

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE**



**SECUESTRO DE CARBONO ANUAL EN *Hymenaea courbaril* L.  
USANDO LA MICRODENSITOMETRÍA DE RAYOS X, EN BOSQUES  
NATURALES DEL TAHUAMANU-MADRE DE DIOS**

**TESIS PRESENTADO POR:**

**Bachilleres: ALZAMORA CHOQUE,  
Yonny Yovana**

**ZULUAGA LIMACHI, Elaine**

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

**ASESOR: Dr. ROSALES SOLÓRZANO,  
Emer Ronald.**

**CO-ASESOR: Dr. CHAMBI LEGOAS, Roger**

**PUERTO MALDONADO, 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL  
Y MEDIO AMBIENTE**



**SECUESTRO DE CARBONO ANUAL EN *Hymenaea courbaril* L.  
USANDO LA MICRODENSITOMETRÍA DE RAYOS X, EN BOSQUES  
NATURALES DEL TAHUAMANU-MADRE DE DIOS**

**TESIS PRESENTADO POR:**

**Bachilleres: ALZAMORA CHOQUE,  
Yonny Yovana**

**ZULUAGA LIMACHI, Elaine**

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

**ASESOR: Dr. ROSALES SOLÓRZANO,  
Emer Ronald.**

**CO-ASESOR: Dr. CHAMBI LEGOAS, Roger**

**PUERTO MALDONADO, 2023**

# TURNITIN\_YOVANA ALZAMORA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	5%
2	<a href="http://repositorio.unamad.edu.pe">repositorio.unamad.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://www.iiap.org.pe">www.iiap.org.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://recursosbiblio.url.edu.gt">recursosbiblio.url.edu.gt</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Trabajo del estudiante	1%
9	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	

## PRESENTACIÓN

La tesis se origina a partir de un análisis del contexto actual de investigaciones en los servicios ambientales que brindan los bosques naturales en el departamento de Madre de Dios, y el Perú. Así, se pudo identificar el problema de investigación: “¿Cuánto carbono es secuestrado anualmente por la especie *Hymenaea courbaril* L., en los bosques naturales de la Provincia de Tahuamanu, Madre de Dios?”.

Considerando la creciente perturbación de los bosques naturales en la provincia de Tahuamanu, es necesario estimar y valorar los servicios ambientales como el secuestro de carbono, para que, en un mediano a largo plazo, puedan ser considerados en venta como fondos de carbono en el mercado internacional, para incentivar el manejo forestal sostenible y la conservación de los bosques en la provincia de Tahuamanu, Madre de Dios.

Se espera, que esta tesis, sirva como herramienta de planificación para el adecuado desarrollo de la investigación.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue estimar el stock de carbono secuestrado anualmente en árboles de la especie *H. courbaril*, en los bosques naturales de Tahuamanu, Madre de Dios, mediante técnicas de densitometría de rayos X y análisis de los anillos de crecimiento. Se evaluó una muestra de 28 árboles de la parcela de corta anual de la concesión forestal de la empresa "Maderacre SAC" en Tahuamanu, Madre de Dios. De cada árbol se extrajeron rodajas o discos transversales de la base del fuste, en las cuales se identificaron y midieron el ancho de los anillos de crecimiento. Asimismo, se determinó la densidad aparente de cada anillo mediante densitometría de rayos X. Con estos datos se calculó el incremento corriente anual (ICA), incremento medio anual (IMA), y rendimiento para el dap, área basal, volumen (V), biomasa (B) y almacenamiento de carbono (C) del fuste. Además, los resultados se generalizaron para la población de *H. courbaril* en kg por hectárea.

Los resultados mostraron que a los 244 años de edad el fuste de un árbol de *H. courbaril* puede contener 5 503 kg de biomasa, es decir 2 752 kg de carbono, con mínimos de 2 452 kg y máximos de 3 051 kg. La curva de ICA-Carbono mostró una tendencia casi exponencial del incremento de carbono, indicando que los árboles después de 244 años continuarán fijando grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. A los 244 años, los árboles de *H. courbaril* aún están etapa de alta producción de biomasa y fijación de carbono, con IMA de 11,28 kg C año<sup>-1</sup>. El IMA máximo se presentaría en edades superiores a los 300 años de edad. En conjunto, la población *H. courbaril* almacenaría en torno a 800 kg ha<sup>-1</sup> en los fustes.

**Palabras clave:** Biomasa; Fijación de carbono; Dendrocronología; Incremento corriente anual; Incremento medio anual; Modelo Gompertz.

## ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the stock of carbon sequestered annually in trees of the species *H. courbaril*, in the natural forests of Tahuamanu, Madre de Dios, using X-ray densitometry techniques and growth ring analysis. A sample of 28 trees from the annual cutting plot of the forest concession of the company "Maderacre SAC" in Tahuamanu, Madre de Dios was evaluated. Slices or transverse discs were extracted from each tree at the base of the trunk. The samples were prepared to measure the width of the growth rings and determine the apparent density by X-ray densitometry. From these data, the annual current increment (ACI), mean annual increment (MAI), and yield for dap, basal area, volume (V), biomass (B) and carbon storage (C) of the stem were calculated. In addition, the results were generalized for the population of *H. courbaril* in kg per hectare.

The results showed that at 244 years of age a *H. courbaril* tree can contain 5503 kg of biomass, i.e. 2752 kg of carbon, with a minimum of 2452 kg and a maximum of 3051 kg. The ICA-Carbon curve showed an almost exponential trend of carbon increase, indicating that trees after 244 years will continue to fix large amounts of CO<sub>2</sub>. At 244 years, *H. courbaril* trees are still in a stage of high biomass production and carbon fixation, with IMA of 11.28 kg C yr<sup>-1</sup>. The maximum IMA would occur at ages above 300 years of age. Overall, the *H. courbaril* population would store around 800 kg ha<sup>-1</sup>.

Key words: Biomass; Carbon sequestration; Dendrochronology; Current annual increment; Mean annual increment; Gompertz model.

## INTRODUCCIÓN

El cambio de uso del suelo y su impacto en el clima global, son factores importantes que hacen que sea necesario mejorar nuestro conocimiento del ciclo del carbono (C) en los ecosistemas forestales. Los bosques pueden desempeñar un papel importante en la captura y almacenamiento de C de la atmósfera, mitigando así las emisiones de CO<sub>2</sub> (Houghton 2005). Las plantaciones tropicales son de particular interés debido a su crecimiento relativamente rápido.

Son conocidos los beneficios de los proyectos de forestación y reforestación en los trópicos, sin embargo, los costos iniciales de la repoblación forestal y la reforestación pueden ser elevados, dificultando la realización de inversiones. Mientras tanto, los beneficios de los servicios ecosistémicos, como el secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad aún son infravalorados (Cavatassi 2004). El reciente Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y las iniciativas voluntarias brindan oportunidades para la generación y venta de créditos de carbono (Derwisch et al. 2009).

El carbono puede almacenarse en grandes cantidades en las especies de madera de alta densidad como el Azúcar Huayo (*Hymenaea courbaril* L.), una de las especies de frondosas tropicales más importantes en el mercado internacional de madera de alta calidad.

En Perú, las mayores extensiones de bosques naturales de *H. courbaril* se concentran en Loreto, Ucayali y Madre de Dios. En Madre de Dios, se concentra principalmente en las concesiones forestales y de otros productos del bosque ubicados en la provincia de Tahuamanu.

*H. courbaril*, conocida como Azúcar huayo y apreciada por la excelente calidad de su madera, es una especie de lento ritmo de crecimiento (Reynel et al. 2003). Actualmente representa a la segunda especie de densidad alta con mayor aprovechamiento forestal en Madre de Dios, sólo por debajo del Shihuahuaco (SERFOR 2016). Debido a su alta densidad esta especie podría almacenar altos volúmenes de carbono en su madera.

Debido a que esta especie es una de las más importantes en el manejo forestal para producción de madera, la estimación del stock de carbono

secuestrado es importante para valorización económica de los servicios ambientales.

En Perú, aún existen pocos antecedentes sobre la cantidad de carbono que los árboles de *H. courbaril* pueden secuestrar. En bosques de Loreto, se encontró que árboles de *Hymenaea oblongifolia* secuestran  $0,36 \text{ t ha}^{-1}$  de carbono (Navarro 2016), sin embargo, estimaciones anuales aún no se han realizado.

La estimación anual del carbono secuestrado, es importante para desarrollar proyecciones del carbono que almacenarían las especies forestales hasta la edad de cosecha. De modo que pueda ser valorizado en el mercado mundial del carbono y sujeto a venta, en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto.

Para este tipo de estudios, es imprescindible la reconstrucción del crecimiento de los árboles y la estimación de la densidad del leño en cada anillo de crecimiento; esto se consigue mediante la dendrocronología, herramienta fundamental para la datación de árboles. El análisis de los anillos de crecimiento, brinda información del crecimiento secundario para innumerables aplicaciones (Worbes 1995; Tomazello Filho, Roig y Zevallos Pollito 2009). Investigaciones previas en *Hymenaea courbaril* L, han mostrado que la especie forma anillos de crecimiento anuales bien diferenciados (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016; Locosselli et al. 2017; Westbrook, Guilderson y Colinvaux 2006; Maselli, Marcos y Buckeridge 2012), permitiendo determinar el incremento medio anual e incremento corriente anual. Complementariamente, la densitometría de rayos X es un moderno método que permite conocer la variación radial de la densidad de la madera del fuste en alta resolución, por tanto, la densidad en cada anillo de crecimiento es calculada con alta precisión. Estudios previos destacan que el uso de la dendrocronología y densitometría de rayos X son herramientas alternativas altamente precisas para la estimación de la biomasa formada en cada año de crecimiento (Ortega et al. 2018).

El presente estudio, por tanto, proporciona valiosa información para cuantificación del carbono secuestrado por la especie *H. courbaril*, como base para la valorización en bonos de carbono de los bosques naturales de Tahuamanu.

## SUMÁRIO

INTRODUCCIÓN .....	8
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. Descripción del problema .....	15
1.2. Formulación del problema .....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.4. Variables .....	17
1.5. Operacionalización de variables.....	19
1.6. Hipótesis: .....	19
1.7. Justificación .....	20
1.8. Consideraciones éticas.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de estudios .....	22
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Descripción de la especie <i>H. courbaril</i> (Azúcar Huayo) .....	24
2.2.2. Dendrocronología de <i>Hymenaea courbaril</i> L e influencia de las variables climáticas en el crecimiento. ....	25
2.2.3. Densitometría de rayos x para medición de la densidad de la madera ...	26
2.2.4. Medición del crecimiento mediante análisis de los anillos de crecimiento	
28	
2.2.5. Estimación del carbono almacenado .....	29
2.3. Definición de términos.....	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	31
3.1. Tipo de estudio.....	31
3.2. Diseño del estudio .....	31
3.3. Población y Muestra .....	31
3.3.1. Población .....	31
3.3.2. Muestra.....	31
3.4. Métodos y técnicas.....	32
3.4.1. Lugar de estudio .....	32
3.4.2. Procedimiento de colecta de rodajas del tronco.....	35
3.4.3. Preparación de las rodajas para demarcación de los anillos de crecimiento .....	35
3.4.4. Medición de los anillos de crecimiento.....	36
3.4.5. Reconstrucción del crecimiento secundario anual y estimación del volumen, mediante la medición de los anillos de crecimiento. ....	37

3.4.6. Determinación de la densidad de la madera para cada anillo de crecimiento.....	38
3.4.7. Determinación de la biomasa y stock de carbono del fuste para cada año de crecimiento.....	40
3.5. Tratamiento de los datos .....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	42
4.1. Características de los anillos de crecimiento.....	42
4.2. Densidad aparente y densidad básica de los anillos de crecimiento .....	44
4.3. Reconstrucción del crecimiento secundario.....	50
4.4. Stock de carbono secuestrado en el fuste .....	56
CONCLUSIONES.....	61
SUGERENCIAS .....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
ANEXOS .....	77

## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de dispersión de árboles en el Consolidado Maderacre SAC.....	33
Figura 2. Mapa base del área de estudio - Consolidado Maderacre SAC. ....	34
Figura 3: Extracción de rodaja del fuste de un árbol de <i>Hymenaea courbaril</i> .....	35
Figura 4: Un radio extraído de la rodaja, pulido y digitalizado, para medición de los anillos de crecimiento.....	36
Figura 5: Cámara de densitometría de rayos X de la Universidad de São Paulo, en Piracicaba, Brasil.....	39
Figura 6: Delimitación de los anillos de crecimiento de un radio de <i>Hymenaea courbaril</i> mediante la variación radial de la densidad del leño.....	39
Figura 7. Sección transversal de leño de dos árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> . Los anillos de crecimiento se delimitan mediante bandas de parénquima marginal (flechas amarillas) (a y b). En algunos anillos existe una diferenciación entre el leño temprano y leño tardío por la presencia de zona fibrosa, es decir fibras con pared celular más gruesa (flechas y corchetes en celeste) (b). ....	43
Figura 8. Distribución de la edad de los árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> . ....	44
Figura 9: Sección transversal de leño de <i>Hymenaea courbaril</i> desde la médula hasta la corteza (derecha a izquierda) con el perfil de densidad aparente en línea azul (a). También se muestra un recorte de una sección intermedia de la muestra, observando el detalle del perfil radial de densidad aparente y los anillos de crecimiento (b). ....	45
Figura 10: Perfil radial de densidad aparente por cada uno de los 28 árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> a lo largo del radio en cm (distancia a la médula). ....	47
Figura 11: Perfil radial de densidad básica media de 28 árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> a lo largo del radio en porcentaje (distancia a la médula). Las barras verticales expresan la desviación estándar. ....	48
Figura 12: Perfil radial de densidad básica media de 28 árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> en función de la edad de los árboles. Las barras verticales expresan la desviación estándar. ....	48
Figura 13: Diagrama boxplot que muestra la distribución de la densidad de los 28 árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios.....	50
Figura 14: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	52
Figura 15: Modelo Logístico, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	52
Figura 16: Modelo Richards, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	53

Figura 17: Curva de ICA (incremento corriente anual) e IMA (incremento medio anual) del dap, resultantes del ajuste de los valores observados con el modelo de Gompertz. ....	55
Figura 18: Curvas individuales de rendimiento de área basal de los 28 árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> (líneas grises delgadas), y curva ajustada mediante el modelo Gompertz, en Tahuamanu (línea negra gruesa).....	56
Figura 19: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de volumen (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	56
Figura 20: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de biomasa del fuste (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	57
Figura 21: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de carbono del fuste (sin corteza) de 28 árboles muestreados de <i>Hymenaea courbaril</i> , en Tahuamanu, Madre de Dios. ....	57
Figura 22: Rendimiento de carbono del fuste (sin corteza) de <i>Hymenaea courbaril</i> , y desviación estándar (banda en gris).....	58
Figura 23: Curva de ICA (incremento corriente anual) e IMA (incremento medio anual) del dap, resultantes del ajuste de los valores observados con el modelo de Gompertz. ....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables .....	19
Tabla 2: Densidad básica de la madera de los árboles evaluados de <i>Hymenaea courbaril</i> . .....	49
Tabla 3: Edad y dap reconstruido mediante el análisis de los anillos de crecimiento en <i>Hymenaea courbaril</i> . .....	50
Tabla 4: Resumen de los modelos para las variables evaluadas. ....	60
Tabla 5: Rendimiento de carbono del fuste por hectárea en <i>Hymenaea courbaril</i> ...	60

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Descripción del problema**

El Departamento de Madre de Dios contiene aproximadamente 2 522 141 ha de bosques de producción permanente (Ministerio de Agricultura-Perú 2001) destinados al aprovechamiento forestal maderable mediante el otorgamiento de concesiones a privados. El aprovechamiento de los recursos maderables de estos bosques, representa una de las más importantes actividades económicas de Madre de Dios, principalmente de la provincia de Tahuamanu, donde se concentran las mayores concesiones y empresas forestales (Gobierno Regional de Madre de Dios 2010). La sostenibilidad de los bosques de producción permanente, es un reto para el sector forestal. Con el actual enfoque del sistema productivo, el valor de estos bosques se basa sólo en la productividad de madera extraíble de las especies forestales y un poco menos en otros productos diferentes a la madera, como extracción de frutos y fibras. El valor de la mayoría de servicios ambientales proporcionados por los bosques como la conservación de la biodiversidad (Cordero y Kanninen 2003) es apenas simbólico y no monetizado, debido a la dificultad de valorización monetaria e inexistencia de fuentes financieras, organismos o empresas capaces de pagar por estos servicios. No obstante, otro importante servicio ambiental de los bosques es el secuestro de carbono (Cordero y Kanninen 2003), el cual es considerado como comerciable por el Mecanismo de Desarrollo Limpio implantando en el Protocolo de Kyoto (Kraenzel et al. 2003). Las tasas de almacenamiento de carbono esperado y el rendimiento esperado son piezas críticas de información que los interesados necesitan para utilizar el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Kraenzel et al. 2003). La generación de esta información parte de conocer el incremento corriente anual de biomasa producida por las especies en cada año. Los estudios clásicos de estimación de carbono, generan información puntual del carbono almacenado en una extensión dada de bosque. Si bien esta información es importante, no permite

conocer con precisión la variación del almacenamiento de carbono en cada año de crecimiento de los árboles, haciendo más complicado las proyecciones de la tasa de almacenamiento y rendimiento de carbono en un horizonte de tiempo determinado. Así, estudios para estimación del carbono secuestrado anualmente son necesarios. Sin embargo, medir el carbono secuestrado anualmente requeriría de muchos años de monitoreo del crecimiento y de la densidad de la madera formada, tornándose muy complejo y altamente costoso. Ante esa dificultad, el uso de técnicas de reconstrucción del crecimiento y determinación de la variación radial de la densidad de la madera, son imprescindibles para la estimación del incremento corriente anual de la biomasa de las especies forestales. Propiciamente, técnicas como la dendrocronología y densitometría de rayos X han demostrado alta precisión para este tipo de estudios (Ortega et al. 2018).

## **1.2. Formulación del problema**

En el contexto del problema planteado, nos formulamos la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuánto es el stock de carbono secuestrado anualmente en el fuste de árboles de la especie *H. courbaril*, en los bosques naturales deTahuamanu, Madre de Dios?

## **1.3. Objetivos**

### **Objetivo General**

Estimar el stock de carbono secuestrado anualmente en árboles de la especie *H. courbaril*, en los bosques naturales deTahuamanu, Madre de Dios.

### **Objetivos Específicos**

**OE1:** Evaluar los anillos de crecimiento de *H. courbaril*.

**OE2:** Determinar la densidad aparente y densidad básica los anillos de crecimiento de *H. courbaril*.

**OE3:** Reconstruir el crecimiento secundario anual de *H. courbaril*.

**OE4:** Evaluar la variación anual del stock de carbono secuestrado en el fuste de árboles de *H. courbaril*.

#### 1.4. Variables

##### Variables dependientes:

- **Densidad básica del anillo de crecimiento (DB):** Es la masa fresca por unidad de volumen seco ( $\text{g cm}^{-3}$ ), del leño comprendido dentro del anillo de crecimiento. Es calculado a partir de la densidad aparente (DA) medido por densitometría de rayos X.
- **Incremento corriente anual de la biomasa (ICAB):** Es el incremento de biomasa producido a un determinado año, calculado a partir del ICAV y la densidad del anillo de crecimiento, medido en kilogramos (kg).
- **Incremento corriente anual de la biomasa por hectárea (ICABH):** Es el incremento de biomasa producido a un determinado año por unidad de superficie, calculado a partir del ICAB y la densidad del rodal (DR), medido en kilogramos por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).
- **Stock anual de carbono del fuste (SCF):** Es carbono almacenado en un determinado año en el fuste, calculado a partir del ICABH, medido en kilogramos por hectárea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

**Variables independientes:**

- **Edad:** Edad de la plantación, medida a través del conteo de los anillos de crecimiento.
- **Densidad aparente (DA):** Es la densidad del leño del anillo ( $\text{g cm}^{-3}$ ), medido a un contenido de humedad del 12%, mediante densitometría de rayos X.
- **Altura comercial (HC):** Es la altura del fuste comercial a una determinada edad del árbol.
- **Diámetro a la altura del pecho (DAP):** Es el diámetro del fuste medido a la altura de 1,3 m desde la superficie del suelo.
- **Incremento corriente anual del área basal (ICAG):** Es el incremento en área basal producido en un determinado año, medido a la altura de 1,3 m desde la superficie del suelo. Se calcula a partir de la medición del área del anillo, en  $\text{m}^2$ .
- **Incremento radial:** Expresa directamente el ancho de los anillos de crecimiento en mm.
- **Rendimiento en área basal (RG):** Es la sumatoria de los incrementos en área basal, o el área basal del árbol a una determinada edad.
- **Incremento corriente anual del volumen (ICAV):** Es el incremento del volumen producido a un determinado año, calculado a partir del ICAG, la altura comercial y el factor de forma.

## 1.5. Operacionalización de variables

En la Tabla 1, se detalla la operacionalización de las variables.

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Objetivos		Variables	Unidad de medida
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar los anillos de crecimiento de <i>H. courbaril</i>.</li> </ul>	Variables dependientes	Incremento corriente anual de la biomasa del fuste (ICAB)	kg
		Incremento corriente anual de la biomasa del fuste por hectárea (ICABH)	kg ha <sup>-1</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la densidad aparente y densidad básica los anillos de crecimiento de <i>H. courbaril</i>.</li> </ul>	Variables dependientes	Densidad básica del anillo (DB)	g cm <sup>-3</sup>
		Incremento corriente anual del área basal (ICAG)	m <sup>2</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reconstruir el crecimiento secundario anual de de <i>H. courbaril</i>.</li> </ul>	Variables independientes	Incremento corriente anual del volumen (ICAV)	m <sup>3</sup>
		Densidad del rodal (DR)	árb. ha <sup>-1</sup>
		Densidad aparente del anillo (DA)	g cm <sup>-3</sup>
		Stock de carbono del fuste (SCF)	kg ha <sup>-1</sup>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar la variación anual del stock de carbono secuestrado en el fuste de árboles de <i>H. courbaril</i></li> </ul>	Variables dependientes	Incremento corriente anual de la biomasa del fuste (ICAB)	kg
		Incremento corriente anual de la biomasa del fuste por hectárea (ICABH)	kg ha <sup>-1</sup>
		Densidad básica del anillo (DB)	g cm <sup>-3</sup>
	Variables independientes	Incremento corriente anual del área basal (ICAG)	m <sup>2</sup>
		Incremento corriente anual del volumen (ICAV)	m <sup>3</sup>
		Densidad del rodal (DR)	árb. ha <sup>-1</sup>
Densidad aparente del anillo (DA)	g cm <sup>-3</sup>		

## 1.6. Hipótesis:

**H0:** El stock de carbono secuestrado en el fuste de los árboles de *H. courbaril* no se relaciona negativamente con la edad de los árboles, es decir los árboles no secuestran menor cantidad de carbono secuestrado a mayor edad.

**H1:** El stock de carbono secuestrado en el fuste de los árboles de *H. courbaril* se relaciona negativamente con la edad de los árboles, es decir los árboles secuestran menor cantidad de carbono secuestrado a mayor edad.

Los objetivos OE1 OE2 y OE3 son de naturaleza descriptiva, por lo que no corresponde la formulación de hipótesis.

### **1.7. Justificación**

La investigación se justifica porque proporciona información sobre la capacidad de secuestro anual de carbono de árboles de la especie *H. courbaril*. No existe y/o no está disponible este tipo de información para los bosques del Perú. Las extensas áreas de bosques naturales proveen servicios ambientales como el almacenamiento de carbono, que no han sido valorizados. Al tratarse de una especie como *H. courbaril*, especie abundante, altamente aprovechada, y con madera de alta densidad, su potencial de secuestro de carbono es muy alto, en comparación a otras especies abundantes, pero no aprovechables. Se conoce que los árboles jóvenes pueden capturar cantidades relativamente mayores de carbono, mientras que árboles maduros pueden actuar como un depósito de carbono. Además, especies de lento crecimiento como *H. courbaril* tienen un largo período de vida y por tanto largo periodo de secuestro de carbono en comparación con las especies de rápido crecimiento, y tienen la ventaja adicional de que su madera tiene muchos usos, altamente comerciable y durable, lo que amplía aún más el período de secuestro de carbono por cientos o miles de años, antes de ser degradados y el carbono liberado a la atmósfera. En este contexto, el presente estudio es muy importante, como herramienta base para la estimación y proyección del potencial del stock de carbono de ésta y demás especies de los bosques naturales en Tahuamanu, de manera que se promueva su inclusión en los bonos de carbono mediante el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), en beneficio de la sociedad del Tahuamanu, Madre de Dios.

## **1.8. Consideraciones éticas**

En el aspecto ambiental, no se generaron impactos negativos durante la ejecución de las actividades de campo, pues los trabajos de muestreo se realizaron de manera no destructiva, extrayendo pequeñas muestras de leño de los fustes sin que implique daños en los árboles. Además, se evitaron perturbaciones en la vegetación, y contaminación del suelo y cursos de agua durante los trabajos de campo.

Para evitar riesgos a la salud e integridad física, en los trabajos de extracción de muestras de los árboles se tomaron medidas preventivas contra accidentes por caída de ramas, picaduras de animales y cortes, usando los equipos de protección personal adecuados.

Por otro lado, en el aspecto social, para los muestreos de los árboles se contó con la autorización escrita de la Concesión Forestal Maderyja SAC.

La ejecución del presente trabajo de investigación, se ciñe al método científico para la obtención de resultados confiables, y a metodologías ya estandarizadas para este tipo de estudios, descritas por Brienen y Zuidema (2003); Locosselli et al. (2017); Worbes (1995); Ortega et al. (2018).

Finalmente, la redacción se realizó teniendo en cuenta las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, citando y referenciando adecuadamente los enunciados correspondientes con las normas de citación ISO, así como respetando los derechos de autoría.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de estudios

#### 2.1.1. Crecimiento en diámetro de *H. courbaril*, mediante el análisis de los anillos de crecimiento

Mediante la medición de anillos de crecimiento se determinó que *H. courbaril* tiene un incremento medio anual de 0,55 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 108 a 163 años de edad de bosques naturales del Tahuamanu (Huaman 2011) o de 0,57 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 100 años de edad de bosques naturales de Bolivia (López, Villalba y Peña-claros 2012). En Minas Gerais, Brasil, *H. courbaril* creciendo en el bioma del cerrado reporta un incremento medio anual de 0,54 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 75 años de edad, frente a 0,28 cm año<sup>-1</sup> de árboles de *Hymenaea stigonocarpa* de 80 años de edad (Locosselli et al. 2012); en contraste en el estado de Goias, Brasil, las series cronológicas de 104 años en promedio de *H. courbaril* var. *stilbocarpa*, indicaron una tasa de 0,34 cm año<sup>-1</sup> (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016).

El crecimiento de *H. courbaril* y otras especies del mismo género varía significativamente según el bioma que habitan (Locosselli et al. 2017). El incremento medio anual en árboles de *H. courbaril* de 154 años de edad promedio, varía de 0,20 cm año<sup>-1</sup> en el bioma cerrado a 1,30 cm año<sup>-1</sup> en el bioma del Amazonas y en los Bosques del Atlántico en Brasil, presentándose mayor variabilidad en estos dos últimos, sin embargo árboles jóvenes presentan un baja tasa de crecimiento en los bosques amazónicos frente a árboles de la misma edad que se desarrollan en el Cerrado, que puede deberse a la menor disponibilidad de luz solar generado por el denso dosel de los bosques amazónicos, en cuanto que en el Cerrado al no existir alta densidad de la vegetación, la disponibilidad de luz es mayor permitiendo alcanzar altas tasa de crecimiento (Locosselli et al. 2017). En los bosques del Atlántico *H. courbaril* inicialmente consigue una mayor tasa de crecimiento en comparación con los bosques amazónicos probablemente

debido a que alcanzan más rápido el dosel superior (Locosselli et al. 2017). Sin embargo en Bolivia se comprobó que árboles jóvenes de *H. courbaril* en realidad pueden alcanzar tasas de crecimiento alrededor de 3,01 cm año<sup>-1</sup> (López, Villalba y Peña-claros 2012), muy superior a los estudios reportados bosques amazónicos y bosques del Atlántico Brasileiro.

Finalmente, estudios silviculturales en Bolivia mediante mediciones de parcelas permanentes de muestreo durante largos periodos de tiempo, demostraron que la tasa de crecimiento de *Hymenaea sp.* es en promedio 0,29 cm año<sup>-1</sup> (Dauber, Fredericksen y Peña 2005).

### **2.1.2. Stock de carbono en árboles de *H. courbaril***

En un estudio en la cuenca del río Oroza, Loreto, Perú, se estimó el stock de carbono secuestrado en árboles de *Hymenaea oblongifolia*, los resultados mostraron que *Hymenaea oblongifolia* secuestró aproximadamente secuestran 0,36 t ha<sup>-1</sup> de carbono (Navarro 2016), sin embargo, estimaciones anuales aún no se han realizado. Otros estudios de stock de carbono en el género *Hymenaea* no están disponibles.

Estudios estimando el stock de carbono total del bosque, muestran que los bosques naturales de la Amazonía peruana pueden almacenar entre 135 t ha<sup>-1</sup> a 165 t ha<sup>-1</sup> de carbono (Mamani 2012; Salazar 2012); pero estimaciones a tasas anuales no existen, debido a la dificultad de estimar la edad de los árboles.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Descripción de la especie *H. courbaril* (Azúcar Huayo)**

#### **a) Descripción dendrológica, distribución y hábitat**

Zappi *et al.* (2015) describe a *H. courbaril* como:

Tallo: cáscara en escamas. Hoja: consistencia del foliolo cartaceo/membranaceo; forma del foliolo elíptico; superficie del foliolo lustroso/pubescente en la face abaxial/glabro o glabrescente; venación inconspicua en la face abaxial/conspicuo en la face abaxial/no deprimida en la face adaxial. Inflorescencia: tipo cima dicásial o corimbiforme. Flor: botón-floral dorado/grisáceo/color marrón; posición de las sépalas no reflexas; superficies de las sépalas faces adaxial pubescentes; color de las pétalas blanca; superficie de las pétalas glabras; ovario glabro. Fruto: color marrón oscuro/negro; epicarpo ligeramente verrucoso/liso/lustroso. Semilla: color marrón oscuro/negro.

#### **b) Anatomía de la madera y características de los anillos de crecimiento de *H. courbaril***

En *H. courbaril*, en condición seca al aire la albura es de color blanco ligeramente amarillo, y el duramen variando de castaño claro rosado a castaño rojizo, con tonalidades más o menos intensas. De grano entrecruzado, textura media a gruesa, lustre moderado (International Tropical Timber Organization 2017).

La madera es de porosidad difusa, poros visibles a simple vista, vasos solitarios y múltiples de 2, parénquima axial fácilmente distinguible de tipo aliforme losangular, en líneas marginales típicas, distinguible con lupa; radios visibles con lupa, no estratificados, finos (International Tropical Timber Organization 2017).

El leño de *H. courbaril* posee anillos de crecimiento distinguibles, delimitados por bandas de parénquima marginal (Maselli, Marcos y Buckeridge 2012).

### **2.2.2. Dendrocronología de *Hymenaea courbaril* L e influencia de las variables climáticas en el crecimiento.**

Diversas investigaciones sobre los anillos de crecimiento de *H. courbaril* comprobaron que los anillos se forman anualmente (Westbrook, Guilderson y Colinvaux 2006; Locosselli et al. 2012; Luchi 1998). En Brasil, las cronologías construidas de *H. courbaril* tuvieron intercorrelaciones significativas superiores al valor crítico ( $>0,32$ ) mientras que los valores medios de sensibilidad fueron mayores a 0,30 indicando que las series de medición son sensibles; en relación a los vasos, existió un decrecimiento significativo del área de vasos dentro del anillo de crecimiento (Locosselli et al. 2012). Mejores resultados fueron reportados en otro estudio donde las cronologías alcanzaron una intercorrelación de 0,44 y un valor de sensibilidad de 0,53 (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016). Las series cronológicas construidas mostraron edades de árboles entre 85 a 124 años (Locosselli et al. 2012) mientras que en el otro estudio, los árboles tenían una edad media de 183 años (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016). Las cronologías se correlacionaron positivamente con la precipitación de agosto y octubre asimismo con días de precipitación de setiembre, así mismo la humedad relativa mostró influenciar el crecimiento durante el periodo de transición de la época seca a la época lluviosa, mientras que la temperatura no influenció el crecimiento en el mismo año sino en el año anterior, afectando negativamente el crecimiento radial en *H. courbaril* var. *stilbocarpa* (Hayne) Y.T. Lee y Lang (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016). Ocurre también que el ancho de los anillos de crecimiento es positivamente correlacionado con la precipitación en abril, en contraste el área de los vasos se correlaciona positivamente en diciembre; a diferencia del anterior estudio, la temperatura influencia negativamente el crecimiento durante el mes de abril, y el área de los vasos es afectado negativamente en junio (Locosselli et al. 2012).

En Perú, estudios dendrocronológicos de *Hymenaea courbaril* L. son escasos, los únicos reportes encontrados corresponden al estudio realizado por Huaman (2011) en bosques naturales de Tahuamanu, donde se reportaron

cronologías de árboles de edades entre 108 a 163 años, con intercorrelación entre la series de 0,34, además el crecimiento de esta especie es positivamente relacionado con la precipitación en los meses de julio, octubre y noviembre (Huaman 2011).

### **2.2.3. Densitometría de rayos x para medición de la densidad de la madera**

La densitometría de rayos X permite la obtención de radiografías de sección transversal delgada de la madera. La muestra de madera expuesto a la fuente de rayos X registra su estructura anatómica en una película radiográfica por las diferencias en la absorción de rayos X en los tejidos de la madera (Amaral 1994).

En una revisión sobre la densitometría de rayos X de Parker y Kennedy (1993) se menciona que la técnica de rayos X fue desarrollado por Polge en 1963, en el Centro Nacional de Investigaciones Forestales, Champenoux, Francia, radiografiando muestras cilíndricas de madera (5 mm de espesor) y analizando la imagen radiográfica en un microdensitómetro obtuvo el perfil radial de la densidad aparente de la madera. Sardinha (1976) indicó que las muestras cilíndricas de madera tenían problemas para mantener la posición para el paso de los rayos X, además de variar el espesor de la madera, con posibilidad de error en el cálculo de la densidad. Posteriormente, otros laboratorios, tales como el Instituto de Investigación Forestal de Suiza, utilizaron la sección transversal de muestras de madera con un espesor uniforme de 1,25 mm para las radiografías (Lenz, Schär y Schweingruber 1976).

Después de los trabajos de Polge, institutos de investigación y universidades de varios países (Suiza, Alemania, Australia, Nueva Zelanda, Inglaterra, Canadá, Japón, Estados Unidos, Brasil, etc.) iniciaron la aplicación de la atenuación de los rayos X en el análisis de la madera, paneles, etc., para la determinación de su densidad aparente.

Las numerosas aplicaciones de la densitometría de rayos X fueron descritos por Polge (1966) como la evaluación de la calidad de la madera, la madera de reacción, el estudio de retractilidad, colapso y reacondicionamiento de la

madera, además de la comparación de perfiles densitométricos de la madera de procedencias de una misma especie. En un primer momento, la información de las publicaciones se referían a la técnica de densitometría de rayos X en maderas, con la descripción de los equipos, innovaciones de los laboratorios y en la actualidad su aplicación extensiva (Amaral 1994).

Por lo tanto, la densitometría de rayos X es una herramienta importante para el estudio del clima, la hidrología, la ecología y la geomorfología. Por ejemplo, Polge (1966) estableció que los perfiles densitométricos son característicos del año de formación de anillos de crecimiento - la densidad máxima y mínima anual, la densidad límite de los anillos de crecimiento, etc. - permitiendo distinguir el año y las posiciones del leño en el interior del tronco del árbol; también encontró una relación directa entre los anillos de crecimiento con los factores climáticos, con las curvas de variación de densidad aplicadas a la dendrocronología. Amaral (1994) indicó que el efecto de las prácticas silviculturales (fertilización, raleo, irrigación, poda, etc.) puede ser medida por densitometría de rayos X, mostrando la variación de densidad entre y dentro de los anillos de crecimiento.

Parker y Kennedy (1993) mostraron una serie de estudios que utilizan la técnica de densitometría de rayos X proporcionando numerosas aplicaciones para la evaluación de la estructura y propiedades de la madera, el efecto de las prácticas silviculturales y la biología del crecimiento de los árboles.

En los estudios de Tomazello et al (2008) se mostró que la determinación de la densidad aparente por densitometría de rayos X permite evaluar el efecto de deterioro de la madera de árboles de eucalipto por los hongos de pudrición blanca, detectar el límite del duramen-albura, el efecto del manejo forestal en las propiedades de la madera y determinar la producción anual de biomasa de madera y la relación con su estructura anatómica. Oliveira (1997) indicó que la técnica permite medir la variación de la densidad de la madera en distancias cortas, imposible por el método gravimétrico convencional, obteniéndose gráficos del patrón de variación radial de la densidad y proporcionando la evaluación del desarrollo de los árboles y la selección de la madera de densidad más uniforme o más elevada.

#### **2.2.4. Evaluación del crecimiento mediante análisis de los anillos anuales.**

El crecimiento de árboles puede ser evaluado por diferentes métodos, como la medición del incremento del diámetro, altura, registros fenológicos, etc. (Worbes 1995).

En las últimas décadas otro nuevo método ha tomado importancia, esta es la ciencia de los anillos de crecimiento anuales más conocido como la “dendrocronología”, mediante el cual se puede extraer el incremento radial y por tanto el incremento en diámetro del tronco a través de la identificación y medición de los anillos de crecimiento anuales. Además, este método permite relacionar el crecimiento con factores ecológicos (Worbes 1995).

Una muestra para dendrocronología consiste en un fino cilindro de 5 mm o más de diámetro comprendida desde la corteza hasta la médula, conocido como “bagaeta” es español o “core” en inglés, que se obtiene con el barreno de presler en la base del árbol. Este es el método no destructivo porque no se tala el árbol. Otro tipo de muestra consiste en un disco transversal del tronco “rodaja” de la base del árbol, para lo cual debe cortarse el árbol, es decir es un método destructivo.

Una vez extraídas las muestras, deben ser preparadas con mucho cuidado para incrementar la visibilidad de los anillos de crecimiento. Esto se logra mediante un pulido o lijado de la superficie transversal usando lijas de diferente granulación. Posteriormente un leve humedecimiento de la superficie pulida mejora el contraste de los límites de los anillos de crecimiento (Worbes 1995; 1999).

Los anillos son identificados y delimitados usando una lupa o estereoscopio, para observar los patrones macroscópicos y microscópicos de la madera relacionados al anillo (Worbes 1995).

Posteriormente los anillos son contados y medidos su ancho usando un estereoscopio o con dispositivos de medición de anillos de crecimiento, creado series de crecimiento que es una curva del ancho de los anillos a través de los años. Estas series son comparadas unas con otras para

obtener una sincronización (en inglés cross-dating) de las series. La sincronización significa reconocer patrones únicos de la anchura y estrechez de los anillos entre las series. Una buena sincronización indica un factor desencadenante externo oscilante del ritmo de crecimiento. Cuando se desea comparar las series sincronizadas con la ocurrencia de eventos climáticos, las series de crecimiento deben ser transformadas en curvas de índice. Por ejemplo, las series de crecimiento se comparan con series de precipitación mensual mediante análisis de correlación para determinar los meses en los que la precipitación afecta el crecimiento de los árboles (Jacoby 1989).

### **2.2.5. Estimación del carbono almacenado**

El secuestro de carbono se produce como resultado de la fotosíntesis, donde el CO<sub>2</sub> atmosférico es asimilado para producir carbohidratos necesarios para el desarrollo de la planta que se depositan en el leño de la planta formando la pared celular (Mohan Kumar y Nair 2011).

Por tanto, para estimar el carbono almacenado, se determina la biomasa de la vegetación generalmente por ecuaciones alométricas usando variables como el diámetro a la altura del pecho (dap), altura, y densidad del leño. El dap que por sí solo es una fuerte variable predictora. Las ecuaciones alométricas se construyen para una especie determinada (específicas) o para un grupo de especies (generales) para uso local o para uso regional o global, mediante el muestreo destructivo (Hairiah et al. 2001). Una vez que se cuente con una ecuación alométrica adecuada para la especie a estudiar, es posible determinar la biomasa del árbol a partir de simples mediciones del dap, y opcionalmente otras variables como la altura y la densidad de la madera.

La masa seca de los árboles se convierte en masa de carbono multiplicando la masa total por el factor 0,5 propuesto por el IPCC (2013). Este factor representa la fracción de carbono contenido en la materia seca del árbol.

### 2.3. Definición de términos

**Crecimiento:** Es el incremento en las dimensiones de un determinado atributo de un árbol o rodal, por unidad de tiempo (Pretzsch 2009). En árboles maduros, el crecimiento se expresa comúnmente como el volumen.

**Incremento:** El incremento se define como el aumento en volumen, área basal, diámetro o altura de un árbol o de una masa forestal en un periodo de tiempo determinado (Van Laar y Akça 2007). Es la magnitud del crecimiento, se calcula por la diferencia entre el tamaño al final del periodo y el tamaño al inicio del periodo de crecimiento. Considerando el período de tiempo, se existen dos tipos de incremento:

**Incremento corriente anual (ICA):** Es el incremento producido en un año de intervalo. Es la diferencia entre el valor de la variable al final del año y el valor al inicio del año (Prodan et al. 1997)

**Incremento medio anual (IMA):** Se refiere al promedio anual del incremento total. Se calcula dividiendo la dimensión del árbol entre su edad en años (Prodan et al. 1997).

**El carbono:** Es el elemento químico más abundante del planeta Tierra y está presente en todos los seres vivos. En el árbol, se encuentra en grandes cantidades en las hojas, ramas, tallos y raíces (Walker 2011). Aproximadamente, el 50% de la biomasa seca de un árbol es carbono. Por ejemplo, si un árbol tiene una biomasa seca de 2,40 toneladas métricas entonces el carbono fijado en el árbol es de 1,20 toneladas métricas.

**Biomasa:** La biomasa de un árbol es la masa del tejido de la planta expresado en kilogramos (kg), toneladas métricas (t) o Megagramos (Mg) (Walker 2011). La biomasa viva se puede separar en: biomasa sobre el suelo (hojas, ramas y tallo) (aérea), y biomasa bajo el suelo (raíces). Lo más común es estimar la biomasa seca sobre el suelo, lo cual es el peso del tejido vivo de la planta sobre el suelo después de que toda el agua haya sido removida, es decir, después de que las hojas, ramas y tallos se hayan secado por completo, a menudo utilizando un horno especial de laboratorio.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo descriptivo y correlacional, porque aborda la estimación de variables a partir de otras variables independientes, mediante técnicas analíticas descriptivas y relación de variables.

Según su finalidad la investigación es aplicada, porque los resultados podrán ser directamente aplicados en la solución del problema planteado.

Según el carácter de medida es cuantitativa, pues las variables dependientes e independientes son de tipo cuantitativo.

### 3.2. Diseño del estudio

El diseño de la investigación es del tipo de estudios analíticos observacionales no experimentales, longitudinal, y sin grupo control.

### 3.3. Población y Muestra

#### 3.3.1. Población

La población estuvo conformada por el número total de árboles aprovechables ( $dap > 45$  cm) de la especie *H. courbaril* de la parcela de corta anual-zafra 2020, la cual es de aproximadamente 257 árboles, según el Plan Operativo Anual de aprovechamiento del Consolidado Maderacre SAC.

#### 3.3.2. Muestra

En estudios dendrocronológicos el tamaño de muestra se calcula a partir de la robustez de la señal de la población expresada “EPS” por sus siglas en inglés de “*Expressed Population Signal*” (Wigley, Briffa y Jones 1984; Briffa y Jones 1990). El EPS se basa en la correlación media entre todas las series incluidas en la cronología y tiene un posible rango entre cero y uno, y aumenta con el tamaño de la muestra y con la robustez de la correlación media. Wigley, Briffa y Jones (1984) sugirieron un valor mínimo de 0,85 para obtener una cronología suficientemente replicada. La EPS se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\text{EPS}(t) = \frac{n\bar{r}_{bt}}{n\bar{r}_{bt} + (1 - \bar{r}_{bt})}$$

Donde:  $n$  = número de árboles muestreados, y  $\bar{r}_{bt}$  = correlación media entre todas las series de anillos de crecimiento.

Así, con un  $n = 28$  árboles y con un  $\bar{r}_{bt} = 0,39$  para *Hymenaea courbaril* (Maselli, Marcos y Buckeridge 2012; Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016; Locosselli et al. 2017), y reemplazando en la fórmula, tenemos:

$\text{EPS}(t) = 0,95 > 0,85$ , por tanto, un tamaño de muestra de 28 árboles es óptimo para el estudio.

En base a estas consideraciones, el tamaño de muestra fue de 28 árboles de *H. courbaril* de dap mayor a 45 cm (Figura 1), seleccionados aleatoriamente, y proporcional a las clases diamétricas. Se excluyeron árboles con defectos tales como fuste torcido, copa dañada, o pudrición del duramen.

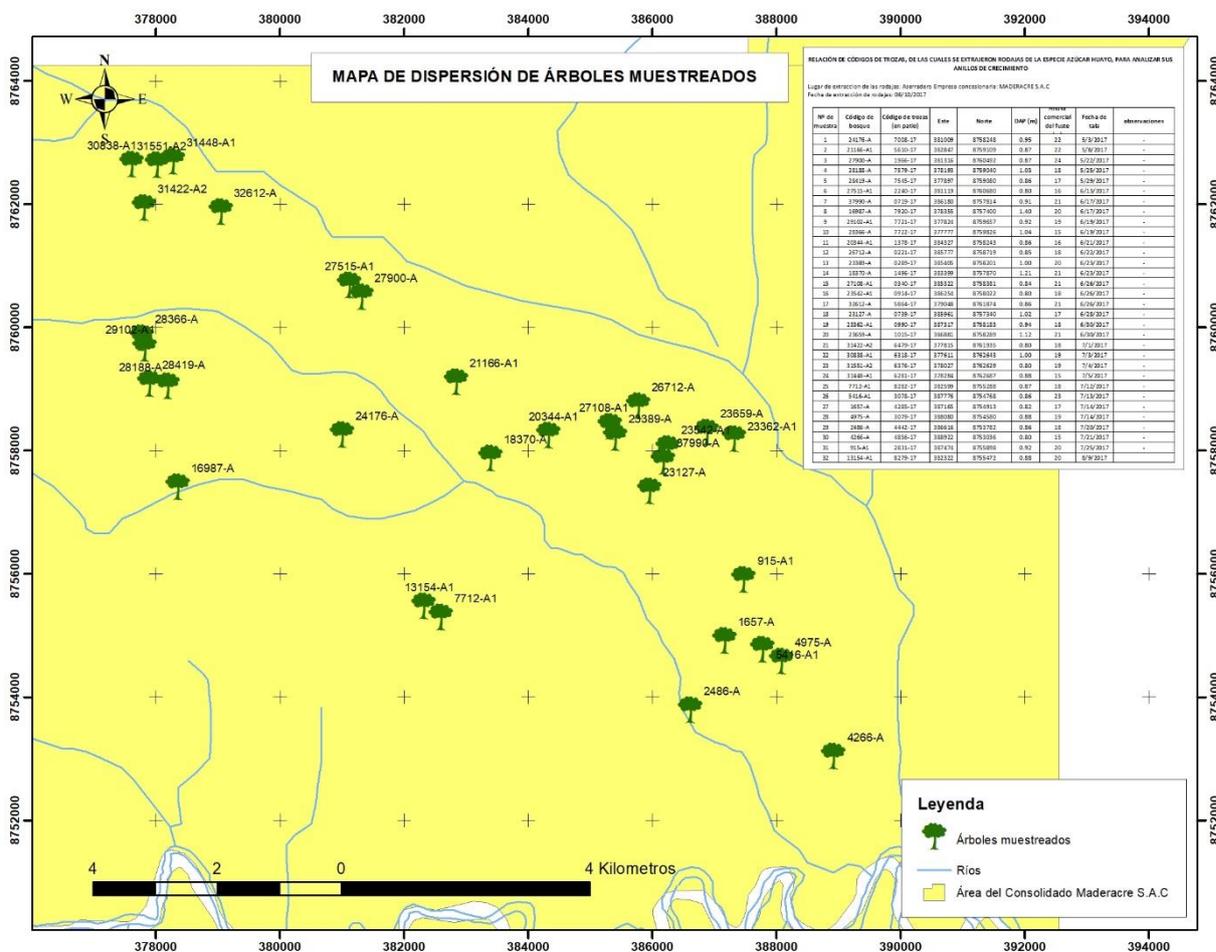
### 3.4. Métodos y técnicas

#### 3.4.1. Lugar de estudio

El lugar de estudio abarcó los bosques naturales de la Parcela de Corta N° 15 del Consolidado Maderacre SAC, localizado entre las coordenadas 10° 56' 24" y 11° 12' 24" Latitud Sur y entre las coordenadas 70° 4' 31" y 69° 39' 48" Longitud Oeste, en el Distrito de Iñapari, Provincia de Tahuamanu, Región de Madre de Dios (Figura 2). La zona es de clima húmedo tropical, con temperatura media anual entre 22°C y 24°C y precipitación acumulada anual entre 2 200 y 3 000 milímetros (GOREMAD 2010). El área de la concesión forestal, alberga bosques con gran potencial maderable; actualmente de estos bosques están extrayéndose árboles de especies comerciales, en base al Plan General de Manejo Forestal y el Plan Operativo Anual. El área está conformada por bosques de colina baja fuerte con paca, bosque de colina baja suave con paca y bosque de terraza baja con paca, con abundancia de la especie *H. courbaril* con 257 individuos, y otras

especies como *Dypterix sp*, *Miroxylom balsamun*, *Tabebuia sp*, *Amburana cearensis*, *Manilkara bidentata*, *Apuleia leiocarpa*, etc.

Figura 1. Mapa de dispersión de árboles en el Consolidado Maderacre SAC



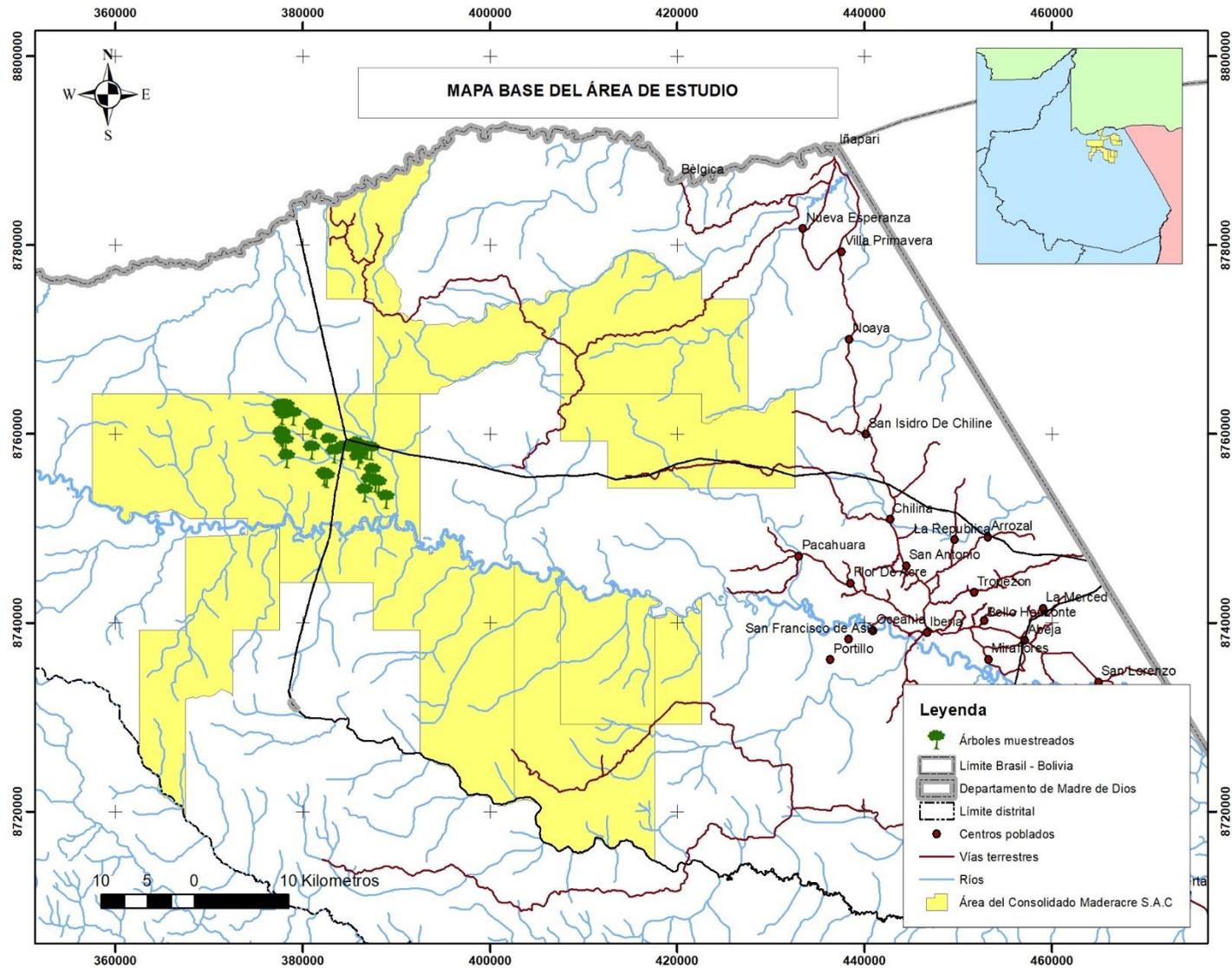


Figura 2. Mapa base del área de estudio - Consolidado Maderacre SAC.

### 3.4.2. Procedimiento de colecta de rodajas del tronco

La extracción de muestras del leño de los árboles, se realizó a través del método destructivo, que consiste en extraer rodajas (o discos) de 10 cm del tronco a la altura del dap (Figura 3). En total se extrajeron 28 rodajas (uno por árbol).



Figura 3: Extracción de rodaja del fuste de un árbol de *Hymenaea courbaril*

Las rodajas fueron registradas con un código del árbol, colocadas en un ambiente bajo sombra. Posteriormente fueron transportadas hasta el laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), para la preparación de muestras y para posterior análisis.

### 3.4.3. Preparación de las rodajas para demarcación de los anillos de crecimiento

Una sección trasversal de cada rodaja fue pulida usando lijas de agua con granulación de 100 hasta 800 para mejorar la visibilidad de los anillos de crecimiento (Stokes y Smiley 1996). Se demarcaron 04 radios en cada rodaja pulida, para la medición del ancho de los anillos de crecimiento y construcción de las series cronológicas. La evaluación de 04 radios por árbol permite realizar mediciones precisas del ancho de los anillos de crecimiento, así como facilitar la identificación de anillos falsos o anillos ausentes, debido a que el crecimiento secundario no suele ser uniforme en todas las direcciones del tronco (médula dislocada, leño de reacción, pequeñas aletas, etc).

En cada uno de los 04 radios se identificaron y demarcaron los anillos de crecimiento con lápiz, a simple vista o con el uso de una lupa de 10X o estereoscopio. Después, las rodajas se cortaron de tal manera que se obtuvieron 04 muestras radiales por rodaja, las cuales fueron digitalizadas con un escáner profesional, a una resolución de 1 200 dpi, para medición de los anillos de crecimiento en el software Image J (Figura 4).



Figura 4: Un radio extraído de la rodaja, pulido y digitalizado, para medición de los anillos de crecimiento

#### **3.4.4. Medición de los anillos de crecimiento**

Las imágenes digitalizadas de las muestras, fueron analizadas en el Software Image J, para medición del ancho de los anillos de crecimiento con una precisión de 0,01 mm. Los datos generados fueron almacenados por el software como archivo de extensión “.txt” para su exportación a Excel. Con estos datos, se construyeron las series cronológicas, graficándose las curvas de incremento en las cuales se realizó la sincronización también llamado datación cruzada o “cross-dating” en inglés, de las 30 series de crecimiento. Previamente se sincronizaron las series de los radios de cada árbol, y promedió el ancho de los anillos de crecimiento, obteniéndose una sola serie de crecimiento por cada árbol (Rosero 2009; Campos 2009).

Posteriormente, mediante el Programa COFECHA (Holmes, Adams y Fritts 1986a) se realizó el control de calidad y verificación de la sincronización, obteniéndose la serie media, denominada Serie Maestra, con la cual se compararon las series individuales mediante un análisis de correlación para encontrar posibles errores de la sincronización, descartar series o validarlos. Los anillos faltantes y falsos anillos fueron identificados para asegurar una mejor estimación de la edad y el crecimiento.

### 3.4.5. Reconstrucción del crecimiento secundario anual y estimación del volumen, mediante la medición de los anillos de crecimiento.

La reconstrucción del crecimiento secundario dio como resultado la estimación del volumen del fuste durante cada año de crecimiento, técnicamente conocido como incremento corriente anual del volumen del fuste (ICAV). A continuación, se detalla los cálculos realizados:

- El crecimiento secundario fue representado por el incremento corriente anual del área basal (ICAG). El incremento ICAG para el enésimo año  $t$ , fue calculado a partir de la medición del ancho de los anillos de crecimiento y el área de los anillos, mediante la siguiente expresión (1):

$$ICAG_x = \pi \left[ \sum_{x=1}^x \text{Ancho del anillo}_t \right]^2 - \pi \left[ \sum_{x=1}^{x-1} \text{Ancho del anillo}_t \right]^2 \quad (1)$$

- Asimismo, una vez conocido el ICAG para una determinada edad  $x$ , el incremento medio anual del área basal (IMAG) fue calculado mediante la expresión (2):

$$IMAG_x = \frac{\sum ICAG_x}{Edad_x} \quad (2)$$

- El rendimiento del árbol, expresa el tamaño del árbol en área basal, alcanzado a una determinada edad  $x$ , por tanto, su expresión fue simplificada a (3):

$$Rendimiento_{G_x} = \sum_{x=1}^x ICAG_x \quad (3)$$

- Finalmente, se calculó el incremento corriente anual del volumen del fuste sin corteza (ICAV) en la edad  $x$ , estimado mediante la ecuación (4).

$$ICAV_x = ICAG_x \times HC_x \times F \quad (4)$$

Donde,  $ICAV_x$  = Incremento corriente anual del Volumen del fuste sin corteza ( $m^3$ ) en la edad  $x$ ;  $F$  = Factor de forma de *H. courbaril* igual a 0,75;  $ICAG_x$  = Incremento corriente anual del área basal en la edad  $x$  ( $m^2$ ), calculado mediante la ecuación (1);  $HC_x$  = Altura comercial en la edad  $x$  (m).

HC fue estimado en función del dap, mediante la regresión logarítmica  $HC = 5,1196 \ln(dap) - 5.0933$ ,  $R^2 = 0.37$ , construida previamente a partir de una base de datos de mediciones de dap y altura comercial de 243 árboles de censos forestales de concesiones maderables de Madre de Dios (Anexo 3).

#### **3.4.6. Determinación de la densidad de la madera para cada anillo de crecimiento.**

Las muestras pulidas fueron enviadas al Laboratorio LAIM de la Universidad de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil, donde los técnicos y practicantes del laboratorio realizaron la preparación de la muestra y análisis de la densidad por densitometría de rayos X, en la modalidad de colaboración.

En esta etapa las muestras pulidas fueron fijadas en un soporte de madera, con las fibras dispuestas en sentido perpendicular a la base del soporte para cortar una fina lamina transversal de 2 mm de espesor en un equipo de doble sierra circular. Inmediatamente fueron almacenadas en una climatizadora a 20°C y 50% de humedad relativa durante 24 horas, para alcanzar un contenido de humedad de la madera del 12% para análisis por densitometría de Rayos X (Tomazello et al. 2008).

Las muestras radiales, fijadas en soportes y seccionadas a un espesor de 2 mm, climatizadas, fueron sometidas a irradiación de rayos X en la cámara de densitometría de rayos X (Faxitron X-ray, modelo LX 60) (Figura 5). Este equipo adquiere imágenes digitales de rayos X de las muestras, los cuales son procesados en el software WinDENDRO™ 2019 para calcular los valores de densidad aparente y construir el perfil radial de la densidad de la madera en alta resolución.



Figura 5: Cámara de densitometría de rayos X de la Universidad de São Paulo, en Piracicaba, Brasil

La Figura 6 muestra cómo esta técnica permite identificar, medir, y calcular la densidad aparente para cada anillo de crecimiento, a partir de los patrones de variación radial de la densidad entre el leño temprano y leño tardío.

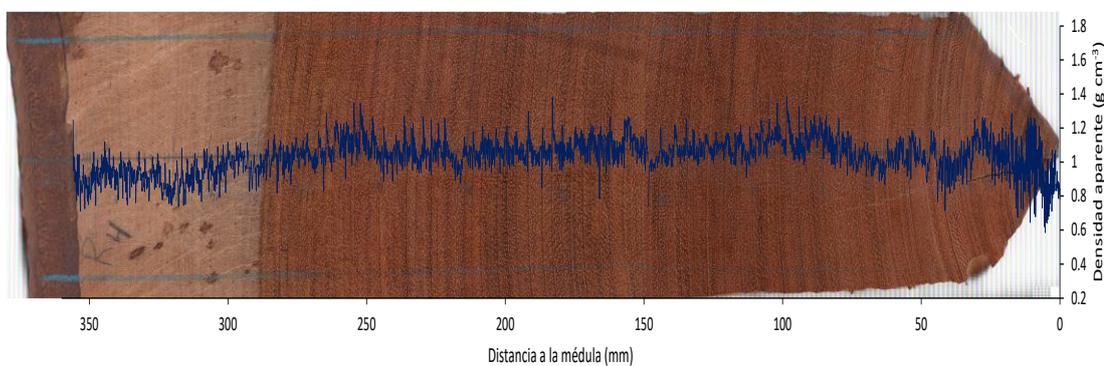


Figura 6: Delimitación de los anillos de crecimiento de un radio de *Hymenaea courbaril* mediante la variación radial de la densidad del leño.

Con los datos obtenidos, se calculó la densidad aparente promedio del leño de cada anillo de crecimiento, y seguidamente se estimó la densidad básica mediante una ecuación de regresión (5) que relaciona la densidad aparente media y la densidad básica, de acuerdo a Hackenberg et al. (2015):

$$DB_x = 0,1237 + 0,528DA_x \quad (5)$$

Donde,  $DB_x$  = Densidad básica de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ ) en la edad  $x$ ; y  $DA_x$  = Densidad aparente media de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ ) en la edad  $x$ .

#### 3.4.7. Determinación de la biomasa y stock de carbono del fuste para cada año de crecimiento.

Conocida la densidad básica de la madera y el incremento de volumen en cada año de crecimiento, se estimó la biomasa del fuste (peso seco) para cada año de crecimiento mediante la ecuación (6):

$$ICAB_x = \sum_{x=1}^{x-1} (DB_x \times ICAV_x \times 10\,000) \quad (6)$$

Donde,  $ICAB_x$  = Incremento corriente anual de la biomasa del fuste (kg) en la edad  $x$ ;  $DB_x$  = Densidad básica de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ ) en la edad  $x$ ;  $ICAV_x$  = Incremento corriente anual del volumen del fuste sin corteza ( $\text{m}^3$ ) en la edad  $x$ , estimado mediante la ecuación (4).

Posteriormente, el incremento corriente anual de la biomasa por hectárea ( $ICABH$ ) fue estimado mediante la ecuación (7):

$$ICABH_x = Abundancia_x \times ICAB_x \quad (7)$$

Donde  $ICABH_x$  = Incremento corriente anual por hectárea de la biomasa del fuste ( $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ) a una edad  $x$ ;  $Abundancia_x$  = Abundancia de la especie de la clase diamétrica en la edad  $x$  (# árboles  $\text{ha}^{-1}$ ) (Anexo 3);  $ICAB_x$  = Biomasa del fuste (kg) a la edad  $x$ .

Finalmente, el stock de carbono del fuste por hectárea almacenado en el año  $x$  ( $C_x$ ) se estimó multiplicando el  $ICABH_x$  por el factor 0,45 (Brown 1997), tal como se muestra en la ecuación (8):

$$C_x = ICABH_x \times 0,45 \quad (8)$$

### **3.5. Tratamiento de los datos**

La construcción de las cronologías fue realizado en hojas de cálculo Excel, procediéndose posteriormente al control de calidad con el programa COFECHA (Holmes, Adams y Fritts 1986a) y estandarización de las series cronológicas con el programa ARSTAN (Holmes, Adams y Fritts 1986b).

Los cálculos de la densidad, biomasa y stock de carbono del fuste fueron realizados en hojas de cálculo Excel.

Finalmente, se empleó el software libre R Studio para la construcción de las curvas de crecimiento, biomasa y stock de carbono.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Características de los anillos de crecimiento**

En la sección transversal del fuste de los árboles de *H. courbaril*, se observó anillos de crecimiento distinguibles al ojo humano, delimitados mediante bandas delgadas de parénquima marginal de color claro (Figura 7). Además, el leño se caracterizó por ser del tipo de porosidad difusa, vasos visibles a simple vista, mayormente solitarios y escasamente múltiples. En algunos anillos existe una diferenciación entre el leño temprano y leño tardío, en el que el leño tardío se caracteriza por fibras de mayor espesor de pared celular y color más oscuro (zona fibrosa). No obstante, en otros anillos, el leño temprano y leño tardío no pueden diferenciarse.

Éstas características descritas de los anillos de crecimiento, también fueron observados en otros estudios realizados en bosques naturales de Madre de Dios, Perú (Cahuana 2017; Huaman 2011) y Minas Gerais, Brasil (Locosselli et al. 2012), y São Paulo, Brasil (Quintilhan et al. 2021).

El tejido parenquimático en el xilema secundario cumple una amplia función, como el almacenamiento y transporte de carbohidratos y otras sustancias, y la reparación de vasos embolizados (Carlquist 2015; 2018).

La presencia de anillos de crecimiento falsos fue una característica común observada en las muestras evaluadas. Los anillos falsos pueden ser reconocidos por ser más delgados e intermitentes en su recorrido; generalmente no llegan a completar la circunferencia y se pierden o unen a otro anillo en alguna parte. Huaman (2011) indica que también existe otro tipo de anillo falso que se genera cuando la faja parenquimatosa principal se divide en una línea muy delgada.

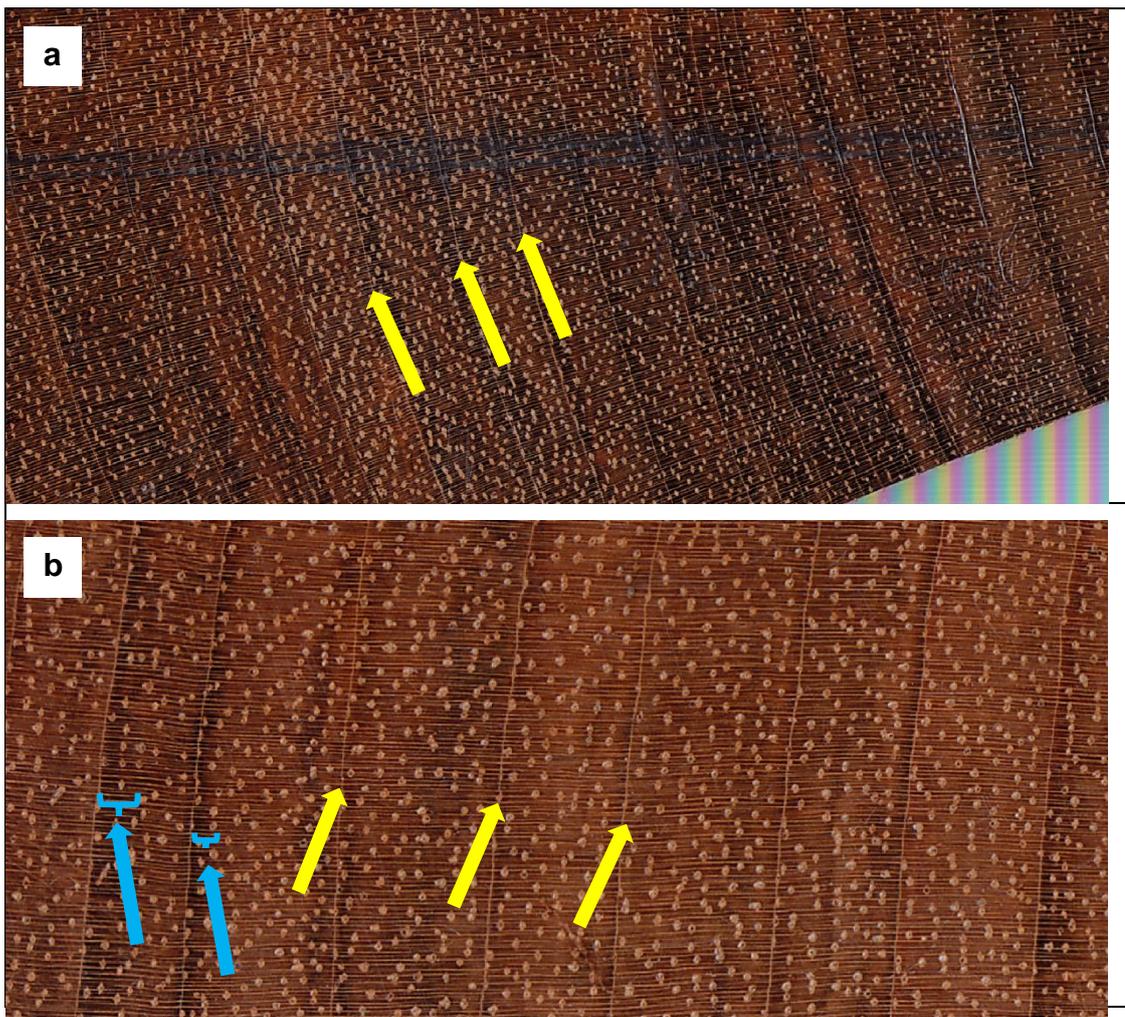


Figura 7. Sección transversal de leño de dos árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*.

Los anillos de crecimiento se delimitan mediante bandas de parénquima marginal (flechas amarillas) (a y b). En algunos anillos existe una diferenciación entre el leño temprano y leño tardío por la presencia de zona fibrosa, es decir fibras con pared celular más gruesa (flechas y corchetes en celeste) (b).

Los anillos falsos suelen presentarse en la mayoría de especies tropicales debido a anomalías de precipitación durante el año. La formación de los anillos de crecimiento se produce como respuesta a una limitante del crecimiento (Fritts 1976; Bowyer, Shmulsky y Haygreen 2007), que en este caso es la bajo nivel de precipitación durante la estación seca (junio, julio, agosto, y setiembre); por tanto, si durante el año se produce dos o más periodos de baja precipitación existe la posibilidad de formarse más de un anillo durante el año.

La edad de los árboles varió entre 87 a 244 años, con una media de 156 años (Figura 8).

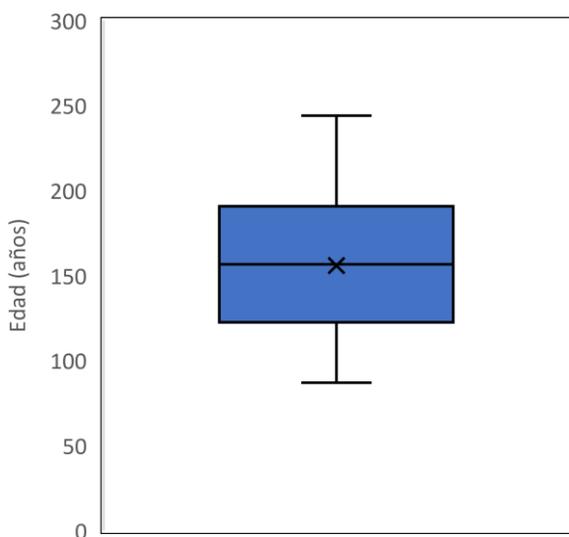


Figura 8. Distribución de la edad de los árboles evaluados de *Hymenaea courbaril*.

#### 4.2. Densidad aparente y densidad básica de los anillos de crecimiento

La densitometría de rayos X fue útil y práctico para determinar la variación radial de la densidad de la madera desde la médula hasta la zona cambial próximo a la corteza (Figura 9a, Figura 10). Dentro de cada anillo de crecimiento, se observó que la densidad es menor en sección inicial del anillo de crecimiento, es decir en la región del leño temprano, e incrementa gradualmente a medida que se acerca al límite de anillo, es decir la región del leño tardío (Figura 9b).

Ésta variación de la densidad en la transición de los anillos de crecimiento se debe a la presencia de células de pared más delgadas y mayor lumen del parénquima longitudinal (Tomazello et al. 2008; Venegas 2013).

Éste perfil es característico de especies de anillos bien marcados (Tomazello et al. 2008) debido a diferencias anatómicas entre el leño temprano y leño tardío: en el leño temprano los vasos son mayor diámetro y frecuencia, y las fibras tienen pared celular más delgada, contrario al leño tardío que se caracteriza por vasos pequeños y de menor frecuencia, y mayor espesor de la pared celular de las fibras (Castro 2011).

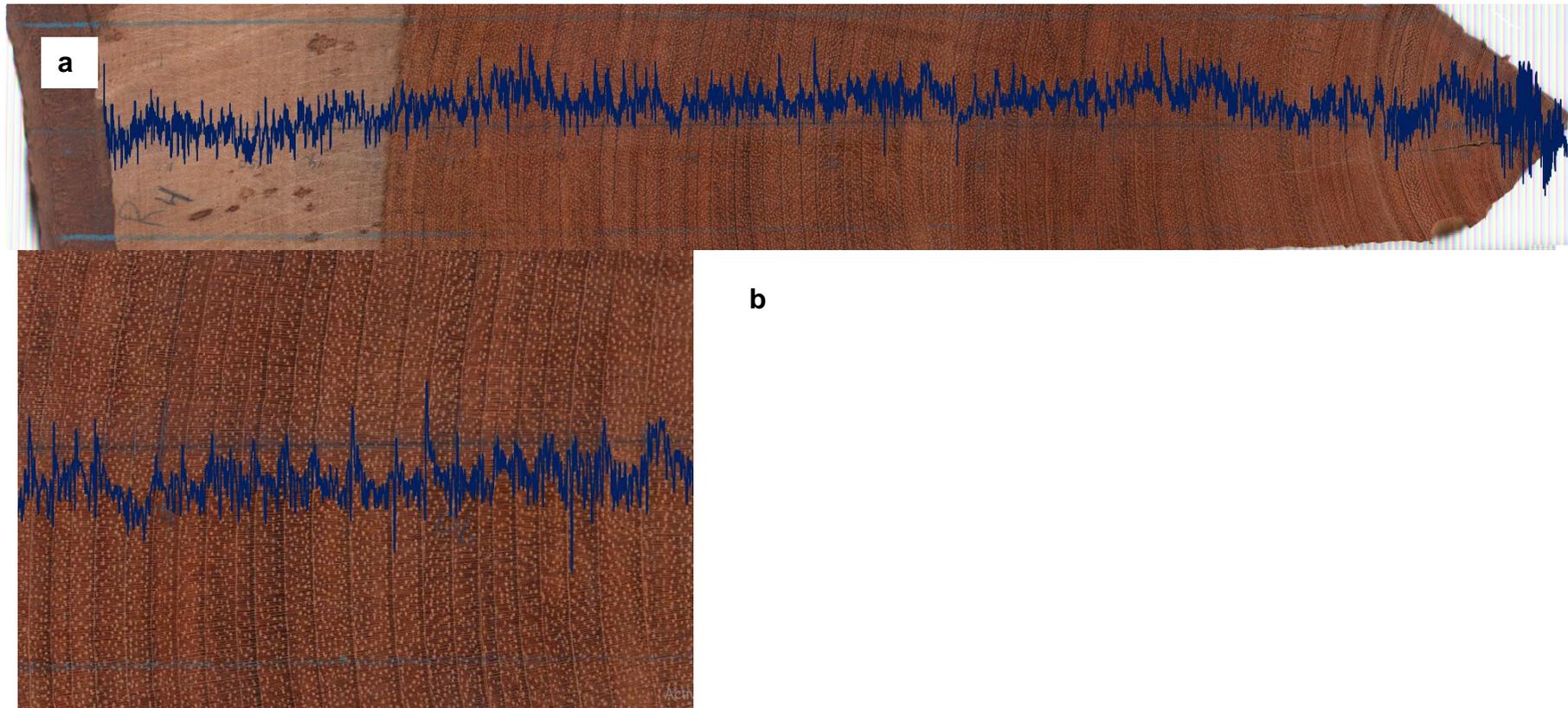


Figura 9: Sección transversal de leño de *Hymenaea courbaril* desde la médula hasta la corteza (derecha a izquierda) con el perfil de densidad aparente en línea azul (a). También se muestra un recorte de una sección intermedia de la muestra, observando el detalle del perfil radial de densidad aparente y los anillos de crecimiento (b).

Los perfiles de densidad se caracterizaron por presentar valores de densidad levemente menores en la región próxima a la médula, incrementando la densidad hasta el 32% del radio (desde la médula), y desde ese punto manteniéndose casi constante hasta el 70% del radio, para luego disminuir gradualmente hasta la región próxima a la corteza (Figura 10).

En un 50% de las muestras analizadas, se observó que la densidad de la madera disminuyó drásticamente en la región de la albura (Figura 10), de hecho, esto se observa la región entre el 70% y 100% del radio, en el perfil de densidad media (Figura 11). Los resultados muestran que, en la región de la albura, la densidad básica media fue de aproximadamente  $0,62 \text{ g cm}^{-3}$ , valor bajo comparado con la densidad media del duramen de aproximadamente  $0,70 \text{ g cm}^{-3}$ .

La albura tiene como función principal el transporte de agua hacia las hojas, ayuda a fortalecer el fuste, y hasta cierto punto almacena carbohidratos como reserva (Pallardy 2008). En contraste, el duramen constituye el tejido leñoso 'no vivo', que proporciona soporte mecánico al fuste (Pallardy 2008). La mayor densidad del duramen se debe a que los lúmenes de la células muertas de esta región suelen estar llenos de tilosis que aumentan el peso de la madera para un volumen dado, aumentando así su densidad (Fajardo 2018). Otra explicación puede ser un aumento del diámetro de los vasos de la albura, que corresponde a los últimos anillos de crecimiento, es decir madera más adulta, lo que disminuiría la densidad de la madera: cuanto más viejo sea el árbol, menor será la densidad de su albura (Mencuccini et al. 2007).

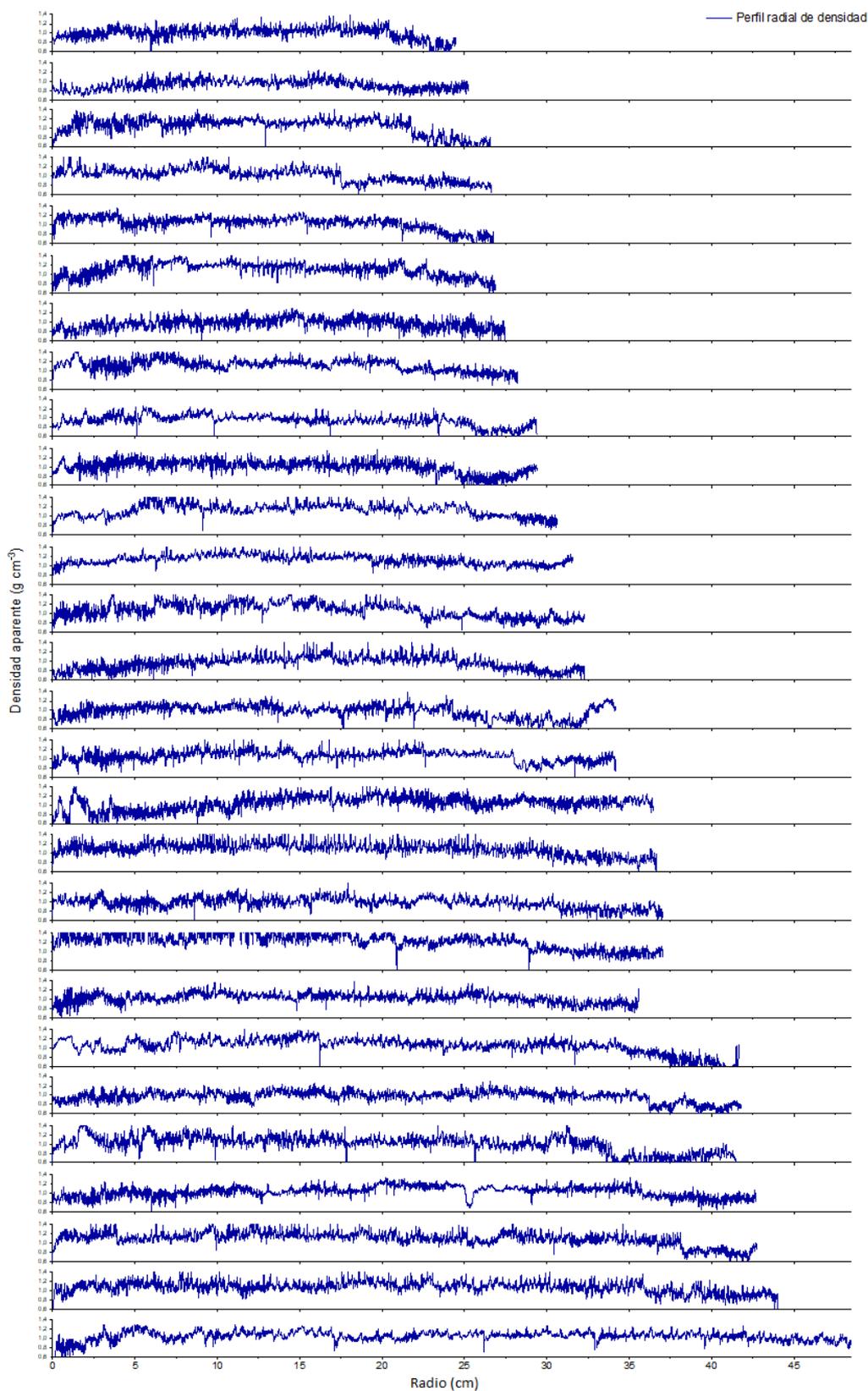


Figura 10: Perfil radial de densidad aparente por cada uno de los 28 árboles evaluados de *Hymenaea courbaril* a lo largo del radio en cm (distancia a la médula).

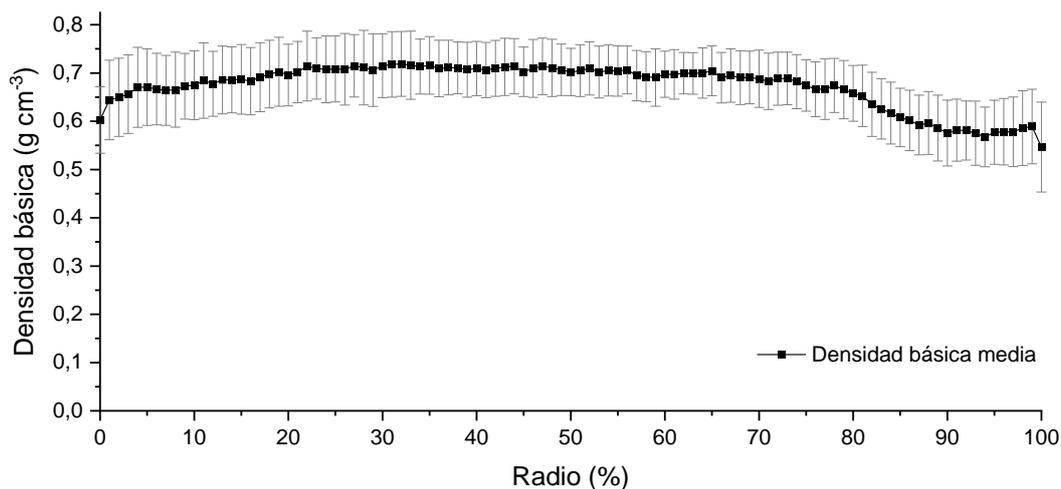


Figura 11: Perfil radial de densidad básica media de 28 árboles evaluados de *Hymenaea courbaril* a lo largo del radio en porcentaje (distancia a la médula). Las barras verticales expresan la desviación estándar.

El perfil radial de densidad en función de la edad de los árboles mostró mayor variación y heterogeneidad de los valores de densidad (Figura 12). La densidad del leño de los árboles se incrementó hasta los 50 años aproximadamente, y a partir de esa edad la densidad disminuyó gradualmente, no obstante, los anillos de crecimiento formados desde los 150 años incrementaron levemente su densidad. El incremento de la densidad durante las primeras décadas de edad, sugieren la presencia de leño juvenil, caracterizado por la presencia de células de menor espesor de pared celular, más cortas y delgadas, generando menor densidad (Bowyer, Shmulsky y Haygreen 2007; Lachenbruch, Moore y Evans 2011).

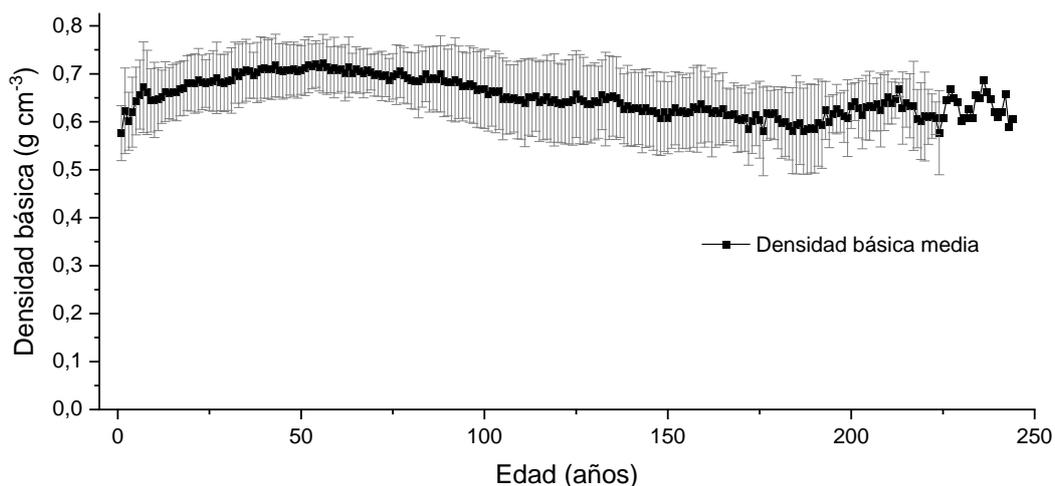


Figura 12: Perfil radial de densidad básica media de 28 árboles evaluados de *Hymenaea courbaril* en función de la edad de los árboles. Las barras verticales expresan la desviación estándar.

A medida que las plantas crecen, se forma menos leño juvenil, por tanto, las características anatómicas y propiedades físicas de la madera producida se mejoran conforme pasan los años, llegando a un punto de estabilidad. En el presente estudio la densidad del leño se estabilizó cerca a los 50 años de edad, sugiriendo que a esta edad el árbol comienza la formación de leño adulto (Figura 12).

En la Tabla 2 muestra los valores de densidad básica de los árboles evaluados. La densidad media fue de  $0,66 \text{ g cm}^{-3}$ , con mínimo de  $0,61 \text{ g cm}^{-3}$  y máximo de  $0,74 \text{ g cm}^{-3}$ , con una distribución casi simétrica (Figura 13).

Tabla 2: Densidad básica de la madera de los árboles evaluados de *Hymenaea courbaril*.

Árbol	Densidad básica ( $\text{g cm}^{-3}$ )	
	Media	Desviación estándar
1	0,66	0,07
2	0,65	0,07
3	0,65	0,10
4	0,74	0,09
5	0,63	0,05
6	0,63	0,06
7	0,63	0,07
8	0,61	0,09
9	0,68	0,05
10	0,68	0,05
11	0,68	0,07
12	0,70	0,06
13	0,64	0,05
14	0,69	0,06
15	0,66	0,04
16	0,65	0,10
17	0,65	0,06
18	0,61	0,06
19	0,61	0,04
20	0,64	0,06
21	0,70	0,08
22	0,71	0,07
23	0,68	0,06
24	0,63	0,06
25	0,67	0,05
26	0,71	0,04
27	0,63	0,07
28	0,67	0,05

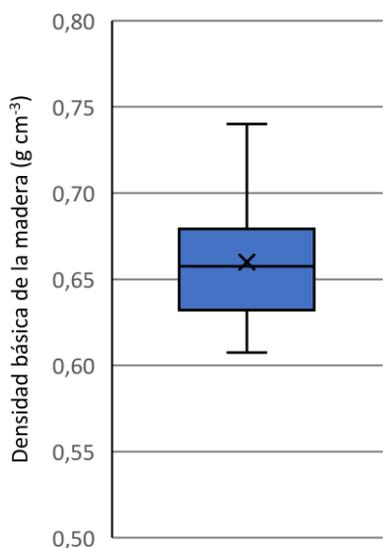


Figura 13: Diagrama boxplot que muestra la distribución de la densidad de los 28 árboles evaluados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

### 4.3. Reconstrucción del crecimiento secundario

Mediante el análisis de los anillos de crecimiento se reconstruyó el dap total de los árboles (Tabla 3).

Tabla 3: Edad y dap reconstruido mediante el análisis de los anillos de crecimiento en *Hymenaea courbaril*.

Árbol	Edad (años)	Dap total reconstruido (cm)
1	170	66,57
2	124	55,64
3	131	50,85
4	214	74,21
5	135	69,67
6	194	70,17
7	138	65,95
8	179	74,66
9	244	116,80
10	198	103,53
11	161	82,20
12	203	63,64
13	224	64,14
14	98	66,37
15	122	70,77
16	194	74,98

17	87	43,21
18	157	63,21
19	131	50,67
20	159	64,84
21	156	60,39
22	109	62,09
23	181	74,47
24	105	70,76
25	167	68,87
26	147	64,40
27	115	52,57
28	118	73,19

Para encontrar la curva que mejor se ajusta al dap observado (sin corteza) en los árboles estudiados, se probaron tres modelos sigmoidales de crecimiento: Gompertz, Logístico, y Richards. El modelo Gompertz (Figura 14) mostró el mejor ajuste a las observaciones del rendimiento de dap, comparado con el modelo logístico (Figura 15) y modelo Richards (Figura 16), con un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj) de 0,81, altamente significativo ( $p < 0,001$ ), y RMSE (error cuadrático medio) de 8,44 cm.

La ecuación del modelo de Gompertz resultante, fue expresada como:

$$y = ae^{-e^{-k(x-xc)}}$$

Siendo sus 3 parámetros:

$a = 71,84825$ ; es la amplitud de la curva, o longitud de la asíntota.

$k = 0,01522$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento del área basal.

$xc = 71,35019$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y$  = Rendimiento de dap en cm, como variable dependiente

$x$  = tiempo en años, como variable independiente

El modelo de Gompertz está entre los más usados para modelos de crecimiento, ajustándose bien a las observaciones de variables de crecimiento en poblaciones naturales de árboles (Prodan et al. 1997; Rondeux y Díaz de Barrionuevo 2010).

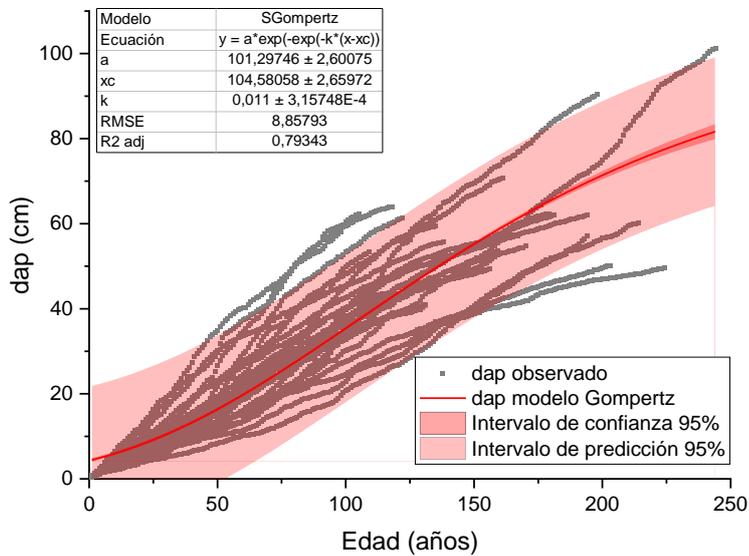


Figura 14: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

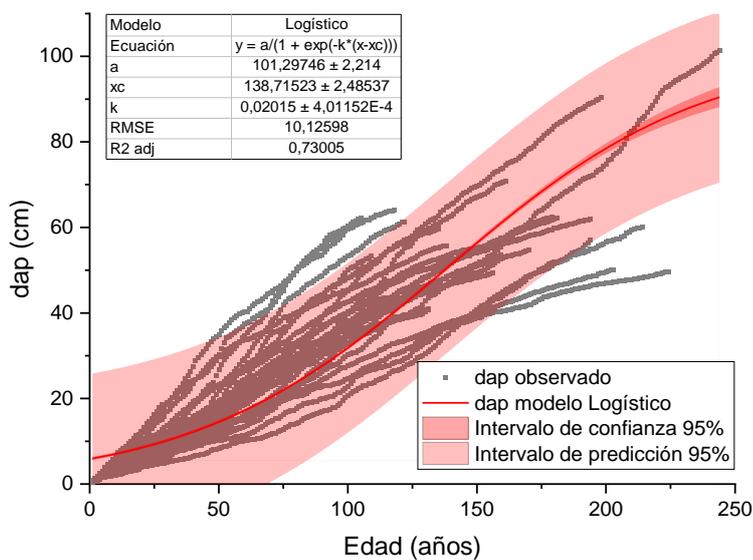


Figura 15: Modelo Logístico, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

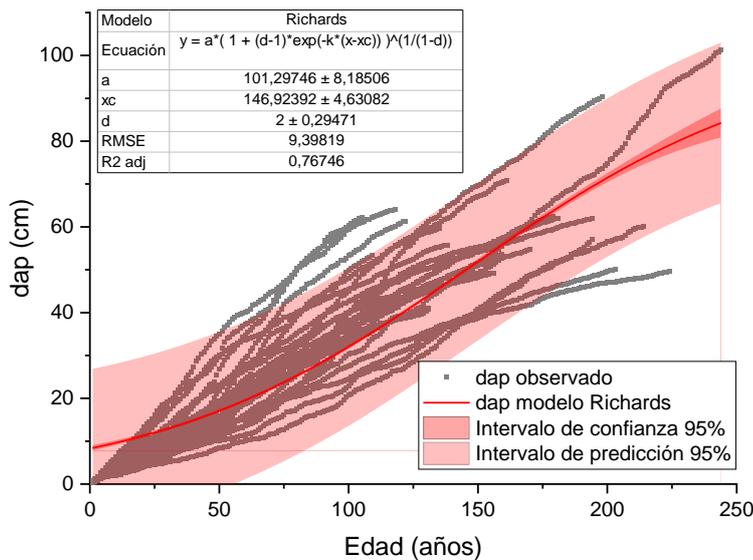


Figura 16: Modelo Richards, ajustado a las observaciones de rendimiento de dap (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

Las curvas del dap acumulado, conocido técnicamente como rendimiento de dap, muestran un crecimiento gradual, casi lineal, y sostenido de los árboles de *H. courbaril* durante los más de 200 años de edad. No obstante, en algunos árboles se observó una leve disminución de la pendiente de la curva de crecimiento en los últimos años de crecimiento. En alrededor de los 200 años de edad los árboles evaluados alcanzaron entre 50 cm y 80 cm de dap (sin incluir corteza) (Figura 14). En el único árbol que registró 244 años de edad el dap fue mayor a 100 cm. Estos resultados son concordantes con otro estudio realizado en bosques del Tahuamanu, Madre de Dios, con dap de 68 cm a los 200 años de edad (Cahuana 2017) pero ligeramente menores con otros estudios, también en Madre de Dios, donde se encontró que a los 160 años los árboles alcanzan aproximadamente 80 cm de dap (Huaman 2011).

El máximo ICA-dap se registró a los 71 años de edad, con 0,40 cm; y partir de esta edad el ICA-dap disminuyó drásticamente hasta alcanzar 0,08 cm a los 244 años (Figura 17).

El patrón de disminución progresiva del ICA-dap a mayor edad, es una tendencia común en los árboles tanto de bosques naturales como de plantaciones forestales como *Eucalyptus* spp., *Pinus* spp., *Acacia* spp., etc (Sette Jr et al. 2010; Castro 2011; Ortega et al. 2018). Por lo general, la disminución del dap es una consecuencia del incremento del área basal, y por tanto el ICA-dap es tomado como parámetro para medición de la productividad de madera.

Los árboles alcanzaron el máximo IMA-dap de 0,38 cm año<sup>-1</sup> a una edad de 99 años, disminuyendo a partir de esa edad hasta alcanzar los 0,33 cm año<sup>-1</sup> (Figura 17). Obsérvese que las diferencias de IMA entre un año y otro son pequeñas, variando entre 0,0002 y 0,07 cm año<sup>-1</sup>, indicando una baja variación inter-anual del crecimiento en los árboles de *H. courbaril*. En contraste, en otras especies exóticas como *Eucalyptus* spp. y *Pinus* spp, de rápido crecimiento, muestran una alta variación inter-anual del dap, con altos incrementos durante los primeros años (Sette Jr et al. 2010; Castro 2011; Ortega et al. 2018).

Otros estudios basados en los anillos de crecimiento, encontraron que *H. courbaril* tiene una IMA de 0,55 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 108 a 163 años de edad de bosques naturales del Tahuamanu (Huaman 2011) o de 0,57 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 100 años de edad de bosques naturales de Bolivia (López, Villalba y Peña-claros 2012). En Minas Gerais, Brasil, *H. courbaril* creciendo en el bioma del cerrado reporta un IMA de 0,54 cm año<sup>-1</sup> en árboles de 75 años de edad. Dichos valores son superiores a lo encontrado en el presente estudio.

No obstante em Goiás, Brasil, reportaron resultados concordantes con el presente estudio. Las series cronológicas de 104 años en promedio de *H. courbaril* indicaron una tasa de 0,34 cm año<sup>-1</sup> (Locosselli, Schöngart y Ceccantini 2016).

Estas diferencias de crecimiento en dap, indican que el crecimiento de *H. courbaril* varía significativamente según el bioma que habitan (Locosselli et al. 2017). El incremento medio anual en árboles de *H. courbaril* de 154 años de edad promedio, varía de 0,20 cm año<sup>-1</sup> (en el bioma cerrado) a 1,30 cm año<sup>-1</sup> (en el bioma del Amazonas y en los Bosques del Atlántico en Brasil). Los bajos valores de ICA en edades jóvenes encontrados, muestran que la tasa de crecimiento de *H. courbaril* en los bosques amazónicos es menor a reportando en árboles misma edad creciendo en el Cerrado. Esto podría estar relacionado con la menor disponibilidad de luz solar generado por el denso dosel de los bosques amazónicos, en cuanto que en el Cerrado al no existir alta densidad de la vegetación, la disponibilidad de luz es mayor permitiendo alcanzar altas tasa de crecimiento (Locosselli et al. 2017).

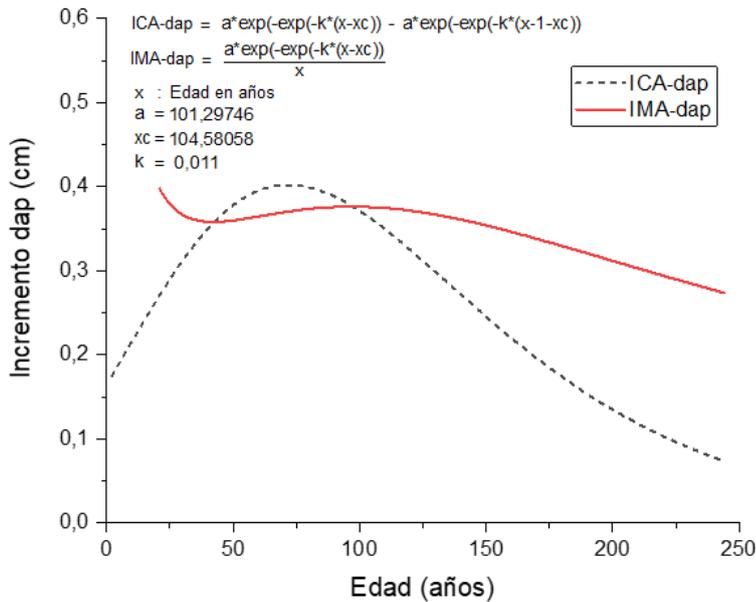


Figura 17: Curva de ICA (incremento corriente anual) e IMA (incremento medio anual) del dap, resultantes del ajuste de los valores observados con el modelo de Gompertz.

El modelo de Gompertz para el rendimiento del área basal (Figura 18) mostró buen ajuste al conjunto de datos, con un  $R^2$  de 0,66, y RMSE de  $659 \text{ cm}^2$ , revelando una tendencia de curva sigmoideal crecimiento: durante los primeros años el crecimiento en área basal fue pequeño, pero sostenido, posteriormente ocurrió un rápido incremento hasta un punto de inflexión con menor tasa de crecimiento (Prodan et al. 1997). Los resultados muestran que el punto de inflexión no se presenta hasta los 244 años (edad máxima de los árboles evaluados), lo que indica que los árboles continuaran experimentando grandes incrementos de su área basal.

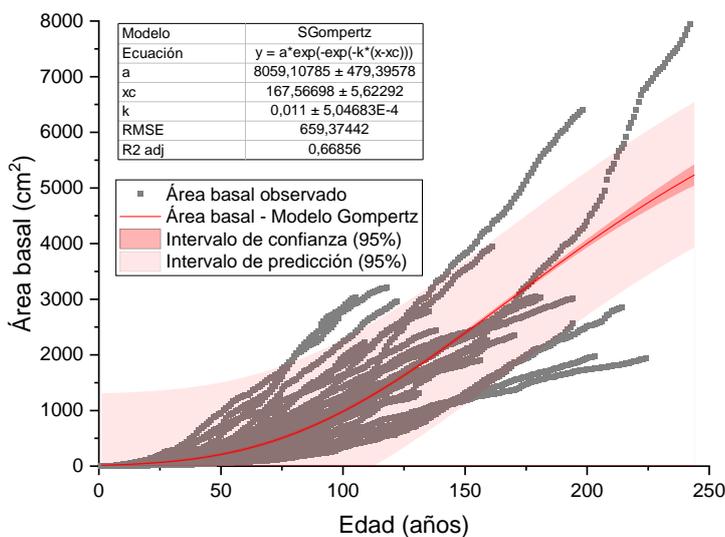


Figura 18: Curvas individuales de rendimiento de área basal de los 28 árboles evaluados de *Hymenaea courbaril* (líneas grises delgadas), y curva ajustada mediante el modelo Gompertz, en Tahuamanu (línea negra gruesa).

El área basal aumentó sostenidamente con la edad de los árboles hasta los 244 años, diferente a lo observado para el dap donde los incrementos fueron sostenidos sólo hasta los 71 años de edad.

El área basal y la altura determinan el volumen de los árboles. El área basal es una variable que expresa más exactamente el crecimiento secundario de los árboles, debido a que es una medida de área que considera toda la sección transversal ganada durante un determinado periodo de crecimiento. En contraste, el dap es una medida lineal, que sólo toma en cuenta el incremento radial. Por tanto, el área basal es una variable imprescindible para estudios de crecimiento anual.

#### 4.4. Stock de carbono secuestrado en el fuste

El modelo Gompertz para el volumen (Figura 19) mostró una curva similar a lo ajustado para el área basal (Figura 18). En contraste, el rendimiento del volumen de los árboles de *H. courbaril* incrementó continuamente desde el año 1 hasta el año 244 (árbol más viejo).

Al año 244, el rendimiento de volumen sería de aproximadamente 8,07 m<sup>3</sup>, con máximos de 9,78 m<sup>3</sup> y mínimos de 6,35 m<sup>3</sup> (intervalo de predicción al 95% de confiabilidad).

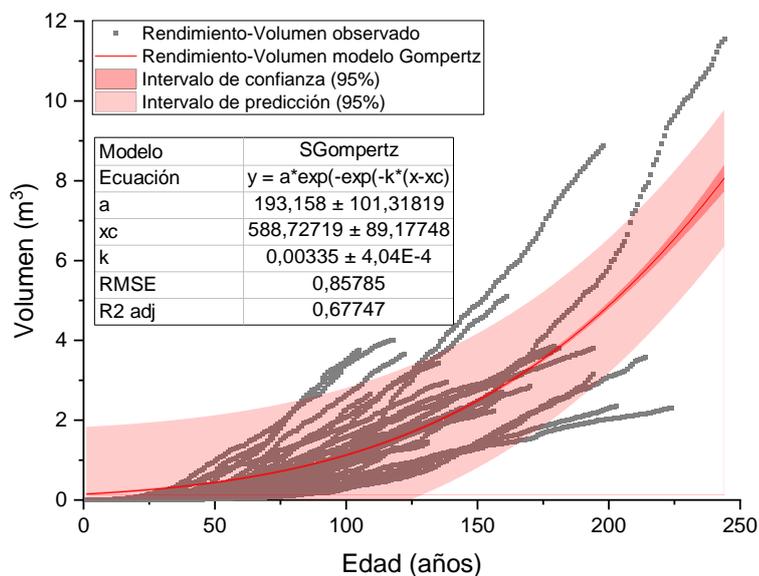


Figura 19: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de volumen (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

La obtención de los perfiles radiales de densidad junto con la medición del ancho de los anillos de crecimiento, permitieron estimar la biomasa y el carbono almacenado anualmente en el fuste de los árboles de *H. courbaril*, a lo largo de más de 200 años.

Los resultados muestran que a los 244 años de edad un árbol de *H. courbaril* puede contener 5 503 kg de biomasa, es decir 2 752 kg de carbono (C) (Figura 20 y Figura 21).

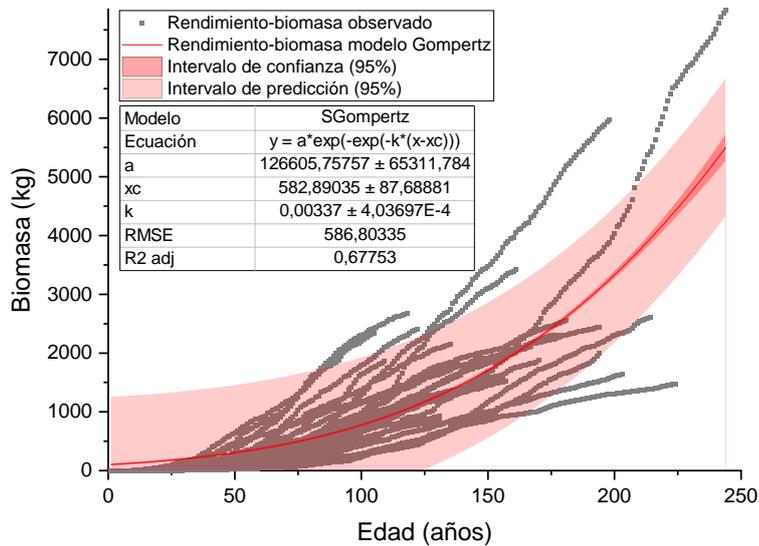


Figura 20: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de biomasa del fuste (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

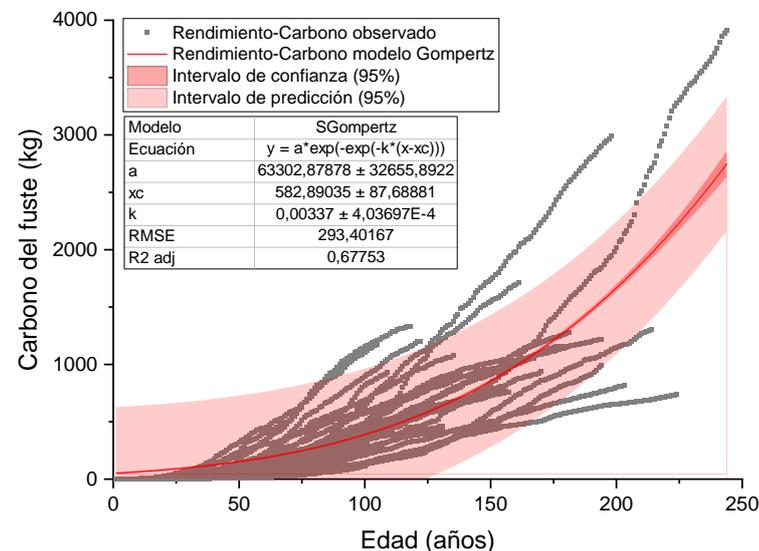


Figura 21: Modelo Gompertz, ajustado a las observaciones de rendimiento de carbono del fuste (sin corteza) de 28 árboles muestreados de *Hymenaea courbaril*, en Tahuamanu, Madre de Dios.

Además, considerando el rango de desviación estándar, *H. courbaril* puede almacenar desde 2 452 kg hasta 3 051 kg de carbono a lo largo de 244 años (Figura 22). Los

resultados indican que existió una alta variabilidad de carbono almacenado entre los árboles muestreados a menor edad de los árboles.

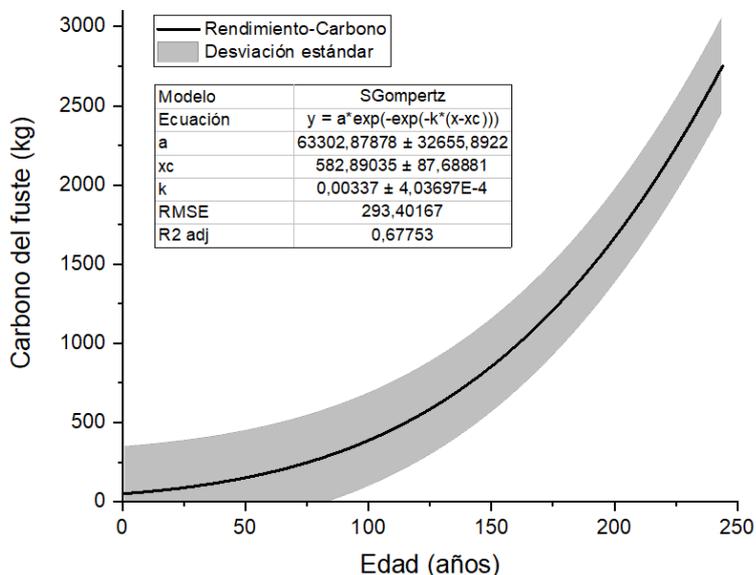


Figura 22: Rendimiento de carbono del fuste (sin corteza) de *Hymenaea courbaril*, y desviación estándar (banda en gris).

Por otro lado, la curva de ICA-Carbono mostró que el carbono almacenado en el fuste incrementó sostenidamente, con una tendencia casi exponencial (Figura 23).

Estas tendencias, indican que los árboles después de 244 años continuarán fijando grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

La variación interanual del ICA-biomasa e ICA-Carbono guardaron relación con los valores de ICA-Volumen y densidad del leño de los anillos de crecimiento, por tanto, los anillos de crecimiento de mayor área y mayor densidad serían indicadores de alta producción de biomasa y carbono almacenado en el fuste de los árboles. En otros estudios encontraron que la biomasa y la capacidad de acumulación de carbono en el fuste de los árboles, es más influenciada por la densidad del leño de los anillos, que por el ancho de los anillos de crecimiento (Venegas 2013). Así en periodos de rápido crecimiento no necesariamente se acumulará mayor biomasa y carbono, ya que el leño producido es de baja densidad; en contraste, en periodos de moderado crecimiento, con alta densidad del leño, la acumulación de biomasa y carbono será mayor.

Además, el IMA-Carbono también mostró una tendencia de incremento positivo a lo largo de la edad de los árboles. Por tanto, los resultados sugieren que, hasta la edad de 244

años, los árboles de *H. courbaril* aún están etapa de alta producción de biomasa y fijación de carbono, con IMA de 11,28 kg C año<sup>-1</sup>. El IMA máximo se presentaría en edades superiores a los 300 años de edad.

En un estudio en la cuenca del río Oroza, Loreto, Perú, se estimó el stock de carbono secuestrado en árboles de *Hymenaea oblongifolia*, los resultados mostraron que *H. oblongifolia* secuestró aproximadamente secuestran 0,36 t C ha<sup>-1</sup> de carbono (Navarro 2016), sin embargo estimaciones anuales de carbono no existen. Los estudios estimando el stock de carbono total, muestran que los bosques naturales de la Amazonía peruana pueden almacenar entre 135 t C ha<sup>-1</sup> a 165 t C ha<sup>-1</sup> de carbono (Mamani 2012; Salazar 2012).

En ese contexto, el presente estudio abre nuevas posibilidades de mejorar la estimación de carbono de los bosques, mediante estimaciones es escala anual y específica para cada especie. Los resultados del presente estudio, muestran una tendencia de continuo incremento de carbono inclusive en árboles viejos de más de 200 años. Esto sugiere que las especies de alta densidad de madera, pueden continuar fijando ingentes cantidades de carbono en sus fustes, demostrando la importancia de conservar o aprovechar sosteniblemente los bosques clímax.

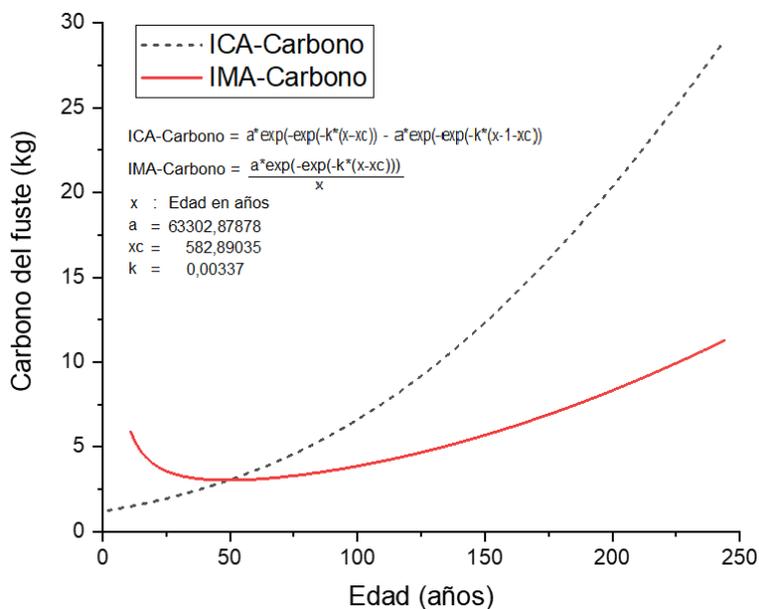


Figura 23: Curva de ICA (incremento corriente anual) e IMA (incremento medio anual) del dap, resultantes del ajuste de los valores observados con el modelo de Gompertz.

En la Tabla 4 se presenta el resumen de los modelos de Gompertz para las variables evaluadas: dap, área basal, volumen, biomasa, y carbono almacenado en el fuste.

Tabla 4: Resumen de los modelos para las variables evaluadas.

Variables	Coeficientes del modelo Gompertz $y = a \cdot \exp(-\exp(-k \cdot (x - xc)))$			R <sup>2</sup> ajustado	RMSE	Significancia
	a	xc	k			
Dap (cm)	101,29746	104,58058	0,011	0,79343	8,85793	0
Área basal (cm <sup>2</sup> )	8059,10785	167,56698	0,011	0,66856	659,37442	0
Volumen (m <sup>3</sup> )	193,158	588,72719	0,00335	0,67747	0,85785	0
Biomasa (kg)	126605,7576	582,89035	0,00337	0,67753	586,80335	0
Carbono (kg)	63302,87878	582,89035	0,00337	0,67753	293,40167	0

El estudio no sólo buscó mostrar el carbono almacenado en los fustes a nivel individual, sino también generalizar los resultados para el total de carbono fijado por hectárea (kg ha<sup>-1</sup>). Usando datos de abundancia de árboles de inventarios forestales y el carbono almacenado en los anillos de crecimiento, se pudo determinar el rendimiento de carbono del fuste por hectárea (kg ha<sup>-1</sup>) (Tabla 5).

El carbono almacenado por los árboles desagregado en clases diamétricas muestra que los árboles con dap entre 70 a 80 cm serían los que más carbono almacenarían en conjunto, de alrededor de 201 kg ha<sup>-1</sup>. En conjunto, la población *H. courbaril* almacenaría en torno a 800 kg ha<sup>-1</sup>.

Tabla 5: Rendimiento de carbono del fuste por hectárea en *Hymenaea courbaril*.

Clase diamétrica (cm)	Rendimiento-Carbono por árbol (kg C árbol <sup>-1</sup> )	Abundancia de árboles (# árboles ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento-total por hectárea (kg C ha <sup>-1</sup> )
< 10	0,92	3,50	3,20
10-20	16,79	1,13	19,05
20-30	79,42	0,20	16,05
30-40	204,15	0,28	56,39
40-50	394,34	0,17	65,10
50-60	638,47	0,15	93,93
60-70	923,45	0,09	84,26
70-80	1286,61	0,16	201,37
80-90	1869,68	0,05	88,44
90-100	2486,12	0,03	84,32
> 100	3292,00	0,03	87,87
<b>Total</b>		<b>5,78</b>	<b>799,99</b>

## CONCLUSIONES

- *H. courbaril* presentó anillos de crecimiento distinguibles a simple vista, delimitados mediante bandas delgadas de parénquima marginal de color claro.
- El perfil de densidad aparente logró diferenciar claramente el límite de los anillos de crecimiento. La densidad se incrementa considerable hacia el límite del anillo para después descender bruscamente en el leño inicial del anillo siguiente.  
La densidad fue menor en la región próxima a la médula, incrementando la densidad hasta el 32% del radio (desde la médula), y desde ese punto manteniéndose casi constante hasta el 70% del radio, para luego disminuir gradualmente hasta la región próxima a la corteza.  
Los resultados muestran que, en la región de la albura, la densidad básica media fue de  $0,62 \text{ g cm}^{-3}$ , mientras que la densidad media del duramen fue de  $0,70 \text{ g cm}^{-3}$ .
- La técnica de análisis de los anillos de crecimiento, mostró ser un método eficiente para reconstruir el crecimiento del fuste de los árboles de *H. courbaril*. Se lograron construir las curvas de crecimiento del dap y área basal (rendimiento, ICA e IMA). Los árboles más longevos tuvieron una edad de 244 años.  
El crecimiento en dap de *H. courbaril* fue gradual y sostenido durante los 244 años de edad evaluados. En torno a los 200 años de edad, los árboles evaluados alcanzaron entre 50 cm y 80 cm de dap (sin incluir corteza). En el árbol más longevo (244 años de edad) el dap superó los 100 cm.  
El máximo ICA-dap se registró a los 71 años de edad, con 0,40 cm; y partir de esta edad el ICA-dap disminuyó drásticamente hasta alcanzar 0,08 cm a los 244 años.  
Los árboles alcanzaron el máximo IMA-dap de  $0,38 \text{ cm año}^{-1}$  a una edad de 99 años, disminuyendo a partir de esa edad hasta alcanzar los  $2,33 \text{ cm año}^{-1}$ .  
Los resultados para el área basal muestran que el punto de inflexión no se presenta hasta los 244 años, lo que indica que los árboles muy longevos continuaran experimentando grandes incrementos de su área basal.  
El ICA-área basal aumentó sostenidamente con la edad de los árboles hasta los 117 años alcanzando  $22,70 \text{ cm}^2$ , diferente a lo observado para el ICA-dap donde los incrementos fueron sostenidos sólo hasta los 71 años de edad. A los 244 años el ICA-área basal sería de  $7,77 \text{ cm}^2$  (Figura 16).

El máximo IMA-área basal se registró a los 185 años con un valor de  $15,37 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ . A los 244 años de edad, el IMA-área basal fue de  $14,38 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ .

- Los resultados muestran que a los 244 años de edad el fuste de un árbol de *H. courbaril* puede contener 5 503 kg de biomasa, es decir 2 752 kg de carbono, con mínimos de 2 452 kg y máximos de 3 051 kg.

La curva de ICA-Carbono mostró una tendencia casi exponencial del incremento de carbono, indicando que los árboles después de 244 años continuarán fijando grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  en los fustes.

A los 244 años, los árboles de *H. courbaril* aún están etapa de alta producción de biomasa y fijación de carbono, con IMA de  $11,28 \text{ kg C año}^{-1}$ . El IMA máximo se presentaría en edades superiores a los 300 años de edad.

En conjunto, la población *H. courbaril* almacenaría en torno a  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  en los fustes.

## SUGERENCIAS

- Se recomienda realizar estudios de este tipo en otras especies de madera dura con la finalidad de realizar proyecciones más precisas de la capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques naturales amazónicos de Madre de Dios.
- Para mejorar las estimaciones, se sugiere construir ecuaciones de volumen, o ecuaciones alométricas para *H. courbaril* de los bosques de Madre de Dios. En el presente estudio debido a la complejidad del estudio se optó por usar ecuaciones desarrolladas en Brasil, no obstante ecuaciones de volumen o alométricas propias, podrían mejorar las estimaciones de productividad, biomasa y stock de carbono.
- El presente estudio se limita al carbono almacenado en el fuste de los árboles, por tanto, para una estimación del carbono total almacenado en los árboles de *H. courbaril*, son necesarios otros estudios complementarios de carbono de ramas, follaje raíces y carbono almacenado en el suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.C., 1994. *Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeira*. S.I.: Universidade de São Paulo.
- BOWYER, J.L., SHMULSKY, R. y HAYGREEN, J.G., 2007. *Forest Products and Wood Science: An Introduction* [en línea]. S.I.: Wiley. ISBN 9780813820361. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=bmNLXwtkpD8C>.
- BRIENEN, R. y ZUIDEMA, P.A., 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. *Promab*. Riberalta, Bolivia:
- BRIFFA, K.R. y JONES, P.D., 1990. Basic chronology statistics and assessment. En: E.R. COOK y L.A. KAIRIUKSTIS (eds.), *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Springer, Dordrecht, pp. 137–152. ISBN 978-94-015-7879-0.
- BROWN, P.M., 2003. *Introduction to dendrochronology lecture 1: Basic terminology and concepts*. Rocky Mountain: s.n.
- BROWN, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper* [en línea], vol. 134, no. August, pp. 55. [Consulta: 5 enero 2018]. ISSN 02586150. DOI ISBN 92-5-103955-0. Disponible en: <https://www.winrock.org/document/estimating-biomass-and-biomass-change-of-tropical-forests-a-primer/>.
- CAHUANA, L.A.P., 2017. *Potencial Dendrocronológico De Árvores Da Família Fabaceae Na Floresta Tropical Amazônica Do Peru* [en línea]. S.I.: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponible en: [http://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/152540/1/Portal\\_Cahuana\\_Leif\\_Armando\\_M.pdf](http://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/152540/1/Portal_Cahuana_Leif_Armando_M.pdf).
- CAMPOS, L.E.Z., 2009. *Dendrocronología en árboles de Tornillo, Cedrelinga cateniformis Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1388503&info=resumen&idioma=ENG>

%5Cnhttp://copernic.udg.es/arqueometria/PARTS/28\_Proyecto28.pdf.

- CARLQUIST, S., 2015. Living cells in wood. 1. Absence, scarcity and histology of axial parenchyma as keys to function. *Botanical Journal of the Linnean Society* [en línea], vol. 177, no. 3, pp. 291–321. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 0024-4074. DOI 10.1111/BOJ.12247. Disponible en: <https://academic.oup.com/botlinnean/article/177/3/291/2416378>.
- CARLQUIST, S., 2018. Living Cells in Wood 3. Overview; Functional Anatomy of the Parenchyma Network. *Botanical Review* [en línea], vol. 84, no. 3, pp. 242–294. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 00068101. DOI 10.1007/S12229-018-9198-5/TABLES/1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12229-018-9198-5>.
- CASTRO, V.R. de, 2011. *Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de Pinus caribaea var . hondurensis Barr . et Golf . e Tectona grandis ( L . f . )*. S.l.: s.n.
- CAVATASSI, R., 2004. Valuation methods for environmental benefits in forestry and watershed investment projects. [en línea]. Roma, Italy: 04–01. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/ae056e/ae056e00.pdf>.
- COOK, E.R., 2012. Dendrochronology and Dendroclimatology. *Encyclopedia of Environmetrics* [en línea]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, [Consulta: 8 abril 2017]. ISBN 9780470057339. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470057339.vad013>.
- CORDERO, L.D.P. y KANNINEN, M., 2003. Aboveground biomass of tectona grandis plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* [en línea], vol. 15, no. 1, pp. 199–213. [Consulta: 29 agosto 2018]. ISSN 01281283. Disponible en: <http://sci-hub.tw/https://www.jstor.org/stable/23616336>.
- DAUBER, E., FREDERICKSEN, T.S. y PEÑA, M., 2005. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 214, no. 1–3, pp. 294–304. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2005.04.019.
- DERWISCH, S., SCHWENDENMANN, L., OLSCHESKI, R. y HÖLSCHER, D., 2009. Estimation and economic evaluation of aboveground carbon storage of Tectona grandis plantations in Western Panama. *New Forests* [en línea], vol. 37, no. 3, pp. 227–240.

[Consulta: 29 agosto 2018]. ISSN 0169-4286. DOI 10.1007/s11056-008-9119-2.

Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11056-008-9119-2>.

FAJARDO, A., 2018. Insights into intraspecific wood density variation and its relationship to growth, height and elevation in a treeline species. *Plant Biology*, vol. 20, no. 3, pp. 456–464. ISSN 14388677. DOI 10.1111/PLB.12701.

FLORES, E.M. y BENAVIDES, C.E., 1990. Germinación y morfología de la plántula de *Hymenaea courbaril* L. (Caesalpinaceae)\*. *Rev. Biol. Trop.*, vol. 38, no. 1, pp. 91–98.

FRITTS, H.C., 1976. *Tree rings and climate* [en línea]. S.I.: Academic Press. [Consulta: 8 abril 2017]. ISBN 9780122684500. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780122684500>.

GOREMAD, 2010. Gobierno Regional de Madre de Dios: Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia de Tahuamanu. Volumen 1. Puerto Maldonado.

HACKENBERG, J., WASSENBERG, M., SPIECKER, H. y SUN, D., 2015. Non destructive method for biomass prediction combining TLS derived tree volume and wood density. *Forests* [en línea], vol. 6, no. 4, pp. 1274–1300. [Consulta: 29 agosto 2018]. ISSN 19994907. DOI 10.3390/f6041274. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1999-4907/6/4/1274>.

HAMBURG, S.P., 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* [en línea], vol. 5, no. 1, pp. 25–37. [Consulta: 5 enero 2018]. ISSN 13812386. DOI 10.1023/A:1009692114618. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1023/A:1009692114618>.

HOLMES, R.L., ADAMS, R.K. y FRITTS, H.C., 1986a. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. *Tree-ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and northern Great Basin*. Tucson: Arizona University, pp. 15–35.

HOLMES, R.L., ADAMS, R.K. y FRITTS, H.C., 1986b. Users Manual for Program ARSTAN. *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. S.I.: University of Arizona, pp. 50–65.

- HOUGHTON, R.A., 2005. Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology* [en línea], vol. 11, no. 6, pp. 945–958. [Consulta: 29 agosto 2018]. ISSN 1354-1013. DOI 10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2486.2005.00955.x>.
- HUAMAN, C.I.C., 2011. *Dendrocronología de árboles de Azúcar Huayo (Hymenaea courbaril L) en la región de Madre de Dios (Provincia de Tahuamanu)-Perú*. S.l.: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- ITTO (International Tropical Timber Organization), 2017. Jatobá, Brazilian cherry (Hymenaea courbaril). *ITTO Lesser used species* [en línea]. [Consulta: 29 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.tropicaltimber.info/specie/jatoba-hymenaea-courbaril/#lower-content>.
- IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. Climate change 2014 : Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. . Geneva, Switzerland:
- JACOBY, G.C., 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *Iawa Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 99–108.
- KRAENZEL, M., CASTILLO, A., MOORE, T. y POTVIN, C., 2003. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 173, no. 1–3, pp. 213–225. [Consulta: 30 agosto 2018]. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/S0378-1127(02)00002-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112702000026>.
- LACHENBRUCH, B., MOORE, J.R. y EVANS, R., 2011. Radial Variation in Wood Structure and Function in Woody Plants, and Hypotheses for Its Occurrence. En: F.C. MEINZER, B. LACHENBRUCH y T.E. DAWSON (eds.), *Size- and Age-Related Changes in Tree Structure and Function* [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 121–164. ISBN 978-94-007-1242-3. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_5).
- LENZ, O., SCHÄR, E. y SCHWEINGRUBER, F., 1976. Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz. *Holzforschung*, vol. 30, pp. 114–123.
- LOCOSSELLI, G.M., BUCKERIDGE, M.S., MOREIRA, M.Z. y CECCANTINI, G., 2012. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp.,

Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. *Trees - Structure and Function* [en línea], vol. 27, no. 1, pp. 25–36. [Consulta: 3 julio 2017]. ISSN 09311890. DOI 10.1007/s00468-012-0764-x. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00468-012-0764-x>.

LOCOSSELLI, G.M., KROTTENTHALER, S., PITSCH, P., ANHUF, D. y CECCANTINI, G., 2017. Age and growth rate of congeneric tree species (*Hymenaea* spp. - Leguminosae) inhabiting different tropical biomes. *Erdkunde*, vol. 71, no. 1. ISSN 00140015. DOI 10.3112/erdkunde.2017.01.03.

LOCOSSELLI, G.M., SCHÖNGART, J. y CECCANTINI, G., 2016. Climate/growth relations and teleconnections for a *Hymenaea courbaril* (Leguminosae) population inhabiting the dry forest on karst. *Trees - Structure and Function* [en línea], vol. 30, no. 4, pp. 1127–1136. [Consulta: 3 julio 2017]. ISSN 09311890. DOI 10.1007/s00468-015-1351-8. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s00468-015-1351-8>.

LÓPEZ, L., VILLALBA, R. y PEÑA-CLAROS, M., 2012. Ritmos de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. *Bosque*, vol. 33, no. 2, pp. 211–219. DOI 10.4067/S0717-92002012000200011.

LUCHI, A.E., 1998. *Periodicidade de crescimento em Hymenaea courbaril L. e anatomia ecológica do lenho de espécies de mata ciliar*. [en línea]. S.I.: Universidade de São Paulo. [Consulta: 15 julio 2017]. Disponible en: [http://bdpi.usp.br/single.php?\\_id=000952229](http://bdpi.usp.br/single.php?_id=000952229).

MAMANI, J.L., 2012. *Stock del carbono aéreo en un bosque con paca de terrazas altas de la concesión de conservación Gallocunca, sector baltimore, distrito Tambopata Madre de Dios - Perú* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/91>.

MASELLI, G., MARCOS, L. y BUCKERIDGE, S., 2012. A multi-proxy dendroecological analysis of two tropical species (*Hymenaea* spp., Leguminosae) growing in a vegetation mosaic. *Trees*, DOI 10.1007/s00468-012-0764-x.

MENCUCCINI, M., HÖLTTÄ, T., PETIT, G. y MAGNANI, F., 2007. Sanio's laws revisited. Size-dependent changes in the xylem architecture of trees. *Ecology letters* [en línea], vol. 10, no. 11, pp. 1084–1093. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 1461-0248. DOI

10.1111/J.1461-0248.2007.01104.X. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17850336/>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA-PERÚ, 2001. *RM 1351-2001-AG: Creación de bosques de producción permanente en Madre de Dios*. 2001. Perú: s.n.

MOHAN KUMAR, B. y NAIR, P.K.R., 2011. *Carbon sequestration potential of agroforestry systems : opportunities and challenges*. S.l.: Springer. ISBN 9789400716308.

NAVARRO VASQUEZ, T.H., 2016. *"Biomasa y contenido de carbono de las especies comerciales de la parcela de corta anual 12 de la concesion forestal 16-iqu/c-j-193-04, rio Oroza, Loreto Peru. 2014*. S.l.: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

OLIVEIRA, J.T., 1997. *Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil*. S.l.: Universidade de São Paulo.

ORTEGA RODRIGUEZ, D.R., ANDRADE, G. de C., BELLOTE, A.F.J. y TOMAZELLO-FILHO, M., 2018. Effect of pulp and paper mill sludge on the development of 17-year-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) trees in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* [en línea], vol. 422, pp. 179–189. [Consulta: 30 agosto 2018]. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2018.04.016. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112718300951>.

PALLARDY, S., 2008. *Physiology of Woody Plants*. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780120887651.

PARKER, M. y KENNEDY, W.W., 1993. The status of radiation densitometry for measurement of Wood specific gravity. *Non-destructive evaluation of wood by near infrared reflectance spectroscopy*. Kolding: Biotechnological Institute, pp. 57.

POLGE, H., 1966. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés a la tarière sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologique et physiologique. *Annual Science Forestry*, vol. 23, no. 1, pp. 1–206.

PRETZSCH, H., 2009. From Primary Production to Growth and Harvestable Yield and Vice Versa. *Forest Dynamics, Growth and Yield* [en línea]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 41–99. [Consulta: 11 abril 2017]. Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-88307-4\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-88307-4_2).

- PRODAN, M., PETERS, R., COX, F. y REAL, P., 1997. *Mensura Forestal*. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. ISBN 9290393041.
- QUINTILHAN, M.T., SANTINI, L., ORTEGA RODRIGUEZ, D.R., GUILLEMOT, J., CESILIO, G.H.M., CHAMBI-LEGOAS, R., NOUVELLON, Y. y TOMAZELLO-FILHO, M., 2021. Growth-ring boundaries of tropical tree species: Aiding delimitation by long histological sections and wood density profiles. *Dendrochronologia*, vol. 69, no. March. ISSN 16120051. DOI 10.1016/j.dendro.2021.125878.
- REYNEL, C., PENNINGTON, R., PENNINGTON, T., FLORES, C. y DAZA, A., 2003. *Arboles útiles de la Amazonía peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies* [en línea]. S.I.: Tarea Gráfica Educativa. ISBN 9789972973314. Disponible en:  
<https://books.google.com.pe/books?id=F5tfAAAAMAAJ>.
- RONDEUX, J. y DÍAZ DE BARRIONUEVO, A., 2010. *Medición de árboles y masas forestales*. S.I.: Mundi Prensa. ISBN 9788484763864.
- ROSETO, J.A., 2009. *Dendrocronología de árboles de mogno, Swietenia macrophylla King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru* [en línea]. Piracicaba: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo. [Consulta: 12 abril 2017]. Disponible en:  
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111150/tde-18052009-165913/>.
- SALAZAR, E.J.H., 2012. *Cuantificación del carbono en la biomasa aérea de tres diferentes usos de la tierra en la cuenca de aguaytía sectores: Irazola, Curimaná y Campo Verde - Región Ucayali*. S.I.: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- SERFOR, 2016. Anuario Forestal 2015 "Perú Forestal en Números 2015". . Lima, Perú:
- SETTE JR, C.R., FILHO, M.T., TADEU, C. y PAUL, J., 2010. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *E. grandis* e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. *Revista Árvore*, vol. 34, no. 6, pp. 979–990. ISSN 01006762. DOI 10.1590/S0100-67622010000600003.
- STOKES, M.A. y SMILEY, T.L., 1996. *An Introduction to Tree-ring Dating* [en línea]. S.I.: University of Arizona Press. ISBN 9780816516803. Disponible en:  
<https://books.google.com.pe/books?id=SvBF2Ora-eUC>.

- TOMAZELLO FILHO, M. y BOTOSSO, P.C., 2001. análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronología e dendroclimatología. En: N.B. MAIA, H.L. MARTOS y W. BARRELA (eds.), *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. S.l.: EDUC/COMPED/INEP, pp. 117–143.
- TOMAZELLO FILHO, M., ROIG, F.A. y ZEVALLOS POLLITO, P.A., 2009. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia*, vol. 44, no. 2, pp. 73–82. ISSN 1605-2528.
- TOMAZELLO, M., BRAZOLIN, S., CHAGAS, M.P., OLIVEIRA, J.T.S., BALLARIN, a. W. y BENJAMIN, C. a, 2008. Application of X-Ray Technique in Nondestructive Evaluation of Eucalypt Wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, vol. 10, no. 2, pp. 139–149. ISSN 0718-221X. DOI 10.4067/S0718-221X2008000200006.
- VAN LAAR, A. y AKÇA, A., 2007. *Forest mensuration*. S.l.: Springer. ISBN 9781402059919.
- VENEGAS-GONZÁLEZ, A., 2013. *Dendrocronologia de árvores de Tectona grandis L. e Pinus caribaea var.hondurensis Barr. et Golf de plantações da Mata da Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP*. S.l.: Universidade de São Paulo.
- WALKER, W., 2011. Guía de campo para la estimación de biomasa y carbono forestal. . Massachusetts:
- WESTBROOK, J.A., GUILDERTSON, T.A. y COLINVAUX, P.A., 2006. Annual growth rings in a sample of *Hymenaea courbaril*. *IAWA Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 193–197.
- WIGLEY, T.M.L., BRIFFA, K.R. y JONES, P.D., 1984. On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate & Applied Meteorology* [en línea], vol. 23, no. 2, pp. 201–213. [Consulta: 2 marzo 2021]. ISSN 0733-3021. DOI 10.1175/1520-0450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2. Disponible en: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/2/1520-0450\\_1984\\_023\\_0201\\_otavoc\\_2\\_0\\_co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/23/2/1520-0450_1984_023_0201_otavoc_2_0_co_2.xml).
- WORBES, M., 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. *IAWA journal*, vol. 16, no. 4, pp. 337–351.
- WORBES, M., 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth

patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology*, vol. 87, no. 3, pp. 391–403. ISSN 00220477. DOI 10.1046/j.1365-2745.1999.00361.x.

ZAPPI, D.C., 2015. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguesia* [en línea], vol. 66, no. 4, pp. 1085–1113. [Consulta: 2 julio 2017]. ISSN 2175-7860. DOI 10.1590/2175-7860201566411. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2175-78602015000401085&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-78602015000401085&lng=en&tlng=en).

## ANEXOS

### ANEXO 1: RELACIÓN DE CÓDIGOS DE TROZAS, DE LAS CUALES SE EXTRAJERON RODAJAS DE LA ESPECIE AZÚCAR HUAYO, PARA ANALIZAR SUS ANILLOS DE CRECIMIENTO

Lugar de extracción de las rodajas: Aserradero Empresa concesionaria: MADERACRE S.A.C

Fecha de extracción de rodajas: 06/10/2017

Nº de muestra	Código de bosque	Código de trozas (en patio)	Este	Norte	DAP (m)	Altura comercial del fuste (m)	Fecha de tala	observaciones
1	24176-A	7008-17	381009	8758248	0.95	22	5/3/2017	-
2	21166-A1	5610-17	382847	8759109	0.87	22	5/8/2017	-
3	27900-A	1966-17	381316	8760492	0.87	24	5/22/2017	-
4	28188-A	7579-17	378193	8759040	1.03	18	5/25/2017	-
5	28419-A	7545-17	377897	8759080	0.86	17	5/29/2017	-
6	27515-A1	2240-17	381119	8760680	0.80	16	6/13/2017	-
7	37990-A	0719-17	386180	8757814	0.91	21	6/17/2017	-
8	16987-A	7920-17	378355	8757400	1.40	20	6/17/2017	-
9	29102-A1	7721-17	377824	8759657	0.92	19	6/19/2017	-
10	28366-A	7722-17	377777	8759826	1.04	15	6/19/2017	-
11	20344-A1	1378-17	384327	8758243	0.86	16	6/21/2017	-
12	26712-A	0221-17	385777	8758719	0.85	18	6/22/2017	-
13	23389-A	0289-17	385405	8758201	1.00	20	6/23/2017	-
14	18370-A	1496-17	383399	8757870	1.21	21	6/23/2017	-
15	27108-A1	0340-17	385322	8758381	0.84	21	6/26/2017	-
16	23542-A1	0914-17	386254	8758022	0.80	18	6/26/2017	-
17	32612-A	5864-17	379048	8761874	0.86	21	6/26/2017	-
18	23127-A	0739-17	385961	8757340	1.02	17	6/28/2017	-
19	23362-A1	0990-17	387317	8758183	0.94	18	6/30/2017	-
20	23659-A	1015-17	386881	8758289	1.12	21	6/30/2017	-
21	31422-A2	6479-17	377815	8761935	0.80	18	7/1/2017	-
22	30838-A1	6318-17	377611	8762643	1.00	19	7/3/2017	-
23	31551-A2	6376-17	378027	8762629	0.80	19	7/4/2017	-
24	31448-A1	6281-17	378284	8762687	0.88	15	7/5/2017	-
25	7712-A1	8282-17	382599	8755288	0.87	18	7/12/2017	-
26	5416-A1	3078-17	387776	8754768	0.86	23	7/13/2017	-
27	1657-A	4285-17	387165	8754913	0.82	17	7/14/2017	-
28	4975-A	3079-17	388080	8754580	0.88	19	7/14/2017	-
29	2486-A	4442-17	386616	8753782	0.86	18	7/20/2017	-
30	4266-A	4856-17	388922	8753036	0.80	15	7/21/2017	-
31	915-A1	2831-17	387474	8755898	0.92	20	7/25/2017	-
32	13154-A1	8279-17	382322	8755472	0.88	20	8/9/2017	-

## ANEXO 2: Promedio de ancho de los anillos de crecimiento de los árboles evaluados

Año	Árbol																															
	1	2	3	4	6	9	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
1			2,6		2,0	1,1	3,6	2,5																								
2			1,8	1,2	3,0	0,8	2,5	2,4																								
3	1,1		1,0	0,8	1,6	0,7	1,9	1,4		1,1		2,2	1,2	3,6			3,0		3,2		1,9	2,2		3,4				1,9	1,9			
4	1,4		1,3	2,1	1,9	0,7	3,7	1,4	1,7	0,8		1,8	1,5	3,1	1,3	2,4	3,5		2,1	2,2	1,9	2,3		3,6	1,5	2,5	1,3	3,1				
5	1,7		1,6	1,3	2,2	0,7	1,9	1,5	1,2	0,8		3,3	0,9	2,6	1,5	1,5	3,3	1,9	1,7	2,0	1,3	1,7		3,3	1,2	1,6	1,8	1,4				
6	1,0	2,3	1,0	0,8	1,3	0,6	4,0	2,5	1,7	0,5	2,2	1,6	1,5	3,1	1,9	1,4	2,0	1,1	1,7	1,2	2,0	2,2		3,2	1,4	1,8	2,0	1,8				
7	0,8	2,0	1,5	0,5	1,1	0,6	2,5	2,3	1,9	0,6	2,5	2,0	1,6	1,8	1,6	2,1	2,1	1,1	1,9	1,8	1,0	1,9		2,5	1,7	1,5	1,1	1,4				
8	0,7	1,1	2,0	0,4	1,4	0,6	2,8	3,0	0,9	0,5	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,4	1,9	1,4	2,9	1,8	1,3	2,2		3,0	1,9	1,8	1,4	1,5				
9	0,7	1,3	1,9	0,4	1,5	0,6	2,5	1,8	1,4	1,0	1,7	1,8	1,3	1,6	1,1	1,5	1,8	1,2	3,5	2,6	1,5	1,9		3,1	1,5	2,0	1,5	1,8				
10	0,9	1,8	1,8	0,4	1,6	0,7	3,5	1,3	1,4	1,4	2,9	1,5	1,8	3,3	1,0	2,2	2,7	0,8	1,9	1,8	1,1	1,7		1,8	3,2	1,5	1,4	1,3				
11	0,7	1,7	1,3	0,5	1,2	0,8	3,7	1,5	2,3	1,4	1,2	1,5	1,8	2,2	1,1	2,0	1,9	0,8	2,6	1,3	1,2	2,8	1,1	2,2	1,9	1,7	1,3	1,6				
12	0,5	1,4	0,8	0,7	0,9	1,6	2,2	1,5	2,2	0,9	1,3	0,9	2,4	2,4	1,1	1,4	1,7	1,0	1,6	1,5	1,4	2,6	1,7	2,5	1,7	1,6	1,3	1,7				
13	0,8	1,5	1,3	1,1	1,5	0,5	1,9	1,1	1,1	1,5	1,1	0,8	1,0	2,5	1,6	2,4	2,3	1,0	1,4	1,4	0,9	1,9	1,1	2,6	1,0	1,2	1,4	1,2				
14	0,6	1,9	2,4	0,8	0,8	0,4	2,3	1,8	1,0	2,4	0,7	1,2	1,4	1,5	1,4	2,4	1,4	0,7	1,4	0,9	1,1	1,9	0,8	1,9	1,7	1,1	2,0	1,3				
15	0,6	1,7	2,6	0,8	1,9	0,6	3,1	2,4	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	2,0	1,5	2,6	1,1	1,0	1,4	1,8	0,8	1,4	0,5	1,8	0,9	1,5	2,8	2,3				
16	0,4	1,3	4,2	0,5	1,9	0,6	2,1	2,2	0,6	1,1	1,1	2,2	1,5	1,4	1,9	2,2	2,5	0,8	1,1	1,8	0,8	1,4	0,6	2,3	0,8	1,7	1,6	2,1				
17	0,8	1,1	4,5	0,5	2,0	0,9	2,9	2,1	0,8	1,3	1,3	1,5	1,1	1,7	1,2	1,9	2,4	0,7	0,9	1,3	1,9	1,2	0,5	1,7	1,7	1,9	0,9	1,4				
18	1,2	1,6	1,0	0,8	1,7	0,9	3,4	1,5	1,4	1,8	1,2	1,2	0,9	0,9	1,2	2,1	1,7	0,7	1,5	1,9	0,8	2,2	0,9	3,2	1,1	1,7	1,9	1,5				
19	0,6	0,9	0,9	1,1	1,4	0,6	1,1	1,6	1,6	1,4	0,6	0,8	1,0	1,9	1,2	1,5	2,3	1,1	1,0	1,6	1,4	1,0	0,9	2,5	0,8	1,2	1,8	1,7				
20	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	0,4	3,6	1,4	2,2	2,9	0,4	0,7	1,6	4,2	1,2	1,4	1,3	1,0	2,2	1,0	1,2	1,0	0,9	2,3	0,9	1,1	1,9	1,2				
21	0,7	1,5	1,2	0,9	1,2	0,6	4,1	1,8	0,9	2,6	0,4	1,5	0,9	2,8	0,7	1,2	2,3	0,6	2,1	1,6	1,5	1,3	0,5	4,0	1,0	1,9	2,7	1,2				
22	0,4	0,8	0,8	0,7	1,4	0,4	3,3	1,1	1,1	2,1	0,5	0,6	1,1	2,8	0,7	1,5	1,7	1,1	1,6	1,8	1,2	2,5	1,4	1,6	1,3	1,8	2,5	1,2				
23	1,1	0,6	0,8	0,7	1,2	0,5	2,2	1,4	1,1	2,8	0,8	0,4	1,1	3,3	0,7	1,9	1,2	1,1	1,8	2,1	1,0	2,8	0,6	1,9	1,0	1,7	2,2	1,4				
24	0,5	1,3	1,1	0,6	1,2	0,7	3,3	1,2	0,9	0,8	0,6	0,6	1,4	4,1	1,0	1,5	1,1	0,6	1,9	1,9	0,9	2,2	1,0	4,5	0,7	1,4	1,2	1,2				
25	0,4	1,1	1,0	0,4	0,9	0,6	4,2	1,6	0,8	1,4	0,7	0,8	1,0	3,3	1,0	1,3	1,6	0,8	2,6	1,9	1,7	1,6	0,7	2,9	0,7	2,9	2,8	2,4				
26	0,5	0,9	1,2	0,4	1,1	0,7	3,6	0,9	0,9	1,5	0,6	1,1	0,5	3,2	1,4	1,5	2,0	0,5	2,2	2,6	1,4	1,6	0,4	3,4	1,2	2,5	1,5	1,7				
27	1,7	0,9	1,7	0,3	0,9	0,6	3,8	0,9	0,6	1,8	1,0	0,9	0,8	1,7	1,5	1,5	1,8	0,9	1,5	2,2	1,4	1,1	1,0	4,3	1,3	1,0	1,6	2,2				
28	0,3	1,4	1,5	0,6	1,1	1,1	2,7	0,9	0,9	1,0	0,7	2,1	0,5	1,5	1,0	0,8	3,2	1,2	1,1	1,8	1,1	1,7	1,0	2,9	1,6	1,7	1,1	3,0				
29	0,6	1,6	1,5	0,5	0,6	1,1	0,9	0,5	0,9	0,9	1,3	1,8	0,4	2,8	0,6	1,0	2,1	0,8	2,1	2,4	0,9	1,1	0,9	3,0	1,2	1,6	2,0	3,1				
30	0,7	2,0	2,2	0,9	2,7	1,1	1,8	0,7	1,4	1,0	0,8	1,0	0,8	4,7	0,6	1,8	1,8	1,3	0,8	2,7	1,1	2,0	0,8	4,3	1,1	3,1	1,7	2,0				
31	1,1	1,7	1,0	0,5	1,3	1,3	2,1	1,1	0,7	0,7	1,5	0,6	0,9	3,0	0,9	2,2	2,5	1,6	1,0	1,9	1,0	1,1	0,5	4,3	1,5	2,5	2,4	2,5				
32	3,9	1,0	0,8	0,5	2,8	1,8	2,6	2,2	1,1	0,9	1,0	0,7	1,3	3,5	0,8	2,3	2,6	1,1	1,2	1,9	0,9	0,7	0,7	2,9	1,1	2,9	1,2	3,9				
33	1,6	2,1	1,8	0,3	2,8	1,6	1,6	1,1	0,9	0,9	0,6	0,6	1,1	2,7	0,9	1,4	2,3	1,3	0,9	1,6	0,6	1,0	0,7	4,6	0,8	4,3	1,5	1,9				
34	1,2	0,8	0,9	0,6	2,7	0,5	3,2	0,7	1,7	1,8	0,6	1,2	1,4	2,3	3,6	1,7	3,3	1,4	1,2	1,7	0,9	1,1	0,6	3,0	1,0	2,8	1,8	1,2				
35	1,7	1,9	0,9	0,6	1,1	1,1	2,0	0,6	0,9	1,1	0,8	1,3	0,5	2,4	4,0	1,2	2,1	1,4	1,3	1,1	0,8	1,5	1,5	3,2	1,1	3,1	2,0	3,3				
36	1,4	0,5	1,4	0,7	3,7	0,7	2,2	0,9	1,2	1,4	0,7	1,4	0,8	2,4	2,3	1,1	2,4	1,2	1,1	0,8	1,8	1,1	1,2	4,4	0,8	3,8	1,4	2,4				
37	0,6	0,6	0,8	0,5	3,0	0,6	3,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,7	1,7	2,2	2,5	1,4	1,7	2,4	2,5	1,0	1,5	1,1	1,2	5,3	0,8	2,7	2,2	2,7				
38	0,7	1,0	0,9	0,6	2,8	0,6	3,6	0,7	0,6	1,3	0,9	1,5	1,5	3,4	3,1	1,7	1,7	1,7	1,7	1,2	2,4	1,7	1,5	2,8	0,6	2,5	1,4	4,0				
39	0,6	0,7	2,3	1,1	3,4	0,8	1,9	0,8	1,0	1,5	1,0	0,8	1,1	3,0	3,3	2,6	2,9	2,5	1,4	0,7	1,7	1,2	1,6	3,9	0,7	2,0	0,9	3,4				
40	0,9	1,2	2,3	0,8	2,3	0,7	0,7	1,4	1,0	2,0	1,4	0,7	0,9	4,6	2,5	2,4	3,1	2,0	1,3	0,9	1,4	1,3	1,4	5,1	0,7	2,2	0,6	3,2				
41	1,8	2,2	1,2	0,6	0,9	0,6	0,9	2,3	0,8	1,8	0,6	0,7	0,7	4,4	2,6	1,5	1,8	1,8	1,2	0,7	2,2	1,7	0,8	6,3	0,8	3,1	1,2	3,3				
42	1,5	1,9	1,1	0,7	1,5	0,9	2,1	0,9	1,2	2,2	0,8	0,6	0,6	3,0	2,1	2,1	1,5	2,5	1,0	1,6	2,2	2,1	0,9	3,0	1,1	2,2	1,1	3,9				

43	1,1	0,9	1,1	0,5	1,6	0,9	1,7	1,0	0,8	2,6	1,0	0,5	0,7	3,0	2,5	1,7	1,6	2,7	1,0	1,4	1,7	2,3	1,2	3,5	1,3	3,0	1,6	4,1
44	0,7	1,0	3,1	0,3	2,3	1,4	2,1	1,1	0,9	2,5	1,0	0,8	1,3	3,9	2,6	1,1	4,1	1,8	0,7	1,3	1,3	2,5	0,9	2,9	1,2	2,5	1,5	3,3
45	0,5	1,1	4,2	0,4	2,2	0,8	1,3	1,7	0,9	1,6	0,9	0,7	1,4	2,9	4,0	1,4	1,6	1,9	0,9	1,5	1,0	1,5	1,2	3,4	0,7	1,7	1,3	2,9
46	0,5	0,8	3,3	1,9	1,6	0,4	2,7	1,9	0,6	1,6	1,4	0,5	1,7	3,1	4,7	1,8	1,1	2,6	1,6	1,3	2,1	1,6	0,6	3,9	1,0	2,1	1,1	3,9
47	0,7	1,5	1,8	1,5	2,0	0,8	3,9	1,0	0,6	2,7	0,7	1,1	1,3	3,0	4,6	1,6	1,2	1,6	1,5	1,2	2,0	0,7	1,1	3,9	0,9	1,7	1,5	1,5
48	1,0	2,2	1,4	0,9	1,5	0,5	2,9	1,2	0,8	1,3	0,7	0,8	1,2	2,5	4,7	1,3	1,1	1,8	1,6	1,8	1,6	1,2	1,8	2,2	1,2	1,5	1,8	1,8
49	0,9	2,3	1,4	0,9	1,1	0,4	3,3	1,2	0,7	1,1	0,5	0,7	1,2	2,2	4,3	1,3	3,0	1,3	1,0	1,0	1,9	1,9	1,6	2,5	1,5	2,1	1,1	7,0
50	1,2	1,4	1,4	0,9	2,0	0,5	4,0	0,7	0,6	3,0	0,8	0,8	1,1	2,2	3,6	3,5	1,1	1,2	1,4	0,9	3,1	2,5	1,0	2,3	3,5	1,8	2,7	6,4
51	1,2	1,3	1,1	0,5	1,1	0,4	2,8	0,8	0,7	1,7	0,4	0,7	0,9	7,0	4,0	1,7	1,3	2,2	0,8	1,1	2,3	4,0	1,2	3,7	1,1	2,3	1,8	4,9
52	0,9	0,9	0,8	0,8	2,7	0,5	3,1	0,5	0,9	0,8	0,5	0,8	0,8	6,4	2,9	1,6	2,0	2,6	0,7	1,3	3,0	5,0	1,4	3,3	2,1	2,4	1,0	5,3
53	1,1	0,7	1,9	0,4	2,3	0,6	1,5	0,6	0,7	1,8	0,4	1,2	0,9	4,3	3,3	1,3	1,6	1,3	0,8	0,6	1,5	4,5	0,7	2,8	1,2	2,4	1,4	2,8
54	0,8	0,8	1,8	1,0	1,4	0,5	1,8	2,1	2,2	0,8	0,5	1,1	0,6	1,2	4,0	2,2	0,8	3,3	0,6	0,9	1,1	4,9	2,0	2,9	1,8	2,0	1,3	3,5
55	1,3	1,5	1,8	1,7	1,4	0,6	2,2	2,2	1,3	1,6	0,6	1,0	1,2	2,4	2,5	2,0	1,5	3,7	0,6	1,2	1,7	3,0	1,6	3,0	1,6	2,1	1,3	2,2
56	1,0	1,7	1,9	0,7	3,1	0,5	1,0	1,6	1,5	3,9	0,5	0,8	0,7	2,1	3,3	1,1	0,8	1,1	1,0	1,2	2,1	2,2	1,4	2,2	3,5	1,7	1,1	2,7
57	1,3	2,4	3,0	0,7	3,8	0,7	1,7	1,5	1,5	1,3	0,6	1,5	0,9	1,6	3,7	1,5	1,6	2,3	0,7	0,9	0,8	5,5	2,1	2,3	2,4	1,7	1,2	3,8
58	0,9	2,5	1,9	0,6	3,1	0,6	1,3	1,0	1,0	1,1	0,4	1,2	1,2	2,8	3,8	1,9	2,1	3,2	0,8	1,5	1,5	4,0	1,6	1,4	3,0	1,6	1,5	4,1
59	0,4	1,5	1,5	0,4	2,3	0,4	1,7	0,7	1,1	2,8	0,6	1,2	1,4	2,2	4,0	2,0	1,0	2,7	0,6	1,5	3,2	0,7	1,8	1,0	2,1	1,7	1,2	4,0
60	1,8	0,8	1,5	0,8	1,5	0,7	0,9	0,6	0,8	3,3	6,6	1,6	1,1	2,3	2,8	2,1	2,1	3,1	0,6	1,4	3,3	3,6	1,7	1,0	2,5	2,5	1,5	2,2
61	1,2	1,0	1,2	0,5	2,0	0,9	0,7	1,2	1,4	3,3	0,6	0,8	1,6	1,1	2,4	2,3	2,2	2,5	0,6	0,7	3,0	2,9	2,2	0,8	2,2	2,3	1,3	2,9
62	1,3	1,3	1,0	0,5	3,8	0,6	0,9	1,6	1,7	3,4	0,6	1,2	1,6	1,8	4,4	2,5	1,3	1,8	0,7	1,0	2,9	2,0	1,8	2,2	1,5	1,2	2,5	2,6
63	1,3	2,8	0,8	0,5	5,4	1,2	1,0	2,2	2,3	2,0	1,2	1,0	1,9	2,3	4,0	1,8	0,8	1,1	0,9	1,3	2,7	2,3	2,1	3,5	2,3	1,2	1,9	2,7
64	1,0	2,2	0,9	0,2	5,2	1,1	1,4	2,1	1,6	0,8	2,2	1,0	1,8	1,4	4,4	2,0	1,2	1,5	1,6	1,1	3,5	1,3	2,2	2,1	3,0	1,9	1,8	3,2
65	1,3	2,8	0,8	0,5	3,4	1,8	0,9	2,0	2,1	1,2	1,8	0,9	1,7	2,1	3,3	2,2	1,1	1,2	1,5	1,1	3,1	3,9	1,6	1,9	2,2	2,2	2,2	1,7
66	1,3	1,7	1,7	0,4	4,0	1,9	1,4	2,1	1,2	3,0	2,0	1,0	1,3	2,6	3,7	2,0	1,4	1,1	2,0	1,3	3,0	5,7	1,1	1,6	2,4	1,7	3,2	1,6
67	3,2	1,8	2,9	0,8	3,1	2,1	0,6	1,2	0,9	4,5	2,9	1,1	1,5	1,1	3,1	1,7	1,3	1,0	1,5	1,7	1,4	5,3	0,9	1,5	3,3	1,6	2,5	3,6
68	2,9	2,5	1,7	1,1	2,2	2,0	1,6	3,7	1,1	4,1	2,2	1,4	1,5	1,8	3,5	2,1	1,8	1,3	1,8	1,7	1,5	4,0	1,3	2,5	2,4	1,7	3,3	3,5
69	1,3	0,8	2,7	1,2	2,8	1,7	1,3	1,2	1,5	2,1	2,6	0,8	1,2	1,1	3,6	2,4	2,9	2,3	1,6	1,7	2,3	3,9	2,4	2,6	2,1	1,8	2,0	4,0
70	1,9	1,1	2,5	1,0	2,1	1,5	2,8	1,4	1,6	0,8	1,0	1,3	0,5	1,9	4,4	1,4	1,4	2,9	1,4	1,5	1,4	3,0	2,5	1,7	1,7	1,1	1,9	4,9
71	1,2	2,3	1,6	1,0	2,0	1,0	2,5	0,8	2,2	0,9	1,6	1,1	0,8	3,3	3,2	2,5	2,0	2,6	2,3	1,7	1,7	1,9	2,2	1,5	2,6	0,9	2,2	5,8
72	1,6	1,5	2,0	0,5	2,3	1,2	0,9	1,4	1,8	1,1	1,7	1,5	0,7	3,5	2,6	1,8	1,5	2,1	1,7	1,1	2,4	1,2	2,6	2,0	3,0	1,9	2,4	4,7
73	3,7	2,3	1,6	1,6	3,4	0,8	2,3	2,0	2,1	0,8	1,9	1,3	0,8	4,7	4,4	1,1	1,5	1,4	2,3	1,3	2,0	1,1	2,4	1,4	1,8	2,1	2,5	4,6
74	4,5	2,0	2,5	1,2	3,6	1,7	1,7	0,9	2,4	3,6	3,5	0,7	0,8	4,1	3,6	1,5	0,9	2,1	1,3	2,1	1,8	1,1	2,5	2,5	1,8	2,1	2,6	2,8
75	3,4	1,6	0,9	0,6	3,6	2,1	3,0	1,8	2,2	2,7	1,7	1,2	0,8	2,7	5,5	1,7	0,7	2,0	2,6	1,2	2,0	1,7	2,5	2,6	2,2	1,2	3,2	2,2
76	1,7	2,4	1,0	1,8	2,0	2,1	0,6	1,6	1,0	3,5	2,5	1,3	0,8	5,9	3,5	0,7	1,5	1,8	2,7	2,0	2,2	1,7	2,4	2,5	2,6	1,0	1,6	3,1
77	1,9	3,3	1,0	1,9	4,1	1,0	0,6	1,3	1,7	3,9	2,4	2,2	0,9	4,0	2,2	2,0	1,1	1,4	2,5	2,1	1,9	6,3	3,2	2,0	1,3	2,2	1,9	2,9
78	1,4	2,7	0,8	1,5	3,4	0,7	1,4	2,2	2,1	2,0	1,0	2,7	0,8	5,5	1,9	2,2	2,2	1,9	1,5	2,2	1,6	4,7	1,0	2,7	2,1	1,9	2,9	3,7
79	1,7	1,5	0,7	0,5	2,8	0,4	1,2	4,7	1,4	1,9	1,2	1,4	0,7	2,8	2,1	2,0	1,6	0,9	1,3	1,7	1,3	1,9	2,0	3,2	1,4	2,4	2,7	3,0
80	1,6	2,2	1,2	1,1	4,2	2,0	2,0	0,9	1,6	1,1	1,9	0,9	0,4	4,1	1,4	3,2	1,0	0,7	1,1	2,1	1,1	1,3	3,4	3,7	2,7	2,1	3,1	4,1
81	1,9	2,5	0,8	1,2	2,5	1,8	0,9	2,5	2,5	2,6	0,8	0,9	0,4	2,4	1,2	3,0	1,6	0,8	0,6	1,7	2,1	1,4	2,7	2,5	2,3	1,6	1,5	2,9
82	2,9	1,8	0,9	2,1	3,1	1,2	1,4	3,0	0,9	3,5	1,8	1,1	0,7	1,2	3,0	2,0	1,5	1,1	0,9	2,5	2,6	1,0	2,8	3,2	1,1	1,2	1,7	2,2
83	5,0	2,2	1,0	1,8	3,4	2,0	0,6	2,2	1,1	2,2	1,0	1,1	1,0	1,1	1,8	1,7	1,0	1,1	0,6	2,0	2,0	1,4	2,6	3,0	1,9	1,8	1,4	2,6
84	3,5	2,0	0,9	1,0	3,6	0,5	1,2	1,7	1,1	1,5	1,9	1,8	1,0	1,5	3,7	2,1	2,2	1,5	1,5	1,8	1,7	1,4	2,5	3,1	2,0	1,6	2,0	2,5
85	2,4	1,4	0,7	1,2	2,9	0,7	1,7	2,0	1,7	2,5	2,8	1,3	1,7	2,5	1,4	2,5	2,0	1,1	1,0	1,2	2,4	1,4	3,3	2,4	1,9	2,5	2,1	2,7
86	2,2	2,0	0,7	0,6	1,9	0,7	1,0	1,0	0,9	3,3	1,4	1,3	2,4	1,4	1,1	1,7	1,6	2,2	0,7	1,2	1,4	0,9	2,9	2,6	2,6	2,0	2,6	3,0
87	1,9	1,3	0,9	1,2	1,5	0,6	2,2	1,8	0,9	3,9	0,8	1,1	1,0	1,5	1,7	1,8	1,1	2,6	0,8	1,0	1,4	1,5	4,0	2,2	2,1	1,8	2,5	1,8
88	1,9	2,1	1,9	1,4	1,8	0,4	2,4	2,2	2,1	2,4	1,2	1,2	0,9	1,0	2,3	1,4		1,9	1,0	1,2	1,0	1,1	3,5	1,4	2,9	2,0	1,7	2,0
89	1,1	2,3	1,5	0,6	1,1	1,2	1,2	2,7	1,8	2,0	2,4	1,5	0,5	1,2	1,7	2,2		1,8	4,3	2,0	1,4	1,2	3,3	2,0	1,7	1,8	2,3	3,3

90	2,1	1,3	2,3	0,7	1,9	1,2	1,3	3,0	1,9	4,8	2,6	2,0	0,6	1,6	1,4	1,9	2,5	1,4	1,5	1,8	1,3	3,3	2,0	2,3	1,2	1,6	2,4
91	2,5	2,2	1,8	1,2	1,8	0,7	0,7	1,2	2,1	3,9	2,8	0,9	0,7	2,1	2,6	1,9	3,7	2,4	1,7	2,2	1,4	3,5	6,1	2,4	1,7	2,0	3,3
92	2,4	1,8	2,3	0,4	2,5	0,6	1,0	1,4	1,7	3,4	1,7	1,7	0,4	3,3	2,1	1,8	2,9	1,2	1,6	1,5	1,0	2,9	3,2	2,1	2,1	2,2	1,5
93	3,4	2,3	1,6	1,0	2,7	0,9	1,1	1,7	2,3	1,7	3,5	1,9	0,5	3,4	3,1	1,5	1,4	1,1	1,6	1,2	1,7	3,3	2,5	1,9	1,8	2,3	2,1
94	3,0	1,4	0,9	1,6	1,7	0,6	1,4	1,4	0,9	1,8	5,5	1,6	0,6	1,8	1,1	1,9	2,2	1,4	2,4	2,0	4,7	3,2	1,6	1,5	1,7	1,6	1,8
95	2,2	2,5	1,3	0,6	1,3	1,6	1,1	1,2	0,8	3,2	5,1	1,7	0,8	1,8	1,3	1,4	1,6	1,1	1,5	2,1	5,5	4,3	1,0	2,1	1,5	1,2	1,5
96	2,4	2,4	1,3	2,1	1,0	1,5	0,6	1,1	0,8	2,8	4,9	1,9	0,4	2,6	2,5	1,1	3,1	1,4	2,5	1,8	3,4	4,7	0,8	1,1	1,5	1,2	2,3
97	1,3	3,4	1,1	2,2	1,0	1,1	0,7	0,7	2,7	5,5	4,4	1,7	0,9	2,3	2,4	0,8	1,1	1,0	1,9	2,0	4,4	2,8	1,4	0,8	1,5	2,3	1,7
98	2,3	1,6	1,4	3,0	1,6	1,6	1,8	0,9	2,6	1,3	4,9	0,8	1,4	2,7	0,9	1,5	0,6	1,2	2,1	1,8	3,8	2,8	1,2	1,8	1,6	1,1	1,4
99	2,2	1,9	0,8	3,0	1,7	2,3	0,9	0,6	2,5	2,1	3,9	0,9	1,6	2,1	1,2	0,6	1,0	4,1	1,4	4,0	2,6	1,3	1,7	0,8	1,9	1,5	
100	2,1	2,7	1,4	2,5	1,5	2,2	1,0	2,5	1,9	2,2	3,2	1,3	1,0	2,6	1,3	0,4	1,5	2,1	2,3	2,0	2,6	2,2	0,9	1,6	1,1	1,2	
101	2,1	2,6	0,9	1,1	1,4	3,2	0,6	2,0	0,9	3,0	4,4	1,0	1,4	1,3	1,4	0,5	1,4	2,1	0,8	2,2	3,5	2,0	0,8	1,1	1,4	1,1	
102	2,5	4,1	1,0	2,2	2,0	3,1	0,8	1,3	0,8	3,9	5,2	1,6	1,6	2,1	1,2	0,9	1,8	2,7	1,5	1,6	3,1	2,2	1,7	1,3	1,0	1,5	
103	1,9	2,6	1,0	1,7	2,1	3,6	1,1	3,5	0,8	2,7	3,3	1,4	1,5	1,9	2,4	2,1	1,7	2,0	1,4	1,4	2,8	1,5	2,0	1,7	1,0	1,8	
104	1,6	2,3	1,6	1,6	2,9	1,8	1,1	3,5	1,1	4,4	3,5	1,7	2,3	1,0	2,3	1,8	1,6	1,0	1,7	2,1	2,7	1,6	2,1	1,5	1,0	1,2	
105	1,6	1,2	1,4	1,1	1,4	1,2	1,1	3,8	1,2	2,8	4,4	1,2	2,2	2,1	2,1	1,1	1,8	1,2	1,7	1,4	1,7	1,0	1,5	1,5	1,4	1,2	
106	2,0	2,1	1,4	2,1	1,5	1,5	1,2	3,5	2,0	1,8	4,1	1,3	1,6	1,9	1,7	1,7	0,7	2,5	0,7	1,2	2,7	0,8	1,6	1,5	1,1		
107	2,6	1,6	0,8	0,6	0,8	0,8	1,3	2,4	3,4	2,4	5,1	0,7	0,8	3,6	1,3	1,5	0,9	1,3	1,6	2,1	3,1	1,1	2,0	1,1	1,5		
108	2,1	1,9	0,6	1,2	1,8	1,3	1,5	2,2	3,2	2,5	2,9	0,7	1,0	2,0	1,4	1,7	1,2	1,3	1,1	1,3	1,9	1,5	0,8	0,8	0,8		
109	2,4	1,9	0,7	0,6	1,5	1,2	0,8	1,7	2,7	1,9	5,4	1,1	1,4	2,4	0,9	2,9	2,0	1,5	1,1	1,8	1,5	2,3	0,7	0,9	1,4		
110	2,5	2,7	0,9	1,2	1,6	0,4	2,4	1,5	1,6	3,3	3,5	1,3	1,1	1,6	2,3	1,3	1,8	1,1	0,7	1,0	2,5	1,3	1,7	1,7			
111	2,9	1,1	1,2	1,8	1,9	0,5	2,3	1,1	1,4	1,0	1,9	1,4	1,4	1,7	1,9	2,6	1,1	0,7	0,6	2,0	2,9	1,3	1,3	1,3			
112	2,7	0,7	1,3	0,8	1,7	0,6	1,0	0,8	2,6	2,4	3,8	2,5	1,1	1,2	2,7	1,7	1,0	1,1	0,6	1,3	2,2	1,3	0,8	0,8			
113	1,6	0,8	0,4	1,4	2,7	0,4	0,9	1,9	2,6	3,2	3,8	1,1	1,1	1,5	1,8	1,1	1,6	1,8	1,0	0,7	1,5	1,9	0,3	1,2			
114	1,9	1,2	0,5	1,0	1,2	0,9	1,5	2,4	3,5	3,2	4,6	1,3	1,0	1,4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,3	1,4	2,0	1,3	0,4	0,8			
115	1,3	1,1	0,8	1,4	2,8	0,8	1,4	3,1	3,9	2,2	5,4	1,9	1,9	1,3	2,5	2,2	1,1	1,1	1,4	2,1	1,8	1,1	0,3	0,7			
116	0,9	1,7	1,5	2,5	1,6	1,0	1,8	3,0	3,5	3,0	4,5	1,4	2,2	0,8	1,9	1,8	1,0	1,3	0,8	1,5	1,7	0,9	0,7				
117	0,6	1,3	0,5	2,2	1,7	1,5	1,1	2,5	2,5	1,0	5,6	1,1	1,1	1,2	0,9	2,5	1,4	1,9	1,8	1,5	1,4	0,6	0,5				
118	1,9	1,8	1,3	0,8	1,9	1,0	1,5	2,3	1,4	2,8	4,0	0,9	0,7	1,3	0,9	1,5	0,9	1,9	1,5	1,6	1,4	0,9	0,6				
119	1,7	1,5	0,8	0,6	1,5	0,8	1,4	2,6	0,4	1,5	3,6	0,8	1,3	1,7	0,8	1,2	0,7	0,7	0,8	2,1	2,1	0,8					
120	3,1	2,7	0,6	0,6	1,4	0,8	1,0	1,9	0,3	1,6	3,0	0,6	0,9	1,6	1,3	1,2	0,4	1,3	1,2	2,3	1,0	1,0					
121	0,8	1,3	0,5	0,8	0,8	1,1	1,3	0,8	0,7	1,2	2,1	0,7	0,7	1,6	1,4	0,7	0,5	1,5	0,6	1,6	0,6	0,9					
122	1,8	1,0	0,4	2,2	1,2	1,4	1,2	1,2	0,8	1,6	3,7	0,7	1,6	0,6	1,9	1,3	0,8	1,1	1,3	0,7	1,5	1,2					
123	0,8	1,1	0,5	2,1	0,9	1,6	1,0	1,4	0,8	1,0	1,4	0,7	1,4	1,5	2,2	2,2	0,5	2,2	1,5	2,4	1,3	1,1					
124	1,2	1,1	0,8	1,7	1,1	2,0	1,0	1,4	1,4	1,2	1,3	0,7	1,2	1,4	2,5	0,4	2,6	0,7	0,7	1,3	1,2						
125	1,8	0,7	0,8	1,5	3,4	1,2	2,7	1,5	2,3	2,4	1,0	1,5	1,1	1,3	0,6	2,1	0,9	1,8	1,8	1,0							
126	1,4	1,1	2,0	1,5	2,3	1,4	1,9	2,1	3,2	4,6	1,1	2,6	1,7	0,8	0,6	1,5	0,8	1,0	1,9	0,7							
127	1,4	1,1	3,2	1,4	1,4	2,3	1,3	0,7	2,7	3,6	1,3	2,3	0,7	0,6	1,0	0,9	0,8	1,8	1,5	1,0							
128	0,8	1,3	0,7	1,3	2,3	1,5	2,0	1,0	1,9	1,9	1,7	2,0	0,8	1,0	0,8	1,7	0,6	0,8	1,6	0,9							
129	1,0	1,1	1,6	1,0	1,7	1,4	1,4	3,0	1,7	2,1	1,0	1,1	0,9	1,1	0,8	1,2	0,6	1,1	1,6	0,8							
130	0,8	1,1	1,6	0,7	2,2	1,2	1,4	4,8	3,1	1,4	0,9	1,1	0,6	1,2	1,9	1,5	0,8	1,0	1,5	0,7							
131	1,0	0,8	1,9	0,6	1,3	1,3	1,1	2,4	2,2	1,4	1,1	0,9	1,0	1,6	2,3	0,9	1,1	1,0	1,7	0,5							
132	0,8	2,3	0,8	2,1	0,8	1,3	2,0	1,7	0,9	1,2	1,4	0,8	1,3	0,7	0,9	0,5	2,0	0,9									
133	0,9	1,9	1,0	1,9	0,7	1,4	1,9	1,0	2,4	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	0,6	1,0	2,3	0,8								
134	1,1	2,1	0,8	2,7	0,9	1,3	1,1	1,3	1,2	1,5	1,6	0,8	0,7	0,4	0,9	0,9	1,8	1,2									
135	1,9	3,4	1,1	1,8	0,6	1,8	1,9	2,3	0,8	1,3	1,2	1,4	1,2	1,4	0,6	0,7	0,8	1,4	0,7								
136	0,6	2,6	2,2	0,7	1,4	2,6	4,0	1,7	1,0	1,6	1,6	0,5	2,4	0,6	0,9	0,9	1,0										

137	1,2	2,6	2,8	0,7	1,0	1,8	1,4	1,7	0,9	1,3	1,3	0,9	2,9	0,5	1,4	1,2	1,1
138	1,2	1,9	1,4	0,6	1,8	1,6	4,1	1,9	0,6	1,5	0,6	1,7	2,1	0,3	1,1	1,4	1,0
139	1,4	2,5	2,0		2,2	2,6	1,1	1,2	0,9	1,2	1,1	1,3	0,9	0,5	0,9	2,1	0,9
140	1,4	3,7	1,0		3,0	1,6	1,4	2,0	1,2	1,0	0,7	1,2	1,4	0,8	1,0	1,4	0,8
141	1,0	0,6	2,4		1,9	1,5	1,6	2,1	1,0	0,6	0,5	0,6	0,8	0,6	0,7	1,4	0,5
142	0,7	2,8	1,0		1,2	2,1	2,2	2,2	0,4	0,4	0,6	1,3	1,5	0,9	0,7	1,4	0,7
143	1,1	2,6	1,5		1,1	1,9	2,3	2,1	0,6	0,6	1,0	1,1	0,9	0,5	0,6	1,3	1,6
144	0,7	1,9	0,6		0,9	1,5	3,4	1,9	1,1	1,0	0,6	0,8	0,8	0,5	0,6	0,9	0,9
145	0,6	2,4	1,6		1,4	1,3	1,8	2,9	0,7	0,9	0,7	0,6	1,0	0,6	0,9	0,7	0,8
146	0,8	2,3	1,1		0,8	1,4	1,5	2,6	0,8	0,6	0,8	0,8	1,0	0,7	0,7	0,8	0,8
147	1,0	2,2	1,1		0,6	1,3	2,2	1,6	1,0	0,9	1,0	1,4	2,3	0,6	0,5	0,9	1,2
148	1,3	2,1	0,8		1,4	1,9	1,5	1,4	0,8	0,7	0,8	1,4	0,7	0,6	0,6	1,1	
149	1,1	2,9	1,0		2,2	2,5	1,3	1,5	1,1	1,1	0,9	1,1	1,0	0,8	0,6	1,1	
150	0,8	2,0	1,0		1,3	2,0	1,3	1,0	1,0	1,1	0,6	0,8	1,5	0,7	0,6	1,3	
151	1,1	2,1	0,7		1,4	1,2	1,2	1,2	0,6	0,9	0,6	0,8	1,5	0,8	0,4	0,9	
152	1,0	1,5	0,8		0,6	1,1	2,0	1,1	0,7	0,6	0,8	0,6	0,7	0,9	0,5	0,9	
153	1,8	1,9	2,4		1,1	3,2	1,8	1,2	1,7	1,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	
154	1,4	1,8	2,6		1,7	2,7	2,3	2,0	1,6	1,4	1,2	0,8	0,6	0,6	0,7	0,8	
155	1,7	2,5	2,7		1,2	1,1	2,1	1,9	1,0	0,5	1,2	0,6	0,7	0,8	0,5	0,7	
156	1,9	1,9	3,1		1,2	1,8	2,9	2,0	1,3	0,5	1,3	0,5	1,0	0,7	0,4	0,8	
157	1,9	1,6	2,0		1,1	2,4	2,2	2,7	0,9	0,6	1,0	0,7	1,5		1,4	0,6	
158	2,2	2,1	1,0		1,8	2,7	1,4	1,1	0,7	0,3	1,2		1,4		1,4	0,9	
159	1,7	1,5	1,0		1,2	3,1	1,7	1,0	1,5	0,6	1,0		0,9		1,8	0,9	
160	1,2	2,0	1,7		0,8	2,6	0,9	1,3	0,9	0,6	0,8				1,5	1,1	
161	1,0	1,2	1,9		1,2	3,0	2,9	1,2	0,8	0,5	0,6				1,9	0,8	
162	0,7	1,6	1,8		1,8	2,7	2,3		0,7	0,4	0,6				1,0	0,6	
163	0,9	2,4	1,5		1,8	2,5	1,0		0,7	0,6	0,6				2,0	0,7	
164	0,9	1,0	1,5		1,6	1,2	1,7		0,7	0,4	0,6				0,8	0,7	
165	0,5	1,2	1,8		1,7	2,1	1,2		0,6	0,9	1,3				0,8	0,7	
166	0,6	1,9	1,6		1,6	1,5	1,3		1,3	0,7	0,7				0,6	0,7	
167	0,9	2,1	2,1		1,2	2,4	2,7		0,9	0,5	0,5				0,9	0,7	
168	0,8	1,7	2,3		0,9	1,4	1,7		1,4	0,4	1,2				1,1		
169	0,9	1,8	2,7		1,1	3,0	2,7		0,9	0,8	0,9				1,4		
170	1,4	1,7	2,8		0,9	2,3	2,2		1,2	0,7	0,5				1,0		
171		0,4	1,5		1,1	3,5	1,8		1,3	0,7	0,7				0,9		
172		0,7	1,6		1,0	4,2	2,0		0,8	1,8	0,5				1,1		
173		1,1	1,0		1,1	2,6	2,9		0,5	1,4	0,8				0,6		
174		1,3	2,7		1,0	1,9	2,5		0,8	2,2	0,8				0,8		
175		1,1	1,7		0,9	1,6	2,5		0,9	1,0	0,6				0,9		
176		1,1	0,9		0,7	1,8	3,2		0,7	1,3	0,9				0,7		
177		1,3	2,0		0,7	2,3	1,8		0,7	0,7	0,9				0,7		
178		1,2	1,7		0,6	2,3	2,4		1,0	0,8	0,8				0,9		
179		1,8	1,0		0,7	2,6	2,5		0,6	1,0	0,8				0,9		
180		1,9	1,2			2,0	2,6		0,8	0,6	1,2				1,2		
181		1,4	0,6			1,8	2,2		0,8	0,7	0,7				0,8		
182		0,9	0,7			2,2	1,6		0,8	0,8	0,9						
183		1,0	1,0			1,4	2,0		0,6	0,7	0,9						

184	1,1	1,4	1,8	1,5	0,5	0,7	0,6
185	1,0	1,2	1,6	2,0	0,6	0,5	0,5
186	1,6	2,3	1,4	1,5	1,2	0,4	0,8
187	2,3	1,9	2,0	1,4	0,9	0,7	0,7
188	0,8	1,2	2,3	2,3	0,6	0,6	0,9
189	0,7	1,5	2,0	2,1	0,8	0,5	0,7
190	0,5	1,0	2,5	1,3	0,8	0,7	0,7
191	0,7	2,4	1,8	1,1	0,7	0,6	0,7
192	0,6	2,8	0,9	2,0	0,6	0,6	0,6
193	1,4	2,4	1,0	1,9	1,0	0,5	0,7
194	1,5	3,1	1,4	1,6	0,8	0,6	0,6
195	0,6		1,7	1,2	0,6	0,9	
196	1,4		2,8	1,2	0,6	0,6	
197	1,6		1,9	1,7	1,4	0,4	
198	1,4		1,2	1,4	0,9	0,3	
199	1,1		2,7		0,7	0,4	
200	1,5		2,7		0,9	0,3	
201	0,7		4,1		1,2	0,4	
202	0,6		1,1		0,5	0,3	
203	0,6		3,4		0,8	0,4	
204	1,0		2,1			0,4	
205	0,7		2,9			0,4	
206	1,2		2,4			0,4	
207	1,9		4,3			0,4	
208	2,5		6,6			0,4	
209	1,6		5,3			0,4	
210	2,1		1,9			0,4	
211	0,8		3,4			0,5	
212	0,8		4,1			0,4	
213	0,6		3,6			0,4	
214	0,9		1,9			0,4	
215			2,3			0,5	
216			4,0			0,6	
217			5,2			0,5	
218			3,0			0,8	
219			3,5			0,8	
220			4,2			0,8	
221			4,2			0,5	
222			3,8			0,6	
223			2,7			0,6	
224			1,3			0,5	
225			1,9				
226			1,6				
227			2,1				
228			1,7				
229			2,0				
230			1,1				

231	1,0
232	2,0
233	2,1
234	1,4
235	1,9
236	1,2
237	1,6
238	1,8
239	2,0
240	2,7
241	3,0
242	2,7
243	1,6
244	1,5

---

**ANEXO 3: Base de datos de censos forestales de concesiones maderables de Madre de Dios.**

Concesión	Diámetro a la altura del pecho (cm)	Altura comercial (m)	Altura total (m)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	Abundancia de árboles (# árboles ha <sup>-1</sup> )	Clase diamétrica
Bélgica	75.0	16.0	25.0	4.5946	0.0172	70-80
Bélgica	50.0	18.0	24.0	2.2973	0.0172	50-60
Bélgica	42.0	17.0	22.0	1.5309	0.0172	40-50
Bélgica	62.0	12.0	25.0	2.3549	0.0172	60-70
Bélgica	31.0	15.0	20.0	0.7359	0.0172	30-40
Bélgica	81.0	12.0	28.0	4.0193	0.0172	80-90
Bélgica	58.0	18.0	34.0	3.0912	0.0172	50-60
Bélgica	51.0	12.0	26.0	1.5934	0.0172	50-60
Bélgica	18.0	12.0	18.0	0.1985	0.0862	10-20
Bélgica	14.0	9.0	16.0	0.0901	0.0862	10-20
Bélgica	60.0	18.0	27.0	3.3081	0.0172	60-70
Bélgica	82.0	20.0	34.0	6.8653	0.0172	80-90
Bélgica	38.0	12.0	30.0	0.8846	0.0172	30-40
Bélgica	33.0	14.0	29.0	0.7783	0.0172	30-40
Bélgica	60.0	17.0	30.0	3.1243	0.0172	60-70
Bélgica	34.0	17.0	26.0	1.0033	0.0172	30-40
Bélgica	48.0	12.0	24.0	1.4115	0.0172	40-50
Bélgica	50.0	13.0	20.0	1.6592	0.0172	50-60
Bélgica	33.0	10.0	18.0	0.5559	0.0172	30-40
Bélgica	54.0	12.0	24.0	1.7864	0.0172	50-60
Bélgica	10.0	4.0	10.0	0.0204	0.0862	10-20
Bélgica	17.0	4.0	8.0	0.0590	0.0862	10-20
Bélgica	34.0	16.0	25.0	0.9442	0.0172	30-40
Bélgica	13.0	3.0	12.0	0.0259	0.0862	10-20
Bélgica	13.0	10.0	16.0	0.0863	0.0862	10-20
Bélgica	44.0	13.0	18.0	1.2849	0.0172	40-50
Bélgica	16.0	3.0	13.0	0.0392	0.0862	10-20
Bélgica	23.0	8.0	15.0	0.2160	0.0862	20-30
Bélgica	30.0	12.0	26.0	0.5514	0.0172	30-40
Bélgica	20.0	10.0	15.0	0.2042	0.0862	20-30
Bélgica	40.0	10.0	18.0	0.8168	0.0172	40-50
Bélgica	52.0	9.0	15.0	1.2424	0.0172	50-60
Bélgica	19.0	6.0	9.0	0.1106	0.0862	10-20
Bélgica	24.0	9.0	14.0	0.2646	0.0862	20-30
Bélgica	18.0	6.0	12.0	0.0992	0.0862	10-20
Bélgica	48.0	10.0	15.0	1.1762	0.0172	40-50
Bélgica	14.0	5.0	10.0	0.0500	0.0862	10-20
Bélgica	72.0	18.0	27.0	4.7637	0.0172	70-80
Bélgica	39.0	19.0	24.0	1.4753	0.0172	30-40
Bélgica	77.0	18.0	23.0	5.4483	0.0172	70-80
Bélgica	55.0	22.0	30.0	3.3974	0.0172	50-60
Bélgica	70.0	20.0	27.0	5.0030	0.0172	70-80
Bélgica	46.0	20.0	25.0	2.1605	0.0172	40-50
Bélgica	39.0	18.0	27.0	1.3977	0.0172	30-40
Bélgica	13.0	5.0	10.0	0.0431	0.0862	10-20
Bélgica	11.0	2.0	7.0	0.0124	0.0862	10-20
Catahua	10.0	8.0	15.0	0.0409	0.0833	10-20
Catahua	10.0	5.0	7.0	0.0257	0.0833	10-20
Catahua	11.5	10.0	12.0	0.0670	0.0833	10-20
Catahua	12.0	4.0	8.0	0.0294	0.0833	10-20
Catahua	12.1	3.0	5.0	0.0222	0.0833	10-20
Catahua	13.0	6.0	7.0	0.0519	0.0833	10-20
Catahua	13.0	1.0	7.0	0.0087	0.0833	10-20
Catahua	13.7	14.0	20.0	0.1339	0.0833	10-20
Catahua	15.0	5.0	9.0	0.0577	0.0833	10-20
Catahua	25.2	6.0	20.0	0.1947	0.0200	20-30
Catahua	26.9	15.0	25.0	0.5527	0.0200	20-30
Catahua	27.1	22.0	33.0	0.8222	0.0200	20-30
Catahua	28.6	12.0	22.0	0.5005	0.0200	20-30
Catahua	28.6	16.0	25.0	0.6674	0.0200	20-30
Catahua	29.1	5.0	12.0	0.2160	0.0200	20-30

Catahua	30.0	10.0	16.0	0.4595	0.0200	30-40
Catahua	30.0	6.0	8.0	0.2757	0.0200	30-40
Catahua	30.0	7.0	13.0	0.3216	0.0200	30-40
Catahua	31.0	9.0	13.0	0.4415	0.0200	30-40
Catahua	32.0	8.0	14.0	0.4182	0.0200	30-40
Catahua	33.0	9.0	14.0	0.5004	0.0200	30-40
Catahua	33.0	19.0	26.0	1.0563	0.0200	30-40
Catahua	33.6	30.0	45.0	1.7290	0.0200	30-40
Catahua	34.0	12.0	16.0	0.7082	0.0200	30-40
Catahua	34.0	16.0	18.0	0.9442	0.0200	30-40
Catahua	34.1	18.0	24.0	1.0660	0.0200	30-40
Catahua	35.0	7.0	16.0	0.4378	0.0200	30-40
Catahua	35.0	8.0	13.0	0.5003	0.0200	30-40
Catahua	35.0	18.0	22.0	1.1257	0.0200	30-40
Catahua	36.0	25.0	30.0	1.6541	0.0200	30-40
Catahua	36.0	10.0	15.0	0.6616	0.0200	30-40
Catahua	37.0	14.0	20.0	0.9784	0.0200	30-40
Catahua	39.0	9.0	15.0	0.6988	0.0200	30-40
Catahua	41.0	12.0	20.0	1.0298	0.0200	40-50
Catahua	43.0	14.0	30.0	1.3215	0.0200	40-50
Catahua	45.0	10.0	19.0	1.0338	0.0200	40-50
Catahua	46.0	14.0	20.0	1.5123	0.0200	40-50
Catahua	46.0	15.0	23.0	1.6204	0.0200	40-50
Catahua	48.0	20.0	25.0	2.3524	0.0200	40-50
Catahua	48.0	15.0	30.0	1.7643	0.0200	40-50
Catahua	48.0	9.0	37.0	1.0586	0.0200	40-50
Catahua	50.0	8.0	17.0	1.0210	0.0200	50-60
Catahua	54.0	14.0	18.0	2.0841	0.0200	50-60
Catahua	58.0	10.0	20.0	1.7174	0.0200	50-60
Catahua	58.0	16.0	22.0	2.7478	0.0200	50-60
Catahua	60.0	25.0	30.0	4.5946	0.0200	60-70
Catahua	60.0	11.0	15.0	2.0216	0.0200	60-70
Catahua	63.0	15.0	22.0	3.0393	0.0200	60-70
Catahua	64.0	14.0	18.0	2.9275	0.0200	60-70
Catahua	65.0	22.0	30.0	4.7452	0.0200	60-70
Catahua	66.0	10.0	35.0	2.2238	0.0200	60-70
Catahua	70.0	15.0	29.0	3.7522	0.0200	70-80
Catahua	70.0	15.0	18.0	3.7553	0.0200	70-80
Catahua	73.0	15.0	20.0	4.0808	0.0200	70-80
Catahua	74.8	28.0	36.0	7.9983	0.0200	70-80
Catahua	75.0	20.0	28.0	5.7432	0.0200	70-80
Catahua	77.5	25.0	36.0	7.6610	0.0200	70-80
Catahua	90.0	15.0	20.0	6.2027	0.0200	90-100
Catahua	97.0	15.0	20.0	7.2051	0.0200	90-100
Catahua	100.0	16.0	28.0	8.1682	0.0200	más de 100
Catahua	111.4	15.0	20.0	9.5046	0.0200	más de 100
Catahua	112.0	21.0	27.0	13.4481	0.0200	más de 100
Maderacre	35.0	18.0	22.0	1.1257	0.0040	30-40
Maderacre	48.0	26.0	30.0	3.0582	0.0040	40-50
Maderacre	58.0	10.0	20.0	1.7174	0.0040	50-60
Maderacre	90.0	15.0	20.0	6.2027	0.0040	90-100
Maderacre	46.0	14.0	20.0	1.5123	0.0040	40-50
Maderacre	37.0	14.0	20.0	0.9784	0.0040	30-40
Maderacre	63.0	15.0	22.0	3.0393	0.0040	60-70
Maderacre	66.0	26.0	30.0	5.7818	0.0040	60-70
Maderacre	60.0	22.0	21.0	4.0432	0.0040	60-70
Maderacre	60.0	14.0	19.0	2.5730	0.0040	60-70
Maderacre	30.0	18.0	21.0	0.8270	0.0040	30-40
Maderacre	62.0	14.0	20.0	2.7474	0.0040	60-70
Maderacre	69.0	14.0	20.0	3.4028	0.0040	60-70
Maderacre	63.0	15.0	21.0	3.0393	0.0040	60-70
Maderacre	31.0	12.0	16.0	0.5887	0.0040	30-40
Maderacre	58.0	14.0	17.0	2.4043	0.0040	50-60
Maderacre	92.0	16.0	28.0	6.9135	0.0040	90-100
Maderacre	70.0	21.0	29.0	5.2531	0.0040	70-80
Maderacre	86.0	14.0	22.0	5.2860	0.0040	80-90
Maderacre	34.0	14.0	21.0	0.8262	0.0040	30-40

Maderacre	80.0	15.0	22.0	4.9009	0.0040	80-90
Maderacre	53.0	14.0	19.0	2.0076	0.0040	50-60
Maderacre	35.0	9.0	12.0	0.5628	0.0040	30-40
Maderacre	71.0	15.0	20.0	3.8602	0.0040	70-80
Maderacre	47.0	12.0	19.0	1.3533	0.0040	40-50
Maderacre	34.0	25.0	30.0	1.4754	0.0040	30-40
Maderacre	83.0	20.0	25.0	7.0338	0.0040	80-90
Maderacre	43.0	15.0	20.0	1.4159	0.0040	40-50
Maderacre	66.0	12.0	18.0	2.6685	0.0040	60-70
Maderacre	32.0	11.0	14.0	0.5750	0.0040	30-40
Maderacre	35.0	12.0	16.0	0.7504	0.0040	30-40
Maderacre	68.0	16.0	23.0	3.7770	0.0040	60-70
Maderacre	34.0	15.0	18.0	0.8852	0.0040	30-40
Maderacre	50.0	11.0	29.0	1.4039	0.0040	50-60
Maderacre	50.0	12.0	30.0	1.5315	0.0040	50-60
Maderacre	30.0	12.0	15.0	0.5514	0.0040	30-40
Maderacre	40.0	20.0	25.0	1.6336	0.0040	40-50
Maderacre	80.0	15.0	17.0	4.9009	0.0040	80-90
Maderacre	70.0	15.0	20.0	3.7522	0.0040	70-80
Maderacre	70.0	15.0	20.0	3.7522	0.0040	70-80
Maderacre	70.0	18.0	23.0	4.5027	0.0040	70-80
Maderacre	45.0	15.0	19.0	1.5507	0.0040	40-50
Maderacre	34.0	14.0	17.0	0.8262	0.0040	30-40
Maderacre	71.0	16.0	19.0	4.1176	0.0040	70-80
Maderacre	63.0	12.0	20.0	2.4315	0.0040	60-70
Maderacre	70.0	15.0	20.0	3.7522	0.0040	70-80
Maderacre	51.0	11.0	14.0	1.4606	0.0040	50-60
Maderacre	60.0	12.0	15.0	2.2054	0.0040	60-70
Maderacre	106.0	16.0	26.0	9.1777	0.0040	más de 100
Maderacre	73.0	15.0	20.0	4.0808	0.0040	70-80
Maderacre	30.0	10.0	16.0	0.4595	0.0040	30-40
Maderacre	30.0	15.0	18.0	0.6290	0.0040	30-40
Maderacre	35.0	10.0	13.0	0.6254	0.0040	30-40
Maderacre	34.0	12.0	16.0	0.7082	0.0040	30-40
Maderacre	54.0	14.0	18.0	2.0841	0.0040	50-60
Maderacre	50.0	14.0	17.0	1.7868	0.0040	50-60
Maderacre	33.0	11.0	14.0	0.6115	0.0040	30-40
Maderacre	35.0	13.0	16.0	0.8130	0.0040	30-40
Maderacre	34.0	16.0	18.0	0.9442	0.0040	30-40
Maderacre	46.0	15.0	23.0	1.6204	0.0040	40-50
Maderacre	36.0	25.0	30.0	1.6541	0.0040	30-40
Maderacre	42.0	17.0	20.0	1.5309	0.0040	40-50
Maderacre	30.0	14.0	22.0	0.6432	0.0040	30-40
Maderacre	45.0	17.0	20.0	1.7574	0.0040	40-50
Maderacre	50.0	25.0	30.0	3.1907	0.0040	50-60
Maderacre	80.0	20.0	25.0	6.5345	0.0040	80-90
Maderacre	50.0	13.0	19.0	1.6592	0.0040	50-60
Maderacre	90.0	16.0	20.0	6.6162	0.0040	90-100
Maderacre	86.0	20.0	25.0	7.5515	0.0040	80-90
Maderacre	111.4	15.0	20.0	9.5046	0.0040	más de 100
Maderacre	70.0	15.0	18.0	3.7553	0.0040	70-80
Maderacre	48.0	20.0	25.0	2.3524	0.0040	40-50
Maderacre	60.0	25.0	30.0	4.5946	0.0040	60-70
Maderacre	100.0	16.0	28.0	8.1682	0.0040	más de 100
Maderacre	41.0	12.0	20.0	1.0298	0.0040	40-50
Maderacre	58.0	16.0	22.0	2.7478	0.0040	50-60
Maderacre	97.0	15.0	20.0	7.2051	0.0040	90-100
Maderacre	60.0	12.0	15.0	2.2054	0.0040	60-70
Maderacre	64.0	14.0	18.0	2.9275	0.0040	60-70
Maderacre	36.0	20.0	25.0	1.3232	0.0040	30-40
Maderacre	35.0	12.0	15.0	0.7504	0.0040	30-40
Maderacre	110.0	14.0	18.0	8.6480	0.0040	más de 100
Maderacre	75.0	20.0	28.0	5.7432	0.0040	70-80
Maderacre	112.0	21.0	27.0	13.4481	0.0040	más de 100
Maderacre	33.0	19.0	26.0	1.0563	0.0040	30-40
Maderacre	70.0	15.0	29.0	3.7522	0.0040	70-80
Maderacre	36.0	12.0	15.0	0.7939	0.0040	30-40

Maderacre	65.0	22.0	30.0	4.7452	0.0040	60-70
Maderacre	43.0	14.0	30.0	1.3215	0.0040	40-50
Maderacre	45.0	10.0	19.0	1.0338	0.0040	40-50
Maderacre	48.0	15.0	30.0	1.7643	0.0040	40-50
Maderacre	38.0	20.0	24.0	1.4744	0.0040	30-40
Maderacre	98.0	15.0	24.0	7.3544	0.0040	90-100
Maderacre	55.0	13.0	23.0	2.0076	0.0040	50-60
Maderacre	62.0	16.0	19.0	3.1398	0.0040	60-70
Maderacre	38.0	15.0	19.0	1.1058	0.0040	30-40
Maderacre	36.0	14.0	18.0	0.9263	0.0040	30-40
Maderacre	40.0	19.0	23.0	1.5520	0.0040	40-50
Maderacre	60.0	15.0	18.0	0.6290	0.0040	60-70
Maderacre	70.0	12.0	16.0	3.0018	0.0040	70-80
Maderacre	56.0	20.0	30.0	3.2019	0.0040	50-60
Maderacre	23.0	12.0	15.0	0.3241	0.0221	20-30
Maderacre	12.0	4.0	7.0	0.0294	0.0221	10-20
Maderacre	11.0	5.0	7.0	0.0309	0.0221	10-20
Maderacre	15.0	10.0	12.0	0.1149	0.0221	10-20
Maderacre	28.0	12.0	17.0	0.4803	0.0221	20-30
Maderacre	16.0	14.0	18.0	0.1830	0.0221	10-20
Maderacre	16.0	12.0	15.0	0.1568	0.0221	10-20
Maderacre	28.0	12.0	16.0	0.4803	0.0221	20-30
Maderacre	25.0	14.0	18.0	0.4467	0.0221	20-30
Maderacre	18.0	12.0	16.0	0.1985	0.0221	10-20
Maderacre	29.0	15.0	17.0	0.6440	0.0221	20-30
Maderacre	19.0	12.0	15.0	0.2212	0.0221	10-20
Maderacre	23.0	10.0	14.0	0.2701	0.0221	20-30
Maderacre	15.0	8.0	13.0	0.0919	0.0221	10-20
Maderacre	14.0	9.0	11.0	0.0901	0.0221	10-20
Maderacre	14.0	6.0	8.0	0.0600	0.0221	10-20
Maderacre	13.0	10.0	13.0	0.0863	0.0221	10-20
Maderacre	15.0	10.0	12.0	0.1149	0.0221	10-20
Maderacre	12.0	7.0	12.0	0.0515	0.0221	10-20
Maderacre	18.0	10.0	12.0	0.1654	0.0221	10-20
Maderacre	20.0	13.0	15.0	0.2655	0.0221	20-30
Maderacre	18.0	12.0	14.0	0.1985	0.0221	10-20
Maderacre	14.0	8.0	10.0	0.0800	0.0221	10-20
Maderacre	17.0	14.0	10.0	0.2066	0.0221	10-20
Maderacre	17.0	13.0	15.0	0.1918	0.0221	10-20
Maderacre	10.0	7.0	11.0	0.0357	0.0221	10-20
Maderacre	12.0	7.0	10.0	0.0515	0.0221	10-20
Maderacre	10.0	7.0	9.0	0.0357	0.0221	10-20
Maderacre	22.0	16.0	24.0	0.3953	0.0221	20-30
Maderacre	16.0	5.0	12.0	0.0653	0.0221	10-20
Maderacre	23.0	12.0	16.0	0.3241	0.0221	20-30
Maderacre	10.0	5.0	8.0	0.0255	0.0221	10-20
Maderacre	25.0	4.0	15.0	0.1276	0.0221	20-30
Maderacre	11.0	6.0	10.0	0.0371	0.0221	10-20

#### ANEXO 4: Galería fotográfica



Foto 1. Trozas de H. courbaril muestreadas en patio de trozas



Foto. Disco de H. courbaril de un árbol muestreado,



Foto 3. Cuña radial obtenida de un disco para pulido.



Foto 4. Herramientas para el pulido de las cuñas radiales de los discos



Foto 5. Escáner y computadora para la digitalización de las cuñas radiales pulidas.



Foto 6. Equipo de densitometría de rayos X Faxitron, del Laboratorio de Anatomía de la Madera. de la ESALQ, USP, Brasil.