

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



**“EVALUACIÓN DE LA DINAMICA DE CRECIMIENTO DE *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke MEDIANTE LA DENDROCRONOLOGÍA, EN BOSQUES NATURALES DE LAS PIEDRAS, MADRE DE DIOS”**

**TESIS PRESENTADO POR:**

Bachiller: ZAVALA CAHUANTICO, ROMEL

Bachiller: RODRÍGUEZ LOAYZA, LUZGARDO

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

**ASESOR:** Ing. VELA DA FONSECA, Mauro

**Co Asesor:** MSc. CHAMBI LEGOAS, Roger

**PUERTO MALDONADO, 2018**



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



**“EVALUACIÓN DE LA DINAMICA DE CRECIMIENTO DE *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke MEDIANTE LA DENDROCRONOLOGÍA, EN BOSQUES NATURALES DE LAS PIEDRAS, MADRE DE DIOS”**

**TESIS PRESENTADO POR:**

Bachiller: ZAVALA CAHUANTICO, ROMEL

Bachiller: RODRÍGUEZ LOAYZA, LUZGARDO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

**ASESOR:** Ing. VELA DA FONSECA, Mauro

**Co Asesor:** MSc. CHAMBI LEGOAS, Roger

**PUERTO MALDONADO, 2018**

## DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Timoteo y Leonarda por su constante apoyo y darme ánimos para salir adelante y culminar mis estudios, quienes fueron los que me enseñaron que la única forma de crecer es superándose día a día, a mis hermanos Gerson, Amelia, Giovanni, Jean mis sobrinos Nicol, Lizeth, Rosa quienes con su entusiasmo hicieron que nunca deje de luchar y a mi novia Marlene Torres Barreto que siempre estuvo diciéndome que tu si puedes y quien me acompañó en los momentos definitivos de este gran logro.

Con eterna gratitud a mis queridos padres Estanislao Rodríguez Ramos, Delia Loayza Galicia, y su constante apoyo en mi superación personal y profesional, a todos mis hermanos, mi esposa Sonia Baca Álvarez mi hijo Lían Lucas Rodríguez Baca todos por los que tuve que poner fuerzas para salir adelante y por supuesto a todos mis amigos que siempre me brindaron su apoyo.

## **AGRADECIMIENTO**

A dios por darme salud y fortaleza para poder culminar esta etapa en mi formación profesional.

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por abrirme las puertas de sus aulas y poder formarme como persona y profesional.

A mi asesor de Tesis Ing. Mauro Vela da Fonseca, por la orientación, revisión y culminación del presente trabajo de investigación.

A mi co-Acesor M.Sc Roger Chambi Legoas por su tiempo y su conocimiento en el tema que fue de mucha ayuda.

Al Dr. Gabriel Alarcón Aguirre por su apoyo en un momento determinante de la culminación del trabajo y posterior sustentación.

Al M.Sc Telesforo Vásquez Zavaleta porque en un inicio nos dijo como se debe de realizar el trabajo y también me inculco perseverancia.

A nuestros amigos M.Sc Wilberth Caviedes Contreras, M.Sc Jorge Cardozo Soarez y al Dr. Manuel Díaz Paredes por la confianza brindada desde un primer momento de presentación de la investigación.

A nuestros amigos Percy Caparo Manga, Hanny Sanchez Romero, Segundo Pepe Vásquez Cabrejos, Silvia Carhuarupay Espejo, Einer Zegarra Perez, Jorge Ricalde Tohalino, Jair Rengifo Rodríguez, quienes siempre tuvieron palabras de aliento.

Al Ing. Mauro Vela da Fonseca por su asesoramiento, dirección y enseñanza para sacar adelante nuestro trabajo.

Al M.Sc Roger Chambi Legoas co-asesor de quien aprendí mucho para esta nueva etapa profesional que recién empieza.

Al Dr. Gabriel Alarcón Aguirre, M.Sc Telesforo Vasquez Zavaleta, al jurado M.Sc Wilberth Caviedes Contreras, M.Sc Jorge Cardozo Soarez, Dr. Manuel Diaz Paredes por su amistad y correcto profesionalismo a la hora de evaluar la tesis.

A todas las personas que de una u otra manera estuvieron conmigo dándome ánimos y apoyo moral para culminar con nuestra investigación.

## PRESENTACIÓN

En un contexto, donde los estudios de modelamiento del crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke son escasos a pesar de la importancia comercial de la especie, y en vista de la enorme dificultad de obtención de datos por el método de monitoreo anual de parcelas permanentes de muestreo (largos periodos de tiempo necesario), nació la idea de utilizar las bondades de la dendrocronología como herramienta para la reconstrucción del crecimiento secundario de la especie, y a partir de ésta, la generación de modelos que ayuden a identificar las mejores estrategias para el aprovechamiento sostenibles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Así la presente investigación de Tesis de grado, busca aportar información valiosa para la toma de decisiones de parte de los manejadores y autoridades del sector forestal.

La presente Tesis, es fruto de un enorme esfuerzo por parte de los tesisistas y asesores, que esperamos sirva de referencia para el desarrollo de mayor número de investigaciones en las demás especies forestales. Dudas, críticas y sugerencias con certeza son valiosos para la mejora de este tipo de investigación.

## RESUMEN

El objetivo del estudio es evaluar el crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), mediante técnicas dendrocronológicas, siguiendo la metodología estandarizada. Posteriormente, se obtuvieron imágenes digitalizadas de alta resolución para la identificación y medición del ancho de los anillos de crecimiento con el Software Image Pro Plus. Con estos datos se construyeron las series cronológicas mediante la técnica de datación cruzada "crossdating".

Los resultados mostraron que la edad de los árboles fue en promedio 60,1 años, variando de 50 a 75 años de edad. Asimismo, el DAP promedio fue 61,89 cm, variando desde 38,13 hasta 85,16 cm. No existió correlación significativa entre el diámetro y la edad de los árboles. El coeficiente de intercorrelación entre las series cronológicas individuales y la serie maestra, fue de 0,34, alcanzando el valor de intercorrelación crítica.

En contraste, las correlaciones entre el crecimiento y la precipitación, fue apenas significativa en noviembre (inicio de estación lluviosa), afectando positivamente el crecimiento; así como en el mes de junio (inicio de la estación seca) afectando negativamente el crecimiento.

El modelo Richards fue el más adecuado para la estimación del DAP ( $R^2$  adj = 0,88 y SEE = 7,01 cm), así como para el área basal ( $R^2$  adj = 0,80 y SEE = 535,08 cm<sup>2</sup>). Los árboles tardaron, en promedio, 59 años para alcanzar el diámetro mínimo de corte (61 cm).

La población de árboles evaluada, tendría un turno silvicultural de 120 años, edad que alcanza su máximo IMA-g (65,33 cm<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>).

**Palabras claves:** Diámetro mínimo de corte; turno de corte; anillos de crecimiento; modelos de crecimiento.

## ABSTRACT

The objective of the study is to evaluate the growth of *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), using dendrochronological techniques, following the standardized methodology. Subsequently, high resolution digital images were obtained for the identification and measurement of the width of the growth rings with the Image Pro Plus Software. With these data, the chronological series were constructed using the "crossdating" cross dating technique.

The results showed that the age of the trees was on average 60.1 years, varying from 50 to 75 years of age. Likewise, the average DAP was 61.89 cm, varying from 38.13 to 85.16 cm. There was no significant correlation between diameter and age of the trees. The coefficient of intercorrelation between the individual chronological series and the master series was 0.34, reaching the critical intercorrelation value.

In contrast, the correlations between growth and precipitation were barely significant in November (beginning of the rainy season), positively affecting growth; as well as in the month of June (beginning of the dry season) negatively affecting growth.

The Richards model was the most suitable for the estimation of the DAP ( $R^2$  adj = 0.88 and SEE = 7.01 cm), as well as for the basal area ( $R^2$  adj = 0.80 and SEE = 535.08 cm<sup>2</sup>). The trees took, on average, 59 years to reach the minimum cutting diameter (61 cm).

The population of trees evaluated, would have a silvicultural shift of 120 years, age that reaches its maximum IMA-g (65.33 cm<sup>2</sup> year<sup>-1</sup>).

**Keywords:** Minimum cutting diameter; cutting shift; growth rings; growth models.



## INTRODUCCIÓN

Desde que fue adoptado el modelo de manejo forestal mediante el sistema de concesiones en los bosques naturales de la Amazonía Peruana, en el año 2000, se han implantado regulaciones para reducir los impactos en el bosque para asegurar un manejo forestal sostenible. En este sistema las especies maderables son cortadas en ciclos de corta de 20 años, además se han establecido diámetros mínimos de corta (DMC) de 45 cm de dap (diámetro a la altura del pecho) en la mayoría de las especies; sin embargo estas regulaciones del manejo forestal, mantenidas hasta el momento, no son sostenibles a largo plazo (López, Villalba y Bravo 2013) y fueron diseñadas para un retorno económico a corto plazo, además no toman en cuenta la diferencia de la tasa de crecimiento entre las especies de la Amazonía (Brienen y Zuidema 2005), que, de ser considerados podrían establecerse ciclos de corta y diámetros mínimos adecuados que aseguren la sostenibilidad de los bosques en un largo plazo.

*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, es una de las especies más aprovechadas en los bosques de producción permanente de Madre de Dios; a nivel nacional esta especie se ubica en el segundo lugar en cuanto a volumen aserrado, con una producción de 98 428,71 m<sup>3</sup> en el año 2015 (SERFOR 2016).

Debido a la intensiva extracción de esta especie, sus poblaciones están siendo mermadas. Conseguir la recuperación de sus poblaciones involucra, entre otros factores, el aprovechamiento sostenible de estas especies; esto a su vez demanda el entendimiento de la dinámica de crecimiento (Martínez 2015), entendida como la tasa de crecimiento de la especie y su variación entre diferentes sitios y/o tipos de bosque de la amazonia.

Conocer la tasa de crecimiento a lo largo del periodo de vida del árbol permite la estimación del turno silvicultural, ciclo de corta y DMC óptimos (Lieberman y Lieberman 1985). Actualmente el desconocimiento del crecimiento de la mayoría de las especies ha llevado a la adopción de turnos muy cortos, afectando seriamente la regeneración natural de las especies. Además, información de las relaciones de las condiciones de sitio y clima con características del crecimiento de la especie (Dünisch, Bauch y Gasparotto 2002), son necesarias para el

establecimiento y manejo exitoso de plantaciones de especies nativas tales como de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Las plantaciones, actualmente son consideradas como principal estrategia para disminuir la presión en los bosques naturales sin comprometer el abastecimiento de madera de calidad (Lamprecht 1990).

La determinación de la tasa de crecimiento demanda el monitoreo periódico del incremento del diámetro de los individuos, en un amplio intervalo de tiempo, este tipo de datos es casi inexistente en las empresas concesionarias forestales e instituciones académicas y de investigación. Para salvar este vacío de datos la dendrocronología se muestra como una ciencia que permite la obtención de información del crecimiento y edad del árbol, mediante la evaluación de los anillos de crecimiento; investigaciones previas han demostrado que *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke forma anillos de crecimiento anuales bien diferenciados (Campos 2009; Tomazello Filho, Roig y Zevallos Pollito 2009), y por tanto, la evaluación de los anillos de crecimiento puede ser altamente precisa para determinar la tasa de crecimiento y edad de la especie. Asimismo, la dendrocronología es un método alternativo y de gran utilidad comparado con el método de parcelas permanentes de muestreo, para determinación de tasas de crecimiento de árboles (Brienen y Zuidema 2003).

## INDICE

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	16
1.1. Descripción del problema .....	16
1.2. Formulación del problema .....	17
1.3. Objetivos .....	17
1.4. Variables .....	18
1.5. Operacionalización de variables.....	19
1.6. Justificación .....	20
1.7. Consideraciones éticas .....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes .....	22
2.2. Marco teórico.....	25
2.3. Definición de términos .....	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	34
3.1. Tipo de estudio.....	34
3.2. Diseño del estudio.....	34
3.3. Población y Muestra .....	34
3.4. Métodos y técnicas.....	35
3.5. Tratamiento de los datos .....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	42
4.1. Caracterización de los anillos de crecimiento.....	42
4.2. Serie cronológica y relación del crecimiento con el clima.....	44
4.3. Modelos de crecimiento, ICA e IMA del diámetro a la altura del pecho (DAP).....	51
4.4. Modelos de crecimiento, ICA e IMA del área basal (g).....	60
CONCLUSIONES .....	70
SUGERENCIAS.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS.....	76

## INDICE DE TABLAS

## Página

Tabla 1: Operacionalización de las variables .....	17
Tabla 2: Operacionalización de las variables .....	19
Tabla 3: Coordenadas de delimitación de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06. ....	35
Tabla 4: Edad y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles muestreados de <i>Cedrelinga cateniformis</i> , estimados a partir de la medición de los anillos de crecimiento. ....	44
Tabla 5: Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiana (BIC) de los modelos del diámetro a la altura del pecho (DAP), para la selección del mejor modelo. ....	56
Tabla 6: Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiana (BIC) de los modelos del área basal (g), para la selección del mejor modelo. ....	66

## INDICE DE FIGURAS

## Página

Figura 1: Series de crecimiento de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en Genaro Herrera, Loreto, Perú. Fuente: Campos (2009). ....	23
Figura 2: Coeficientes de correlación entre las series cronológicas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> , en Riberalta, Bolivia vs. La precipitación. Fuente: Brienen y Zuidema (2005). ....	23
Figura 3: Relacion entre la edad (eje horizontal) y el diámetro (eje vertical), en bosques de Riberalta, Bolivia. Fuente: Brienen y Zuidema (2003)....	24
Figura 4: Anillos de crecimiento de árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en Genaro Herrera, Loreto. Fuente: Campos (2009).....	28
Figura 5: Vista macroscópica de un anillos de crecimiento de <i>Cedrelinga cateniformis</i> , en Riberalta, Bolivia. Fuente: Brienen y Zuidema (2005).28	
Figura 6: Mapa Base y de Ubicación de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06. Fuente: Córdova (2016).....	36
Figura 7: Realizando el pulido de las muestras.....	37
Figura 8: Medición de los anillos de crecimiento con el programa Image Pro Plus. ....	38
Figura 9: Posibles maneras para elección de radios para identificación y medición de anillos de crecimiento en un disco. Fuente: Brienen y Zuidema (2003). ....	38
Figura 10: Detalle de los anillos de crecimiento de <i>Cedrelinga cateniformis</i> . El límite de los anillos de crecimiento es indicado con seta negra. Setas rojas indican anillos de crecimiento falsos. ....	43
Figura 11: Muestra de la sección transversal de un árbol, revelando anillos de crecimiento en cuña (indicado por los círculos amarillos) que se juntan y separan drásticamente en diversos puntos de su circunferencia. ....	43
Figura 12: Correlación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la edad de los árboles de <i>Cedrelinga cateniformis</i> . Valor de $p > 0,05$ indica coeficiente de correlación no significativo.....	45
Figura 13: Ancho de los anillos de crecimiento (incremento radial anual) de 20 árboles muestreados. ....	46
Figura 14: Resultados de intercorrelación de las series de crecimiento con la serie maestra, en el programa COFECHA. ....	46
Figura 15: Estandarización de la serie cronológica, que elimina los efectos de las tendencias de crecimiento (la tasa de crecimiento varía según la edad) y otros efectos ecológicos (competencia inter e intra específica, etc)..	47
Figura 16: Precipitación y temperatura media mensual de los últimos 10 años (2010-2017), obtenidos de la estación meteorológica Puerto Maldonado, Madre de Dios. ....	48

- Figura 17: Coeficiente de correlación de Pearson entre la serie cronológica estandarizada y la temperatura media mensual (a), y la precipitación acumulada mensual (b). Los datos de temperatura y precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica. Puerto Maldonado, Madre de Dios, analizando datos disponibles desde 1960 hasta 2017. Barras más oscuras indican coeficientes de correlación significativos ( $p < 0,05$ )... 51
- Figura 18: Diagrama de caja o "boxplot" de la distribución de las observaciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles, a los 50 años de edad..... 52
- Figura 19: Modelo de crecimiento "Gompertz", ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 53
- Figura 20: Modelo de crecimiento "Logístico", ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 54
- Figura 21: Modelo de crecimiento "Richards", ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 55
- Figura 22: Curvas de crecimiento observadas, y curva de crecimiento del modelo "Richards 1", de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. DMC se refiere al diámetro mínimo de corte para la especie *Cedrelinga cateniformis* (61 cm). Las líneas rojas puntuada y sólida, indican la edad mínima y la edad promedio a la que los árboles alcanzan el DMC..... 57
- Figura 23: Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) del diámetro a la altura del pecho (dap), construidos a partir de la curva de crecimiento del modelo "Richards" (mejor modelo). La vertical puntuada indica la edad promedio a la que los árboles alcanzan el máximo IMA dap (33 años). .... 58
- Figura 24: Diagrama de caja o "boxplot" de la distribución de las observaciones del área basal de los árboles, a los 50 años de edad..... 61
- Figura 25: Modelo de crecimiento "Gompertz", ajustado a las observaciones de área basal (g) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 62
- Figura 26: Modelo de crecimiento "Logístico", ajustado a las observaciones de área basal (g) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 63
- Figura 27: Modelo de crecimiento "Richards 2", ajustado a las observaciones de área basal (g) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal,

distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. .... 64

Figura 28: Comparación de la simulación del crecimiento en área basal de los árboles, hasta los 150 años de edad, entre los modelos “Richards”, “Logístico” y “Gompertz” ..... 66

Figura 29: Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) del área basal (g), construidos a partir de la curva de crecimiento del modelo “Gompertz” (a), modelo “Logístico” (b) y modelo “Richards 2” (c). Las líneas verticales puntuadas indican la edad promedio a la que los árboles alcanzan el máximo IMA g, es decir el tiempo de turno silvicultural óptima. .... 67

## CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, es una de las especies más aprovechadas en los bosques de producción permanente de Madre de Dios; a nivel nacional esta especie se ubica en el segundo lugar en cuanto a volumen aserrado, con una producción de 98 428,71 m<sup>3</sup> en el año 2015 (SERFOR 2016). Debido a la intensiva extracción de esta especie, sus poblaciones están siendo mermadas. Conseguir la recuperación de sus poblaciones involucra, entre otros factores, el aprovechamiento sostenible de estas especies; esto a su vez demanda el entendimiento de la dinámica de crecimiento (Martínez 2015), entendida como la tasa de crecimiento de la especie y su variación entre diferentes sitios y/o tipos de bosque de la amazonia. El desconocimiento de la dinámica de crecimiento ha llevado a inadecuados planes de manejo de especies comerciales tropicales, con turnos de corta muy cortos, afectando seriamente el ciclo natural de regeneración de las especies. Por otra parte el establecimiento de plantaciones nativas se constituye como estrategia para disminuir la presión en los bosques naturales sin comprometer el abastecimiento de madera de calidad (Lamprecht 1990); sin embargo, para su éxito, es necesario información de las relaciones de las condiciones de sitio y variables meteorológicas con características del crecimiento de las especies (Dünisch, Bauch y Gasparotto 2002).

La determinación de la tasa de crecimiento demanda el monitoreo periódico del incremento del diámetro de los individuos, en un amplio intervalo de tiempo, este tipo de datos es casi inexistente en las empresas concesionarias forestales e instituciones académicas y de investigación. Para salvar este vacío de datos la dendrocronología se muestra como una ciencia que permite la obtención de información del crecimiento y edad del árbol, mediante la evaluación de los



anillos de crecimiento; investigaciones previas han demostrado que *Cedrelinga cateniformis*(Ducke) Ducke, forma anillos de crecimiento anuales bien diferenciados (Campos 2009; Tomazello Filho, Roig y Zevallos Pollito 2009), y por tanto, la evaluación de los anillos de crecimiento puede ser altamente precisa para determinar la tasa de crecimiento y edad de la especie. Asimismo, la dendrocronología es un método alternativo y de gran utilidad comparado con el método de parcelas permanentes de muestreo, para determinación de tasas de crecimiento de árboles (Brienen y Zuidema 2003).

## 1.2. Formulación del problema

En este contexto, la investigación pretende responder las siguientes preguntas:

- ¿Cómo es el crecimiento de *Credelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, en los bosques naturales?
- ¿Cómo afecta la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Credelinga cateniformis*?

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Problema:	¿Cómo es la relación de la dinámica del crecimiento de <i>Credelinga cateniformis</i> con el clima y la edad?						
Variables:	Variable 1: Clima y edad			Variable 2: Dinámica del crecimiento			
Sub-variables:	Sub-Var. 1.1: Precipitación	Sub-Var. 1.2: Temperatura	Sub-Var. 1.3: Edad	Sub-Var. Tasa de crecimiento	2.1: de Variabilidad	Sub-Var. 2.2: del crecimiento	

## 1.3. Objetivos

### Objetivo General

Evaluar el crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, mediante técnicas de dendrocronología.

### Objetivos específicos

1. Caracterizar los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

2. Evaluar la relación del crecimiento radial de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke con la variabilidad meteorológica intra anual.
3. Construir modelos de crecimiento del DAP y área basal de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.
4. Construir las curvas del incremento corriente anual del DAP (ICA-DAP) e incremento medio anual del DAP (IMA-DAP) a partir del mejor modelo de crecimiento del DAP.
5. Construir las curvas del incremento corriente anual del área basal (ICA-g) e incremento medio anual del área basal (IMA-g) a partir del mejor modelo de crecimiento del área basal.

#### 1.4. Variables

##### **Variables dependientes:**

**Crecimiento en diámetro:** Es el incremento en diámetro de los individuos.

Indicadores:

- Incremento medio anual del diámetro (IMA-DAP): Calculado mediante la medición del ancho de los anillos de crecimiento y el número de anillos de crecimiento, en mm año<sup>-1</sup>.
- Incremento corriente anual del diámetro (ICA-DAP): Calculado mediante la medición del ancho de cada anillo, en mm.

**Crecimiento en área basal:** Es el incremento en área basal de los individuos.

Indicadores:

- Incremento medio anual del diámetro del área basal (IMA-g): Calculado mediante la medición del área de los anillos de crecimiento y el número de anillos de crecimiento, en cm<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>.
- Incremento corriente anual del área basal (ICA-g): Calculado mediante la medición del área de cada anillo, en cm.

**Rendimiento en diámetro, o incremento acumulado del diámetro:** Es la sumatoria de los incrementos en diámetro, o el diámetro total del árbol a una determinada edad.

**Rendimiento en área basal, o incremento acumulado del área basal:** Es la sumatoria de los incrementos en área basal, o el área basal del árbol a una determinada edad.

**Variables independientes:**

**Edad:** Número de años de vida del árbol.

Indicadores:

- Número de anillos de crecimiento: Número de camadas de crecimiento del xilema, cuando su formación es anual.

**Variabilidad meteorológica intranual:** Es la variación de la magnitud de las variables meteorológicas dentro del año, es decir la magnitud media de precipitación, temperatura y otros, en cada mes del año.

Indicadores:

- Precipitación mensual: Precipitación en mm en un determinado mes del año.  
 - Temperatura mensual: Temperatura media en mm en un determinado mes del año.

### 1.5. Operacionalización de variables

Tabla 2: Operacionalización de las variables

Objetivos	Variables		Subvariables	Unidad de medida
Construir las curvas del incremento corriente anual del DAP (ICA-DAP) e incremento medio anual del DAP (IMA-DAP) a partir del mejor modelo de crecimiento del DAP	Variables dependientes	Crecimiento en diámetro	Incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP)	cm año <sup>-1</sup>
			Incremento corriente anual del diámetro a la altura del pecho (ICA-DAP)	cm
			Rendimiento del diámetro a la altura del pecho	cm
	Variables independientes	Edad	-	año
Construir las curvas del incremento corriente anual del	Variables dependientes	Crecimiento en área basal	Incremento medio anual del diámetro del área basal (IMA-g)	cm <sup>2</sup> año <sup>-1</sup>

área basal (ICA-g) e incremento medio anual del área basal (IMA-g) a partir del mejor modelo de crecimiento del área basal.			Incremento corriente anual del área basal (ICA-g)	cm <sup>2</sup>
			Rendimiento del área basal	cm <sup>2</sup>
	Variables independientes	Edad	-	año
Construir modelos de crecimiento del dap y área basal.	Variables dependientes	Crecimiento en diámetro	Incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP)	cm año <sup>-1</sup>
			Incremento corriente anual del diámetro a la altura del pecho (ICA-DAP)	cm
		Crecimiento en área basal	Incremento medio anual del diámetro del área basal (IMA-g)	cm <sup>2</sup> año <sup>-1</sup>
			Incremento corriente anual del área basal (ICA-g)	cm <sup>2</sup>
	Variables independientes	Edad	-	año
Evaluar la relación del crecimiento radial de los árboles de <i>Credelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke, con la variabilidad meteorológica intra anual.	Variables dependientes	Crecimiento en diámetro	Incremento corriente anual del diámetro a la altura del pecho (ICA-DAP)	cm
	Variables independientes	Edad	Diámetro medido a 1,3 m de altura sobre la superficie del suelo	año
		Variabilidad meteorológica intra-anual	Precipitación mensual	mm
			Temperatura mensual	°C

## 1.6. Justificación

*Credelinga cateniformis*(Ducke) Duche, es una de las especies más extraídas de los bosques tropicales de la Amazonía Peruana, para la producción y comercialización en el mercado interno como madera aserrada (SERFOR 2016), por lo cual sus poblaciones están siendo considerablemente mermadas. La madera de esta especie es de alta calidad por su durabilidad, fácil trabajabilidad y veteado, muy utilizada para la fabricación de muebles, puertas y ventanas (ITTO 2018). Información de la dinámica de crecimiento de *Credelinga*

cateniformis es importante para realizar proyecciones del potencial de volumen de madera en las concesiones forestales, así como para proyecciones de la productividad en plantaciones forestales. Este tipo de información es aún escaso en los bosques tropicales de la Amazonía Peruana, e inexistente para bosques de Madre de Dios. Conocer el crecimiento de *Credelia cateniformis* (Ducke) es necesario para la formulación de planes de manejo más realistas (diámetro mínimo de corta, ciclos de corta y turnos de corta reales). Asimismo, esta información es de utilidad práctica para el establecimiento exitoso de plantaciones forestales de *Credelia cateniformis* (Ducke) Ducke.

Por otro lado, el estudio también toma importancia por la utilización de técnicas alternativas no destructivas como la dendrocronología, para aplicación en manejo forestal, ciencia que tiene mucho potencial para la reconstrucción del crecimiento y de la ecología de las especies tropicales de la Amazonía (Brienen y Zuidema 2003).

### **1.7. Consideraciones éticas**

El trabajo de investigación, se enmarcó dentro de los principios éticos en el aspecto social, ambiental y de seguridad personal.

Los discos de leño se extrajeron con el consentimiento de los concesionarios de la Concesión Castañera, asimismo se solicitó una autorización a la Dirección Regional Forestal y de Fauna Silvestre para el transporte de las muestras.

Al tratarse de una concesión castañera, está permitido el aprovechamiento maderable hasta un cierto límite, siendo que las muestras se extrajeron de árboles apeados que cuentan con permiso de aprovechamiento. De esta forma, el trabajo de investigación no generó impacto negativo adicional en los bosques de la concesión.

Finalmente, en el aspecto de seguridad personal, se tomaron las medidas necesarias, mediante el uso de equipos de protección personal tales como cascos, guantes, botas entre otros, durante la extracción de las muestras. El corte de las muestras lo realizó el personal de la concesión castañera entrenado en el apeado y trozado de los árboles.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Dendrocronología de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke**

Estudios en árboles de *Cedrelinga cateniformis*(Ducke) Ducke mostraron que ésta especie desarrolla anillos de crecimiento diferenciados con cierta dificultad, demarcados por el contraste de leño temprano y leño tardío (Brienen y Zuidema 2003), así como por una zona fibrosa conformada por una serie de fibras con lumen estrecho y paredes espesas y menor frecuencia de vasos (Campos 2009). A pesar de la anualidad de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, presenta frecuentemente anillos falsos y región medular de difícil diferenciación de anillos de crecimiento (Brienen y Zuidema 2003).

En un estudio en la Estación Experimental Genaro Herrera, Loreto, con 35 árboles provenientes de plantaciones forestales y de bosque natural, se construyeron series cronológicas con 22 de los 35 árboles (Figura 1), logrando altos coeficientes de intercorrelación de las series con la serie maestra, entre 0,56 a 0,69, indicando una señal común de crecimiento de los árboles (Campos 2009).

Correlaciones de las cronologías y la precipitación mensual, revelaron una influencia significativa de la precipitación en los meses de enero, abril y mayo, en el crecimiento, en el ancho de los anillos de crecimiento; mientras que la temperatura no influyó significativamente en el crecimiento de los árboles (Campos 2009). El autor determinó además que en el bosque natural la edad de los árboles varió entre 12 a 80 años.

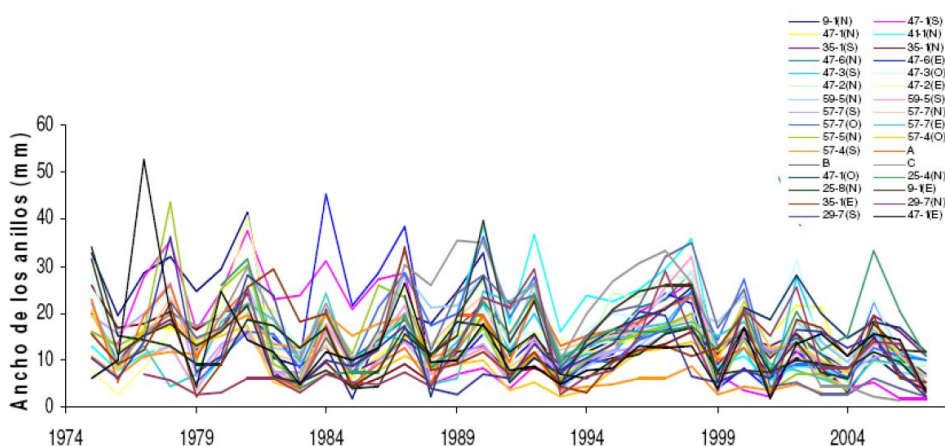


Figura 1: Series de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* en Genaro Herrera, Loreto, Perú. Fuente: Campos (2009).

En otro estudio en Riberalta, Bolivia, realizado por Brienen y Zuidema (2005) con 31 árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke de bosques naturales, la distinción de los anillos de crecimiento fue difícil, debido a que los anillos de crecimiento presentaban variaciones de densidad intra anuales, confundiéndose con los límites anuales de los anillos. Debido a esto, apenas 15 árboles fueron descartados para el análisis dendrocronológico, obteniéndose bajo coeficiente de inter-correlación de las series cronológicas (0,29). No obstante, el crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Duque) Ducke, se correlacionó significativamente con la precipitación durante la transición de la estación seca a la lluviosa así como durante la estación lluviosa temprana (Figura 2) (Brienen y Zuidema, 2005). La edad máxima de los árboles fue de 123 años.

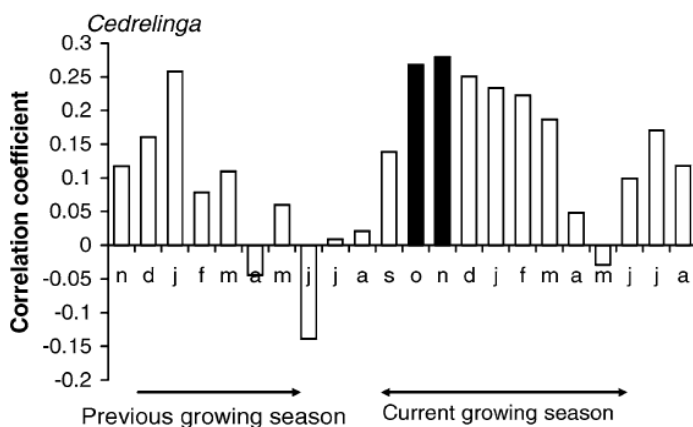


Figura 2: Coeficientes de correlación entre las series cronológicas de *Cedrelinga cateniformis*, en Riberalta, Bolivia vs. La precipitación. Fuente: Brienen y Zuidema (2005).

### 2.1.2. Ritmo de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis*

Los estudios dendrocronológicos, no sólo dan información de la edad y relación del crecimiento con el clima, sino también información confiable del ritmo de crecimiento de los árboles (Worbes 1995).

*Cedrelinga cateniformis* es considerada una especie de rápido crecimiento (Brienen y Zuidema, 2006; Brienen y Zuidema, 2003; Campos, 2009); árboles adultos de esta especie de entre 12 a 80 años, creciendo en bosques naturales alcanzan un incremento medio anual (IMA) del DAP de 1,84 cm año<sup>-1</sup> en Genaro Herrera, Loreto (Campos 2009). Similarmente, en Riberalta, Bolivia árboles con más de 100 años, con DAP de entre 30 cm a 60 cm crecen a un ritmo de 1,55 cm año<sup>-1</sup>, árboles de menor clase diamétrica crecen entre 0,5 cm año<sup>-1</sup> a 1 cm año<sup>-1</sup>, y árboles de mayor clase diamétrica crecen a 1,4 cm año<sup>-1</sup> aproximadamente (Brienen y Zuidema, 2006). Algunos árboles de *Cedrelinga cateniformis* con DAP >32 cm, pueden alcanzar su diámetro mínimo de corta dentro de 20 años, y la mayoría alcanza aproximadamente 100 cm de diámetro en 100 años de crecimiento (Figura 3). Después del primer ciclo de corta (20 años) se calcula que ésta especie puede lograr un rendimiento de 1,15 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de madera (Brienen y Zuidema, 2006).

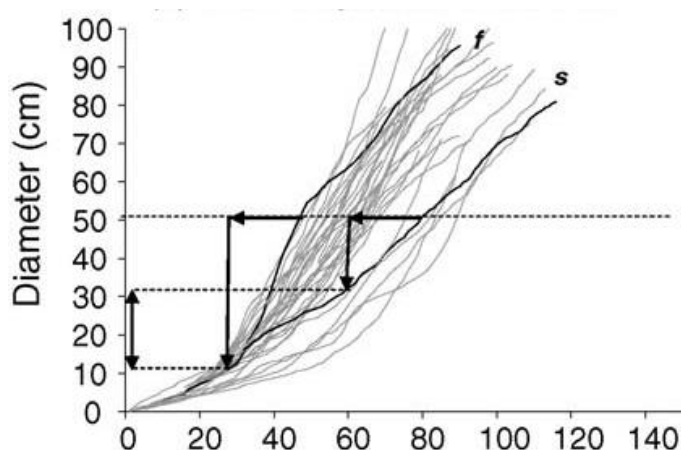


Figura 3: Relación entre la edad (eje horizontal) y el diámetro (eje vertical), en bosques de Riberalta, Bolivia. Fuente: Brienen y Zuidema (2003)

En Genaro Herrera, Loreto, en plantaciones forestales, *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke alcanza un DAP promedio de 35,8 cm y una altura promedio de



26,4 m a los 20 años de edad; con un IMA DAP de 1,96 cm/ año, tendiendo a formar fustes rectos (Flores 2011).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Dendrocronología**

La dendrocronología es la ciencia de análisis de los anillos de crecimiento de los árboles, deriva del prefijo griego dendron que significa “árbol” y chronos que significa “tiempo”, por tanto la dendrocronología trata de la historia del crecimiento del árbol, en base a los anillos radiales de crecimiento producido anualmente para producir información sobre el pasado (Cook, Cook y R. 2006). La ciencia moderna de la dendrocronología se inició con las primeras investigaciones del astrónomo Andrew E. Douglas, quien es considerado como padre de la dendrocronología, en 1904 Douglas buscaba conocer los efectos de las manchas solares sobre el clima, encontrando en los anillos de los árboles una fuente sustituta del registro del clima. No fue hasta 1912 que notó las dos mayores implicancias de sus descubrimientos, el primero fue que el crossdating puede ser usado como una herramienta cronológica para identificar el año calendario exacto en que los anillos de crecimiento fueron producidos mediante el estudio de los patrones de anillos anchos y estrechos, la segunda implicación del hallazgo de Douglass fue que los patrones del ancho de los anillos mismos representan un registro de las condiciones ambientales sobre una región (Fritts 1976).

Los anillos de crecimiento de los árboles son influenciados por la variabilidad de las estaciones climáticas, produciendo alternancia de condiciones favorables y desfavorables afectando la actividad cambial. El cambium vascular, responsable por el crecimiento de en diámetro del tronco de los árboles alterna periodos de mayor actividad y de latencia, induciendo diferencias en las dimensiones de las células que forman los anillos de crecimiento (Fritts 1976). En el periodo de mayor actividad, el cambium produce células de mayor diámetro del lumen y pared celular delgada, llamado también leño temprano; en el de menor actividad o latencia, el cambium origina células de pared más gruesa y menor diámetro del lumen, llamado también leño tardío (Bowyer, Shmulsky y Haygreen 2007).

La dendrocronología se basa en el principio en el cual los árboles se desarrollan en condiciones ecológicas similares, presentan sincronismo en el ancho de los anillos de crecimiento formados en su tronco, permitiendo la determinación de su edad y la sincronización de los años de formación por cada anillo de crecimiento (Brown 2003).

Según Fritts (1976), las técnicas de la dendrocronología son aplicadas a una variedad de problemas del ambiente y clima, la dendrocronología puede ser dividida en subcampos, como dendroclimatología que hace referencia a las investigaciones dendrocronológicas de los climas del presente y del pasado, la dendroclimatografía que aplica los análisis de los anillos de los árboles al mapeo de climas pasados y presentes. Similarmente la dendroecología, dendrohidrología, y dendrogeomorfología que se refieren, respectivamente, a la aplicación de la dendrocronología en el estudio de comunidades bióticas pasadas, historia de caudal de los ríos e inundaciones, y procesos geomórficos. Existen más subcampos que pueden ser citados, como la dendroquímica, dendroarqueología, dendroglaciología, dendroentomología, etc (Tomazello Filho y Botosso 2001).

### **2.2.2. Descripción, distribución y hábitat de *Cedrelinga cateniformis***

ITTO (2018) describe a *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke como:

Árbol de porte alto de la Amazonía, de 30 a 48 m de altura y con tronco de hasta 2 m de diámetro de fuste; copa irregular, la corteza es rugosa. Hojas bipinnadas con peciolo largo; folíolos de hasta 4 pares, opuestos con peciolo corto; limbo foliar frecuentemente asimétrico de ápice acuminado, penninervia, venoso-reticulada, longitud de aproximadamente 12 cm y ancho entre 6 -6,5 cm. Inflorescencia terminal en las axilas superiores, raquis entre nudos alternos, tubo-pubescentes. Flores en capítulos paucifloros, de 8 mm de diámetro, sésiles, con cáliz sub-glabro; corola pardo-verde-amarillenta. El fruto es una vaina-péndulo, indehiscente de base estipitada formando largas cadenas planas, oblongo-ovoides, sin embargo, retorcidas en las articulaciones, con el artículo terminal casi siempre abortado, reticulado-venoso; cuando están maduros se separan en las articulaciones y son llevados a grandes distancias por el viento.

Su hábitat natural, son los lugares húmedos e inclusive pantanosos con espesas cantidades de materia orgánica, se da en los bosques de tierra firme de preferencia en los nacimientos de agua y en el curso superior de riachuelos, en las márgenes bajas de los corrientes en terrenos arcillosos (ITTO 2018). Reynel et al. (2003) menciona que crece en altitudes de hasta 1 200 msnm, en áreas de pluviosidad elevada y constante; es una especie con tendencia esciófita, presente en bosques primarios, en suelos arcillosos, usualmente ácidos, en zonas bien drenadas y con pedregosidad baja o nula.

### **2.2.3. Características de la madera y de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.**

En condición seca al aire, el duramen es de color rosáceo-rojizo a beige-rosado o verdoso, y albura más clara y lustrosa, de grano recto y textura gruesa y olor perceptible y desagradable cuando la madera está húmeda, e imperceptible cuando la madera está seca (ITTO 2018).

De acuerdo con ITTO (2018) anatómicamente la especie tiene parénquima axial visible apenas con aumento, paratraqueal vasicéntrico y aliforme los angular de expansiones cortas; radios visibles apenas con aumento en el plano transversal y en el plano tangencial, donde se observa a simple vista reticulado como un tipo de estratificación, finos; los vasos son visibles a simple vista y grandes, pocos, con disposición difusa, solitarios y múltiples, vacíos; anillos de crecimiento son indistintos.

Presenta anillos de crecimiento diferenciados demarcados por el contraste de leño temprano y leño tardío (Brienen y Zuidema 2003), así como por una zona fibrosa conformada por una serie de fibras con lumen estrecho y paredes espesas y menor frecuencia de vasos (Figura 4 y Figura 5) (Brienen y Zuidema, 2006<sup>a</sup>; Campos, 2009).

Investigaciones dendrocronológicas con esta especie demostraron que los anillos de crecimiento formados en árboles adultos son anuales (Brienen y Zuidema, 2005, 2006<sup>a</sup>; Brienen y Zuidema, 2003; Campos, 2009; Mario Tomazello Filho et al., 2009).

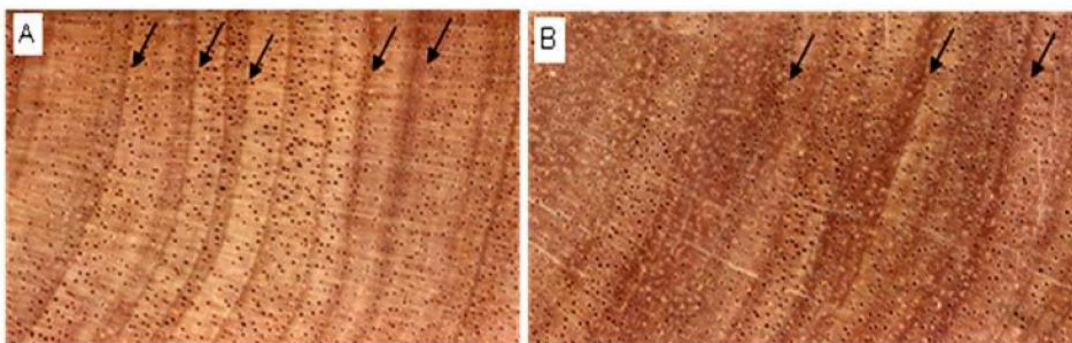


Figura 4: Anillos de crecimiento de árboles de *Cedrelinga cateniformis* en Genaro Herrera, Loreto.  
Fuente: Campos (2009).

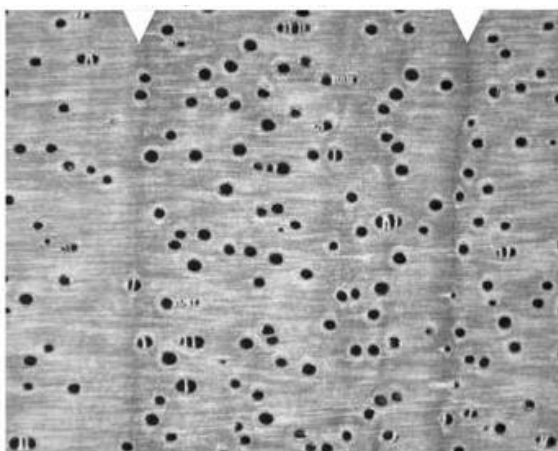


Figura 1: Vista macroscópica de un anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis*, en Riberalta, Bolivia. Fuente: Brienen y Zuidema (2005).

#### 2.2.4. Anatomía de la madera de latifoliadas

La estructura de la madera de una típica latifoliada es más complicada que una conífera, el sistema axial es compuesto de fibras de varios tipos, elementos de vaso en varios tamaños y arreglos, y parénquima axial en varios patrones y abundancia; al igual que en la coníferas, los radios componen el sistema radial y están conformados por células radiales de parénquima, pero en las latifoliadas existen una gran variedad en el tamaño y forma de las células radiales (Wiedenhoeft 2012).

**Vasos:** Los elementos de vaso son células especializadas en la conducción de agua de las latifoliadas. Están dispuestos uno sobre otro para formar vasos. El extremo de los elementos de vaso en contacto con otro, se forma un hueco llamado placa de perforación simple. Si están presentes barras en ellos, la placa se llama placa de perforación escaraliforme. Así las latifolias tienen elementos

de traqueida perforadas (elementos de vaso) para la conducción de agua, en cuanto que las coníferas tienen elementos de traqueida no perforadas (traqueídas). En la sección transversal, los vasos aparecen como grandes aberturas y son frecuentemente denominados como poros (Wiedenhoeft 2012). El diámetro de los vasos puede ser pequeño ( $<30 \mu\text{m}$ ) o muy grande ( $>300 \mu\text{m}$ ), pero típicamente está en el rango de 50 a 200  $\mu\text{m}$ . Son mucho más cortos que las traqueídas (100 a 1 200  $\mu\text{m}$ ). Los vasos pueden estar dispuestos en varios patrones: Si los vasos son del mismo tamaño en más o menos homogéneamente dispersos a través del anillo de crecimiento, la madera es llamada de poros difusos; si los vasos de la madera temprana son mucho más grandes que los de madera tardía, la madera es llamada de anillos porosos (Wiedenhoeft 2012). Los vasos pueden estar configurados en un arreglo tangencial u oblicuo, radial, en racimos, o en muchas combinaciones de estos tipos (IAWA Committee 1989). Además, vasos individuales pueden presentarse solitariamente o en pares o múltiples radiales de dos a cinco o más vasos en una fila.

**Fibras:** Dentro de la madera, las fibras proveen soporte mecánico al árbol, son más cortos que las traqueídas de coníferas (0,2-1,2 mm), en promedio aproximadamente tiene la mitad del ancho de las traqueídas, pero son usualmente dos a 10 veces más largos que los elementos del vaso. El espesor de la pared celular de las fibras es el factor principal que afecta la densidad y resistencia mecánica de maderas de latifoliadas. Especies con fibras de pared delgada como las ceibas y *Ochroma pyramidale* tienen baja densidad y resistencia; especies con fibras de pared gruesa como *Tabebuia serratifolia*, *dipteryx odorata* o *Myroxilon balsamum* tienen alta densidad y resistencia (Wiedenhoeft 2012).

### 2.2.5. Crecimiento y rendimiento de árboles

Tradicionalmente se denomina como incremento al cambio en volumen, así como en diámetro y altura, tanto a nivel del árbol o rodal, mientras que el término crecimiento es usado para cuantificar el incremento en peso, biomasa y peso seco, el término incremento es usado cuando se hace referencia a un incremento estructural tales como la altura, diámetro, área basal o volumen. Esencialmente los términos crecimiento e incremento describen lo mismo, es decir, la tasa a la

cual el árbol o el rodal incrementa en peso o tamaño en un periodo de tiempo determinado. Si, en lugar de mediciones anuales, levantamientos periódicos a “n” intervalos de años son tomados, entonces el registro del incremento en altura, diámetro o volumen debe ser dividido por “n”, este término es llamado incremento periódico anual “IPA” (IPAh, IPAd IPAv) (Pretzsch 2009).

Entiendase por incremento corriente anual “ICA” como el incremento de volumen, diámetro o altura (ICAv, ICAd, ICAh) dentro de un año, el ICA al principio aumenta con la edad en forma relativamente rápida, generalmente antes de la mitad de la vida del árbol alcanza un máximo y decrece desde este punto hacia adelante lentamente (Prodan et al. 1997).

La suma de los incrementos anuales expresa el rendimiento, es decir la dimensión alcanzada a una determinada edad (diámetro, altura o volumen) (Prodan et al. 1997; Pretzsch 2009).

$$Rendimiento = \int_{t=t_0}^{t_n} crecimiento dt$$

En cuanto que el incremento medio anual IMA es el rendimiento en un periodo dado dividido por la edad, es decir el tamaño alcanzado hasta un determinado momento en el tiempo por la edad correspondiente (Prodan et al. 1997), por ejemplo en el caso de la altura:

$$IMA = \frac{h}{t}$$

El incremento medio anual caracteriza la calidad de sitio y delimita la edad adecuada de cosecha; el valor resultante del IMA refleja el nivel medio de productividad a largo plazo y es considerado un valor apropiado para comparaciones (Pretzsch 2009).

En la literatura científica y en la práctica no suele realizarse una clara diferenciación entre crecimiento y rendimiento; a diferencia de las definiciones estrictas empleadas aquí, con demasiada frecuencia las curvas de rendimiento se denominan curvas de crecimiento, en síntesis Pretzsch (2009) remarca que el realidad las curvas de crecimiento son aquellas que muestran la relación entre

el incremento y la edad, llamado crecimiento anual corriente, en cuanto que la curva de rendimiento es la integral de la curva de crecimiento.

La curva de crecimiento medio anual, muestra un desarrollo típico, la culminación del crecimiento medio se logra más tarde que la del crecimiento corriente, siendo que la curva de incremento medio tiene su culminación en la intersección con la curva de incremento corriente (Prodan et al. 1997).

### **2.2.6. Medición de la dinámica de crecimiento en árboles tropicales mediante el análisis de los anillos de crecimiento**

Existen varios métodos que se usan para el estudio de la dinámica de crecimiento en especies tropicales, por ejemplo mediante el registro del incremento frecuente del diámetro con el uso de dendrómetro de bandas, o mediante investigaciones fenológicas, entre otras (Worbes 1995).

Uno de los que han ganado cada vez más importancia, es el método dendrocronológico; mediante este método se obtiene información de la tasa de crecimiento para conocer el comportamiento del crecimiento en conexión con factores ecológicos, para esto, es extraído del árbol una entera del tronco en especies cuyos anillos son claramente diferenciados; en el caso de especies como *Swientenia macrophylla* y *Cedrela odorata* L., los anillos de crecimiento son fácilmente diferenciados, y por tanto muestras radiales de la sección transversal obtenidas con un barreno son suficientes para una buena datación y medición (Worbes 1995).

En cualquier caso las muestras deben ser preparadas con mucho cuidado para incrementar la visibilidad de las capas de crecimiento, para esto es realizado el pulido de las muestras con lijas de tamaño variable hasta más de 600  $\mu\text{m}$ . Posteriormente un cuidadoso humedecimiento con agua durante la observación frecuentemente mejora el contraste de los bordes de las capas de crecimiento (Worbes 1995, 1999).

Generalmente el análisis de los anillos de crecimiento requiere investigaciones de la estructura anatómica de la madera y la definición del tipo de delimitación de los anillos (Worbes 1995).

Posterior al conteo de anillos, es realizado la medición del ancho de los anillos con una lupa de mano, estereoscopio o con dispositivos de medición de anillos

de crecimiento; sincronización (en inglés crossdating) exitosa de las curvas de ancho de los anillos da una indicación de un factor desencadenante externo oscilante del ritmo de crecimiento, la sincronización o crossdating significa, en este caso, la comparación de diferentes curvas de anillos con la finalidad de reconocer patrones únicos de la anchura y estrechez de los anillos. Para la comparación con eventos climáticos las curvas de ancho de los anillos deben ser transformadas en curvas de índice; la precipitación son datos usualmente documentados como la suma mensual de la precipitación. Las series temporales de datos mensuales pueden ser comparados con las series del ancho de los anillos de crecimiento mediante análisis de regresión para mostrar la influencia de una simple precipitación mensual en el crecimiento (Jacoby 1989).

### **2.3. Definición de términos**

**Crecimiento:** Es el aumento observado en las dimensiones de un determinado atributo de un árbol o rodal, por unidad de tiempo. Para tener un significado específico del término crecimiento se debe clasificar de acuerdo con el parámetro o variable considerada, el período de tiempo considerado y la porción o parte del rodal considerado (Pretzsch 2009). En árboles maduros, el crecimiento se expresa normalmente en términos de volumen. El volumen del fuste es un parámetro válido para expresar el crecimiento del árbol.

**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 período de tiempo determinado. Es la magnitud del crecimiento y consiste en la diferencia de tamaño entre el comienzo y final de un período de crecimiento. El incremento se define como el aumento en volumen, área basal, diámetro o altura de un árbol o de una masa forestal en un período de tiempo determinado (Van Laar y Akça 2007). Considerando el período de tiempo, se distinguen básicamente tres tipos de incrementos, siendo éstos los siguientes:

**Incremento corriente anual (ICA):** Corresponde al incremento producido en un año de intervalo. Se calcula haciendo la diferencia entre el valor al final del año menos el valor al inicio del año (Prodan et al. 1997)



**Incremento medio anual (IMA):** Corresponde al promedio de incremento determinado hasta el momento actual. Se calcula dividiendo el valor actual entre el tiempo transcurrido o edad (Prodan et al. 1997).

**Edad de rotación o turno silvicultural:** Es la edad en la cual el árbol o el rodal alcanza el máximo IMA, que coincide con la intersección con la curva de incremento corriente anual (Prodan et al. 1997).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1. Tipo de estudio**

La investigación propuesta, es de tipo correlacional, porque se utilizaron modelos de crecimiento que relacionan el DAP o el área basal con el tiempo (edad de los árboles).

### **3.2. Diseño del estudio**

El diseño del estudio es de tipo observacional no experimental. El estudio se realizó mediante análisis de los anillos de crecimiento de los discos transversales del tronco de los árboles muestreados, identificándose y midiéndose el ancho de los anillos. A partir de estas mediciones se determinó el ICA, IMA y rendimiento del DAP y área basal de los árboles. Con estos datos se construyeron los modelos de crecimiento, y se evaluó la respuesta de los árboles a la variabilidad meteorológica intra-anual.

### **3.3. Población y Muestra**

#### **3.3.1. Población**

La población evaluada estuvo conformada por todos los árboles de *Cedrelinga cateniformis*, localizadas dentro del área de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06. Según el Plan de Manejo la población estimada fue de 200 árboles.

#### **3.3.2. Muestra**

El tamaño de muestra se definió en base a experiencias de otros estudios. Por ejemplo se encontraron resultados satisfactorios y representativos de la población con 13 árboles (Rosero 2009), 15 árboles (Martínez 2015), 47 y 64 árboles (Dünisch, Montóia y Bauch 2003), 50 árboles (Brienen y Zuidema 2005), etc. En general si no hay restricción para la obtención de la muestra se recomienda para estudios de crecimiento un tamaño de muestra entre 30 a 50

árboles (Brienen y Zuidema, 2003). En base a estas consideraciones, el tamaño de muestra de la presente investigación fue de 30 árboles de *Credrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, con DAP>61cm, seleccionados aleatoriamente de la población, y proporcional a las clases diámetricas. Se evitaron árboles con defectos tales como fuste torcido, pudrición en el duramen y duramen hueco.

### 3.4. Métodos y técnicas

#### 3.4.1. Lugar de estudio.

El lugar de estudio (Figura 1), comprende el área de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06 (Figura 6), conformado por bosques de terraza alta con rodales de castaña (*Bertholletia excelsa*); situado en el Sector Zapallal, distrito de Las Piedras, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, Perú, delimitado por las siguientes coordenadas:

Tabla 3: Coordenadas de delimitación de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06.

COORDENADAS UTM (ZONA 19, DATUM: WGS 84)			
PUNTOS	ESTE	NORTE	REFERENCIA
P1	409930	8658750	
P2	410450	8658750	
P3	410450	8658399	
P4	410722	8658399	
P5	410722	8658730	
P6	411683	8658729	
P7	411177	8659850	P6 – P7 Qda NN.
P8	412600	8659850	
P9	412600	8661000	
P10	413195	8661001	
P11	416686	8658000	P10 – P11 Qda. Dueñas
P12	413500	8658000	
P13	413500	8655537	
P14	413000	8655537	
P15	413000	8655700	
P16	412000	8655350	
P17	410500	8656800	
P18	410500	8657073	
P19	409930	8657172	P18 - P19 Qda. NN

El lugar de estudio 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 estudio alberga bosques con gran

potencial maderable; actualmente de estos bosques se extrae la nuez de castaña (*Bertholletia excelsa*) y paralelamente se realiza la extracción de madera de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, en base al Plan General de Manejo Forestal y el Plan Operativo Anual respectivo de la Concesión.

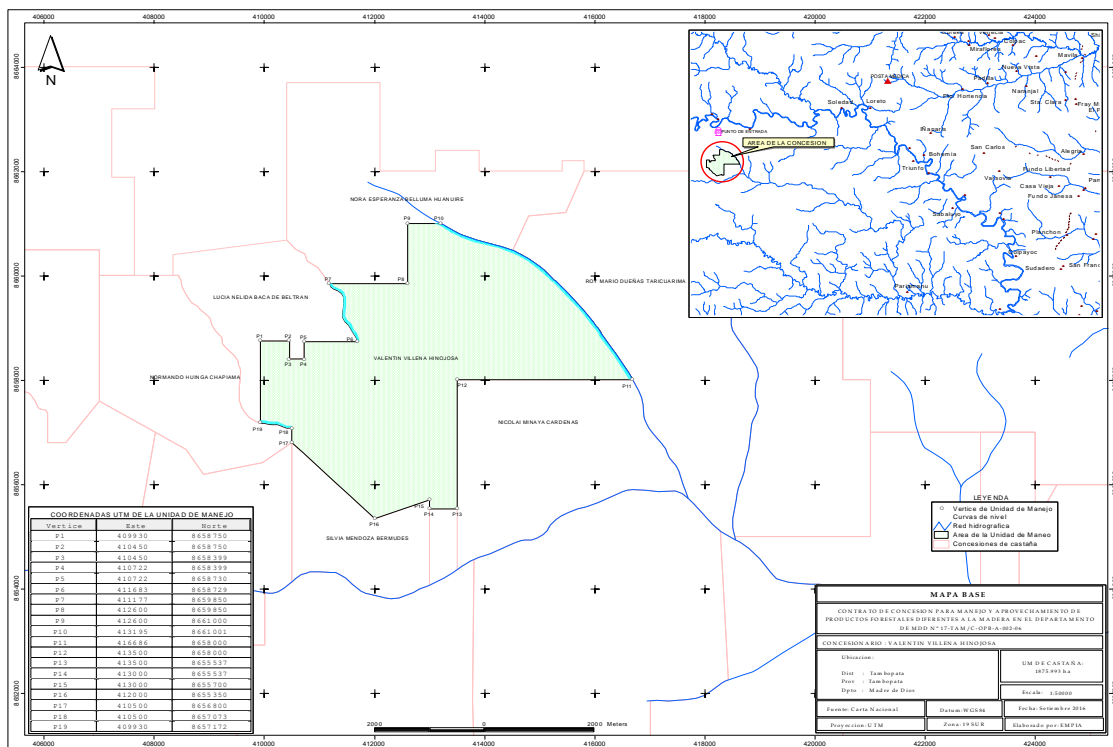


Figura 2: Mapa Base y de Ubicación de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06. Fuente: Córdova (2016).

### 3.4.2. Muestreo y procedimiento de recolección de datos

Los individuos que conformaron la muestra, fueron 30 árboles de diversas clases diámétricas (a partir del diámetro mínimo de corta). La selección de los individuos fue proporcional a cada clase diamétrica; para esto se consideró la información previa contenida en el POA's 2018 de la concesión, determinando el número de individuos por clase diamétrica, ubicación y estado sanitario, y posteriormente se procedió a la selección aleatoria con ayuda los mapas de dispersión de los censos forestales de la concesión.

Los individuos fueron árboles apeados previamente a la toma de muestras del leño; se realizaron mediciones del dap con forcípula, altura del fuste y altura total. Para el análisis dendrocronológico, de cada árbol se extrajo un disco de 10 cm de espesor (rodajas) de la base del fuste apeado (lado donde se efectuó el corte),

teniendo cuidado de no muestrear árboles con fuste muy torcido, o con pudrición del duramen.

Las muestras fueron codificadas según su número desde 1 a 30, y transportadas para el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios-UNAMAD.

### **3.4.3. Análisis dendrocronológico de los anillos de crecimiento**

#### **a) Preparación de las muestras radiales de leño**

Las muestras fueron preservadas para evitar manchas por hongos y ataque de insectos, posteriormente secadas al aire libre bajo sombra para evitar deformaciones. A continuación fueron pulidas (Figura 7) usando lijas de agua de diferente granulación desde 100 hasta 1200 para mejorar la visibilidad y el contraste de los anillos de crecimiento (Stokes y Smiley 1996).

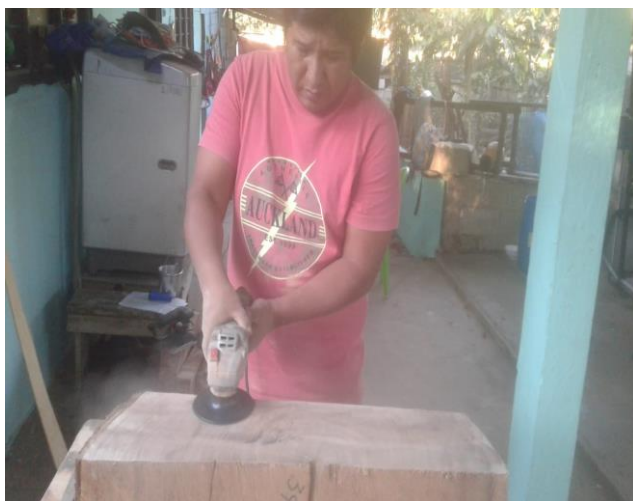


Figura 3: Realizando el pulido de las muestras.

Posteriormente las muestras pulidas fueron digitalizadas en Scanner Profesional a una resolución de 1 200 dpi con una escala de referencia (Venegas-González 2013). Las imágenes digitalizadas de las muestras, fueron analizadas en el Software Image Pro Plus, mediante la cual se delimitaron más claramente los anillos de crecimiento, mensurándose su ancho con una precisión de 0,01 mm, almacenados como archivo de extensión .texto para su exportación a Excel (Figura 8).

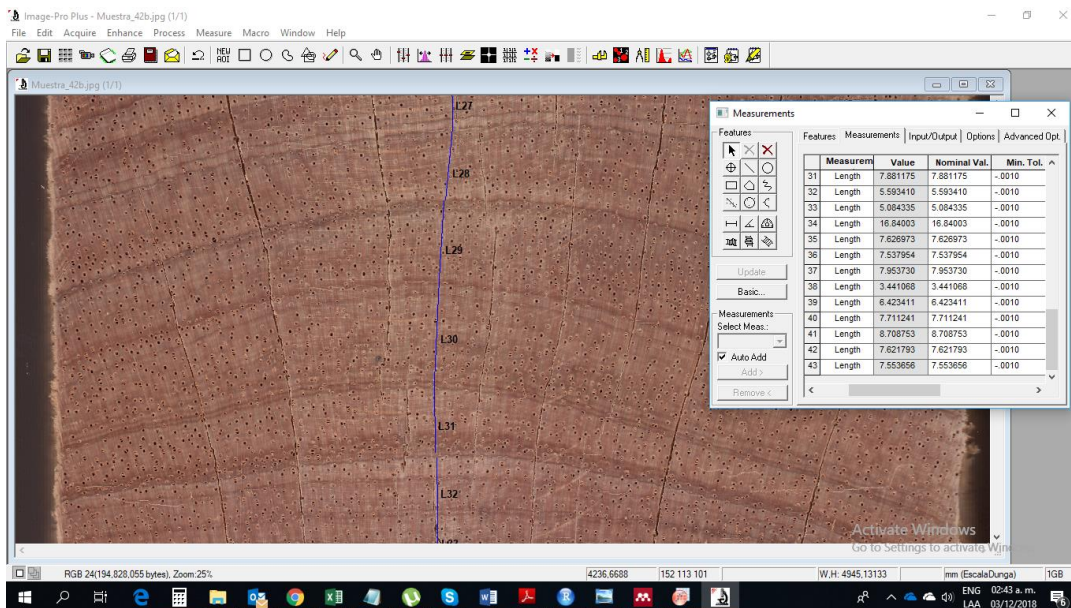


Figura 4: Medición de los anillos de crecimiento con el programa Image Pro Plus.

La identificación y medición de los anillos se realizaron en dos radios, elegidas de tal manera que el promedio de dos direcciones representa el promedio del radio del árbol. Para los árboles con crecimientos irregulares ('aletones') se seleccionó cuidadosamente estas direcciones, ya que esto influye significativamente en la tasa de crecimiento. En el caso de los discos con aletones es siempre mejor medir los anillos por lo menos en uno de los aletones y en una o dos direcciones entre dos aletones (Figura 9) (Brienen y Zuidema, 2003).

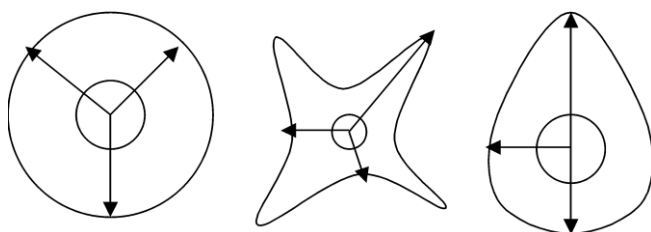


Figura 5: Posibles maneras para elección de radios para identificación y medición de anillos de crecimiento en un disco. Fuente: Brienen y Zuidema (2003).

Con estos datos, se construyeron las series cronológicas, graficándose las curvas de incremento en las cuales se realizó visualmente la sincronización también llamado datación cruzada "cross-dating" de las series.

La datación cruzada consiste en la identificación de patrones de incremento que pueden ser sincronizados entre muestras de un mismo árbol y entre árboles,

haciendo posible la construcción de una serie cronológica de anillos de crecimiento datados en el año exacto de su formación (Venegas-González 2013).

Posteriormente se realizó el control de calidad y verificación de la sincronización “cross-dating” mediante el programa COFECHA (Holmes, Adams y Fritts 1986<sup>a</sup>) con la cual se obtuvo la serie media, denominada Serie Mastra, para comparación con las series individuales mediante un análisis de correlación (correlación lineal).

### **c) Influencia de la variabilidad meteorológica intra-anual en el crecimiento**

Después del control de calidad las curvas sincronizadas fueron estandarizadas por ajuste de líneas de regresión, usando el Software ARSTAN, obteniéndose series de índices cronológicos individuales, que son promediadas para establecer las cronologías correspondientes para *Cedrelinga cateniformis* (Dünisch, Montóia y Bauch 2003).

Con estas cronologías, se realizaron correlaciones simples con la precipitación y temperatura mensual desde enero a diciembre, disponibles en la Estación Meteorológica Puerto Maldonado desde el año 1960, con el objetivo de determinar si la precipitación y temperatura influyen significativamente en el crecimiento en diámetro de los árboles de *Cedrelinga cateniformis*.

#### **3.4.4. Determinación de los modelos de crecimiento del DAP y área basal**

Para determinar la tasa de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, y posteriormente la construcción de los modelos de crecimiento; se utilizaron las mediciones del ancho de los anillos de crecimiento de las series cronológicas resultantes del análisis dendrocronológico (Worbes 1995; Martínez 2015). Para esto, el ancho de los anillos de crecimiento representa la mitad del incremento corriente anual (ICA) del DAP, ya que se trata de un radio, por tanto, el incremento corriente anual se define mediante la siguiente expresión:

$$ICA_{DAP} = 2 \times \text{Ancho del anillo}$$

Posteriormente conocido el ICA para cada año, se calcula el incremento medio anual (IMA) para cada año de crecimiento, mediante la fórmula:

$$IMA_{DAP} = \frac{DAP}{Edad}$$

O también mediante la siguiente fórmula:

$$IMA_{DAP} = \frac{\sum ICA_{DAP}}{Edad}$$

Se usaron las funciones sigmoidales de Gompertz, Logística y Richards, como posibles modelos de crecimiento del diámetro y área basal del tronco (Burkhardt y Tomé 2012). De los tres modelos, se seleccionó el que mejor se ajuste al conjunto de observaciones, tomando en consideración el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj), el error estándar de estimación (SEE), el criterio de información de Akaike (AIC), y el criterio de información Bayesiana (BIC) (Akaike 1974; Schwarz 1978).

**La ecuación del modelo de Gompertz** tuvo la siguiente forma:

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

Siendo sus 3 parámetros:

- a: Amplitud de la curva, o longitud de la asíntota.
- k: Coeficiente de la tasa de crecimiento
- xc: Punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

- y: DAP (cm) o área basal (cm<sup>2</sup>), como variable dependiente
- x: Tiempo en años, como variable independiente

**La ecuación del modelo de Logístico** tuvo la siguiente forma:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-xc)}}$$

Siendo sus 3 parámetros:

- a: Asíntota superior de la curva, es decir el máximo DAP teórico, alcanzado después de un tiempo infinito de crecimiento.
- k: Coeficiente de la tasa de crecimiento
- xc: Punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva



Y sus variables:

y: dap (cm) o área basal (cm<sup>2</sup>), como variable dependiente

x: tiempo en años, como variable independiente

**La ecuación de Richards** tuvo la siguiente la forma:

$$y = a[1 + (d - 1)e^{-k(x-xc)}]^{1/(1-d)}; d \neq 1$$

Siendo sus 4 parámetros:

a: Asíntota superior de la curva.

d: Coeficiente que en parte determina el punto de inflexión en el eje Y.

k: Coeficiente de la tasa de crecimiento.

xc: Punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva.

Y sus variables:

y: DAP (cm) o área basal (cm<sup>2</sup>), como variable dependiente.

x: Tiempo en años, como variable independiente.

### 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 1986<sup>a</sup>) y estandarización de las series cronológicas con el programa ARSTAN (Holmes, Adams y Fritts 1986<sup>b</sup>).

Mediante análisis de correlación lineal, se determinó la influencia de las variables meteorológicas en el crecimiento en diámetro de los árboles.

Para la construcción de modelos de crecimiento (regresiones no lineales) se utilizaron los softwares Origin 2009 y R Studio, empleando las funciones de Gompertz, Logístico, y de Richards (Burkhardt y Tomé 2012).

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

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

En la sección transversal del leño de los árboles evaluados, se observaron anillos de crecimiento distinguibles a simple vista, caracterizados por la formación de una estrecha línea de zona fibrosa de color más oscuro (Figura 10). Además, se observa un claro contraste entre el leño temprano y leño tardío, dentro de cada anillo.

Estas características son consistentes con lo relatado en previos estudios con esta misma especie (Brienen y Zuidema, 2006<sup>a</sup>; Campos, 2009).

Frecuentemente en las muestras de leño se encontraron anillos de crecimiento falsos. Estos anillos pueden ser fácilmente identificados debido a que son discontinuos en la sección trasversal, es decir desaparecen en alguna parte de su perímetro (Figura 11). Los anillos falsos, y algunas veces lo anillos ausentes, suelen presentarse también en muchas otras especies tropicales, debido a los patrones de variación meteorológica intra-anual. Por ejemplo, en un año donde se presentan más de una estación seca, los árboles pueden formar más de un anillo de crecimiento; asimismo, en un año donde la estación seca no presenta una significativa reducción de la precipitación, los árboles no formarán un anillo de crecimiento anual. Así, en los trópicos los anillos de crecimiento son formados en respuesta a condiciones limitantes del crecimiento (Fritts 1976; Bowyer, Shmulsky y Haygreen 2007).

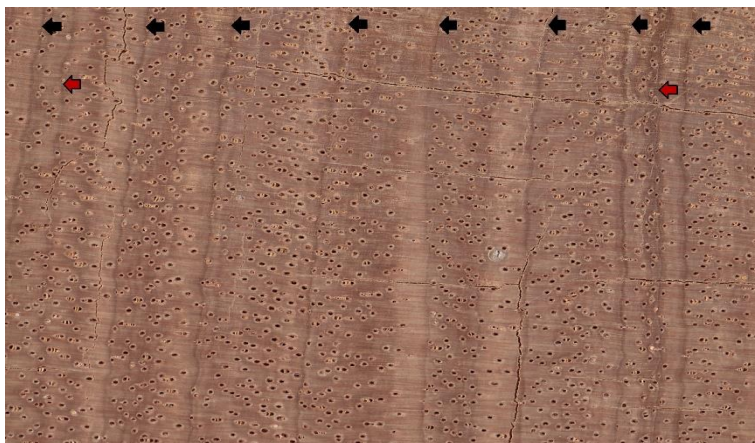


Figura 6: Detalle de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis*. El límite de los anillos de crecimiento es indicado con seta negra. Setas rojas indican anillos de crecimiento falsos.



Figura 11: Muestra de la sección transversal de un árbol, revelando anillos de crecimiento en cuña (indicado por los círculos amarillos) que se juntan y separan drásticamente en diversos puntos de su circunferencia.

Las observaciones de la sección transversal entre las distintas muestras, reveló una alta variabilidad del ancho de los anillos, caracterizado por secuencias de anillos de crecimiento más anchos y estrechos. Esa variabilidad de incremento radial indica la sensibilidad de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke a las condiciones locales de crecimiento (ecológico y climático).

En estudios realizados en plantaciones forestales de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke está característica también fue observada, mostrando un potencial para la aplicación como identificadores anuales de eventos climáticos (Campos 2009).

No obstante, el análisis previo de calidad de las muestras, mostró que, del total de 30 muestras (30 árboles), 20 de ellas presentaron anillos de crecimiento claramente visibles a lo largo de la circunferencia de los anillos. En las 10 muestras restantes (10 árboles), existieron anillos de crecimiento de tipo cuña, es decir anillos que se juntan y se separan en varios puntos. Ésta anomalía perjudica la medición confiable del incremento radial (ancho de los anillos), por lo tanto, estas muestras fueron excluidas de los análisis posteriores.

#### **4.2. Serie cronológica y relación del crecimiento con el clima**

El análisis de los anillos de crecimiento mostró que la edad de los árboles muestreados fue en promedio de 60,1 años, variando desde 50 a 75 años de edad, con una desviación estándar de 7,15 años. Asimismo, el DAP, en promedio fue 61,89 cm, variando desde 38,13 hasta 85,16 cm, con una desviación estándar de 12,28 cm (Tabla 4).

Tabla 4: Edad y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles muestreados de *Cedrelinga cateniformis*, estimados a partir de la medición de los anillos de crecimiento.

Árbol	Edad (# de anillos)	dap (cm)
1	67	50,62
2	54	55,29
3	67	38,13
4	55	71,13
5	63	76,04
6	66	75,14
7	60	44,50
8	75	78,97
9	69	70,39
10	55	54,63
11	56	53,06
12	61	59,30
13	65	58,69
14	66	85,16
15	64	73,77
16	50	56,56

17	51	55,96
18	53	61,96
19	53	66,10
20	52	52,43
Promedio	60,10	61,89
Desv. Est.	7,15	12,28
Máximo	75	85,16
Mínimo	50	38,13

Mediante análisis de correlación simple, se verificó que el DAP y la edad de los árboles no estuvieron relacionados significativamente ( $r = 0,36$ ;  $p > 0,05$ ), es decir árboles más viejos no siempre tuvieron mayor DAP (Figura 12).

La ausencia de correlación significativa, indica que existe alta variabilidad de la tasa de crecimiento entre los árboles, unos creciendo más rápido y otros creciendo más lentamente. Entonces, factores externos como disponibilidad de luz solar, drenaje de suelos, estado de salud de los árboles serían factores que afectan la tasa de crecimiento de los árboles evaluados.

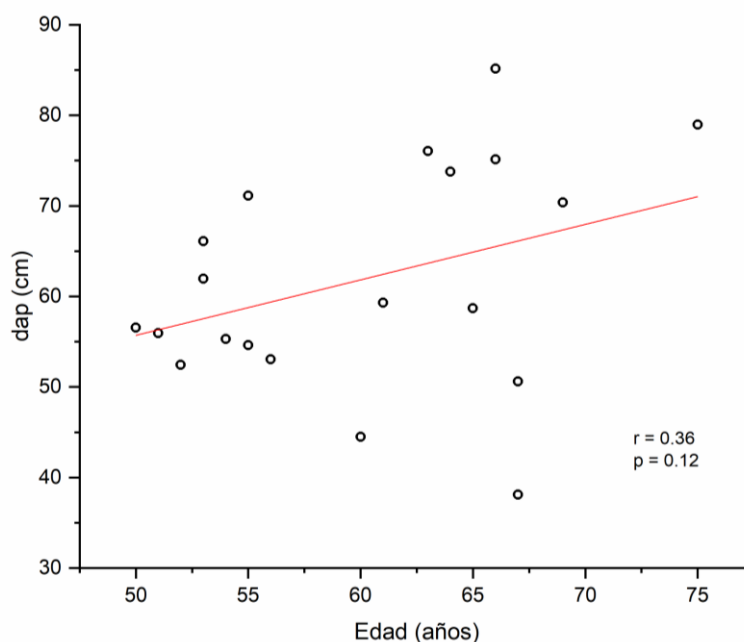


Figura 12: Correlación entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la edad de los árboles de *Cedrelinga cateniformis*. Valor de  $p > 0,05$  indica coeficiente de correlación no significativo.

La serie de ancho de anillos de crecimiento (Figura 13), construida con muestras del leño extraídas en Julio de 2018, tuvo un intervalo de 75 años, comenzando en 1943 y terminando el 2017, año del último periodo de crecimiento.

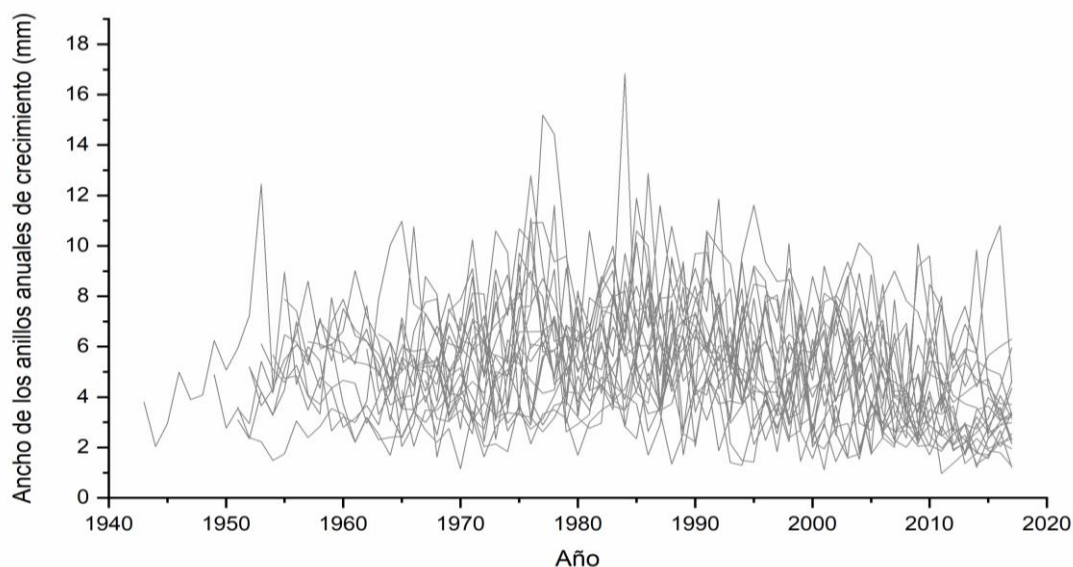


Figura 13: Ancho de los anillos de crecimiento (incremento radial anual) de 20 árboles muestreados.

Los incrementos radiales anuales en la serie cronológica no mostraron una clara tendencia, existiendo una alta variabilidad de los incrementos radiales anuales entre los árboles evaluados (Figura 13). Sin embargo, a pesar de la alta variabilidad de incremento radial, las intercorrelaciones de las series individuales con la serie maestra alcanzaron el valor de intercorrelación crítica (0,34) al 99% de significancia (Figura 14).

Estos resultados indican que los 20 árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke presentan una señal común de crecimiento, es decir existe una sincronización del crecimiento entre los árboles, debido a efectos externos (Venegas-González 2013).

```

*****
*C* Number of dated series      20 *C*
*O* Master series 1943 2017    75 yrs *O*
*F* Total rings in all series   1202 *F*
*E* Total dated rings checked   1196 *E*
*C* Series intercorrelation     .341 *C*
*H* Average mean sensitivity    .342 *H*
*A* Segments, possible problems  41 *A*
*** Mean length of series      60.1 ***
*****

```

Figura 7: Resultados de intercorrelación de las series de crecimiento con la serie maestra, en el programa COFECHA.

La serie maestra obtenida con el programa COFECHA, fue analizada con el programa ARSTAN, con la finalidad de estandarizar la serie. Con la estandarización se buscó remover la tendencia biológica del crecimiento del tronco de los árboles, y maximizar la señal climática de los árboles.

La Figura 15 muestra los índices de estandarización y residual de la serie cronológica maestra. Posteriormente a partir de la serie cronológica estandarizada, se realizan los análisis de correlación con el clima, para verificar el efecto de la variabilidad intra-anual de la precipitación y temperatura en el crecimiento de árboles.

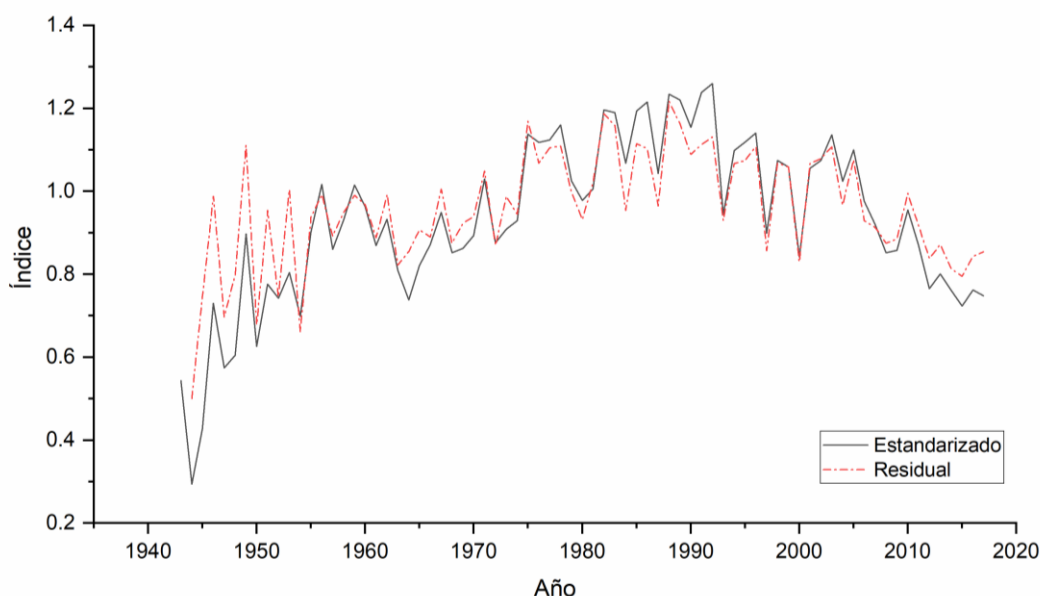


Figura 15: Estandarización de la serie cronológica, que elimina los efectos de las tendencias de crecimiento (la tasa de crecimiento varía según la edad) y otros efectos ecológicos (competencia inter e intra específica, etc).

Los registros meteorológicos de precipitación y temperatura mensual desde el año 2010 a 2017 mostraron patrones bien definidos del clima, caracterizándose por una estación lluviosa con altos niveles de precipitación y temperatura en los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, y estación seca con bajos niveles de precipitación y temperatura en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre (Figura 16).



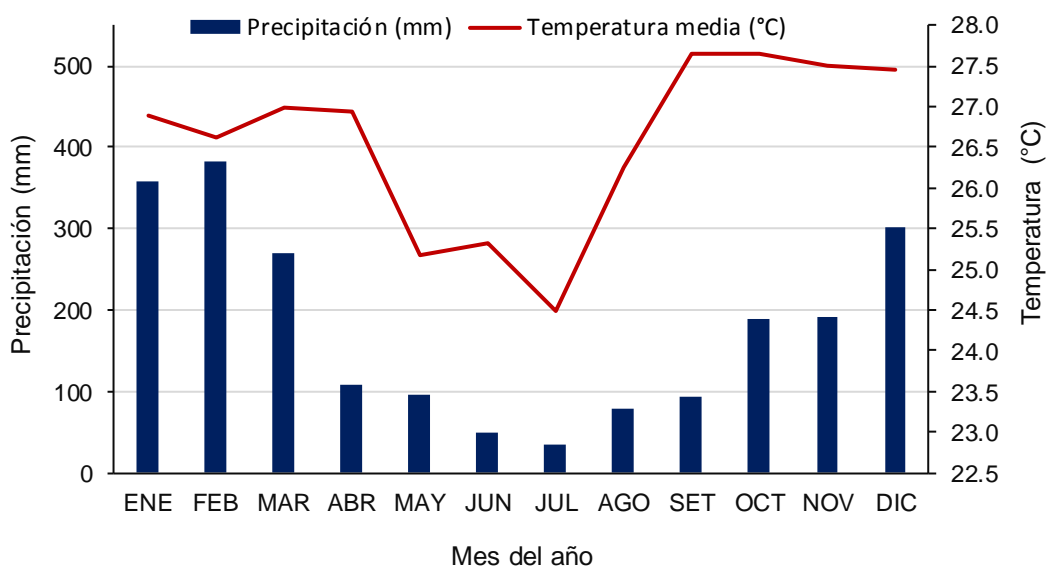


Figura 16: Precipitación y temperatura media mensual de los últimos 10 años (2010-2017), obtenidos de la estación meteorológica Puerto Maldonado, Madre de Dios.

Los análisis de correlación simple entre la cronología estandarizada de los anillos de crecimiento y temperatura media mensual, en el periodo 1960-2017, mostraron coeficientes de correlación significativos (0,05%) en casi todos los meses del año (excepto el mes de julio) (Figura 17<sup>a</sup>). Los coeficientes negativos en setiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y agosto ( $r$  varió de  $-0,77$  a  $-0,44$ , con  $p < 0,05$ ) indican a mayor temperatura menor fue la tasa de crecimiento de los árboles durante estos meses, excepto en julio, que contrariamente, el coeficiente no significativo ( $r = -0,21$ ,  $p > 0,05$ ) indica que a la temperatura no afecta la tasa de crecimiento de los árboles durante éste mes. Estos resultados revelan una influencia negativa de las altas temperaturas en el crecimiento de los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Sin embargo, en el mes de julio, cuando la temperatura alcanza los valores mínimos anuales (estación seca con periodos frecuentes de friaje), no se presenta éste efecto negativo de la temperatura en el crecimiento de los árboles.

Estos resultados del efecto negativo de la temperatura de los meses más cálidos en el crecimiento, se debería a una mayor demanda operativa del suelo, que ocasiona una disminución de la disponibilidad hídrica para las plantas, además de incrementar la evapotranspiración de los árboles (Venegas-González 2013).



Corroborando parcialmente los resultados del presente estudio, en árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke de bosques naturales de Loreto, se observaron un leve efecto negativo de la temperatura en los meses más cálidos, sin embargo, los efectos no fueron significativos (Campos 2009). El estudio también mostró que, en el mes de julio, mes más frío la temperatura tuvo un efecto positivo. Las ausencias de correlación significativa en los meses más cálidos en el estudio de Campos (2009) puede ser explicada por la menor variabilidad intra-anual de la temperatura en la Amazonía norte, comparado con la Amazonía sur, donde se presentan la temperatura desciende drásticamente en el mes de julio.

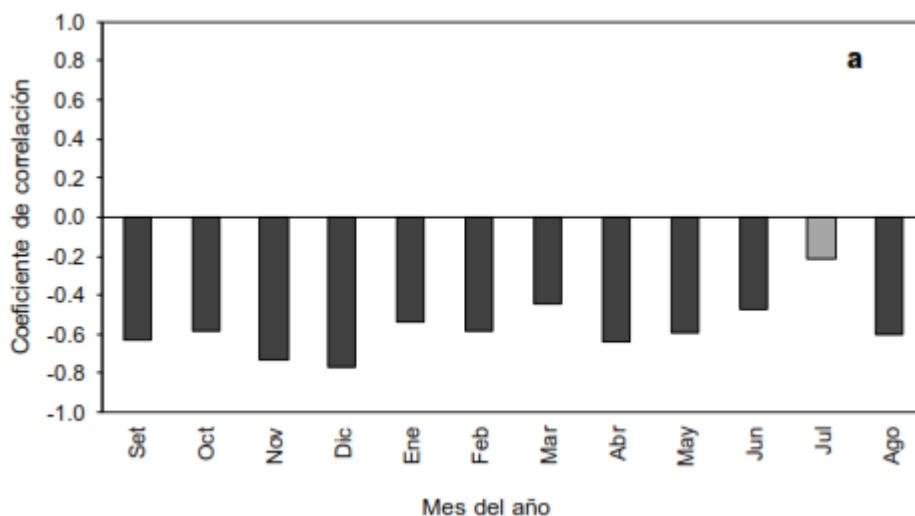
Muchos otros estudios dendrocronológicos, con otras especies (*Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* y *Tectona grandis*) no encontraron correlaciones significativas del crecimiento con la temperatura (Rosero 2009; Venegas-González 2013; Huaman 2011).

Con respecto a las correlaciones de la serie cronológicas estandarizada con la precipitación, se observaron correlaciones significativas sólo en los meses de junio ( $r = -0,24$ ,  $p < 0,05$ ) y noviembre ( $r = 0,29$ ;  $p < 0,05$ ), mientras que en los demás meses del año los coeficientes de correlación no fueron significativos ( $p > 0,05$ ) (Figura 17b). Estos resultados indican que, en el mes de junio, mes de inicio de la estación seca (junio a agosto), debido a la reducción de la disponibilidad hídrica los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke se ven fuertemente afectados en su crecimiento, reduciendo su actividad cambial. Contrariamente en el mes de noviembre, mes de inicio de la estación lluviosa (noviembre a marzo), el rápido incremento de la disponibilidad hídrica en el suelo, acelera la actividad cambial de los árboles, incrementando por tanto su tasa de crecimiento.

Como se puede observar, los árboles muestreados de *Cedrelinga cateniformis*, fueron sensibles a los periodos de inicio de la estación seca y lluviosa, en los meses siguientes los árboles estabilizan su ritmo de crecimiento, y los incrementos de precipitación ya no generan importantes incrementos de diámetro del tronco. No obstante, cabe destacar que estas relaciones en los meses de junio y noviembre no son robustas, más sí indican un leve efecto de la precipitación.

Diversas investigaciones, han relatado que en general los árboles reaccionan a periodos de inicio de la estación lluviosa, periodo en el que ocurre la reactivación y/o aceleración de la actividad cambial, dando como resultado incremento de la tasa de incremento del diámetro, formando el leño temprano caracterizado por fibras de pared celular delgada y vasos de mayor diámetro. Contrariamente en la estación seca, frecuentemente ocurre la cesación y/o disminución de la actividad cambial, formándose en este periodo el leño tardío, caracterizado por fibras de pared más gruesa, vasos de menor diámetro y/o líneas de parénquima, que delimitan un anillo de crecimiento (Worbes 1999, 1995).

Por otro lado, la falta de correlación significativa entre el crecimiento y la precipitación durante los demás meses del año (enero, febrero, marzo, abril, mayo, julio, agosto, setiembre, octubre, diciembre) indicaría la influencia de otras variables que condicionan el crecimiento en diámetro. Por ejemplo, los resultados de las investigaciones sobre la eco-fisiología de los árboles de *Swietenia macrophylla* realizados en la Amazonia brasileña por Dünisch, Bauch y Gasparotto (2002) muestran que la especie responde más sensiblemente a condiciones locales no favorables de luz, agua y demanda de nutrientes que las de *Cedrela odorata* indicando que la alta sensibilidad de las cronologías es, posiblemente, debida a las variaciones de las condiciones del micro sitio en las áreas de estudio.



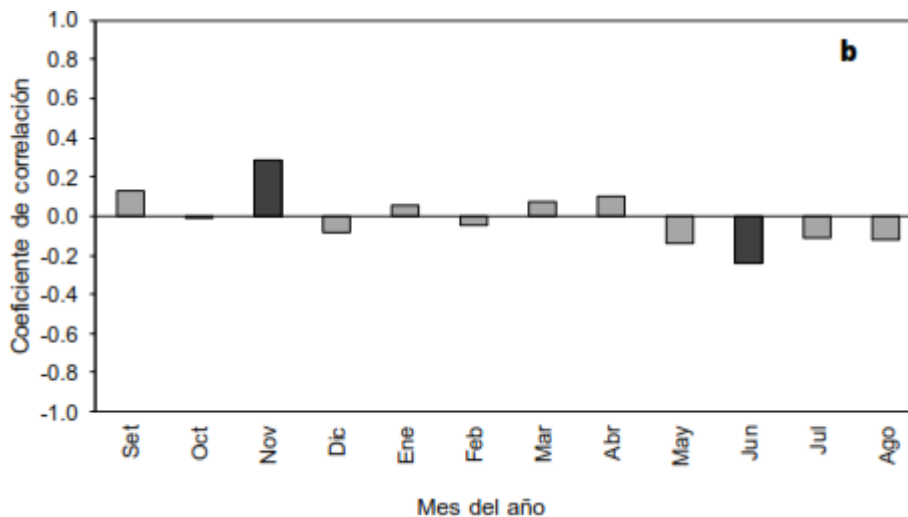


Figura 17: Coeficiente de correlación de Pearson entre la serie cronológica estandarizada y la temperatura media mensual (a), y la precipitación acumulada mensual (b). Los datos de temperatura y precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica. Puerto Maldonado, Madre de Dios, analizando datos disponibles desde 1960 hasta 2017. Barras más oscuras indican coeficientes de correlación significativos ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3. Modelos de crecimiento, ICA e IMA del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Se observó una distribución simétrica de las observaciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) e la edad de 50 años (edad mínima de los árboles muestreados). Casi todas las observaciones fueron consideradas como típicas, excepto una considerada como *outlier* (observación atípica) (Figura 18). Como las muestras fueron extraídas de manera aleatoria, para efectos del presente estudio no fue excluido, siendo considerado también para el ajuste de modelos.

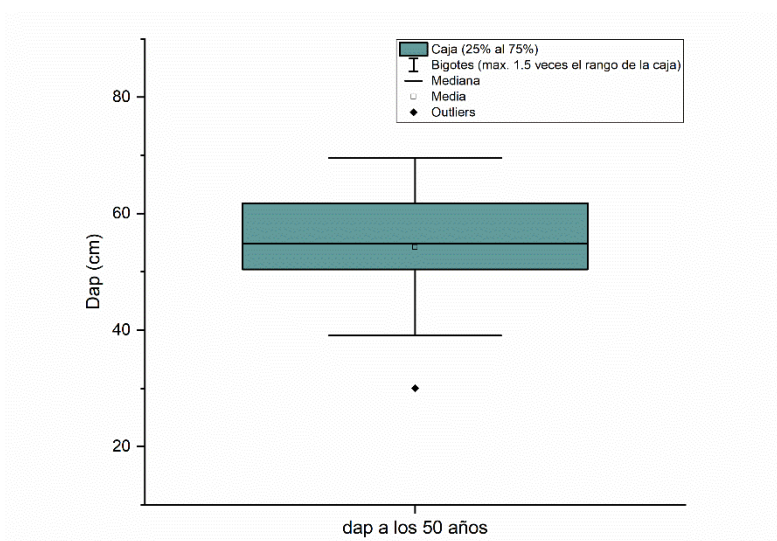


Figura 18: Diagrama de caja o "boxplot" de la distribución de las observaciones del diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles, a los 50 años de edad.

El ajuste del modelo no lineal de Gompertz a las observaciones de DAP de los árboles muestreados fue altamente significativo ( $p < 0,001$ ), con un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj) de 0,88 y error estándar de estimación (SEE) de 7,06 cm (Figura 19).

La ecuación del modelo de Gompertz tiene la siguiente forma:

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

Siendo sus 3 parámetros:

$a = 77,21492$ ; es la amplitud de la curva, o longitud de la asíntota.

$k = 0,04422$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento

$xc = 26,39948$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y$  = DAP en cm, como variable dependiente

$x$  = tiempo en años, como variable independiente

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo de Gompertz para la estimación del DAP fue:

$$dap = 77,21492e^{-e^{-0,04422(tiempo-26,39948)}}$$

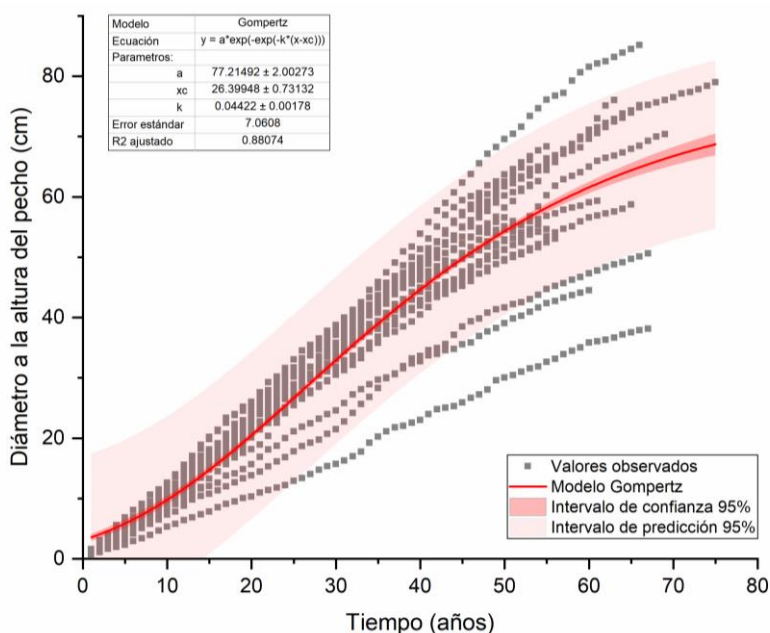


Figura 19: Modelo de crecimiento "Gompertz", ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Con menor R2 adj de 0,87 y mayor SEE de 7,22 cm, altamente significativo ( $p < 0,001$ ), el modelo no lineal Logístico (Figura 20) mostró menor grado de ajuste a las observaciones del DAP, en comparación con el modelo Gompertz.

La ecuación del modelo de Logístico tiene la siguiente forma:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-xc)}}$$

Siendo sus 3 parámetros:

$a = 67,11218$ ; es la asíntota superior de la curva, es decir el máximo DAP teórico, alcanzado después de un tiempo infinito de crecimiento.

$k = 0,07963$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento

$xc = 31,02428$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y = \text{DAP en cm, como variable dependiente}$

$x = \text{tiempo en años, como variable independiente}$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo Logístico para la estimación del DAP fue:

$$dap = \frac{67,11218}{1 + e^{-0,07963(x-31,02428)}}$$

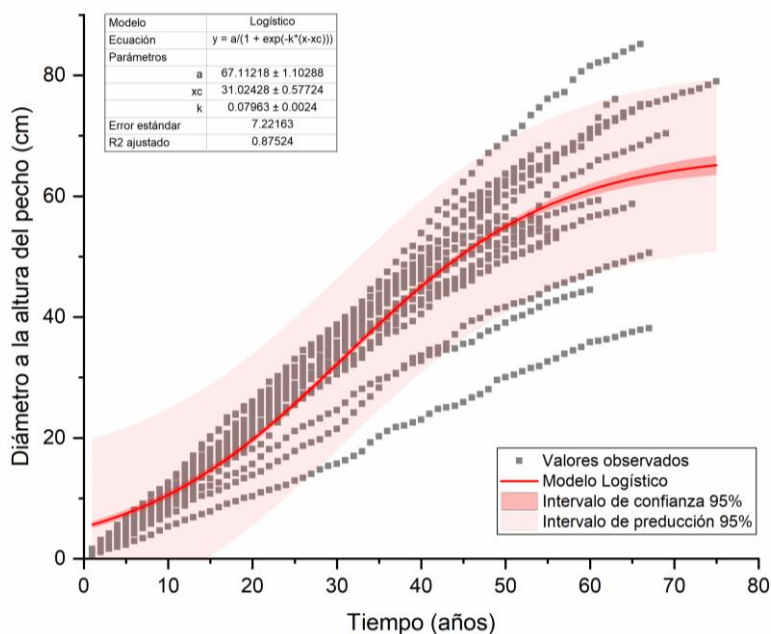


Figura 8: Modelo de crecimiento “Logístico”, ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Por otro lado, el modelo no lineal de Richards, también altamente significativo ( $p < 0,001$ ), tuvo mejor bondad de ajuste a los modelos Gompertz y Logístico, con  $R^2$  adj de 0,88 y SEE de 7,01 cm (Figura 21).

La ecuación de Richards de la forma:

$$y = a[1 + (d - 1)e^{-k(x-xc)}]^{1/(1-d)}; d \neq 1$$

Siendo sus 4 parámetros:

$a = 105,05944$ ; es la asíntota superior de la curva

$d = 0,34016$ ; es un coeficiente que en parte determina el punto de inflexión en el eje Y.

$k = 0,01989$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento.

$xc = 19,22101$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y =$  DAP en cm, como variable dependiente

$x =$  tiempo en años, como variable independiente

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo de Richards para la estimación del DAP fue:

$$dap = 105,05944[1 + (0,34016 - 1)e^{-0,01989(x-19,22101)}]^{1/(1-0,34016)}$$

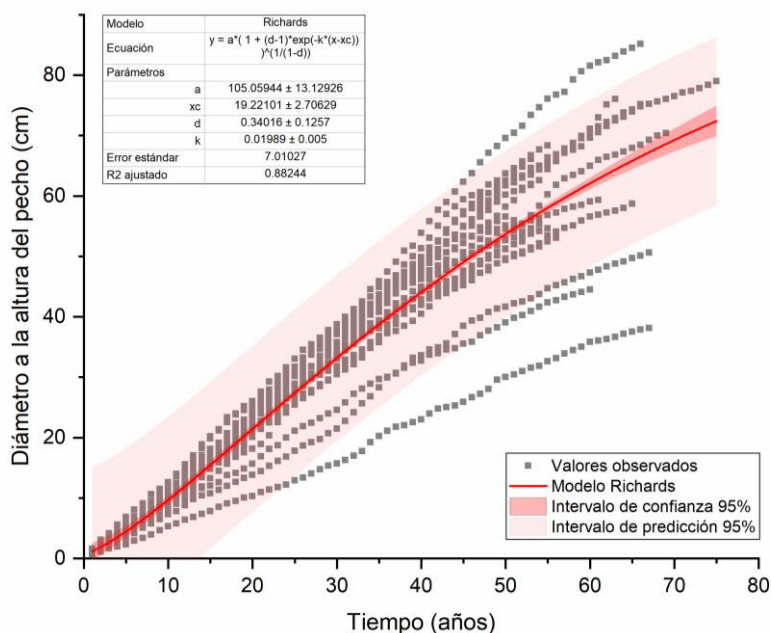


Figura 9: Modelo de crecimiento “Richards”, ajustado a las observaciones de dap (diámetro a la altura del pecho) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Como se observa, de los tres modelos, los de mejor ajuste fueron los modelos Gompertz y Richards, principalmente por sus menores valores de SEE.

Además, notase que con el Modelo Logístico el crecimiento máximo del dap de los árboles se limita a 67 cm (asíntota superior) (Figura 20), siendo un modelo que subestimaría substancialmente el dap en árboles mayores a 75 años. Por tanto, tomando en cuenta también este punto de vista, el modelo Logístico no es apropiado.

Ahora, entre los dos mejores modelos, el modelo Richards presentó ligeramente mejor ajuste a las observaciones de dap, que el modelo Gompertz. Tomando en cuenta estos criterios podría considerarse el modelo Richards como el mejor modelo. Sin embargo, se advierte que el Modelo Richards tiene 4 parámetros, mayor que el modelo Gompertz con 3 parámetros, siendo, por tanto, el modelo Richards un poco más complejo al incorporar más parámetros en la ecuación, resultando en un sobreajuste. La decisión de seleccionar un determinado modelo recae en el investigador, en base al comportamiento y naturaleza de la variable medida. No obstante, a pesar de haberse tomado estas

consideraciones, cuando aún no se tiene la seguridad de la selección de un modelo, suele recurrirse en algunos criterios estadísticos como el Criterio de información de Akaike (AIC) y el Criterio de información Bayesiana (BIC), para la selección del mejor modelo (Akaike 1974; Schwarz 1978). Estos criterios manejan un “trade-off” entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad del modelo, penalizando en diferente grado el número de parámetros de los modelos. Así, dado un conjunto de modelos candidatos para los datos, el modelo preferido es el que tiene el valor mínimo en el AIC o BIC. Por lo tanto, AIC y BIC no sólo recompensan la bondad de ajuste, sino también incluyen una penalidad, que es una función creciente del número de parámetros estimados. Esta penalización desalienta el sobreajuste, porque aumentando el número de parámetros libres en el modelo mejora la bondad del ajuste, sin importar el número de parámetros libres en el proceso de generación de datos (Akaike 1974; Schwarz 1978). El grado de penalización del número de parámetros es mayor con BIC de lo que con AIC.

La Tabla 5, muestra el AIC y BIC calculado para los tres modelos del DAP.

El modelo Richards obtuvo los menores valores de AIC y BIC, pudiendo, por tanto, considerarse como el modelo más adecuado para la predicción del DAP de los árboles de la población de *Cedrelinga cateniformis(Ducke) Ducke* evaluado.

Tabla 2: Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiana (BIC) de los modelos del diámetro a la altura del pecho (DAP), para la selección del mejor modelo.

Modelo dap	gl	AIC	BIC
Gompertz	4	8108,97	8129,34
Logístico	4	8162,77	8183,14
Richards	5	8092,74	8118,20

Según la legislación forestal peruana, se fija un diámetro mínimo de corte (DMC) de 61 cm para la especie *Cedrelinga cateniformis(Ducke) Ducke* (Instituto Nacional de los Recursos Naturales 2002). A partir de la medición de los anillos de crecimiento, y del modelo de Richards obtenido, se verifica que los árboles alcanzarían el DMC, en promedio, a los 59 años de edad (Figura 22). Tomando en cuenta el SEE, el 95% de la población de árboles alcanzarían el DMC desde



los 43 años de edad hasta edades superiores a los 75 años, dependiendo de la tasa de crecimiento de los árboles.

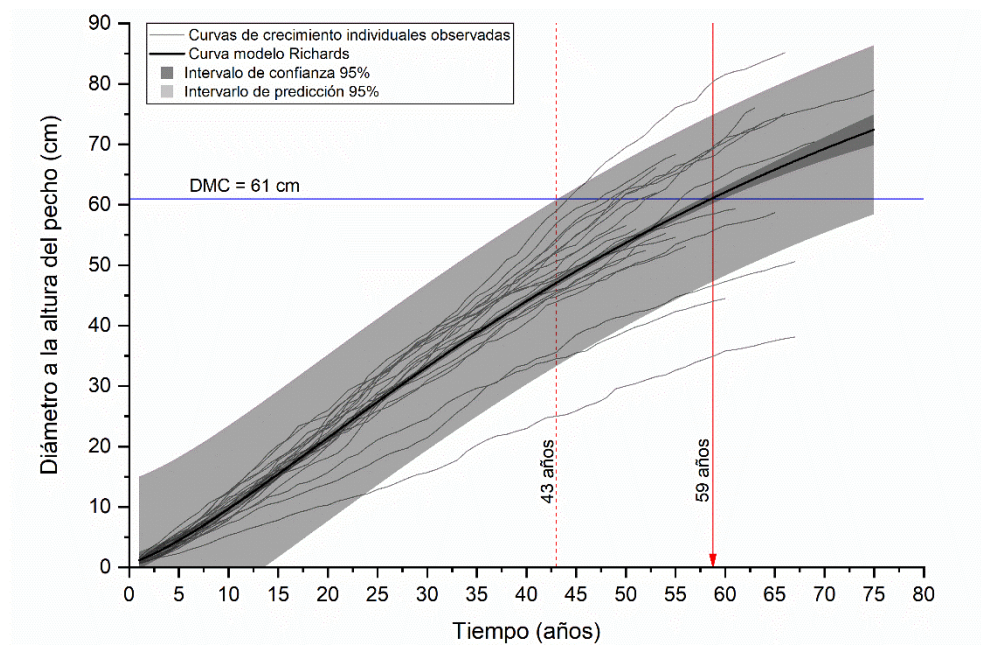


Figura 10: Curvas de crecimiento observadas, y curva de crecimiento del modelo “Richards 1”, de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. DMC se refiere al diámetro mínimo de corte para la especie *Cedrelinga cateniformis* (61 cm). Las líneas rojas punteada y sólida, indican la edad mínima y la edad promedio a la que los árboles alcanzan el DMC.

En la Figura 23, se ilustran las curvas de ICA e IMA del DAP, calculados a partir del modelo Richards. Los árboles de *Cedrelinga cateniformis*, durante sus primeros 20 años de vida, experimentan una rápida aceleración de su crecimiento, alcanzando el máximo ICA de 1,2 cm, a los 20 años de edad, para posteriormente disminuir progresivamente hasta alcanzar su un ICA de 0,62 cm, a los 75 años. Como la tendencia es negativa, los árboles deberían continuar reduciendo su ICA DAP posterior a los 75 años (Figura 25). Estudios en árboles de mayor edad, son necesarios para conocer su crecimiento más allá de los 75 años.

Con respecto al IMA DAP, los árboles evaluados, alcanzaron su máximo IMA de 1,11  $\text{cm año}^{-1}$  a los 33 años de edad. Posteriormente los árboles experimentaron una lenta disminución progresiva del IMA DAP, hasta alcanzar un IMA de 0,97  $\text{cm año}^{-1}$  a los 75 años. Esto está restringido por el intervalo de edad de los

árboles evaluados, por tanto, los árboles continuarán reduciendo su IMA DAP, posterior a los 75 años.

Según lo observado en la tendencia de la curva IMA, los árboles evaluados de *Cedrelinga cateniformis*, no árboles no experimentaron alta variación del IMA durante los primeros 75 años de edad, variando desde un mínimo de 0,89 cm año<sup>-1</sup> hasta un máximo de 1,11 cm año<sup>-1</sup>. En contraste, las curva ICA tuvo alta variación según la edad de los árboles; variando desde un mínimo de 0,70 cm hasta 1,20 cm, durante los primeros 75 años de edad (Figura 23).

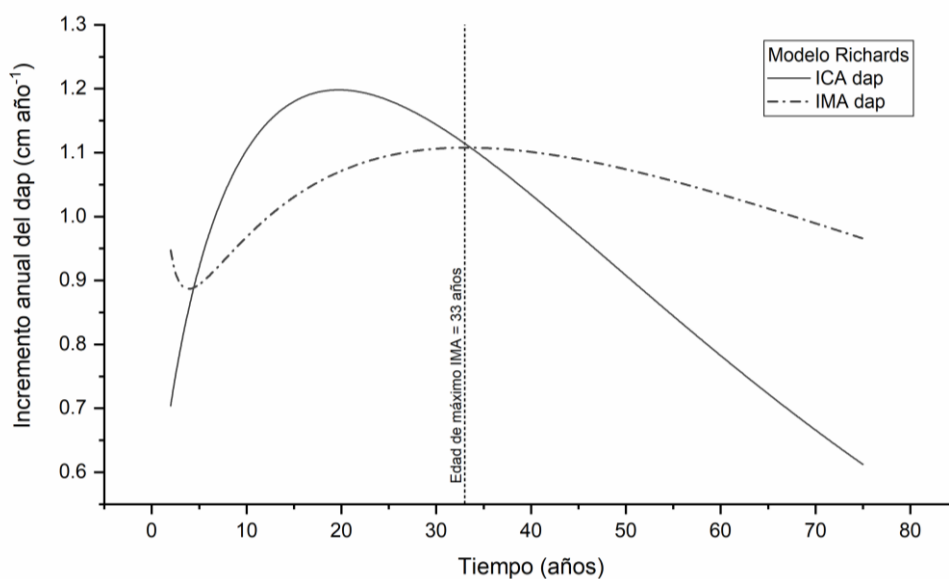


Figura 11: Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) del diámetro a la altura del pecho (dap), contruidos a partir de la curva de crecimiento del modelo “Richards” (mejor modelo). La vertical puntuada indica la edad promedio a la que los árboles alcanzan el máximo IMA dap (33 años).

El tiempo que tarda el árbol para alcanzar el diámetro mínimo de corta está en función de la tasa de crecimiento, el cual depende del genotipo, de las condiciones de sitio (disponibilidad de agua y nutrientes, luz solar, etc) y el estado de su estado fitosanitario (enfermedades, daños mecánicos, infestaciones de insectos, colonización de lianas, etc) (West 2014; Günter et al. 2011; Donoso y Promis 2013; Venegas-González 2013). Por tanto, las tasas de crecimiento varían mucho entre individuos de la especie creciendo en el mismo sitio, tal como se observa en los patrones de las curvas individuales de crecimiento (Figura 22).

Cuando comparamos las diferencias en el crecimiento en diferentes regiones de la Amazonía las diferencias pueden ser aún mayores. En un estudio realizado en Riberalta-Bolivia con el método de medición de anillos de crecimiento, se encontró que *Cedrelinga cateniformes* (Ducke) Ducke tarda, en promedio, 65 años para alcanzar un DAP de 50 cm, es decir un IMA DAP de 0,76 cm año<sup>-1</sup> a los 65 años de edad (Brienen y Zuidema, 2006). Esa tasa de crecimiento es muy baja, comparado con el presente estudio, donde a esa misma edad los árboles alcanzaron en promedio 66 cm de DAP, es decir un IMA DAP de 1,02 cm año<sup>-1</sup> a los 65 años de edad (Figura 23). No obstante, otros estudios también en Bolivia, reportó mayores tasas de crecimiento: Los árboles de menor clase diametral crecen entre 0,5 cm año<sup>-1</sup> a 1 cm año<sup>-1</sup>, y árboles de mayor clase diamétrica crecen a 1,4 cm año<sup>-1</sup> aproximadamente (Brienen y Zuidema, 2006). En otro estudio dendrocronológico realizado en plantaciones de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke Loreto, Perú, se reportó un IMA DAP de 1,84 cm año<sup>-1</sup>, por tanto, con esta tasa de crecimiento, los árboles alcanzarían el DMC (61 cm) aproximadamente a los 34 años de edad (Campos 2009). Este ritmo de crecimiento es muy rápido en comparación con nuestro estudio.

Similarmente en un otro estudio, en base a datos de parcelas permanentes de muestreo (PPM), realizado también en plantaciones, en Loreto, se encontró un IMA DAP de 1,96 cm año<sup>-1</sup> a los 20 años de edad, y alcanzarían el DMC a los 31 años (Flores 2011). En el mismo lugar, proyecciones usando modelos de crecimiento, estimaron que *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke alcanzarían el DMC a los 40 años de edad (Rondon, Gorchoy y Noble 2009).

Los resultados del presente estudio, y previas investigaciones publicadas, muestran que *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, puede ser considerada una especie de rápido crecimiento, con un IMA variando desde 0,76 a 1,84 cm año<sup>-1</sup>, obtenido mediante técnicas dendrocronológicas, y entre 1,5 a 1,96 cm año<sup>-1</sup> obtenido mediante parcelas permanentes de muestreo (Brienen y Zuidema 2003; Brienen y Zuidema 2006; Campos 2009; Flores 2011).

Por otro lado, el uso de modelos de crecimiento ha demostrado ser útil y práctico para la estimación de rendimientos de volúmenes de madera, como para la estimación de turnos de corte silvicultural (IMA) (Rondon, Gorchoy y Noble

2009). Sin embargo, modelos de crecimiento para *Cedrelinga cateniformis* no han sido objeto de estudio en Perú.

En otras especies tropicales como *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*, el modelo Gompertz tuvo mejor ajuste en comparación con el Modelo Logístico (Martínez 2015); no obstante el autor no probó el modelo Richards. En nuestro estudio con *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, el modelo Gompertz también tuvo mejor ajuste a las observaciones del DAP que el modelo Logístico (Figura 19); la calidad de ajuste fue muy cercano a lo logrado con el Modelo Richards.

En especies coníferas el modelo Gompertz también es satisfactorio para estimar el crecimiento de *Araucaria angustifolia* a partir de la edad de los árboles (Montañez Valencia 2013). El modelo Richards, también conocido como modelo Logístico generalizado, no ha sido probado en el crecimiento de árboles. Tal vez su limitado uso, puede deberse al mayor número de parámetros que incluye el modelo. No obstante, al tratarse de un modelo sigmodial de crecimiento al igual que el modelo Gompertz y el modelo Logístico, puede ajustarse bien al crecimiento en dap, tal como demostramos en el presente estudio.

Es importante aclarar que los modelos generados en el presente estudio, mantienen un buen grado de ajuste, dentro del intervalo de tiempo de 75 años (edad de los árboles muestreados más longevos). El uso del modelo, más allá de este intervalo de tiempo, debe ser tomado con cuidado, pues los modelos podrían, en la mayoría de los casos, subestimar el crecimiento en DAP de los árboles.

#### **4.4. Modelos de crecimiento, ICA e IMA del área basal (g)**

El área basal (g) junto con la altura (h) determina el volumen de los árboles. Los incrementos anuales de g proveen una medida más realista del crecimiento secundario de los árboles, puesto que integra el área de la sección transversal ganada durante un determinado periodo, a diferencia del DAP que es una medida lineal. Por tanto, es imprescindible considerar g para los estudios de crecimiento anual.

Se observó que, el conjunto de datos del área basal tuvo una distribución casi simétrica, en ausencia de outliers (Figura 24), a los 50 años de edad.

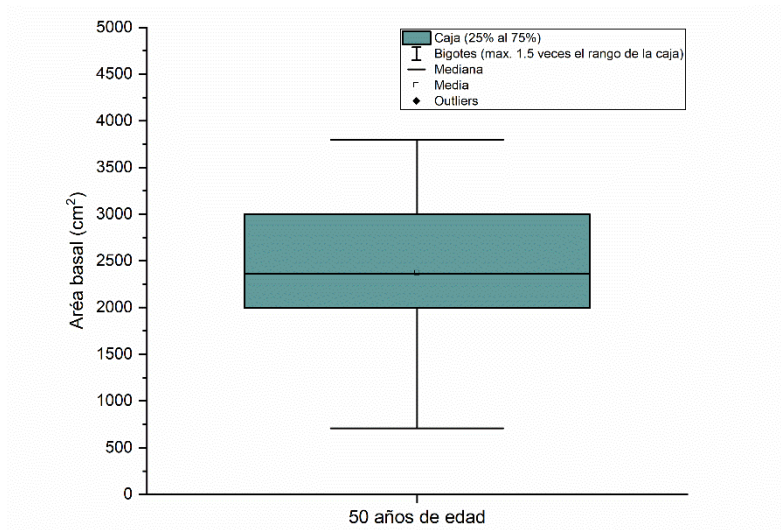


Figura 12: Diagrama de caja o "boxplot" de la distribución de las observaciones del área basal de los árboles, a los 50 años de edad.

El modelo Gompertz mostró un aceptable ajuste a las observaciones del área basal, con un coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj) de 0,79; error estándar de estimación (SEE) de 536,02  $\text{cm}^2$ ; fue además altamente significativo ( $p < 0,001$ ) (Figura 25).

La ecuación del modelo de Gompertz del área basal, es expresada como:

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

Siendo sus 3 parámetros:

$a = 6440,95214$ ; es la amplitud de la curva, o longitud de la asíntota.

$k = 0,03446$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento del área basal.

$xc = 50,19385$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y$  = área basal (g) en  $\text{cm}^2$ , como variable dependiente

$x$  = tiempo en años, como variable independiente

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo de Gompertz para la estimación del área basal fue:

$$g = 6440,95214e^{-e^{-0,03446(\text{tiempo}-50,19385)}}$$

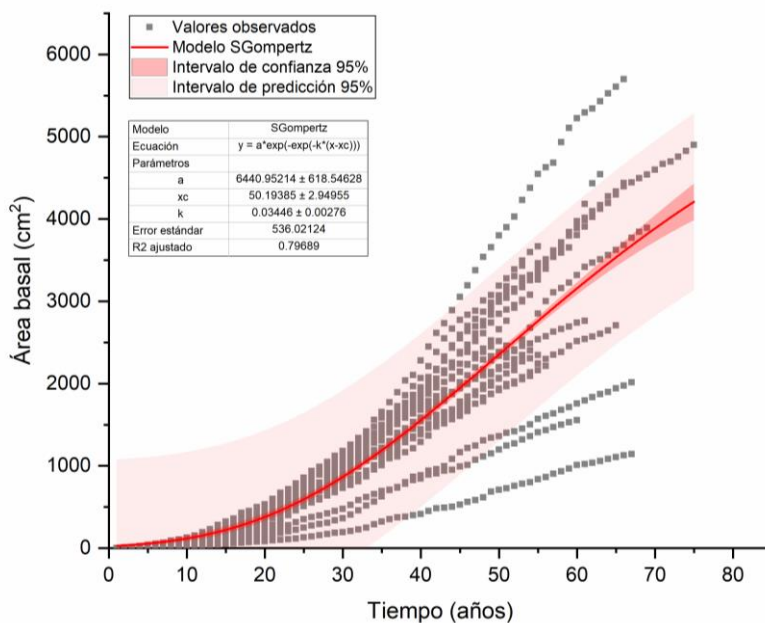


Figura 13: Modelo de crecimiento “Gompertz”, ajustado a las observaciones de área basal (g) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

A diferencia de lo ocurrido con el DAP, el modelo Logístico mostró mejor bondad de ajuste con el área basal (Figura 26) similar al modelo Gompertz. El modelo tuvo un  $R^2$  adj de 0,79 y SEE de 535,08 cm, altamente significativo ( $p < 0,001$ ).

La ecuación del modelo de Logístico tuvo la siguiente forma:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-xc)}}$$

Siendo sus 3 parámetros:

$a = 4283,12361$ ; es la asíntota superior de la curva, es decir el máximo dap teórico, alcanzado después de un tiempo infinito de crecimiento.

$k = 0,08283$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento del área basal.

$xc = 47,22118$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y$  = área basal en  $\text{cm}^2$ , como variable dependiente

$x$  = tiempo en años, como variable independiente

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo Logístico para la estimación del área basal fue:

$$g = \frac{4283,12631}{1 + e^{-0,08283(x-47,22118)}}$$

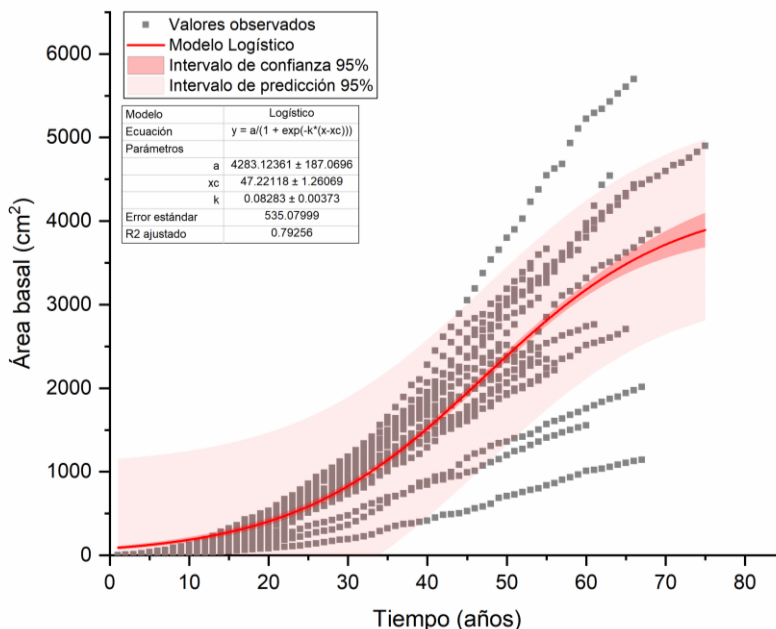


Figura 14: Modelo de crecimiento “Logístico”, ajustado a las observaciones de área basal (g) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Finalmente, el modelo Richards, también altamente significativo ( $p < 0,001$ ), tuvo ligeramente mejor bondad de ajuste que los modelos Gompertz y Logístico, con  $R^2$  adj de 0,80 y SEE de 535,08 cm (Figura 27).

La ecuación de Richards, del tipo:

$$y = a[1 + (d - 1)e^{-k(x-xc)}]^{1/(1-d)}; d \neq 1$$

Tuvo los siguientes 4 parámetros:

$a = 13907,52761$ ; es la asíntota superior de la curva, es decir el máximo área basal que puede alcanzar después de un crecimiento infinito.

$d = 0,57493$ ; es un coeficiente que en parte determina el punto de inflexión en el eje Y.

$k = 0,01287$ ; es el coeficiente de la tasa de crecimiento del área basal.

$xc = 67,48568$ ; es el punto (edad) de inflexión en el eje X, o centro de la curva

Y sus variables:

$y$  = Área basal en  $\text{cm}^2$ , como variable dependiente

$x$  = tiempo en años, como variable independiente

Reemplazando los valores en la ecuación anterior, el modelo de Richards para la estimación del área basal fue:

$$g = 13907,52761[1 + (0,57493 - 1)e^{-0,01287(x-67,48568)}]^{1/(1-0,57493)}$$

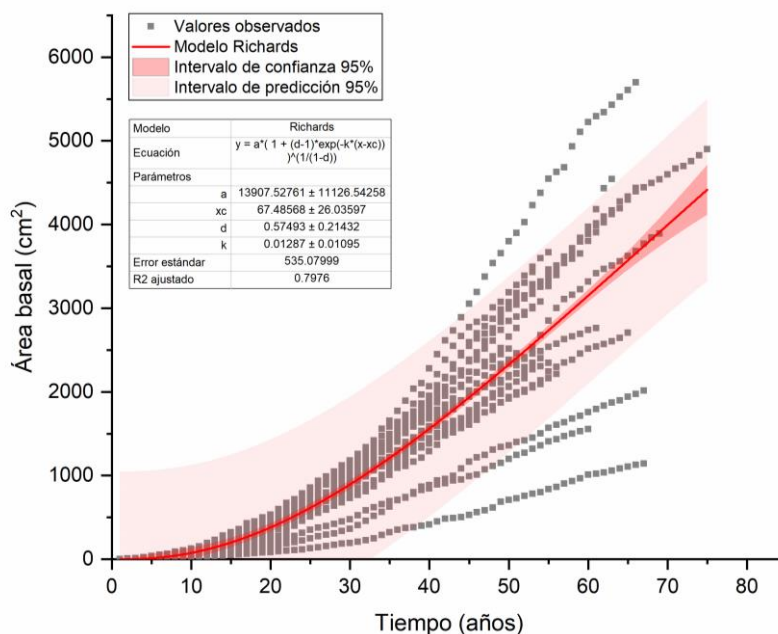


Figura 15: Modelo de crecimiento “Richards 2”, ajustado a las observaciones de área basal ( $g$ ) de 20 árboles muestreados en una Concesión Forestal, distrito de Las Piedras, Provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Una simulación de los tres modelos para un periodo de tiempo superior a 75 años permite verificar la calidad de los modelos para estimaciones realistas del área basal de árboles más longevos (Figura 28).

Se observa que, con el modelo Logístico, los árboles alcanzarían como máximo un área basal de  $4283 \text{ cm}^2$  equivalente a  $73,7 \text{ cm}$  de DAP, hasta antes de los 100 años, después de este tiempo los árboles prácticamente no incrementarían en lo más mínimo su área basal. Por tanto, el modelo Logístico sería el más conservador de todos.

Con el modelo Gompertz los árboles continuarían teniendo importantes incrementos de área basal hasta antes de los 150 años, pudiendo alcanzar un área basal máximo de  $6440 \text{ cm}^2$ , equivalente a  $90,56 \text{ cm}$  de DAP, siendo el límite



teórico de área basal de los individuos. Éste modelo sería también medianamente conservador.

Con el modelo Richards, los árboles crecerían a altas tasas hasta por encima de los 150 años, pudiendo alcanzar su límite de crecimiento antes de los 200 años, con un máximo de 13907 cm<sup>2</sup> de área basal, es decir 133 cm de DAP. Por tanto, éste modelo sería el menos conservador, comparado con los modelos Gompertz y Logístico.

En estudios publicados sobre el crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* en bosques naturales, se encontraron árboles de hasta 100 cm de DAP; la edad de éstos árboles estaría comprendida entre los 80 y 120 años (Brienen y Zuidema, Pieter A 2006). En otro estudio se encontraron algunos árboles de 65 años de edad que tenían más de 110 cm de DAP (Campos 2009). Los antecedentes indican claramente que individuos vivos de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, pueden superar los 100 cm de DAP; no obstante, no existen referencias de individuos con edades mayores a 120 años.

En este contexto, los modelos de crecimiento más adecuados serían los modelos menos conservadores, como el modelo de Richards; el cual ofrece una estimación más cercana a lo reportado en anteriores investigaciones. Con este modelo, los árboles pueden alcanzar los 133 cm de DAP a edades superiores a los 150 años, algo que parece más realista. En contraste los modelos Gompertz y Logístico, limitan el crecimiento de los árboles a menos de 100 cm de DAP; pareciendo menos realistas, y entrando en conflicto con estudios que reportan mayores dimensiones y edades de los árboles.

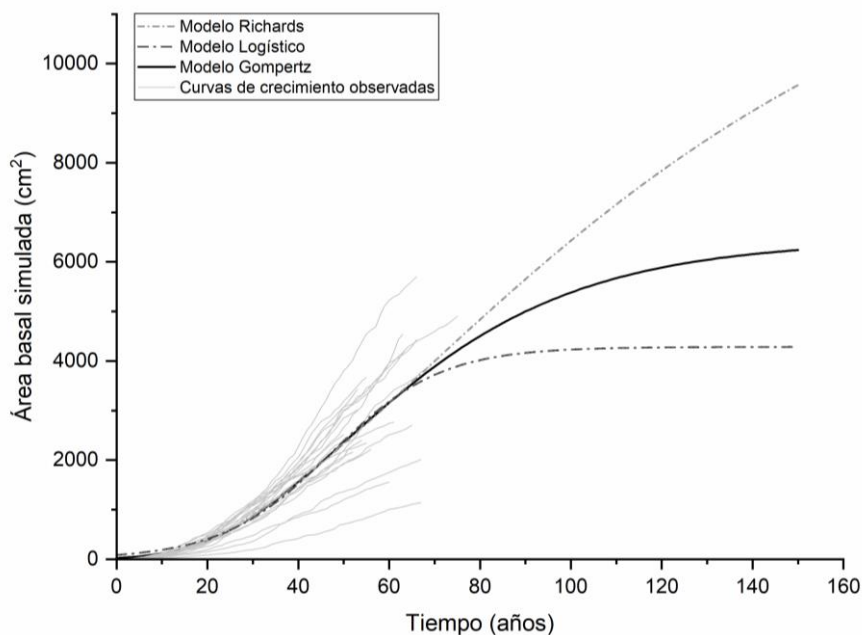


Figura 16: Comparación de la simulación del crecimiento en área basal de los árboles, hasta los 150 años de edad, entre los modelos “Richards”, “Logístico” y “Gompertz”.

Además del criterio empírico tomado en la selección del mejor modelo, fueron calculados los valores de AIC y BIC para verificar el mejor modelo de crecimiento en área basal (Tabla 6). Se observa que los mejores modelos fueron el de Richards y el de Gompertz. El modelo Richards presenta más bajo AIC, no obstante, el modelo Gompertz presenta más bajo BIC. Estos indicadores muestran una igualdad entre estos dos modelos. Sin embargo, tomando en cuenta las experiencias reportadas en la literatura científica (límites de DAP y edad de los árboles), claramente el modelo Richards es el más adecuado para la estimación del crecimiento en función de la edad.

Tabla 3: Criterio de información de Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiana (BIC) de los modelos del área basal (g), para la selección del mejor modelo.

Modelo área basal	gl	AIC	BIC
Gompertz	4	18508,87	18529,24
Logístico	4	18534,17	18554,54
Richards	5	18506,27	18531,72

La Figura 29, muestra una comparación de las curvas ICA e IMA obtenidas a partir de los modelos Gompertz, Logístico y Richards.

Según el modelo Gompertz, los árboles evaluados de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, alcanzan su máximo IMA-g ( $56,27 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ ) a los 79 años de edad (Figura 29a); mientras que con el modelo Logístico el máximo IMA-g ( $53,58 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ ) tempranamente a los 65 años (Figura 29b).

En contraste con estos dos modelos, el modelo Richards estima que los árboles alcanzarían su máximo IMA-g ( $65,33 \text{ cm}^2 \text{ año}^{-1}$ ) a los 120 años de edad (Figura 29).

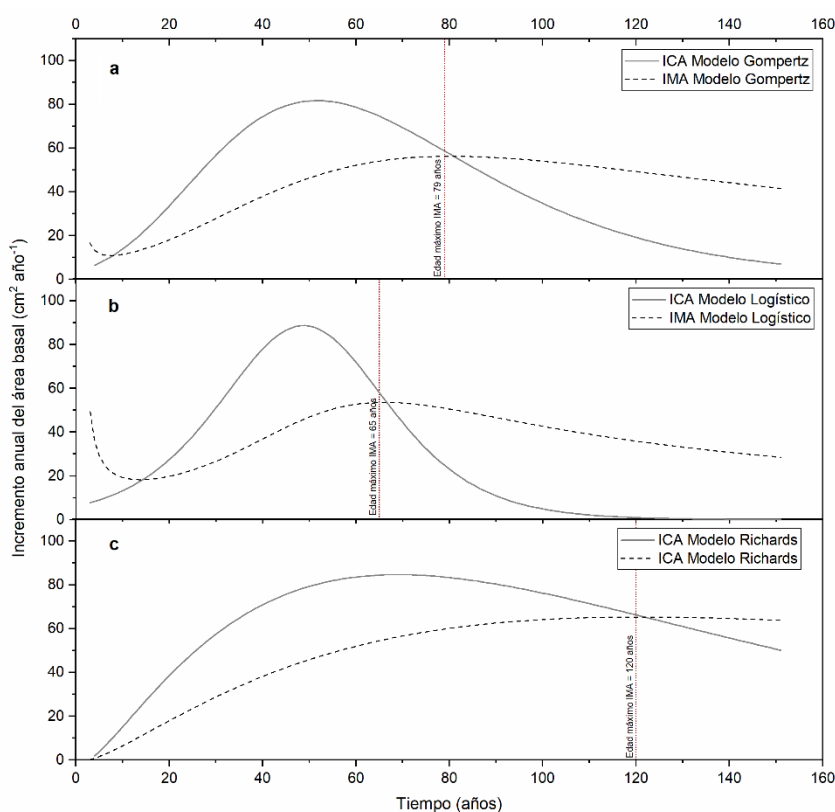


Figura 17: Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) del área basal (g), construidos a partir de la curva de crecimiento del modelo "Gompertz" (a), modelo "Logístico" (b) y modelo "Richards 2" (c). Las líneas verticales puntuadas indican la edad promedio a la que los árboles alcanzan el máximo IMA g, es decir el tiempo de turno silvicultural óptima.

El máximo IMA-g, que coincide con la intersección entre la curvas IMA e ICA así como con el punto de inflexión de la curva de rendimiento; es un parámetro que determina el "turno silvicultural" o "turno de corta biológico" o "edad de rotación" (en adelante lo llamaremos "turno silvicultural") de los individuos (Prodan et al. 1997).

Considerando el modelo de Richards, el turno silvicultural de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, creciendo en bosques naturales, estaría en

alrededor de los 120 años. Debe tenerse en cuenta que el turno silvicultural es sólo un indicador teórico de la edad en la que un rodal alcanza el máximo rendimiento de producción de madera (Prodan et al. 1997). Por tanto, tratándose de bosques naturales discontínuos el turno silvicultural no puede ser aplicado debido a la alta variabilidad de dimensiones y edades de los árboles. Sin embargo, las curvas de IMA e ICA del área basal son importantes para determinar el volumen esperado de los árboles, a partir de una altura comercial conocida.

Un resultado muy importante del presente estudio, es la edad a la que los árboles alcanzan el DMC (61 cm) fijado por la legislación forestal (Instituto Nacional de los Recursos Naturales 2002), que según las estimaciones determinadas mediante el modelo de Richards, estaría en alrededor de los 59 años, siendo que los árboles con mayor tasa de crecimiento podrían alcanzarlo desde los 34 años, y los de más lento crecimiento no lo alcanzarían hasta después de los 75 años (Figura 22). Estos resultados sugieren que los actuales ciclos de corta de 20 años que se aplica en la mayoría de concesiones forestales de la Amazonía Peruana, serían altamente insuficientes para que la especie alcance el DMC requerido, generando muy bajos índices de recuperación. A la edad de 20 años, los árboles apenas alcanzan 21,43 cm de DAP. Tomando en cuenta una intensidad de cosecha menor al 40%, con aprovechamiento de los individuos de alta tasa de crecimiento, mínimamente serían necesarios ciclos de corta de 50 años para un manejo sostenible de la especie; a ésta edad un 35% de los árboles alcanzan el DMC. Los ciclos de corta que se aplican actualmente, están ocasionando una progresiva disminución de las poblaciones de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

Las estimaciones presentadas, concuerdan con el estudio realizado por Brienen y Zuidema (2006), quienes encontraron también insuficiente un ciclo de corta de 20 años en la Amazonía Boliviana. Los autores proponen como alternativa saltarse la cosecha después de 20 años y dejar que las poblaciones se recuperen durante 40 años. Esto podría ser fácilmente aplicado por los concesionarios forestales; si optaran por diversificar los volúmenes de extracción a un mayor número de especies, disminuyendo de ésta forma los volúmenes en las especies de más lento crecimiento, y propiciando su recuperación.

Nuestro estudio muestra que la reconstrucción histórica del crecimiento del diámetro de los árboles mediante técnicas dendrocronológicas es un enfoque prometedor para evaluar patrones de crecimiento en diámetro y área basal, así como para la construcción de modelos de crecimiento robustos, en especies arbóreas que forman anillos de crecimiento anuales, como es el caso de la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. Nuestro estudio muestra también que hay varias ventajas de usar el análisis de anillos de árboles para los estudios de manejo forestal sobre el método estándar que aplica datos de crecimiento de parcelas permanentes de muestreo. Primero, el análisis de anillos de crecimiento de los árboles proporciona valores directos para las edades y las tasas de crecimiento durante toda la vida de los árboles y, por lo tanto, es más preciso que las extrapolaciones basadas en datos de crecimiento a corto plazo. En segundo lugar, los datos de anillos de crecimiento obtenidos de árboles grandes talados reflejan las tasas de crecimiento de los árboles que han alcanzado el dosel y han sobrevivido hasta alcanzar los tamaños de cosecha. En el caso de que los árboles que alcanzan el dosel sean aquellos que han crecido a tasas superiores al promedio, el uso de datos de parcelas permanentes de muestreo subestimaría la tasa de crecimiento de futuros árboles de dosel y sobreestimaría su edad (Brienen y Zuidema 2006). En tercer lugar, este tipo de estudios es menos costoso y más rápido de realizar al sólo requerir de muestras radiales de leño de los árboles, de una muestra representativa.

## CONCLUSIONES

Los árboles de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke presentaron anillos de crecimiento anuales distinguibles a simple vista, delimitados por la formación de una estrecha línea de zona fibrosa de color más oscuro.

Existieron correlaciones significativas negativas entre el crecimiento de los árboles y la temperatura durante casi todos los meses del año, excepto en el mes más frío (julio), indicado que durante los meses calientes la temperatura afecta negativamente el crecimiento de los árboles. En contraste, las correlaciones entre el crecimiento y la precipitación, fue apenas significativa en noviembre (inicio de estación lluviosa), afectando positivamente el crecimiento; así como en el mes de junio (inicio de la estación seca) afectando negativamente el crecimiento. Esto indica que los árboles incrementan y/o reactivan su crecimiento ante los primeros eventos lluviosos (noviembre) y disminuyen y/o cesan su crecimiento ante los primeros eventos secos (junio) del año.

El modelo de Richards mostró mejor ajuste al conjunto de observaciones del DAP ( $R^2$  adj = 0,88 y SEE = 7,01 cm), siendo adecuado para la estimación del dap en función del tiempo (edad).

Similarmente, para el área basal, el modelo Richards mostró buen ajuste ( $R^2$  adj = 0,80 y SEE = 535,08 cm<sup>2</sup>), siendo adecuado para la estimación del área basal en función del tiempo (edad).

El máximo IMA-DAP (1,11cm año<sup>-1</sup>) es alcanzado a los 33 años de edad, mientras que el máximo ICA-DAP (1,2 cm) se logra aproximadamente a los 20 años de edad. Se estimó que los árboles tardan en promedio 59 años para alcanzar el diámetro mínimo de corte (61 cm). Los árboles de más rápido crecimiento podrían alcanzarlo desde los 43 años, mientras que los de más lento crecimiento no lo alcanzarían hasta después de los 75 años. La población de árboles evaluada, tendría un turno silvicultural de 120 años, edad que alcanza su máximo IMA-g (65,33 cm<sup>2</sup> año<sup>-1</sup>).

## SUGERENCIAS

1. Se sugiere para los próximos estudios, muestrear árboles de mayores dimensiones para incluir mayor información del crecimiento de individuos longevos, de tal manera que se puedan construir modelos de crecimiento más precisos para la estimación de crecimiento por encima de los 75 años.
2. Se sugiere también, realizar estudios similares en esta especie, en otras boscosas del departamento de Madre de Dios, a fin de verificar el grado de variación de la tasa de crecimiento de la especie establecida en diferentes condiciones de microclima y suelo.
3. Los modelos generados en el presente estudio, mantienen un buen grado de ajuste, dentro del intervalo de tiempo de 75 años (edad de los árboles muestreados más longevos). Por tanto, el uso del modelo más allá de este intervalo de tiempo, debe ser tomado con cuidado, pues los modelos podrían, en la mayoría de los casos, subestimar el crecimiento en dap de los árboles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAIKE, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, no. 6, pp. 716-723. ISSN 0018-9286. DOI 10.1109/TAC.1974.1100705.
- BOWYER, J.L., SHMULSKY, R. y HAYGREEN, J.G., 2007. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. S.I.: Wiley. ISBN 9780813820361.
- 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:
- BRIENEN, R.J.W. y ZUIDEMA, P.A., 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, vol. 146, pp. 1-12. DOI 10.1007/s00442-005-0160-y.
- BRIENEN, R.J.W. y ZUIDEMA, P.A., 2006. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology*, vol. 94, no. 2, pp. 481-493. ISSN 00220477. DOI 10.1111/j.1365-2745.2005.01080.x.
- BRIENEN, R.J.W. y ZUIDEMA, P.A., 2006. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. *Forest Ecology and Management*, vol. 226, no. 1-3, pp. 256-267. ISSN 03781127. DOI 10.1016/j.foreco.2006.01.038.
- BROWN, P.M., 2003. *Introduction to dendrochronology lecture 1: Basic terminology and concepts*. Rocky Mountain: s.n.
- BURKHART, H.E. y TOMÉ, M., 2012. Growth Functions. *Modeling Forest Trees and Stands*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 111-130.
- 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*. S.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- COOK, E.R., COOK y R., E., 2006. Dendrochronology and Dendroclimatology. *Encyclopedia of Environmetrics*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 9780470057339.



- CÓRDOVA, F.K.A., 2016. *Plan de Manejo Forestal Intermedio para el Aprovechamiento de Productos Forestales Diferentes a la Madera 17-TAM/C-OPB-A-002-06*. 2016. Puerto Maldonado: s.n.
- DONOSO, P. y PROMIS, Á., 2013. *Silvicultura en Bosques Nativos*. Chile: s.n. ISBN 9789567173327.
- DÜNISCH, O., BAUCH, J. y GASPAROTTO, L., 2002. Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA Journal*, vol. 23, no. 2, pp. 101-119. ISSN 0928-1541. DOI 10.1163/22941932-90000292.
- DÜNISCH, O., MONTÓIA, V.R. y BAUCH, J., 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees*, vol. 17, no. 3, pp. 244-250. ISSN 1432-2285. DOI 10.1007/s00468-002-0230-2.
- FLORES, Y.B., 2011. *Crecimiento y productividad de plantaciones forestales en la amazonía peruana*. . S.I.:
- FRITTS, H.C., 1976. *Tree rings and climate*. S.I.: Academic Press. ISBN 9780122684500.
- GOREMAD, 2010. *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Tahuamanu-Volumen I*. . Puerto Maldonado:
- GÜNTER, S., WEBER, M., STIMM, B. y MOSANDL, R., 2011. *Silviculture in the Tropics*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 9783642199851.
- 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.
- 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.I.: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- IAWA COMMITTEE, 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*, vol. 10, no. 3, pp. 219-332.
- INSTITUTO NACIONAL DE LOS RECURSOS NATURALES, 2002. *Resolución Jefatural N° 458-2002-INRENA*. 2002. Perú: s.n.
- ITTO, 2018. Cedrorana, Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) | ITTO. [en línea]. [Consulta: 15 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.tropicaltimber.info/es/specie/cedrorana-cedrelinga-cateniformis/#lower-content>.
- JACOBY, G.C., 1989. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *Iawa Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 99-108.
- LAMPRECHT, H., 1990. *Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido*. Eschborn, Germany: TZ-Verlag-Ges. ISBN 3880854408 9783880854406.
- LIEBERMAN, M. y LIEBERMAN, D., 1985. Simulation of growth curves from periodic increment data. *Ecology*, vol. 66, no. 2, pp. 632-635. ISSN 00129658. DOI 10.2307/1940415.
- LÓPEZ, L., VILLALBA, R. y BRAVO, F., 2013. Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia. *Forest Ecology and Management*, vol. 292, pp. 49-55. DOI 10.1016/j.foreco.2012.12.011.
- MARTÍNEZ, A.P., 2015. *Interpretación dendroecológica y desarrollo de modelos de crecimiento en dos especies tropicales: Swietenia macrophylla y Cedrelinga odorata en la Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala*. S.I.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- MONTAÑEZ VALENCIA, R.A., 2013. *Dinámica temporal del crecimiento y dioecia de Araucaria angustifolia en rodales implantados en el subtrópico de Argentina: una aproximación dendrocronológica*. S.I.: Universidad de Valladolid.
- PRETZSCH, H., 2009. From Primary Production to Growth and Harvestable Yield

- and Vice Versa. *Forest Dynamics, Growth and Yield*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 41-99.
- 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.
- 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*. S.l.: Tarea Gráfica Educativa. ISBN 9789972973314.
- RONDON, X.J., GORCHOV, D.L. y NOBLE, R.B., 2009. Projection of tree growth and timber volume following strip clear-cutting in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, vol. 257, no. 2, pp. 588-599. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/J.FORECO.2008.09.051.
- ROSERO, J.A., 2009. *Dendrocronologia de árvores de mogno, Swietenia macrophylla King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru*. Piracicaba: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo.
- SCHWARZ, G., 1978. Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, vol. 6, no. 2, pp. 461-464. ISSN 0090-5364. DOI 10.1214/aos/1176344136.
- SERFOR, 2016. Anuario Forestal 2015 «Perú Forestal en Números 2015». . Lima, Perú:
- STOKES, M.A. y SMILEY, T.L., 1996. *An Introduction to Tree-ring Dating*. S.l.: University of Arizona Press. ISBN 9780816516803.
- TOMAZELLO FILHO, M. y BOTOSSO, P.C., 2001. análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. 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.
- UNIVERSIDAD DE PIURA, 2015. Expertos de España y Perú disertarán sobre conceptos de Dendrocronología | UDEP Hoy. *Udep [hoy]* [en línea]. [Consulta: 24 marzo 2018]. Disponible en: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/expertos-de-espana-y-peru-disertaran-sobre-conceptos-de-dendrocronologia/>.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2012. Miden actividad climática con análisis de anillos en árboles - UNIMEDIOS: Universidad Nacional de Colombia. *Unimedios* [en línea]. [Consulta: 24 marzo 2018]. Disponible en: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/miden-actividad-climatica-con-analisis-de-anillos-en-arboles.html>.
- VAN LAAR, A. y AKÇA, A., 2007. *Forest mensuration*. S.l.: Springer. ISBN 9781402059919.
- VENEGAS-GONZÁLEZ, A., 2013. *Dendrocronología de árboles 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.
- WEST, P.W., 2014. *Growing plantation forests*. S.l.: s.n. ISBN 9783319018270.
- WIEDENHOEFT, A., 2012. Structure and Function of Wood. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition*. S.l.: CRC Press, pp. 9-32. ISBN 978-1-4398-5380-1.
- 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.

## ANEXOS

### ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

problema	Objetivos	VARIABLES	Metodología
<p><b>Problema general:</b></p> <p>¿Cómo es el crecimiento de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke, en los bosques naturales?</p>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Evaluar el crecimiento de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke, mediante técnicas de dendrocronología.</p>	<p><b>VARIABLES dependientes:</b></p> <p>1 Crecimiento en diámetro - Incremento medio anual del diámetro (IMA-DAP). - Incremento corriente anual del diámetro (ICA-DAP). 2 Crecimiento en área basal - Incremento medio anual del diámetro del área basal (IMA-g). - Incremento corriente anual del área basal (ICA-g). 3 Rendimiento en diámetro, o incremento acumulado del diámetro 4. Rendimiento en área basal, o incremento acumulado del área basal</p> <p><b>VARIABLES independientes:</b></p> <p>1. <b>Edad</b> - Número de anillos de crecimiento. 2. <b>Variabilidad meteorológica intranual</b> - Precipitación mensual. - Temperatura mensual.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>- Correlacional. - El diseño del estudio es de tipo observacional no experimental.</p> <p><b>Población y muestra:</b> La población evaluada estuvo conformada por todos los árboles de Cedrelinga cateniformis, localizadas dentro del área de la Concesión de Otros Productos del Bosque 17-TAM/C-OPB-A-002-06. El tamaño de muestra de la presente investigación fue de 30 árboles de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke, con DAP&gt;61cm, seleccionados aleatoriamente de la población, y proporcional a las clases diámetricas.</p> <p><b>Técnicas:</b></p> <p>- selección aleatoria - mediciones - codificadas</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <p>- Equipos de laboratorio. - Dendrómetro de bandas. - Barrenos. - Ficha de observación. - Cuestionario. - Guía de entrevista. - Fichas bibliográficas.</p>
<p><b>Problema específico:</b></p> <p>a. ¿Cómo afecta la precipitación y temperatura en el crecimiento de Cedrelinga cateniformis?</p>	<p><b>Objetivo específico:</b></p> <p>a. Caracterizar los anillos de crecimiento de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke. b. Evaluar la relación del crecimiento radial de los árboles de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke con la variabilidad meteorológica intra anual. c. Construir modelos de crecimiento del DAP y área basal de los árboles de Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke. d. Construir las curvas del incremento corriente anual del DAP (ICA-DAP) e incremento medio anual del DAP (IMA-DAP) a partir del mejor modelo de crecimiento del DAP. e. Construir las curvas del incremento corriente anual del área basal (ICA-g) e incremento medio anual del área basal (IMA-g) a partir del mejor modelo de crecimiento del área basal.</p>		

### a) Incremento radial de los árboles evaluados.

Año	Incremento radial (mm)																			
	4	5	7	15	23	24	27	29	30	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	51
2017	2,55	3,26	1,26	3,29	4,57	5,96	1,95	2,99	2,15	2,33	3,15	1,21	3,39	3,39	4,63	3,71	4,36	3,30	6,30	2,29
2016	2,04	3,08	1,80	4,89	10,80	4,40	2,20	2,88	3,51	2,20	4,07	2,68	2,34	3,07	3,26	3,74	3,03	2,88	6,01	3,60
2015	2,80	4,34	1,88	5,09	9,60	3,14	1,95	2,35	3,99	1,66	2,63	1,56	1,71	3,64	4,71	4,45	2,36	2,56	5,65	2,84
2014	1,78	9,84	2,36	5,45	5,70	2,59	2,97	1,21	2,74	1,34	3,22	1,83	1,77	3,49	4,53	4,69	5,75	5,87	4,41	3,58
2013	2,29	5,30	1,81	4,42	7,61	2,18	1,70	2,87	2,93	2,49	2,20	2,98	1,37	1,78	4,17	5,38	5,93	6,89	5,84	3,73
2012	2,80	2,63	1,37	5,76	6,43	1,91	3,64	2,52	2,51	2,10	1,87	2,08	3,36	2,71	3,80	4,93	5,14	5,43	4,64	4,07

2011	2.46	4.07	0.97	3.42	3.70	8.00	3.32	1.86	1.97	2.51	3.98	2.84	4.14	4.60	4.68	2.56	7.65	7.55	4.50	5.34
2010	2.89	3.02	4.03	6.35	9.60	5.88	3.51	2.09	2.49	2.86	3.08	1.71	2.06	6.98	4.90	4.24	4.75	8.48	5.87	5.42
2009	2.29	2.90	2.78	2.56	9.19	3.47	2.15	2.05	4.80	3.78	4.93	2.65	3.01	10.08	6.07	2.34	2.93	2.46	7.37	3.39
2008	2.98	6.73	2.82	3.42	4.11	4.04	3.76	2.66	4.52	2.80	2.91	2.01	3.09	2.37	3.66	3.46	6.94	4.24	7.83	4.25
2007	2.12	2.01	3.79	5.79	4.05	2.30	4.09	2.63	3.21	4.99	2.65	2.29	6.53	3.39	4.00	7.87	6.12	4.24	9.00	4.60
2006	2.63	2.40	2.65	6.35	8.48	6.88	2.99	4.97	2.65	5.42	2.97	3.38	3.67	7.06	5.58	2.39	3.93	5.29	7.96	4.76
2005	4.87	1.75	3.76	9.58	5.45	1.73	3.68	5.99	5.45	3.62	3.83	6.25	3.27	6.31	2.68	4.95	5.72	8.86	5.79	7.01
2004	3.60	3.85	1.53	10.12	7.52	6.42	5.41	5.21	7.83	1.75	1.80	6.25	1.97	8.91	2.99	3.37	4.28	4.33	6.60	5.01
2003	2.47	6.73	2.96	8.64	5.70	5.63	1.61	4.63	9.37	1.58	5.34	4.27	4.78	5.80	8.79	6.49	7.38	6.12	5.74	6.06
2002	1.44	4.96	2.82	6.43	3.82	2.48	3.69	7.13	8.00	2.57	3.82	3.97	2.97	4.56	7.10	7.85	8.05	7.54	7.75	7.50
2001	2.99	3.64	1.94	6.99	7.07	6.65	1.11	2.84	7.78	4.53	5.25	3.14	5.80	6.54	5.36	5.62	4.65	5.10	8.13	9.19
2000	1.56	6.31	2.25	8.79	5.61	5.84	2.94	2.01	4.66	2.73	2.63	2.33	2.12	5.56	7.56	3.26	4.36	4.00	5.77	5.07
1999	2.63	2.69	7.71	5.82	3.96	3.37	1.45	7.30	6.91	5.52	5.09	6.02	5.94	7.78	6.09	2.88	3.96	5.36	5.86	5.39
1998	4.76	2.39	3.98	4.02	10.10	3.18	4.63	3.51	5.35	5.98	6.19	2.23	4.07	9.11	6.49	8.33	2.89	2.99	8.66	4.94
1997	2.54	4.19	2.77	7.86	4.74	4.93	1.83	3.27	8.05	3.33	3.47	3.76	2.80	6.95	5.71	4.01	4.88	5.43	8.59	4.58
1996	4.19	4.24	3.89	8.04	4.03	6.37	4.17	4.30	7.77	4.82	2.29	3.02	3.82	8.38	7.69	8.60	7.55	6.21	9.36	4.64
1995	6.82	5.01	3.07	3.87	4.47	9.11	4.24	1.42	5.45	6.23	4.07	2.12	2.72	8.48	4.65	9.21	5.70	5.69	11.61	7.91
1994	7.63	7.56	1.29	4.88	3.66	7.05	3.78	1.48	3.73	3.79	6.53	4.59	8.31	6.50	5.11	6.85	9.36	3.82	9.59	4.49
1993	3.31	3.95	1.40	6.07	2.97	5.04	8.31	2.16	3.84	5.08	5.34	5.60	6.02	9.28	5.12	3.13	4.93	6.76	5.34	5.37
1992	1.87	7.56	4.03	5.04	5.78	8.03	7.43	6.86	3.73	8.15	6.83	7.68	6.02	9.87	11.86	4.67	4.33	5.43	5.60	4.54
1991	4.92	8.72	4.82	6.17	5.78	5.75	5.87	9.73	4.83	5.41	4.81	5.97	4.08	10.59	7.38	5.90	10.59	6.69	4.58	3.08
1990	2.03	7.83	2.21	5.36	6.41	6.81	7.29	9.68	6.70	4.27	3.39	7.36	4.32	4.16	9.11	8.41	6.28	7.92	4.08	4.36
1989	6.36	5.90	2.55	4.63	2.58	7.25	7.05	6.56	5.35	6.41	8.38	5.44	1.70	9.18	7.36	6.88	7.05	8.49	9.38	2.74
1988	6.54	5.47	1.34	7.52	4.66	9.56	6.51	4.42	3.73	5.20	5.29	4.22	7.29	7.96	9.45	8.41	5.36	10.77	6.10	7.82
1987	2.89	6.14	3.40	7.11	6.44	3.35	3.74	8.15	3.48	3.48	3.66	6.19	4.86	7.93	4.93	11.60	7.35	7.88	3.74	3.48
1986	1.70	9.04	4.32	12.89	5.76	9.00	4.95	5.90	8.57	3.34	2.63	4.62	7.92	6.76	7.61	6.82	3.74	5.59	10.00	6.04
1985	3.74	11.90	5.08	5.56	4.28	5.53	2.34	7.24	6.12	4.69	5.37	6.67	5.63	10.14	7.43	8.41	4.17	5.08	10.59	6.05
1984	4.08	6.55	7.33	6.03	3.49	3.48	2.84	9.70	3.90	8.21	2.81	8.61	4.33	6.25	5.60	6.98	5.94	16.84	6.27	5.66
1983	4.49	8.06	3.78	7.91	3.91	3.64	4.48	5.60	5.00	7.97	9.01	3.49	3.86	7.93	7.29	9.50	10.00	7.63	5.17	6.79
1982	6.95	6.95	3.48	2.97	7.63	6.20	4.80	6.89	6.02	4.14	8.15	4.47	4.51	8.79	7.46	8.47	8.57	7.54	4.44	5.09
1981	6.19	3.30	3.00	2.76	10.59	4.67	3.48	6.32	4.75	6.87	5.36	4.26	3.84	6.66	4.24	6.17	6.78	7.95	4.93	5.35
1980	3.22	2.93	1.69	3.18	5.74	5.53	4.17	6.43	3.81	6.21	8.22	7.58	4.83	6.20	7.29	4.98	8.05	3.44	6.62	5.11
1979	3.81	2.62	3.14	9.83	5.10	9.13	4.19	4.82	5.17	6.87	3.98	3.65	2.97	6.44	9.60	6.76	5.17	6.42	6.80	6.47
1978	3.68	6.99	3.50	14.42	4.49	4.70	3.18	7.12	4.07	4.83	5.86	11.61	9.08	6.21	9.37	4.79	7.21	7.71	4.28	5.85
1977	2.88	6.61	3.33	15.19	7.98	6.76	2.62	5.42	3.14	6.86	5.79	6.44	6.70	9.12	10.94	6.19	6.02	8.71	4.16	5.62
1976	3.90	6.59	2.15	7.51	8.71	10.13	3.19	2.96	2.71	9.00	11.10	5.93	2.89	12.79	10.91	5.41	6.11	7.62	4.66	3.24
1975	5.52	6.59	3.75	5.83	9.72	10.68	3.30	9.26	3.39	8.00	3.40	8.14	3.56	8.66	7.07	5.97	3.98	7.55	5.34	5.85
1974	6.28	4.82	1.83	8.85	3.40	7.22	3.38	5.31	9.75	7.40	2.65	7.54	2.97	5.59	3.82	3.48	5.10	4.83	5.43	4.88
1973	3.05	5.58	2.15	7.64	3.18	9.07	2.81	7.79	10.60	6.87	4.93	6.19	4.41	4.75	3.25	8.59	4.66	5.01	5.68	2.33
1972	6.27	6.12	2.04	4.84	8.09	5.69	1.63	4.93	6.78	6.21	2.22	4.77	6.53	7.23	3.83	3.78	2.73	3.05	4.16	6.70
1971	5.88	7.01	3.44	9.10	8.12	2.97	3.19	6.06	6.32	10.25	7.76	8.76	2.54	5.88	5.41	3.06	3.16	4.00	4.61	7.09
1970	4.15	5.63	1.15	7.87	5.72	5.52	5.16	6.26	2.73	6.63	6.16	5.92	3.48	7.16	5.98	4.40	4.01	4.91	4.08	4.16
1969	3.74	4.91	2.76	7.40	6.94	6.44	4.82	8.11	5.13	7.50	4.06	4.98	3.05	3.56	6.11	3.32	3.02	4.02	4.12	3.26
1968	1.62	3.67	2.20	5.16	5.10	4.50	2.49	6.41	5.45	3.82	8.08	6.50	7.90	5.17	6.81	5.59	3.14	3.49	5.61	5.24
1967	5.78	3.00	2.69	3.79	5.52	5.02	4.06	7.32	5.34	5.91	8.79	7.32	7.77	5.76	5.52		4.66	3.48	4.24	5.20
1966	2.91	3.41	3.44	5.51	3.39	5.14	3.50	7.69	5.18	5.81	4.42	4.07	6.60	10.77	5.17			2.05	5.60	5.14
1965	2.04	2.38	2.45	5.04	6.90	7.15	3.54	10.98	5.58	5.98	5.49	3.99	3.58	5.00	3.49			4.25	6.08	
1964	5.59	3.30	2.41	6.18	4.45	4.16	1.69	10.04	3.06	4.66	4.17	3.69	6.17	4.67	4.82					
1963	4.02		2.31	6.50	4.24	6.22	2.53	7.88	5.31	6.15	3.30	5.03	4.84	5.70	2.90					
1962	2.96		3.17		7.63	7.20	3.19	3.83	6.22		5.91	5.30	6.70	6.21	3.68					
1961	4.54		2.20		5.30	9.02	2.22	3.00	6.68			5.40	5.77	6.44	3.16					
1960	4.66		3.32		6.15	6.63	3.73	3.22	7.51			5.70	5.39	7.88	2.81					
1959	4.36		3.54		6.36	6.07	6.12	2.66	5.43			5.90	7.95	6.95	4.36					
1958	3.73		2.84		6.99	5.98	5.90	5.43	7.13			6.10	3.33	4.34	4.78					
1957	4.08		2.40		5.43	8.60		6.00	5.27			6.20	4.04	5.66	3.49					
1956	7.00		3.06		7.41	6.58		4.50	6.19				5.27	6.08	4.85					
1955	4.29		1.75		7.90	5.09		8.96	6.47				4.58	5.49	4.74					

1954	3,30	1,48	3,27	4,37	4,17	5,09	4,33	5,67
1953	4,19	2,23	4,19	12,45	5,41	6,10	3,64	
1952	2,34	2,40	5,18	7,24	2,94		5,20	
1951	3,10	3,60		5,93	3,54			
1950				5,07	2,77			
1949				6,24	4,89			
1948				4,08				
1947				3,90				
1946				4,99				
1945				2,95				
1944				2,04				
1943				3,80				

**b) Incremento corriente anual, incremento medio anual del diámetro y rendimiento del área basal, estimado mediante el modelo Richards para un periodo de 150 años de crecimiento.**

Edad (años)	IMA-dap (cm año <sup>-1</sup> )	ICA-dap (cm)	Rendimiento dap (cm)	IMA-g (cm <sup>2</sup> año <sup>-1</sup> )	ICA-g (cm <sup>2</sup> )	Rendimiento g (cm)
1	1,19		1,19			
2	0,95	0,70	1,89	0,47		0,24
3	0,89	0,79	2,68	2,42	1,95	0,81
4	0,89	0,86	3,54	6,23	3,80	1,56
5	0,89	0,92	4,47	12,10	5,87	2,42
6	0,91	0,97	5,44	20,18	8,08	3,36
7	0,92	1,01	6,45	30,56	10,38	4,37
8	0,94	1,05	7,50	43,31	12,74	5,41
9	0,95	1,08	8,58	58,45	15,14	6,49
10	0,97	1,10	9,68	76,00	17,56	7,60
11	0,98	1,13	10,80	95,98	19,98	8,73
12	1,00	1,14	11,95	118,37	22,39	9,86
13	1,01	1,16	13,11	143,17	24,79	11,01
14	1,02	1,17	14,28	170,34	27,17	12,17
15	1,03	1,18	15,46	199,86	29,52	13,32
16	1,04	1,19	16,65	231,69	31,83	14,48
17	1,05	1,19	17,84	265,79	34,10	15,63
18	1,06	1,20	19,03	302,13	36,33	16,78
19	1,06	1,20	20,23	340,65	38,52	17,93
20	1,07	1,20	21,43	381,30	40,66	19,07
21	1,08	1,20	22,63	424,04	42,74	20,19
22	1,08	1,20	23,82	468,82	44,78	21,31
23	1,09	1,19	25,01	515,58	46,76	22,42
24	1,09	1,19	26,20	564,26	48,68	23,51
25	1,10	1,18	27,38	614,81	50,55	24,59
26	1,10	1,18	28,56	667,18	52,37	25,66
27	1,10	1,17	29,73	721,30	54,13	26,71
28	1,10	1,16	30,89	777,13	55,83	27,75
29	1,10	1,15	32,04	834,61	57,47	28,78
30	1,11	1,14	33,19	893,67	59,06	29,79
31	1,11	1,13	34,32	954,27	60,60	30,78
32	1,11	1,12	35,45	1016,34	62,08	31,76

33	1,11	1,11	36,56	1079,84	63,50	32,72
34	1,11	1,10	37,67	1144,71	64,87	33,67
35	1,11	1,09	38,76	1210,89	66,18	34,60
36	1,11	1,08	39,84	1278,33	67,44	35,51
37	1,11	1,07	40,91	1346,97	68,65	36,40
38	1,10	1,06	41,97	1416,77	69,80	37,28
39	1,10	1,05	43,02	1487,68	70,90	38,15
40	1,10	1,03	44,05	1559,63	71,96	38,99
41	1,10	1,02	45,07	1632,60	72,96	39,82
42	1,10	1,01	46,08	1706,51	73,92	40,63
43	1,09	1,00	47,08	1781,33	74,82	41,43
44	1,09	0,98	48,06	1857,01	75,68	42,20
45	1,09	0,97	49,04	1933,51	76,49	42,97
46	1,09	0,96	50,00	2010,77	77,26	43,71
47	1,08	0,95	50,94	2088,76	77,99	44,44
48	1,08	0,93	51,88	2167,43	78,67	45,15
49	1,08	0,92	52,80	2246,73	79,31	45,85
50	1,07	0,91	53,71	2326,64	79,90	46,53
51	1,07	0,90	54,60	2407,10	80,46	47,20
52	1,07	0,88	55,48	2488,08	80,98	47,85
53	1,06	0,87	56,35	2569,54	81,46	48,48
54	1,06	0,86	57,21	2651,44	81,90	49,10
55	1,06	0,84	58,05	2733,74	82,31	49,70
56	1,05	0,83	58,89	2816,42	82,67	50,29
57	1,05	0,82	59,71	2899,43	83,01	50,87
58	1,04	0,81	60,51	2982,74	83,31	51,43
59	1,04	0,79	61,31	3066,32	83,58	51,97
60	1,03	0,78	62,09	3150,13	83,82	52,50
61	1,03	0,77	62,86	3234,15	84,02	53,02
62	1,03	0,76	63,62	3318,35	84,20	53,52
63	1,02	0,75	64,37	3402,69	84,34	54,01
64	1,02	0,73	65,10	3487,15	84,46	54,49
65	1,01	0,72	65,82	3571,70	84,55	54,95
66	1,01	0,71	66,53	3656,32	84,61	55,40
67	1,00	0,70	67,23	3740,97	84,65	55,84
68	1,00	0,69	67,92	3825,63	84,66	56,26
69	0,99	0,68	68,60	3910,28	84,65	56,67
70	0,99	0,67	69,27	3994,89	84,61	57,07
71	0,98	0,66	69,92	4079,45	84,56	57,46
72	0,98	0,64	70,57	4163,92	84,47	57,83
73	0,98	0,63	71,20	4248,29	84,37	58,20
74	0,97	0,62	71,82	4332,54	84,25	58,55
75	0,97	0,61	72,43	4416,65	84,11	58,89
76	0,96	0,60	73,04	4500,59	83,94	59,22
77	0,96	0,59	73,63	4584,35	83,76	59,54
78	0,95	0,58	74,21	4667,92	83,56	59,85
79	0,95	0,57	74,78	4751,26	83,35	60,14
80	0,94	0,56	75,34	4834,38	83,11	60,43
81	0,94	0,55	75,90	4917,24	82,87	60,71
82	0,93	0,54	76,44	4999,85	82,60	60,97
83	0,93	0,53	76,97	5082,17	82,32	61,23
84	0,92	0,52	77,50	5164,20	82,03	61,48
85	0,92	0,51	78,01	5245,92	81,72	61,72
86	0,91	0,51	78,52	5327,32	81,40	61,95
87	0,91	0,50	79,01	5408,38	81,07	62,17
88	0,90	0,49	79,50	5489,11	80,72	62,38



89	0,90	0,48	79,98	5569,47	80,36	62,58
90	0,89	0,47	80,45	5649,47	80,00	62,77
91	0,89	0,46	80,92	5729,09	79,62	62,96
92	0,88	0,45	81,37	5808,31	79,23	63,13
93	0,88	0,45	81,82	5887,14	78,83	63,30
94	0,88	0,44	82,25	5965,57	78,42	63,46
95	0,87	0,43	82,69	6043,57	78,00	63,62
96	0,87	0,42	83,11	6121,15	77,58	63,76
97	0,86	0,42	83,52	6198,29	77,15	63,90
98	0,86	0,41	83,93	6275,00	76,70	64,03
99	0,85	0,40	84,33	6351,25	76,26	64,15
100	0,85	0,39	84,72	6427,06	75,80	64,27
101	0,84	0,39	85,11	6502,39	75,34	64,38
102	0,84	0,38	85,49	6577,27	74,87	64,48
103	0,83	0,37	85,86	6651,66	74,40	64,58
104	0,83	0,37	86,23	6725,58	73,92	64,67
105	0,82	0,36	86,59	6799,02	73,43	64,75
106	0,82	0,35	86,94	6871,96	72,95	64,83
107	0,82	0,35	87,28	6944,41	72,45	64,90
108	0,81	0,34	87,62	7016,37	71,95	64,97
109	0,81	0,33	87,95	7087,82	71,45	65,03
110	0,80	0,33	88,28	7158,77	70,95	65,08
111	0,80	0,32	88,60	7229,21	70,44	65,13
112	0,79	0,31	88,92	7299,14	69,93	65,17
113	0,79	0,31	89,23	7368,55	69,41	65,21
114	0,79	0,30	89,53	7437,45	68,90	65,24
115	0,78	0,30	89,83	7505,83	68,38	65,27
116	0,78	0,29	90,12	7573,68	67,86	65,29
117	0,77	0,29	90,41	7641,02	67,33	65,31
118	0,77	0,28	90,69	7707,82	66,81	65,32
119	0,76	0,28	90,96	7774,11	66,28	65,33
120	0,76	0,27	91,23	7839,86	65,76	65,33
121	0,76	0,27	91,50	7905,09	65,23	65,33
122	0,75	0,26	91,76	7969,79	64,70	65,33
123	0,75	0,26	92,02	8033,95	64,17	65,32
124	0,74	0,25	92,27	8097,59	63,64	65,30
125	0,74	0,25	92,51	8160,70	63,11	65,29
126	0,74	0,24	92,76	8223,28	62,58	65,26
127	0,73	0,24	92,99	8285,32	62,05	65,24
128	0,73	0,23	93,23	8346,84	61,52	65,21
129	0,72	0,23	93,45	8407,82	60,99	65,18
130	0,72	0,22	93,68	8468,28	60,46	65,14
131	0,72	0,22	93,90	8528,21	59,93	65,10
132	0,71	0,22	94,11	8587,61	59,40	65,06
133	0,71	0,21	94,33	8646,48	58,87	65,01
134	0,71	0,21	94,53	8704,83	58,35	64,96
135	0,70	0,20	94,74	8762,65	57,82	64,91
136	0,70	0,20	94,94	8819,95	57,30	64,85
137	0,69	0,20	95,13	8876,73	56,78	64,79
138	0,69	0,19	95,32	8932,99	56,26	64,73
139	0,69	0,19	95,51	8988,72	55,74	64,67
140	0,68	0,19	95,70	9043,95	55,22	64,60
141	0,68	0,18	95,88	9098,65	54,71	64,53
142	0,68	0,18	96,06	9152,84	54,19	64,46
143	0,67	0,17	96,23	9206,52	53,68	64,38
144	0,67	0,17	96,40	9259,69	53,17	64,30



1958	659	575		483	312	25	146	88	322	484	523	
1959	1013	464	485	606	134							
1960									95			430
1961	214	226	272	67	122	86	53	4	131	197	150	363
1962	284	343	236	71	49	10	34	131	44	88	121	491
1963	270	312	177	60	20	42	6	11	78	74	200	183
1964	320	253	252	77	112	16	71	17	84	196	166	259
1965	372	219	494	296	37	4	99	87	155	145	89	313
1966	283	184	212	198	42	59	38	70	57	82	117	229
1967	160	209	292	33	27	83	42	90	177	201	267	105
1968	252	488	389	63	67	187	99	41	123	174	220	438
1969	202	201	259	94	215	91	50	28	25	101	231	262
1970	234	310	152	215	120	47	61	8	24	148		371
1971	459	263	260	139	47	78	74	135	29	116	194	208
1972	230	322	202	117	90	97	209	283	107	265	283	411
1973	395	256	167	56	95	41	69	100	46	190	273	210
1974	237	164	264	283	2	140	24	178	81	224	198	181
1975	438	455	318	0	51	94	80	139	298	86	347	242
1976	327	99	300	104	98	31	5	44	170	271	177	296
1977	167	442	180	171	43	25	78	109	247	99	299	309
1978	273	458	204	195	141	0	115	0	96	136	283	455
1979	418	346	498	238	161	0	13	20	50	59	194	381
1980	400	486	321	163	111	30	7	53	47	284	242	178
1981	528	618	291	235	237	23		33	113	229	249	
1982			365	232		96		69	216	189		238
1983			336						23	228	174	394
1984	536			396	27	27	9	16	59		317	92
1985		211	271	192	61	0	0	24	200	0		
1986		604						22	132	23	144	193
1987	532	73		154		31	34	40	0			229
1988	365	472		72	127	15	7	3	44	75	193	252
1989	102	184	283	71	30	22	82	11	131	141	367	423
1990	235	352	111	178		60	117	50	136			
1991		119								99		
1992												70
1993	353							70	19	307		181
1994	128	176			196	69						
1995												
1996	529	103		172	22	13	6	100		160		253
1997		392	412							390		
1998							13			263		418
1999			264		48		17		223			
2010	340	279	344	27	7	0	44	82	47	162	191	297
2011	329	403	231	0	0	16	19	33	90	276	93	360
2012	159	502	258	174	118	113	0	0	128	169	43	344
2013	187	375	315	105	92	79	29	84	113	304		403
2014	773	427	276	79	168	73	83	149	106	163	337	208
2015	429	382	109	130	265	46	53	184	104	132	195	242
2016	284	312	350	241	22	12	19	21	69	120	289	255



e) Panel fotográfico de la colecta y preparación de las muestras para estudio dendrocronológico



Foto 1: Corte y trozado de árboles.



Foto 2: Corte de una muestra de la sección transversal.



Foto 3: Transporte de las muestras de leño.



Foto 4: Reducción del espesor de las muestras.



Foto 5: Herramienta y equipos para el pulido de las muestras

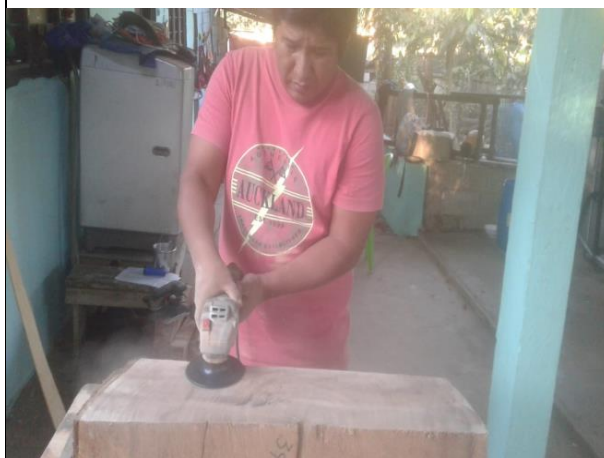


Foto 6: Pulido de las muestras.



Foto 7: Muestra pulidas.



Foto 8: Escaneo de las muestras pulidas.



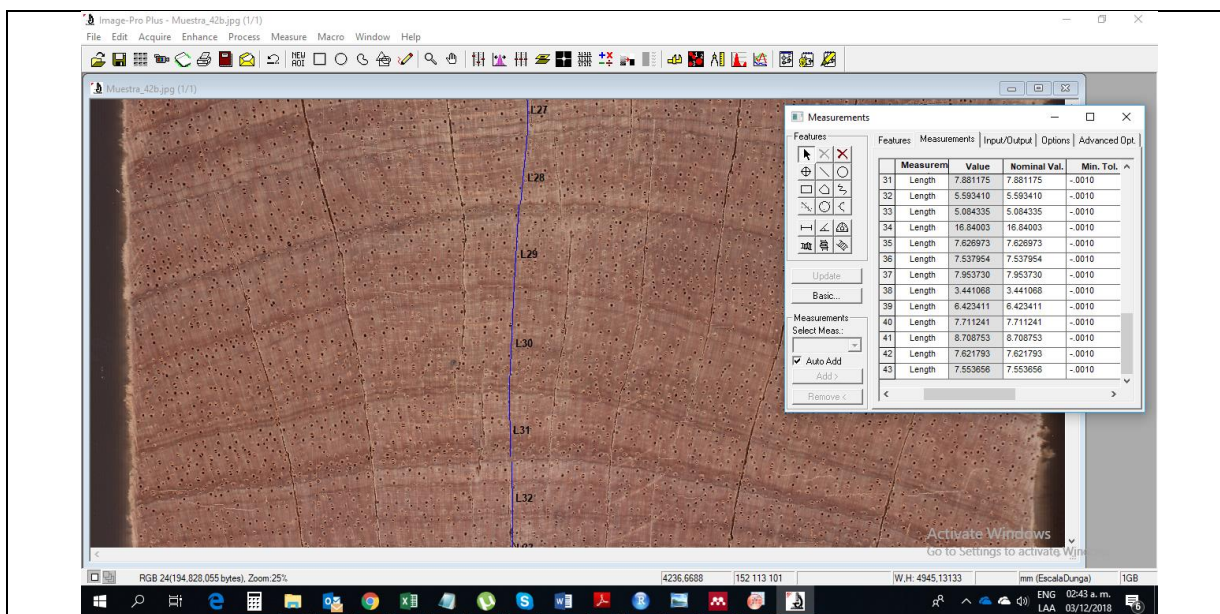


Foto 9: Medición de los anillos de crecimiento con el programa Image Pro Plus.

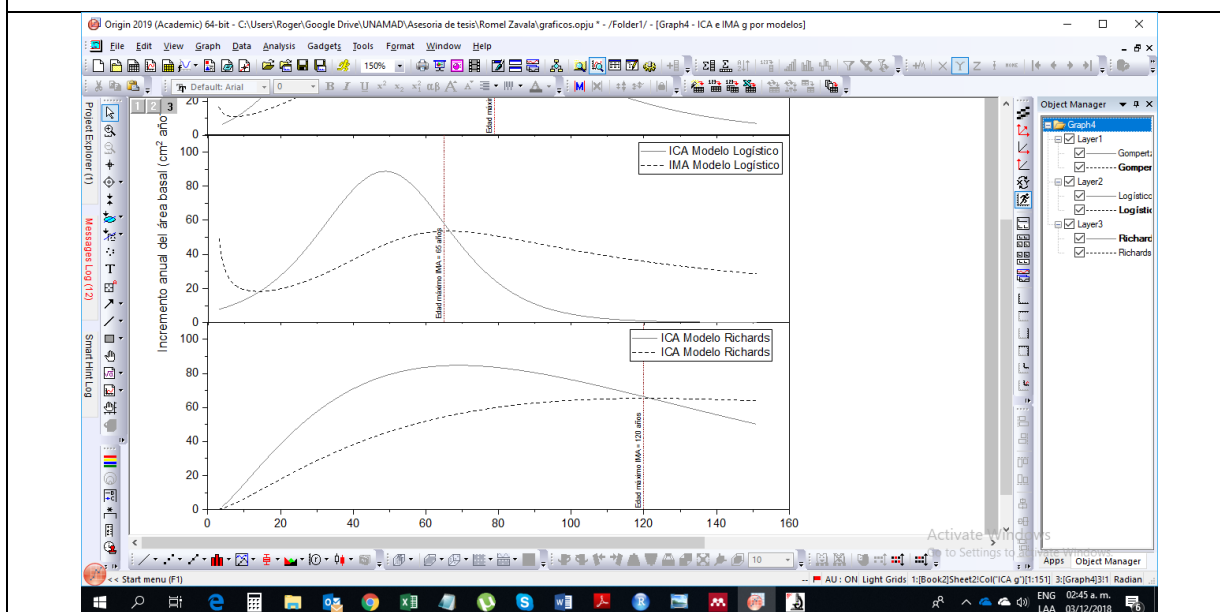


Foto 10: Contrucción de las curvas de los modelos y curvas de crecimiento con el programa Origin 2009.