97
7	5	0.88	7.90	1.90
8	1	2.00	2.00	2.00
8	2	2.20	4.20	2.64
8	3	1.08	5.29	2.62
8	4	2.57	7.85	2.22
8	5	1.04	8.90	2.14
9	1	0.50	0.50	0.50
9	2	0.35	0.85	0.74
9	3	0.63	1.48	0.73
9	4	0.72	2.20	0.74
9	5	0.76	2.96	0.80
9	6	1.04	4.00	0.81
9	7	0.87	4.87	0.90
9	8	1.40	6.27	0.97
9	9	1.48	7.75	0.92
9	10	0.50	8.25	0.87
9	11	0.40	8.65	0.82
9	12	0.39	9.04	0.83
9	13	0.92	9.96	0.83
9	14	0.88	10.84	0.83
10	1	0.84	0.84	0.84
10	2	0.86	1.71	1.15
10	3	0.59	2.30	0.97
10	4	0.61	2.90	0.83
10	5	0.44	3.34	0.76
10	6	0.48	3.81	0.71
10	7	0.45	4.26	0.74
10	8	0.92	5.18	0.69
10	9	0.33	5.51	0.68
10	10	0.57	6.09	0.63
10	11	0.25	6.34	0.60
10	12	0.30	6.64	0.58
10	13	0.37	7.01	0.59
10	14	0.60	7.61	0.58
10	15	0.56	8.16	0.60

10	16	0.83	8.99	0.63
10	17	1.10	10.09	0.66
10	18	1.10	11.20	0.65
10	19	0.43	11.63	0.64
10	20	0.56	12.19	0.64
10	21	0.62	12.81	0.64

Anexo 3: Datos de las mediciones anatómicas

Repetición	POROS		RADIOS				
	Diámetro Tangencial	Numero/mm ²	Altura	Ancho	Número de células		Número por mm
					Alto	Ancho	
1	153.6342	8	500.1086	99.74642	15	3	5
2	187.3962	9	730.0346	75.87451	23	3	5
3	153.568	7	1224.889	84.73042	22	4	6
4	182.4704	5	403.2156	83.92727	35	5	7
5	124.9188	6	694.8801	73.60909	15	3	7
6	75.51661	7	861.0847	86.03923	32	4	7
7	80.71867	3	1268.663	89.09437	22	6	6
8	98.92826	4	526.6266	41.96364	25	2	5
9	184.7757	5	429.4082	47.13281	28	3	7
10	169.1808	10	981.1362	77.07016	27	4	7
11	210.8165	6	966.531	63.80044	33	4	5
12	187.3962	10	1112.867	89.4358	39	3	3
13	153.568	7	1797.081	63.80044	26	5	7
14	190.0519	4	464.671	71.03372	16	4	6
15	189.9984	8	562.4295	68.46041	40	5	6
16	127.5478	4	1231.597	50.53091	21	5	8
17	148.4323	6	821.9535	52.63178	16	4	5
18	182.2475	7	702.8463	75.87451	16	3	7
19	164.1417	11	945.1891	94.26563	25	4	8
20	171.7633	6	1467.17	114.6271	28	4	6
21	174.4434	5	1247.506	94.58839	29	4	5
22	182.1732	7	563.3019	101.7963	43	4	5
23	153.546	8	1803.517	86.86184	24	4	6
24	171.783	8	806.7922	49.51545	37	3	6
25	109.3349	5	1231.597	77.07016	22	4	4
26	136.6237	11	1013.115	114.5384	15	5	7
27	97.7921	9	1313.528	57.31355	25	5	6
28	97.7921	14	1621.3	112.0274	21	2	7
29	104.9091	17	732.4798	119.7138	26	3	8
30	109.4278	12	448.54	83.31983	34	3	6
31	59.91346	9	1325.015	67.71436	23	2	7
32	55.32936	20	906.502	62.51358	20	4	5
33	49.7202	15	1129.06	86.03923	18	5	6
34	106.3199	16	1128.601	88.48412	25	3	8
35	71.08138	12	547.2008	98.89402	29	5	9
36	104.9091	19	799.2266	96.43212	23	3	6
37	143.5377	17	956.8226	104.099	12	4	8
38	53.65138	9	1432.092	101.4965	18	5	6
39	52.69609	18	1041.318	80.6767	17	5	8
40	80.17141	16	1037.666	78.07423	18	4	6
41	135.1283	18	1093.228	75.47175	32	4	6

42	114.8927	12	1227.154	101.5299	20	4	8
43	112.9905	15	1182.434	101.6299	20	3	7
44	71.4615	11	1387.414	114.9811	31	5	8
45	71.98088	13	802.7652	114.6271	18	3	6
46	127.76	16	1276.988	96.60755	36	6	8
47	80.71867	20	994.799	96.43212	13	5	7
48	130.1237	11	731.9618	122.344	25	4	6
49	118.6911	16	1418.738	88.52239	15	4	6
50	151.0781	18	1401.519	96.32671	19	3	8
51	182.1918	7	1468.628	119.7138	21	4	6
52	164.6978	5	1415.806	133.1338	35	4	7
53	148.7058	3	1785.305	81.34553	24	3	6
54	146.1099	3	1807.197	91.23519	28	3	8
55	185.0687	5	755.2603	104.9091	42	4	9
56	177.1404	7	1402.755	86.86184	49	5	8
57	176.9874	3	1431.824	97.16678	42	5	8
58	130.2278	6	1077.625	89.4358	30	7	5
59	140.5577	5	668.9624	74.52352	20	4	6
60	153.568	4	1796.131	135.9528	13	5	5
61	161.3744	3	1677.256	109.5824	29	4	8
62	130.1237	6	986.7531	140.5577	30	5	4
63	171.8421	3	562.1344	117.2269	14	4	6
64	132.7517	6	968.1239	93.72521	21	4	6
65	171.783	4	1544.235	112.3895	34	4	5
66	137.9557	2	608.1554	122.427	14	4	5
67	192.6534	6	1431.824	91.12377	25	8	5
68	156.4951	5	1077.625	132.7517	47	3	3
69	145.8315	5	668.9624	78.11759	30	5	5
70	197.8052	6	1796.131	72.86928	29	4	6
71	182.1732	9	1677.256	47.13281	38	5	6
72	153.6342	5	986.7531	130.695	30	4	8
73	122.344	3	1468.628	109.5824	14	3	7
74	158.7723	6	1415.806	140.5577	34	4	5
75	135.7284	5	1785.305	117.2269	32	2	6

Repetición	FIBRAS				VASOS
	D. Total	Lúmen	Espesor de pared	Longitud	Longitud
1	27.76657	17.62157	5.0725	1812.961	288.5814
2	23.05888	17.163	2.94794	1015.492	498.1546
3	29.18566	14.76489	7.210385	1562.352	513.4531
4	25.78061	17.74186	4.019375	1350.514	313.3794
5	27.76657	11.75777	8.0044	1629.874	268.2569
6	31.85132	12.54539	9.652965	1753.878	229.3871
7	23.80767	12.92121	5.44323	1270.999	464.4742
8	26.35177	13.75825	6.29676	1603.348	408.9447
9	34.64976	14.02617	10.311795	1749.002	446.0644
10	26.08815	16.30509	4.89153	1452.936	307.103
11	29.18566	13.75825	7.713705	1618.038	519.3028
12	26.02693	14.3633	5.831815	1727.449	433.138
13	41.62112	25.61508	8.00302	1959.228	258.6943
14	27.40032	16.30509	5.547615	1282.22	495.4553
15	31.17643	15.46837	7.85403	1618.396	462.6333
16	21.25924	16.628	2.31562	1633.081	328.572
17	26.83166	12.75554	7.03806	1991.697	408.6216
18	30.90234	14.32623	8.288055	1856.812	325.9748
19	24.07418	16.14122	3.96648	1904.181	410.2345
20	22.82713	13.56364	4.631745	1785.117	459.0989
21	27.86215	9.783054	9.039548	1555.89	314.7165
22	24.27214	14.47393	4.899105	1435.382	221.2103
23	27.70906	11.52944	8.08981	1215.679	282.8567
24	35.55856	13.75825	10.900155	1710.144	472.4333
25	29.52978	14.3633	7.58324	2010.103	479.7878
26	15.7747	13.04407	1.365315	1447.979	456.2873
27	21.5326	11.30826	5.11217	1431.824	374.4761
28	17.0698	12.98278	2.04351	1203.126	442.5431
29	18.67627	10.13017	4.27305	1650.11	425.9798
30	16.53179	7.802629	4.3645805	1339.637	470.4076
31	14.76489	14.58372	0.090585	1485.092	519.0615
32	27.76657	19.18188	4.292345	1341.759	420.5714
33	30.11811	17.50046	6.308825	1629.361	519.2702
34	29.31291	9.728552	9.792179	1408.564	421.7293
35	23.98567	20.8807	1.552485	1605.229	426.4565
36	28.52226	24.16236	2.17995	1803.787	425.9798
37	34.27949	25.86298	4.208255	1416.975	493.9219
38	36.72086	16.30509	10.207885	1670.507	537.3463
39	34.17074	23.98567	5.092535	1444.812	375.3342
40	29.18566	17.53082	5.82742	1834.715	347.3304
41	37.381	14.65645	11.362275	1511.07	401.3214
42	30.66051	19.18188	5.739315	1616.327	434.0128
43	33.66912	29.74506	1.96203	1317.053	414.4394

44	33.14388	18.00956	7.56716	1617.402	672.7283
45	34.58832	15.22585	9.681235	1613.419	379.6759
46	34.27949	22.04506	6.117215	1626.18	382.236
47	42.29278	29.33104	6.48087	1383.432	497.202
48	36.09286	24.74939	5.671735	1152.641	563.4822
49	34.01478	27.06842	3.47318	1451.542	488.5448
50	37.381	29.74506	3.81797	1965.046	476.8142
51	67.86422	34.2302	16.81701	1831.515	323.9636
52	57.49053	29.09655	14.19699	1738.441	340.8745
53	60.75537	31.66047	14.54745	1267.921	333.2793
54	26.54013	11.99681	7.27166	1396.675	262.7339
55	28.08985	14.54827	6.77079	1659.542	438.7312
56	25.0298	13.39706	5.81637	1811.774	473.4215
57	27.44963	18.26373	4.59295	1321.288	376.9547
58	30.3498	15.1749	7.58745	1690.97	506.7011
59	30.266	11.63862	9.31369	1808.118	519.0615
60	27.07699	12.27585	7.40057	1502.622	442.5431
61	27.44963	13.39706	7.026285	1615.55	311.8194
62	27.60341	13.07727	7.26307	1627.086	311.9497
63	26.69915	12.88159	6.90878	1863.228	686.7771
64	30.93005	16.91608	7.006985	1471.319	686.1259
65	65.83797	34.72134	15.558315	1738.338	547.1389
66	74.52352	32.60891	20.957305	1972.078	359.4054
67	63.53449	30.3498	16.592345	1410.159	300.8532
68	70.07376	33.93211	18.070825	1203.109	330.6679
69	62.67588	33.93211	14.371885	1627.221	420.0397
70	55.20682	26.15454	14.52614	1320.86	369.7529
71	69.44267	37.26176	16.090455	1367.55	379.2476
72	26.02474	13.83234	6.0962	2114.315	310.6443
73	27.35694	14.01475	6.671095	1808.118	376.9547
74	24.8601	9.201136	7.829482	1502.622	506.7011
75	25.6314	16.30445	4.663475	1615.55	519.0615

Anexo 4: Panel fotográfico

Foto 1. Lijado de rodajas



Foto 2. Lijado con diferentes medidas de rodajas.



Foto 3. Tomando datos de campo y recolección de muestras



Anexo 5: Coordenadas UTM de la ubicación de los árboles

N°	Nombre común	Nombre científico	Diámetro	Altura	Coordenadas UTM	
					Este	Norte
1	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	19	22	447939	8593060
2	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	17	18	447910	8593018
3	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	20	24	447993	8593039
4	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	16	14	447999	8592992
5	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	12	13	448001	8592933
6	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	13	11	447939	8592948
7	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	16	15	447975	8592873
8	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	18	20	448068	8592846
9	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	17	16	448072	8592785
10	Topa	<i>Ochroma pyramidale</i>	28	26	448006	8592773

Anexo 6: Certificado de identificación botánica, en el cuadro siguiente se consideran las especies encontradas con las que crece la *O. pyramidale* en el área de estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS
Centro Investigación del Herbario Alwyn Gentry
"Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional

CONSTANCIA

En mi calidad de Director del Centro de Investigación Herbario "Alwyn Gentry" de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios,

HACE CONSTAR:

Que las muestras botánicas han sido presentadas en marco de la tesis de posgrado del Estudiante. Mauro Vela Da – Fonseca, Titulada: **"DETERMINACIÓN DEL TURNO DE CORTA DE *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. MEDIANTE MÉTODOS DENDROCRONOLÓGICOS EN UN BOSQUE SECUNDARIO DE MADRE DE DIOS"**, para optar el grado de magister scientiae en bosques y gestión de recursos forestales

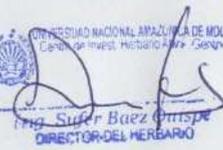
El ejemplar ha sido entregado a la colección del herbario y constan de 15 especimen que proviene de sector Victor Raul Haya la Torre, Distrito Laberinto región Madre de Dios, Las cuales fueron **DEPOSITADO** en este Centro de enseñanza e Investigación HAG-UNAMAD. a continuación, se adjunta el cuadro de información de la especie.

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

Puerto Maldonado, 16 de diciembre de 2022.

Atentamente

Cc.
Archivo


Luis Baez Quispe
DIRECTOR DEL HERBARIO

Ciudad Universitaria – Puerto Maldonado – Madre de Dios
Av. Jorge Chavez N° 1160



UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE DE DIOS
Centro Investigación del Herbario Alwyn Gentry
"Madre de Dios, Capital de la Biodiversidad del Perú"
Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional



Nº	Código Colecta	Nombre Científico	Familia Segun APG IV (2016)	Departamento	Provincia	Localidad	Fecha de colección
1	M.V-001	Annona scandens Diels	Annonaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
2	M.V-002	Banara arguta Briq.	Salicaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
3	M.V-003	Aegiphila cordata Poepp.	Verbenaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
4	M.V-004	Senna multijuga (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
5	M.V-005	Zanthoxylum acuminatum (Sw.) Sw.	Rutaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
6	M.V-006	Bixa urucurana Willd.	Bixaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
7	M.V-007	Psychotria marginata Sw.	Rubiaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
8	M.V-008	Annona papilionella (Diels) H. Rainer	Annonaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
9	M.V-009	Bellucia pentamera Naudin	Melastomataceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
10	M.V-010	Brosimum guianense (Aubl.) Huber	Moraceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
11	M.V-011	Piper crassinervium Kunth	Piperaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
12	M.V-012	Himatanthus articulatus (Vahl) Woodson	Apocynaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
13	M.V-013	Miconia affinis DC.	Melastomataceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
14	M.V-014	Vismia gracilis Hieron.	Hypericaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
15	M.V-015	Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb.	Malvaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014
16	M.V-016	Cecropia engleriana Sneath.	Urticaceae	Madre de Dios	Tambopata	Victor Raúl Haya de la Torre	16/06/2014



Ciudad Universitaria – Puerto Maldonado – Madre de Dios
Av. Jorge Chavez N° 1160