U N I V E R S I D A D N A C I O N A L D E U C A Y A L I

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

"INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN EN LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Cedrelinga Cateniformis* (DUCKE) DUCKE EN EL ANEXO EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

ROSARIO FIORELLA REÁTEGUI TAPULLIMA

PUCALLPA – PERÚ
2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

N°401-2019-UNU-FCsFyA-CGT

En la cuidad de Pucallpa, siendo las 09:00 a.m., del día martes 17 de diciembre del 2019, mediante memorando N°2012-2019-UNU-FCsFyA-CGT, se reunieron los miembros del jurado evaluador conformado por el Dr. Roly Baldoceda Astete (Presidente), Dr. Fernando Velásquez de la Cruz (Miembro), y MSc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez (Miembro), para evaluar la tesis titulada **"INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN EN LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Cedrelinga Cateniformis* (DUCKE) DUCKE EN EL ANEXO EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI"**, presentada por la bachiller **ROSARIO FIORELLA REATEGUI TAPULLIMA**, asesorada por el **Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez.**

Después de finalizado la sustentación se procedió a formulación de preguntas por parte del jurado evaluador, las cuales fueron absueltas por la sustentante en su mayoría, en consecuencia la tesis fue aprobada por MAYORÍA, con el calificativo de BUENO, quedando apto para la expedición del título profesional de INGENIERO FORESTAL.

Siendo las 11:00 am, se dio por concluido el acto académico.

.....
Dr. Roly Baldoceda Astete
Presidente

.....
Dr. Fernando Velázquez de la Cruz
Miembro

.....
Ing. MSc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez
Miembro

ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal

Dr. Roly Baldoceda Astete .....

Dr. Fernando Velázquez de la Cruz .....

Ing. MSc. Gladys Elena Rojas Gutiérrez .....

Dr. Jorge Arturo Mori Vázquez .....

Bach. Rosario Fiorella Reategui Tapullima .....

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

Constancia

N° 474

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

"INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN EN LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE CEDRELINGA CATENIFORMIS (DUCKE) DUCKE EN EL ANEXO EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI"

Cuyo autor (es)	:	**REATEGUI TAPULLIMA, ROSARIO FIORELLA**
Facultad	:	CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
Escuela Profesional	:	INGENIERÍA FORESTAL
Asesor(a)	:	**Dr. MORI VASQUEZ, JORGE ARTURO**

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 05 %.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 03/12/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
Dirección General de Producción Intelectual
UCAYALI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

SRTA. DINA PARI QUISPE
Direc. Gral Prod Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, ROSARIO FIORELLA REATEGUI TAPULLIMA.
Autor de la TESIS titulada:
"INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN EN LA FORMACIÓN DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Cedrelinga Cateniformis* (DUCKE) DUCKE EN EL ANEXO EXPERIMENTAL ALEXANDER VON HUMBOLDT, UCAYALI"
Sustentada en año: 2019
Con la asesoría de: Dr. Jorge Arturo Mori Vásquez.
En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales.
Escuela profesional de: Ingeniería Forestal.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguientes términos:
Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.
Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización. Garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.
Tercero: Autorizo la publicación,

[x] **Total** (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio)
[ ] **Parcial** (significa que solo la caratula, la dedicatoria y el resumen en PDF será compartido en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 03/12/2020
Email: fiorellareategui@outlook.com
Teléfono: 949869777

Firma:
DNI: 47064818

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme vida, salud y sus múltiples bendiciones para lograr mis objetivos.

A Guillermo y Helda mis padres:

A quienes debo lo que soy, por enseñarme a luchar, por sus consejos y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida… Eternamente agradecida

A mi hermano Erick por sus consejos y su tiempo, a mi hija Ashley por su amor y por ser la inspiración para lograr mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Ucayali y los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales: por los conocimientos y la formación académica adquirida, permitiendo mi desarrollo profesional.

A mi asesor Dr. Jorge Arturo Morí Vázquez, por brindarme sus conocimientos, su apoyo en todo el proceso de investigación.

Al Dr. Manuel Chavesta Custodio profesor principal del Departamento de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Al Ing. M.Sc. Edilson Jimmy Requena Rojas investigador de la Universidad Continental – Sede Huancayo por su apoyo en la interpretación de los resultados que ayudaron a culminar el presente trabajo.

INDICE DEL CONTENIDO

CAPITULO I 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. Formulación del Problema 1

1.2. Objetivos 2

1.2.1. Objetivo General 2

1.2.2. Objetivos específicos 2

1.3. Hipótesis 3

1.3.1. Hipótesis General 3

1.3.2. Hipótesis Específicas 3

CAPITULO II 1

MARCO TEÓRICO 1

2.1. Antecedentes de la investigación 1

2.2. Especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke 6

2.2.1. Taxonomía 6

2.2.2. Descripción Botánica 6

2.2.3. Descripción Anatómica 7

2.2.4. Distribución de la especie 7

2.2.5. Plantación, crecimiento y cuidados 7

2.2.6. Importancia de la especie 8

2.3. Los anillos de crecimiento 9

2.4. Formación y ocurrencia de los anillos de crecimiento 10

2.5. Importancia del estudio de los anillos de crecimiento. 12

2.6. Periodicidad en la formación de anillos de crecimiento en especies tropicales. 13

2.7. Análisis de los anillos de crecimiento 17

2.8. Dendrocronología 18

2.8.1. Principios de la Dendrocronología 18

a. Principio de uniformidad: 18

b. Principio de factores limitantes: 19

c. Principio de amplitud ecológica: 19

d. Principio de crecimiento agregado: 19

e. Principio de Sincronización (Cross-dating): 20

f. Principio de Selección de Sitio: 21

h. Principio de Replicación: 22
2.9. El clima y su Relación con la Dendrocronología (Dendroclimatología) 23
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 26
CAPITULO III 29
METODOLOGÍA 29
3.1. Ubicación del estudio 29
3.2. Método de investigación. 29
3.3. Población y muestra. 30
3.3.1. Población 30
3.3.2. Muestra 30
3.4. Procedimientos de recolección de datos. 30
3.5. Técnicas e instrumentos para recolección de datos. 31
3.5.1. Técnicas 31
3.5.2. Instrumentos 31
a. Instrumentos de recolección de datos 31
b. Equipos de laboratorio y softwarare 32
3.6. Procesamiento para recolección de datos. 32
3.7. Tratamiento de datos. 32
a) Para la Formación de Anillos de Crecimiento 32
b) Para los datos Climáticos 33
CAPITULO IV 34
RESULTADOS Y DISCUSION 34
4.1. Caracterización de la presencia y anualidad de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke. 34
4.2. Obtención y validación de cronologías del ancho de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga Cateniformis* mediante COFECHA. 36
4.3. Análisis Dendroclimatológico. 42
a. Correlación de datos de precipitación con las cronologías 43
b. Correlación de datos de temperatura con las cronologías 44
CAPITULO V 46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
5.1. Conclusiones 46
5.2. Recomendaciones 47
BIBLIOGRAFIA 48
ANEXO 54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke. 37
Tabla 2: Resultados del control de calidad de las series ejecutadas en el programa COFECHA. 38
Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson entre la cronología master y los valores trimestrales de PP (mm) y T° (°C). 41
Tabla 4: Valores promedios de cronología, precipitación y temperatura para el análisis de la correlaciones Cedrelinga cateniformis. 54
Tabla 5. Valores de la cronología en mm obtenidos mediante Image Pro Plus para el periodo 1998 – 2015. 55
Tabla 6. Valores de temperatura obtenidos de la estación Maronal – 108027 para el periodo 2002 – 2013. 56
Tabla 7. Valores de precipitación obtenidos de la estación Maronal – 108027 para el periodo 2002 – 2013. 57
Tabla 8. Valores de temperatura obtenidos de la Unidad de Investigación Climática para el periodo 1997 – 2015. 58
Tabla 9. Valores de precipitación obtenidos de la Unidad de Investigación Climática para el periodo 1997 – 2015. 59

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Ubicación de la plantación multiestrato de Cedrelinga cateniformis en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt..... 29
Figura 2. Poros solitarios (PS), poros múltiples (PM), el límite del anillo está definido por una estrecha banda de parénquima marginal (flechas)..... 34
Figura 3. Porosidad difusa sin patrón definido de variación en cuanto a tamaño al ancho del anillo de crecimiento, límite del anillo de crecimiento (flechas), falsos anillos (FA)..... 35
Figura 4. Variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento de Cedrelinga cateniformis (Ducke). a) Serie de anillos poco visibles. b) Falsos anillos. c) Variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos. 35
Figura 5. Series individuales del ancho de anillos con señal común en Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke. 39
Figura 6. Serie maestra obtenidas individuales del ancho de anillos con señal común en Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke. 40
Figura 7. Promedio mensual de la Interrelación de los factores precipitación y temperatura, valores de la Unidad de Investigación Climática de 1998 hasta 2015. 42
Figura 8. Correlación precipitación – ancho de anillos. 43
Figura 9. Correlación temperatura – ancho de anillos..... 44
Figura 10. Camino a la plantación de tornillo. 60
Figura 11. Reconocimiento de la plantación de tornillo. 60
Figura 12. Tumbado del árbol para la extracción de muestras. 61
Figura 13. Tocones para la extracción de rodajas. 61
Figura 14. Rodajas para la demarcación de direcciones. 62
Figura 15. Extracción de los tarugos con ayuda del barreno de Pressler. 62
Figura 16. Aserrando la rodaja para el proceso de lijado. 63
Figura 17. Demarcación de direcciones opuestas Norte-Sur y Este-Oeste. 63
Figura 18. Rodaja luego de ser pulida con lijadora tipo banda. 64
Figura 19. Se observa con mayor nitidez los límites de los anillos de crecimiento. 64
Figura 20. Tarugos por árbol en sentido radial incluyendo la médula. 65
Figura 21. Tarugos pegados en soporte de madera. 65
Figura 22 Muestras de rodaja primera codificación. 66
Figura 23 Muestras de rodaja segunda codificación. 66
Figura 24. Muestras de tarugos primera codificación. 67
Figura 25. Muestras de tarugos segunda codificación. 67

RESUMEN

La presente investigación parte del objetivo de determinar la influencia de la precipitación y la temperatura en la formación de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis (Ducke)* Ducke, por tanto lo para analizar y determinar la relación entre el crecimiento radial y ambos factores, se utilizó técnicas dendrocronológicas estándares. La población estuvo representada por la plantación multiestrato de *Cedrelinga cateniformis*, establecida en el anexo Experimental Alexander von Humboldt - Ucayali, de 17 años de edad siendo un total de 06 árboles de la misma edad, La madera de los árboles se extrajeron por dos métodos: destructivo y no destructivo. Las muestras estuvieron representadas por 6 árboles, de los cuales se extrajeron 04 probetas por árbol totalizando 24 series y resultando 19 óptimas para el cofechado.

Los resultados indican que la especie presenta anillos anuales marcados y falsos anillos que se encuentran de manera discontinua. El control de calidad de 19 las series de la especie *Cedrelinga cateniformis* permitió determinar la correlación $r = 0.54$ existente lo que indica que existe una señal común entre ellas, esto quiere decir que la edad de los arboles está relacionada con la cantidad de anillos anules existentes en cada individuo.

Por otro lado la correlación entre cronología y precipitación es $r = 0.54$, con un p-valor=0.02 resultando significativa en los meses de febrero a abril, lo que demuestra una relación positiva entre ambos factores, esto quiere decir que le factor precipitación influye de manera positiva y directa en el desarrollo de los anillos de crecimiento; con la temperatura se encontró correlación de $r = -0.59$ con un p-valor de 0.01, alcanzando estos valores en los meses de mayo a julio, esto a su vez quiere decir que la temperatura influye de forma negativa en sentido inverso.

Palabras claves: ***Cedrelinga cateniformis,*** precipitación, temperatura, anillos de crecimiento, COFECHA, Image Pro Plus.

ABSTRACT

The present investigation starts from the objective of determining the influence of precipitation and temperature on the formation of the growth rings of *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke, therefore to analyze and determine the relationship between radial growth and both factors, it was used standard dendrochronological techniques. The population was represented by the entire screw plantation established in the Experimental annex Alexander von Humboldt - Ucayali, 18 years of age, with a total of 06 trees of the same age. The wood of the trees was extracted by two methods: destructive and not destructive The samples were represented by 6 trees, of which 04 specimens were extracted per tree totaling 24 series and resulting in 19 optimal for cofechado.

The results indicate that the species has marked annual rings and false rings that are found discontinuously. The quality control of 19 series of the species Cedrelinga cateniformis allowed to determine the correlation existing r = 0.54 which indicates that there is a common signal between them, this means that the age of the trees is related to the number of existing ring rings in each individual

On the other hand, the correlation between chronology and precipitation is r = 0.54, with a p-value = 0.02 being significant in the months of February to April, which shows a positive relationship between both factors, this means that the precipitation factor influences positive and direct way in the development of growth rings; With the temperature correlation of r = -0.59 was found with a p-value of 0.01, reaching these values in the months of May to July, this in turn means that the temperature has a negative effect in the opposite direction.

Keywords: Cedrelinga cateniformis, precipitation, temperature, growth rings, COFECHA, Image Pro Plus.

INTRODUCCIÓN

Los bosques de nuestra Amazonía presentan una composición florística muy compleja o altamente heterogénea, albergando alrededor de 2,500 especies forestales diferentes, de las cuales sólo están debidamente reconocida cerca de 600 especies. (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre, 2014)

En esta gran diversidad se encuentra la especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke considerada de gran importancia en la Amazonía peruana por sus características físico mecánicas y su alto valor comercial siendo la que presenta mayor producción de madera.

En las últimas décadas se ha demostrado el valioso potencial de los anillos de crecimiento en árboles tropicales, debido a la información que esta posee, ya que los anillos de crecimiento son respuesta a periodos alternativos de lluvia y sequía, pero también podrían responder a cambios significativos de temperatura.

La investigación en el campo de la dendrocronología en especies tropicales se ha incrementado en la última década, no obstante, el análisis de la formación de los anillos es un registro natural con datos importantes debido a que permite reconstrucciones climáticas, hidrológicas, estudios ecológicos, entre otras aplicaciones.

Por ello, la investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la precipitación y la temperatura en la formación de los anillos de en la especie Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke, proveniente de una plantación de diecisiete años ubicada en la estación Experimental Alexander Von Humboldt.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del Problema

Formulación del Problema.

En la actualidad existe un creciente interés por el estudio de los cambios del clima global y su posible comportamiento en el futuro. En la Amazonía peruana existen dos estaciones climáticas bien marcadas; una de las fuentes para conocer dichas variaciones climáticas son los anillos de crecimiento de los árboles.

La especie ***Cedrelinga cateniformis*** **Ducke Ducke** por su distribución geográfica es una especie forestal con características maderables valiosas y tiene un uso muy difundido en el Perú. Está considerada entre las cinco especies forestales más apreciadas por el poblador amazónico desde el punto de vista económico y comercialmente es una de las maderas más utilizadas (Campos, 2009). Sin embargo, existe escasa información de estudios dendroclimáticos realizados en la Amazonia que permitan analizar su relación con los factores climáticos.

Por tal motivo la dendrocronología es una herramienta útil para analizar las relaciones entre el clima y los árboles según (Fritts, 1976). Permitiendo La evaluación del crecimiento de los árboles, con la aplicación inmediata en los planes de manejo forestal sostenible (Tomazello & Cardozo, 1999). En los últimos años se viene estudiado los anillos de crecimiento de algunas especies que sirvieron de base para dotar de información para la mejora del manejo forestal (Brienen & Zuidema, 2003)

Algunos estudios en la amazonia central de Perú ha demostrado que el crecimiento de *Cedrela odorata* es controlado por las variaciones en la precipitación (Pereyra Espinoza, Inga Guillen, Santos Morales, & Arisméndiz, 2014). Entonces considerando la importancia de la especie se pretende resolver la siguiente interrogante: ¿Influye la precipitación y temperatura en el crecimiento de ***Cedrelinga cateniformis***, proveniente de una plantación de diecisiete años en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt, Ucayali?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la precipitación y la temperatura en la formación de anillos de crecimiento de árboles de ***Cedrelinga cateniformis*** **(Ducke) Ducke,** en el Anexo Experimental Alexander Von Humboldt, Ucayali".

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la presencia y anualidad de anillos de crecimiento de la especie de *C. cateniformis.*
- Comparar la variabilidad de las cronologías de las muestras de árboles cofechados en la especie de *C. cateniformis.*
- Determinar la influencia de la precipitación en el crecimiento radial anual en la especie de *C. cateniformis.*
- Determinar la influencia de la temperatura en el crecimiento radial anual en la especie de *C. cateniformis.*

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

La formación de los anillos de crecimiento de *C. cateniformis*, está fuertemente ligada a las fluctuaciones de precipitación y temperatura.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- La especie *C. cateniformis*, presenta anillos claramente marcados y de naturaleza anual.

- La variabilidad de las cronologías de los arboles cofechados presenta una señal común.

- Existe correlación positiva entre precipitación y crecimiento radial anual de la especie *C. cateniformis.* Es decir, el crecimiento radial y la precipitación son directamente proporcionales, aumentando o disminuyendo en sentido directo.

- Existe correlación negativa entre la temperatura y el crecimiento radial anual la especie *C. cateniformis.* Es decir, el crecimiento radial y la temperatura son inversamente proporcionales, aumentando o disminuyendo en sentido inverso.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Requena (2015), Evaluó el potencial de *Alnus acuminata* para su uso posterior en estudios dendroclimatológicos. Analizando una cronología de ancho de anillos para un bosque en San Pedro de Saño y relacionó el crecimiento de los árboles con los registros instrumentales de temperatura media, máxima y mínima, precipitación y horas sol de las estaciones meteorológicas. La cronología de ancho de anillos está compuesta por 33 series de 22 árboles y cubre el período 1968-2013. El crecimiento de los árboles estuvo relacionado negativamente con la temperatura mínima mensual del mes de abril del año corriente. Se observó una relación positiva y significativa entre la cronología de crecimiento y la precipitación para los meses de marzo del año previo y diciembre del año actual de crecimiento. Las horas sol mensuales de abril del año corriente tienen una correlación significativa con el crecimiento radial. Existe influencia de las precipitaciones del verano previo y primavera del año corriente favoreciendo el crecimiento del árbol. El árbol entra en dormancia, posiblemente por las bajas temperaturas de otoño.

Para evaluar la influencia de los factores climáticos precipitación y temperatura en el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de la granja Porcón, se tomaron 3 a 4 muestras radiales de 35 árboles, en rodales puros y próximos, se determinó la edad de los árboles; y con ayuda de los programas COFECHA, ARSTAN y RESPO se definió la variable climática de mayor influencia en el crecimiento de los árboles, determinándose que la variable climática de mayor influencia en el crecimiento de los árboles fue la precipitación. El modelamiento del crecimiento muestra que, a los 25 años de edad, el rodal de *Pinus patula* presenta mayor tasa de crecimiento (1.13cm/año) que el rodal de *Pinus muricata* (0.88cm/año). Por ultimo las curvas de área basal de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) indican que ambas

especies de pino se encuentran en la edad técnica de corte, por lo que se recomienda la aplicación de técnicas de raleos. (Domínguez, 2014).

Mediante técnicas dendrocronológicas estándar se logró fechar al año exacto cada uno de los crecimientos de 25 muestras ($p<0.05$). (Cerano *et al*, 2014), reconstruyó la variabilidad de la precipitación de 1884 al 2010, (127 años). Los resultados de COFECHA indicaron una interrelación significativa entre series ($r= 0.473$; $p<0.01$). Dado que el programa establece para el exacto fechado y calidad de la respuesta climática como mínima correlación significativa entre series de crecimiento $r= 0.3281$ ($p<0.01$). Al asociar los índices de crecimiento y los registros de precipitación mensual regional para el periodo común 1979-1995, se determinó que la mejor correlación ($r= 0.81$, $p<0.001$) corresponde al periodo enero-mayo; el de precipitación invierno-primavera es el que influye de manera más significativa en el crecimiento de la especie. El intervalo de tiempo 1960-1966 representa el periodo más húmedo de los últimos 127 años. Se identificó que la recurrencia de intensas sequías multianuales (1891-1896, 1942-1956 y 1998-2010) es de 42 a 43 años.

Con el objetivo de determinar el potencial de *Cedrela odorata* para estudios dendrocronológicos en la Selva Central del Perú, se examinó cuidadosamente y se cofechó 215 años (1795-2009), correlacionando con registros de precipitación. Basado en 47 series de 27 árboles. Los anillos de los árboles están claramente delimitados por diámetros de poros grandes en maderas tempranas y pequeñas los de la madera tardía asociados con parénquima marginal y paratraqueal. La cronología de anillos de árboles se relacionó con registros de precipitación de Satipo y correlaciones significativas con la temporada de lluvias anterior y finales de Temporada seca del actual período de crecimiento. Concluyen que el crecimiento de *Cedrela odorata* está influenciado por las precipitaciones de la estación lluviosa previa (principalmente desde enero a marzo) como también por las precipitaciones de finales de la estación seca y comienzos de la época de lluvias (julio-agosto). La buena discriminación de Anillos anuales, hace fuerte relación con la precipitación, la gran variedad y la longevidad de los árboles (200 años) hacen que *Cedrela odorata* una especie muy prometedora para estudios

dendrocronológicos en bosques tropicales y subtropicales de América. (Pereyra *el al.* 2014).

Por otra parte, Constante *et al.* (2009), desarrollaron una reconstrucción de precipitación invierno - primavera (enero - julio) de 410 años (1595 a 2004) en un sitio ubicado en el sureste de Coahuila. La correlación entre series fue de 0.72, considerada excelente; alta sensibilidad climática (0.3090), adecuada relación señal - ruido (22.94), desviación estándar de 0.3009 y una autocorrelación de primer orden de 0.2646. La serie de ancho de anillo explicó 58% de la precipitación regional. Los períodos secos detectados en la reconstrucción, que se respaldaron con archivos históricos y con reconstrucciones previas de precipitación, fueron: 1784 a 1794, 1850 a 1857, 1860 a 1884 y 1945 a 1962. Se detectaron sequías recurrentes con frecuencia de 50 a 60 años. Los períodos húmedos observados en este estudio, ocurrieron de 1620 a 1639, de 1647 a 1661, de 1672 a 1685, de 1766 a 1780, de 1900 a 1916 y de 1966 a 1994. Muchos de estos episodios húmedos estuvieron presentes de manera simultánea en otras reconstrucciones de precipitación para el norte de México.

De igual manera Campos (2009) colecto 35 árboles de *C. catenaeformis* de la que caracterizó la estructura anatómica del leño y de los anillos de crecimiento, determinándose la edad de los árboles y el ancho de los anillos, consecuentemente sincronizándolos con la utilización de programas COFECHA, ARSTAN, RESPO, determinando la influencia de las variaciones climáticas en la formación del ancho del anillo. La variable climática que más influencia en el incremento del tronco en los árboles es la precipitación, principalmente al principio de la estación de lluvias (Enero – Abril y Mayo), indicando el potencial de la especie para reconstrucciones climáticas. El análisis de los perfiles radiales por la técnica de densitometría permitió observar que existen diferencias significativas entre la densidad aparente de los árboles de la plantación y del bosque, presentando los del bosque una mayor densidad aparente (0,70 g/cm^3), así como una estabilización en la densidad de los anillos de crecimiento a partir de los 33 años, relacionándose directamente con una menor frecuencia, porcentaje, y diámetros de los vasos y una mayor espesura de la pared en las fibras.

Villalba *et al.* (2000), realizaron estudios de dendrocronológicos de *Prosopis ferox* Griseb (Leguminosae, subfamilia: Mimosoideae) en desiertos subtropicales de alta montaña de la zona árida de Argentina, los resultados de este estudio orientan que *P. ferox* posee anillos de crecimiento anuales claramente demarcados y que las variaciones en el ancho de los anillos están fuertemente controladas por las características climáticas durante la estación de crecimiento, lo cual coincide con el inicio de las precipitaciones de verano y presenta un declive o entra en un periodo de dormancia en los meses secos y más fríos. Se observa que la temperatura y humedad están correlacionadas significativamente con el crecimiento radial, sin embargo, la precipitación se relaciona positivamente, mientras que la temperatura lo hace en forma negativa, indicando de esta manera que el factor que controla el crecimiento sería el balance hídrico, la variabilidad climática ha demostrado ser un factor determinante del crecimiento.

Tomazello, Botosso, & Lisi (2000), estudiaron la potencialidad de la familia Meliaceae para dendrocronología en regiones tropicales y subtropicales. Concluyeron que los árboles de *Cedrela odorata*, *C. fissilia*, *C. angustifolia*, *Switenia macrophylla* y *Toona ciliata* Var. *australis,* provenientes tanto de poblaciones naturales como de plantaciones, presentan estacionalidad cambiante, en relación con el comportamiento fenológico y con las condiciones climáticas de las áreas de estudio. La nítida marcación de estos anillos de crecimiento, es resultado del reinicio del ciclo de crecimiento de estas especies, lo cual hace posible la medición y la explicación de la variación de la densidad de la madera en el anillo y entre los anillos de crecimiento por medio de la densitometría de rayos X estos análisis son importantes y son una fuente segura de información registrada para la aplicación y cuestión ambiental e histórica en dendrocronología.

Con el objetivo de conocer la relación del crecimiento del árbol con la precipitación se realizaron estudios en seis especies de la región amazónica Boliviana: *Amburana cearensis*, *Bertholletia excelsa*, *Cedrela odorata*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Peltogyne cf. Heterophyll*a y *Tachigali vasquezii*, Zuidema & Brienen (2003) ejecutaron una prueba utilizando el análisis de anillos de crecimiento, los resultados de esta prueba muestran una relación positiva entre el crecimiento del árbol y la precipitación en ciertos periodos del año, indicando

que las precipitaciones juegan un rol importante en el crecimiento de estas especies. Estos resultados demuestran claramente que el análisis de los anillos puede ser aplicado exitosamente en los trópicos y que es un método promisorio para diferentes investigaciones.

Para conocer las tendencias en anatomía ecológica de la madera de un bosque mesófilo de montaña, se estudiaron 29 especies arbóreas de la región de Ocuilan, Estado de México. Los resultados sugieren que el clima homogéneo de la zona influye en la ausencia de anillos de crecimiento en la mayoría de las especies; al mismo tiempo se observó una relación estrecha entre los anillos y el origen fitogeográfico de los taxa. Con respecto a los demás caracteres anatómicos, existe un elevado porcentaje de maderas con porosidad difusa, elementos de vaso medianos y largos, con diámetros pequeños y placas de perforación escalariforme; fibras largas con paredes delgadas, de tipo libriforme, o fibrotraqueidas con presencia o no de septos; el parénquima axial es escaso y los radios son heterogéneos, de tipo I. concluyendo en que estos caracteres pueden estar relacionados con el ambiente húmedo presente en el área de estudio, pues en otros trabajos anatómicos las tendencias anatómicas señalan la presencia de porosidad difusa en ambientes en donde no existe una estacionalidad marcada, (Aguilar & Barajas, 2005).

Por otra parte para el estudio de anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México, se realizó la prueba de Tukey ($p=0.05$) a las dimensiones de los elementos leñosos, para determinar la diferencia entre madera temprana y tardía, como resultado se obtuvo que en *T. donnell-smithii* los anillos de crecimiento tuvieron un efecto significativo sobre las variaciones en longitudes de fibras (madera temprana: $p=0.001$; madera tardía: $p=0.01$) y de vasos (madera temprana: $p=0.001$; madera tardía: $p=0.05$). También en *C. elaeagnoides* los anillos presentaron un efecto significativo sobre las variaciones en las longitudes de fibras (madera temprana: $p=0.001$; madera tardía: $p=0.001$) y de vasos (madera temprana: $p=0.01$; madera tardía: $p=0.01$). En contraste, en *B. simaruba* el efecto sólo fue significativo ($p=0.01$) sobre las longitudes de fibra en madera temprana. Concluyendo en que la variación significativa en dimensiones de fibras y vasos entre zonas de crecimiento (madera

temprana - madera tardía) indica que las especies estudiadas tienen una producción de células en forma periódica, regulada por un patrón anual de disponibilidad de agua, lo que sugiere la formación anual de cada anillo, (López *et al.* 2006)

2.2. Especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

2.2.1. Taxonomía

Flores (2017), describe la siguiente clasificación taxonómica:

- Reino: Plantae
- Sub-Reino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Género: Cedrelinga
- Especie: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

2.2.2. Descripción Botánica

López, (1981), menciona que la Cedrelinga cateniformis desarrolla una altura total entre 25 y 50 metros, dependiendo de la "calidad de sitio", el diámetro a la altura del pecho varía de entre 60 a 150 cm, presenta hojas alternas, disposición dística, bipinnadas con cuatro hojas de dos a cuatro pares y desiguales en la base, las inflorescencias son terminales o axilares en pequeñas cabezuelas (pedunculadas). Las flores son hermafroditas, sésiles de un color que varía del verdusco al amarillento de aproximadamente 4mm de longitud, el fruto es lomento membranoso y llegan a medir hasta 50 cm; y las semillas son grandes, elípticas de entre 1.8 y 3.5 cm de largo.

Corteza externa agrietada a fisurada, color marrón pardo a rojizo, con placas de ritidoma de unos 3 - 5 x 8 - 13 cm. Corteza interna homogénea, color crema ha rozado blanquecino, sin secreciones, (Reynel et al. 2003).

2.2.3. Descripción Anatómica

Campos (2009), señala que la especie presenta vasos difusos, predominantemente solitarios y escasos múltiple de dos a cuatro poros, de contorno oval a circular con medidas de 2 vasos/mm2 y área de 9 %, con diámetro medio a 273 μm, son clasificados como grandes, apéndices ausentes, placa de perforaciones simple y puntuaciones radio-vasculares, con areolas distintas semejantes a las intervasculares y de menor tamaño, presencia de gomas raramente en el plano transversal. Fibras libriformes con paredes delgadas a espesas, teniendo una medida de 1,33 mm para la longitud y 5,07 μm para la espesura de la pared. Lumen de las fibras con medida de 16,30 μm. Septos y puntuaciones ausentes. Parénquima axial predominantemente paratraqueal vascicentrico, de 6 a 8 células de parénquima por serie. Parénquima axial apotraqueal difuso visualizado ocurre frecuentemente en el eje longitudinal, formado generalmente por serie. Radios homogéneos, formados exclusivamente por células procumbentes, bi seriadas en predominancia (72%), ocurriendo también triseriados (16%) y uniseriados (12%), raramente fusionados, con altura entre 230 y 340 μm.

2.2.4. Distribución de la especie

La especie C. cateniformis es nativa del bosque tropical sudamericano (Amazonía peruana, brasileña, colombiana, ecuatoriana y surinamense). Su rango altitudinal va desde los 120 hasta los 800 msnm, con temperaturas que varían desde los 15° hasta los 38°C y precipitaciones entre 2 500 a 3 800 mm anuales. Habita naturalmente en lugares húmedos y hasta pantanosos, con presencia de humus, en los bosques altos de tierra firme prefiere las nacientes y cursos superiores de los ríos en suelos arcillosos. (Freitas Da Silva, Medeiros, & Lima, 1992)

2.2.5. Plantación, crecimiento y cuidados

Aróstegui & Díaz (1992) menciona que la supervivencia es mayor cuando plantones de la especie obtenidos en vivero se establecen en fajas: 96% vs

69% a campo abierto, luego de 4 meses; asimismo que esta especie es exigente en luz. En Jenaro Herrera (73°45`W, 4°55`S, 140 msnm: 2960 mm precipitación total anual) se reportan diámetros promedios de 14-22 cm y alturas totales promedios de 17-20 m en 9 y 15 años, respectivamente, con fuste de calidad aceptable, en plantaciones a 3x3 m de espaciamiento.

Por otro lado Claussi, Marmillod, & Blaser (1992), mencionan que la supervivencia de plantaciones de árboles de la especie ha sido alta con cierto mantenimiento (limpieza periódica y un raleo fitosanitario) en 10% a los 12 años. El área de la plantación es de suelos franco-arenosos a franco arcillosos de terrazas altas, mayormente planos, que habían sido desboscados para agricultura unos 10 años antes de la instalación de la plantación.

Por otra parte, en un área similar se reportaron diámetros promedio de 14 cm y 30 cm y alturas totales promedio de 10 y 25 m en 8 y 19 años respectivamente, en árboles con conformación variable, desde muy buena hasta inapropiada (Claussi, Marmillod, & Blaser, 1992)

2.2.6. Importancia de la especie

Esta especie es considerada de alta importancia comercial en la Amazonía peruana. La producción de madera rolliza a nivel nacional, para el 2017 de la especie Cedrelinga cateniformis en madera rolliza fue 154 134,15 m3 y 78009,85 m3 en madera aserrada, respectivamente (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2017); siendo por estos niveles de extracción, prioritaria su reposición. Varios autores recomiendan C. cateniformis para establecer plantaciones comerciales debido a que presenta buen crecimiento en diámetro y altura, y alto porcentaje de sobrevivencia en campo abierto y en fajas, sobresaliendo en la reforestación de áreas abandonadas de ladera.

En consecuencia los ensayos silviculturales la catalogan como sobresaliente para estos fines, siendo su madera muy aceptada por el mercado y recomendada para estructuras, carpintería, construcciones navales, carrocerías, muebles, ebanistería, puntales y juguetería (Aróstegui & Sato,

1970). En algunas regiones de la Amazonía peruana se han establecido plantaciones forestales con esta especie, siendo necesarias mayores investigaciones para entender el comportamiento adecuado para tomar acertadas decisiones silviculturales

2.3. Los anillos de crecimiento.

Núñez (2008), indica que los anillos de crecimiento son bandas concéntricas o casi concéntricas compuestas de distinta proporción de tejidos o por distinto tamaño o morfología de células, otra definición nos manifiesta que un anillo de crecimiento es un manto continuo de células que, con la forma de un cono, se sobrepone a los anillos ya existentes. Todos los años, con la llegada de la primavera, se comienza a agregar un nuevo anillo de crecimiento el que cubren fuste ramas y raíces. Los anillos de crecimiento se deben a variaciones estacionales de temperatura, humedad y a incidentes como granizos, incendios, etc. En todas las coníferas, no importa la latitud, estas bandas corresponden alternadamente a las estaciones, se forma una banda clara llamada madera temprana o de primavera y una banda oscura denominada madera tardía o de verano.

Así mismo se atribuye que los anillos del tronco de los árboles se forman a causa de las estaciones, e indican el ciclo de crecimiento del árbol. En las estaciones húmedas y lluviosas, justo debajo de la corteza del tronco se producen grandes vasos de paredes finas. En las estaciones secas los vasos se hacen más pequeños y sus paredes se engrosan para proteger el agua, es decir, en las estaciones húmedas se producen anillos anchos y claros, en las secas son estrechos y oscuros. Esto explica por qué muchos árboles tropicales no tienen anillos anuales, ya que en las zonas tropicales no hay estaciones claramente definidas. (Tecnohelicon, 2011).

Ademas Tecnohelicon (2011) refiere que dependiendo si el árbol es de hoja caduca o perenne se pueden observar un anillo o dos por cada año. Los árboles caducifolios tienen un único periodo de crecimiento en el año, al llegar el invierno

pierden sus hojas y este crecimiento se detiene, por lo cual solo poseen un anillo por año. Los árboles perennifolios tienen un ciclo de crecimiento constante que nunca se detiene, estos poseen dos anillos consecutivos, uno que indica el periodo estacional más favorable (un anillo de color claro) y otro que señala el periodo en el cual creció menos (un anillo más oscuro).

2.4. Formación y ocurrencia de los anillos de crecimiento

Al respecto Kozlowski (1979), citado por López et all (2006) menciona que el inicio y cese del crecimiento periódico se manifiesta en los árboles mediante características estructurales, que se reflejan en incrementos del tejido de la madera (xilema) del tallo. En plantas leñosas, el cambium vascular se activa durante la temporada de crecimiento, formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior.

No obstante Núñez (2008), afirma que todos los árboles de climas templados y fríos, es decir en aquellos lugares en los cuales hay un período anual en el cual las temperaturas son muy bajas para permitir el funcionamiento fisiológico de las plantas, poseen crecimiento estacional. Eso significa que la madera se forma durante el período de altas temperatura e insolación y luego en un determinado momento y de forma brusca, la planta entra en un estado de letargo cortando los mecanismos de la división celular. Ello implica en algunas especies la caída de las hojas, pero en otras, como en las coníferas, las hojas permanecen en la copa, aunque sin funcionar como sintetizadoras de alimentos.

Al mismo tiempo Núñez (2008), menciona que en el momento en el que vuelven a darse las condiciones climáticas adecuadas, es decir en algún momento de la primavera según el lugar, el árbol se despierta y comienza a generar de forma rápida lo que se llama la madera temprana que se caracteriza por tener fibras anchas y de paredes finas y muchos vasos para la conducción de los líquidos necesarios para la formación de la nueva copa. Una vez que todas las hojas están en su lugar, la planta sigue generando madera, pero en este caso las fibras son de paredes más gruesas y los vasos menos abundantes para cumplir en mayor medida la función de sostén, es lo que se llama madera tardía.

Por su parte Fritts (1976), menciona que el crecimiento de las plantas, especialmente de los árboles y de los anillos de crecimiento, está influenciado por factores externos e internos como: edad, tasa de división del cambium vascular, actividad fotosintética. El inicio del crecimiento está incluido por liberación de fitohormonas como auxinas entre otros. Sin embargo, el crecimiento también está influenciado en gran medida por factores externos bióticos y abióticos, como competencia e interrelación con otros organismos, ataque de patógenos, clima, condiciones geográficas, luz, nutrientes, disponibilidad de agua, entre otros,

En todo caso los anillos de crecimiento en los árboles son inducidos por la alternancia estacional entre condiciones favorables y desfavorables para el crecimiento (Brienen & Zuidema, 2003).

Al respecto la formación de anillos de crecimiento puede responder a ciclos bien marcados en la estacionalidad térmica o hídrica. La estacionalidad térmica es la que induce los anillos de crecimiento en los árboles de zonas templadas y frías. Por el contrario, en las regiones tropicales con estacionalidad térmica nula o muy débil, los anillos de crecimiento resultarían de una marcada estacionalidad hídrica. En regiones donde tanto la estacionalidad térmica como la hídrica son débiles, el crecimiento radial sería continuo y, teóricamente, no tendríamos formación de bandas de crecimiento (Anillos de crecimiento), (López L. , 2006).

No obstante Melo (2010), Señala que entre los principales factores ambientales que influyen en el crecimiento de los árboles se encuentran la precipitación, temperatura, suelos, luz, viento y composición genética; los cuales ejercen influencia sobre la estructura anatómica, en la actividad cambial, en el proceso de diferenciación celular, expansión celular y crecimiento de las paredes celulares, así como en la formación de elementos secundarios. El resultado son anillos de crecimiento que poseen un número variable de células, de diferentes estructuras con paredes celulares de diversos espesores, y células conteniendo materiales secundarios variados.

Por lo tanto, los anillos de crecimiento anual de plantas leñosas son generalmente inducidos por la alternación estacional favorable y desfavorable de las condiciones

de crecimiento tal como lo menciona, Worbes (1995). Estos factores que causan alteraciones en las regiones tropicales pueden ser una distintiva estación seca anual o las inundaciones anuales a la que están sujetas los árboles por periodos largos. La carencia de agua en la época seca o las condiciones anóxicas de las raíces en las áreas inundadas, inducen a la dormancia del tejido cambial y a la formación de bordes de anillos claramente distinguibles.

Worbes (1995) y Brienen & Zuidema (2003) Mencionan que para los árboles que crecen en ecosistemas tropicales, se asumió erróneamente hasta hace poco tiempo, que la actividad cambial se mantenía prácticamente constante durante todo el año, considerándose impracticable el análisis de los anillos de crecimiento por la ausencia de alguna estacionalidad, que indujera a una reducción de los procesos fisiológicos de crecimiento de los árboles. Estudios, recientes han demostrado que muchas latifoliadas arbóreas tropicales presentan un crecimiento intermitente, con la consecuente formación de anillos de crecimiento anuales.

Por otra parte, varios estudios han demostrado que la formación de anillos anuales es inducida por una estación seca, con una duración de 2 a 3 meses, durante la cual la precipitación es menor de 60 mm por mes (Brienen & Zuidema, 2003).

Así mismo Priya & Bhat (1999), menciona que los factores climáticos solo o combinados buscan explicar la importancia de los niveles de precipitación al inicio de la época de lluvias, para el crecimiento en diámetro de los árboles en relación al total de precipitación del año presente.

2.5. Importancia del estudio de los anillos de crecimiento.

Génova & Martínez (2003) mencionan que el engrosamiento periódico y concéntrico de troncos y ramas es un hecho biológico que se manifiesta en gran parte de los árboles y otras leñosas que habitan en climas estacionales y permite que se acumule y conserve información de carácter variable y temporal, de manera que los equilibrios de los anillos de crecimiento (y, en ocasiones, también otro tipo de marcas o señales) constituyen un registro de los diferentes acontecimientos que han ido sucediendo en la historia vital de cada ejemplar.

En ese sentido Villalba *et all* (2000) indica que a través del estudio de los anillos de crecimiento permite cuantificar en forma precisa las velocidades del crecimiento radial de los árboles en diferentes ambientes naturales, así como determinar diferencias en las estructuras poblacionales del bosque con relación a factores tales como el suelo, los disturbios y el clima, así mismo se puede conocer, entre otras cosas, la edad de los árboles y su tasa de crecimiento anual, y la capacidad de regeneración de la población. A esto se suma la necesidad de desarrollar reconstrucciones dendroclimáticos.

En la silvicultura, Núñez (2008), menciona que el estudio de los anillos anuales tiene interés también en las plantaciones industriales porque con su análisis se puede saber si una plantación está creciendo de manera adecuada o ya hace falta un raleo. En este caso se puede observar en qué momento, por el grosor reducido de los anillos la plantación dejó de crecer por haber demasiada competencia entre los individuos.

Asimismo la presencia de anillos anuales ofrece buenas oportunidades para su aplicación en el manejo forestal, mediante el conteo de anillos anuales se puede hacer estimaciones directas de edad, y se puede obtener tasas de crecimiento para todo el ciclo de vida. Estas estimaciones de edad en combinación de mediciones en Parcela Permanentes de Muestreo ofrecen también una buena oportunidad para evaluar la exactitud de simulaciones de crecimiento. Las tasas de crecimiento nos permiten construir modelos para evaluar el desarrollo de la población bajo las regulaciones de aprovechamiento actual. A través de modelos de matrices estudiamos el desarrollo de las poblaciones bajo diferentes escenarios para evaluar cuál es el óptimo ciclo de corta y el óptimo diámetro mínimo de corte. (Brienen & Zuidema, 2003).

2.6. Periodicidad en la formación de anillos de crecimiento en especies tropicales.

Jacoby (1989), definió el arreglo de los elementos leñosos asociados a la formación de bandas en el leño, para ello es necesario precisar la periodicidad en la formación de estas bandas de crecimiento. Es muy probable que las bandas de

crecimiento sean anuales en aquellos árboles que crecen en regiones frías o templadas, con una marcada estacionalidad en la temperatura, y donde el período de crecimiento del leño se ve limitado sólo a 2-3 meses en el año. Por el contrario, en regiones subtropicales o tropicales, con ciclos de crecimiento más prolongados, es posible que los árboles formen dos o más bandas de crecimiento por año.

Mientras tanto, bajo condiciones climáticas típicamente mediterráneas, el crecimiento de los árboles está limitado por las bajas temperaturas del invierno y la falta de agua en verano de manera que la primavera y el otoño suelen ser las épocas más favorables para el crecimiento. Esta estacionalidad determina un ritmo bimodal de la actividad del cambium que se refleja en la estructura de la madera del anillo que muestra bandas intraanuales (falsos anillos) dificultando la identificación y la datación de los anillos anuales. Además, como las temperaturas son altas durante muchos meses, el periodo de crecimiento puede ser muy largo y, si las precipitaciones son abundantes y están bien repartidas a lo largo del año, los anillos son muy anchos. No obstante, como la variabilidad ínter e intraanual climática es elevada también se producen diferencias grandes en el grosor de los anillos. En concreto, si las precipitaciones son escasas o no están bien repartidas a lo largo del año los anillos son más estrechos (Gutiérrez, 2009).
Por otra parte Haygreen & Bowyer (1982), mencionan que el crecimiento radial originado por el cambium forma xilema secundario y floema durante el periodo de crecimiento de un árbol. Elementos de mayor diámetro son producidos por el cambium en primavera (leño temprano) y de menor diámetro y paredes más gruesas en invierno (leño tardío); esta actividad producida en todo el año y año a año forma los anillos de crecimiento. La formación de los anillos está relacionada con la disponibilidad fotosintética y presencia de auxinas en el árbol.

En todo caso, la abundancia de auxinas dependerá la formación de células de grandes diámetros y el desarrollo de paredes celulares gruesas con proceso de fotosíntesis a plenitud. Ya al final de la estación de crecimiento, los factores tales como sequía, reducen la concentración de auxinas y por lo tanto fomentan producción de células de diámetro pequeño; mientras tanto, la acumulación de inhibidores de crecimiento causa reducción en el ritmo de producción de nuevas células, cesando a su vez el crecimiento de nuevos brotes y desarrollo de nuevas

hojas. Por lo tanto el producto fotosintético producido por las hojas desarrolladas a plenitud, está disponible para la síntesis de la pared celular. Posteriormente, el resultado será células de paredes gruesas y diámetros pequeños (Haygreen & Bowyer, 1982) y (Campos *et al*, 2008).

Al mismo tiempo Gutiérrez (2009) afirma que la actividad del cambium es muy sensible a los factores ambientales y esta sensibilidad queda reflejada en las características de los anillos formados. Por lo tanto, la variabilidad del clima, la composición atmosférica, las características físicas y químicas del suelo, etc. modifican la tasa de formación de nuevas células, su número, su tamaño y el material utilizado para construirlas. Sin embargo, en climas mediterráneos, de todos los posibles factores que pueden influir en el cambium (exceptuando fenómenos puntuales como incendios, plagas o puestas en luz de arbolado mediante cortas, que están muy delimitados en el tiempo y tienen periodicidad baja) sólo el clima presenta una gran variabilidad interanual, quedando registrados sus efectos año tras año en los anillos, y una homogeneidad espacial elevada, de forma que dichos efectos serán los mismos sobre anillos de árboles distintos que se estén formando a la vez bajo un mismo clima.

Por otro lado, como resultado de la estrecha relación entre el crecimiento y el clima, las series de anillos anuales formados por los árboles que crecen bajo unas mismas condiciones climáticas presentan una sincronía, su patrón de variación temporal en el grosor es muy similar. Ese patrón o secuencia de anillos característicos es propio de un determinado periodo de tiempo: es la huella del clima que es reconocible a pesar de quedar grabada sobre las marcas de otros factores que también han afectado al crecimiento. Pero además, esta firma climática es la firma del tiempo, ya que es muy poco probable que un determinado patrón temporal se repita exactamente igual en otro periodo, (Gutiérrez, 2009).

Sin embargo, la ausencia de anillos de crecimiento anatómicamente distinguibles en la mayoría de los árboles tropicales podría relacionarse con la reducida estacionalidad de la temperatura en bajas latitudes, (Morales *et al* 2001).

Tal es el caso, que a medida que nos acercamos al ecuador climático, la estacionalidad en la temperatura es menos marcada o prácticamente inexistente. La falta de una estacionalidad climática bien marcada, es decir de diferencias climáticas entre las estaciones del año, pareciera ser el principal causante de la ausencia de anillos anuales en los árboles tropicales. La falta de diferencias climáticas entre verano e invierno determina un crecimiento leñoso bastante uniforme durante todo el año sin un período de dormancia bien definido, (Coster, 1927) citado por López (2006)**.**

Con respecto a las especies tropicales y subtropicales estos no presentan un claro contraste entre el leño inicial y el leño tardío, no siempre existe una perfecta diferenciación entre los períodos de crecimiento en función de un periodo seco que se reflejen en los anillos de crecimiento según Imaña & Encinas, (2008). Por lo que los estudios dendrocronológicos en regiones tropicales y subtropicales son muy escasos. Esto se debe en parte a que los árboles de estas regiones en general no producen anillos de crecimiento visibles tal como lo menciona Boninsegna & Villalba (1996).

No obstante, todavía hoy existe la idea generalizada de que todas las especies arbóreas que crecen en los trópicos no forman anillos de crecimiento en su leño (López L. , 2006).

Sin embargo, desde principios del siglo XX existen estudios que señalan la presencia de bandas de crecimiento en árboles tropicales (Coster, 1927) citado por López (2006). Es una realidad que muchas especies tropicales no forman bandas de crecimiento, o cuando estas bandas están presentes no responden a ciclos anuales. No obstante, existen regiones tropicales y subtropicales que presentan una marcada estacionalidad en la precipitación, la que al interrumpir el ciclo anual de crecimiento de las plantas favorece la formación de anillos anuales demarcados (Worbes, 1995) citado por López, 2006).

Asimismo, es también conocido que el análisis de los anillos de crecimiento en los trópicos es más difícil que en zonas con clima templado o en las zonas con

clima boreal. La periodicidad de zonas de incremento en árboles tropicales que no son anuales, hacen más difícil el análisis de los anillos de crecimiento (Worbes, 1995) (Tomazello, Botosso, & Lisi, 2001).

Al respecto Tomazello, Lisi, Hansen, & Cury, (2004), indica que cada especie de árbol tropical tiene su propio ritmo de crecimiento y reacciona diferente a las variaciones estacionales. La variabilidad climática del lugar, los factores edáficos y mecánicos del suelo y la compleja estructura de los bosques tropicales son también razones que varían la diferenciación de las zonas de crecimiento.

2.7. Análisis de los anillos de crecimiento

(Schweingruber, 1989), Menciona que el análisis de los anillos de crecimiento se emplea con fines múltiples en botánica, climatología y en la ciencia forestal. El primer paso para el uso del análisis de los anillos es la identificación de las zonas de crecimiento para cada especie. Una breve descripción de los diferentes tipos de zonas de crecimiento encontradas en los árboles tropicales puede ser útil para definir el potencial de las especies para el análisis de los anillos, Brienen & Zuidema (2003).

López et all, (2006), Indica que es necesario reconocer la existencia de los anillos de crecimiento o que sean visibles en las especies de interés. Nuñez (2008), menciona que hay casos en los que no se observa la estructura del anillo, en otros casos los anillos no siguen ningún patrón reconocible. Pueden tener anillos bien visibles de bandas claras y oscuras, pero cuando se revisa con detenimiento se observa que no siguen un patrón de pares alternados de bandas claras y oscuras.

Por otra parte, la identificación de elementos en el leño, simplifican encontrar determinadas características principales de algunas especies. Las características microscópicas propias de algunas especies, que ayudarían a definir los límites entre los anillos de crecimiento con mayor exactitud, (Lopez, 2003).

2.8. Dendrocronología

De acuerdo con Requena, (2015), menciona que el término dendrocronología o fechado de anillos de árboles proviene de las raíces griegas *dendro* (árbol), *cronos* (tiempo) y *logos* (estudio de) y se define como la ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles para reconstruir, con resolución anual, eventos climáticos y procesos ecológicos, esta técnica se aplica en especies que presentan anillos anuales bien diferenciados y un crecimiento radial influenciado por las fluctuaciones climáticas.

De igual manera, la dendrocronología es una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales. Extraen la información necesaria para separar e interpretar la información que contienen los diferentes factores que han influido en su crecimiento, (Gutiérrez, 2009).

Por su parte de acuerdo a lo convenido entre los dendrocronólogos del hemisferio sur, el año dendrocronológico de cada anillo comenzó a formarse (t-1), (Schulman, 1956).

2.8.1. Principios de la Dendrocronología

Por otra parte, los estudios dendrocronológicos se fundamentan en una serie de principios básicos los cuales fueron enunciados en el año 1785 (principio de uniformidad) y recientemente en el año 1987 (principio de agregación de factores ambientales), estos principios se utilizan principalmente para estudios de dendrocronología, sin embargo los otros son frecuentes en otras disciplinas.

(Espinoza, 2001); (Tomazello, Botosso, & Lisi, 2001), describen los principios de la siguiente manera:

a. Principio de uniformidad:

Este principio afirma que los procesos físicos y biológicos que influyen en el crecimiento de un árbol en la actualidad, también estuvieron presentes en el pasado (Mc carthy, 1998). Es decir mediante el estudio de los anillos de crecimiento, se pueden predecir o manejar las condiciones ambientales en el

futuro (Grissino Mayer H. , 1996) . Sin embargo, no quiere decir que las condiciones del pasado son exactamente iguales a las del presente, sino que similares influencias afectan a similares tipos de procesos, (Grissino Mayer H. , 1996).

b. Principio de factores limitantes:

De acuerdo a este principio, el proceso de crecimiento de la planta puede ocurrir sólo tan rápido como lo permita el factor que actúa como principal limitante. Cuando las condiciones son limitantes, muchos factores relacionados con el proceso de crecimiento son limitados, produciéndose menor cantidad de células, anillos estrechos; las características de las células y densidad de la madera varían en función del factor que actúa como limitante, (Fritts, 1976).

c. Principio de amplitud ecológica:

Cada especie dependiendo de su genotipo, puede crecer, reproducirse y dispersarse sobre cierto rango de hábitats que puede ser amplio, estrecho o restringido. Este rango es conocido como amplitud ecológica, (Fritts, 1976). La importancia de este principio se basa en que las especies útiles en los estudios dendrocronológicos a menudo se encuentran cerca de su ámbito natural de desarrollo, (Mc carthy, 1998); (Sass-Klaassen, Couralet, Sahle, & Sterck, 2008).

d. Principio de crecimiento agregado:

Este principio establece que cualquier serie individual de crecimiento en un árbol puede ser "descompuesta" en un conjunto de factores agregados que afectan el patrón de crecimiento del árbol a través del tiempo. Por ejemplo: el crecimiento que se produce en un año es una función de una serie de factores agregados tales como edad, clima, ocurrencia de eventos dentro y fuera del bosque, (Grissino Mayer H. , 1996); (Mc carthy, 1998).

Para maximizar la influencia de un factor ambiental en específico, los otros factores deben ser minimizados. Por ejemplo, al maximizar la señal correspondiente al clima, se debe eliminar la tendencia relacionada con la edad

y los árboles y sitios seleccionados deben minimizar la posibilidad de acción de la presencia de factores externos o internos que puedan afectar el crecimiento, (Grissino Mayer H. , 1996); (Mc carthy, 1998).

Este principio puede ser expresado, de forma matemática, con la siguiente ecuación (Grissino Mayer H. , 1996):

$$\mathbf{Rt = f\ (At + Ct + \delta D1t + \delta D2t + Et)}$$

Rt: Serie del ancho de los anillos de crecimiento observados.
At: Tendencia en el ancho de los anillos de crecimiento relacionados al tamaño y la edad de los árboles.
Ct: Señal climática que se presenta durante ese año.
D1t: Disturbios causados por perturbaciones endógenas y de la acción localizada.
D2t: Disturbios causados por perturbaciones endógenas que actúan a nivel poblacional.
Et: Variabilidad (año a año) no relacionadas con los demás factores.
t: Año relacionado con cada factor

e. Principio de Sincronización (Cross-dating):

Es el principio básico de la dendrocronología y consiste en asignar a cada anillo el año exacto de su formación. El ancho de los anillos anuales tiene que ser sincronizado entre radios del mismo árbol y entre árboles de un mismo rodal. Las variaciones en las características de anillos, especialmente del ancho, se examinan y acoplan de forma sincronizada entre todas las muestras de una región determinada.

Si hay suficiente covariancia entre los anillos en diferentes árboles y la muestra es lo suficientemente grande, el año en que cada anillo se formó se puede determinar correctamente, (Fritts, 1976).

f. Principio de Selección de Sitio:

Los sitios útiles para la dendrocronología pueden ser identificados y seleccionados con base a criterios que indiquen que se producirán series de anillos sensibles a las variables ambientales que están siendo examinadas.

La dendrocronología debe seleccionar sitios donde se maximizará la señal que está siendo investigada, (Mc carthy, 1998). Por lo tanto, la dendrocronología requiere que las muestras estén de forma similar por un conjunto de factores limitantes, así como también el muestreo es deliberadamente estratificado para resaltar observaciones de esa población de ancho de anillos que contiene la información deseada, pero restringida a una especie de manera particular para mantener la respuesta genética más o menos constante, (Fritts, 1976).

g. Principio de Sensibilidad:

La observación de los anillos de crecimiento puede ser una guía de cómo los factores ambientales se pueden convertir en un factor limitante del proceso de crecimiento. Mientras mayor sea la limitación al crecimiento ocasionada por factores ambientales, mayor será la variación del ancho de los anillos de crecimiento dentro de un mismo árbol. La variación del ancho de los anillos como consecuencia de la presencia de un factor limitante recibe el nombre de sensibilidad, mientras que la carencia de variación recibe el nombre de complacencia, (Fritts, 1976).

Los árboles muestran anillos "sensibles" cuando su crecimiento es afectado por factores tales como pendiente, suelos pobres, poca humedad. La presencia de anillos "complacientes" se produce bajo la acción de condiciones climáticas constantes tales como la alta disponibilidad de agua, suelos fértiles o crecimiento en regiones protegidas (Mc carthy, 1998). En otras palabras, el crecimiento del árbol es descrito como "sensible" cuando existe un alto grado de variación anual, produciéndose una mezcla de anillos anchos y estrechos a través del tiempo.

Por otra parte, el crecimiento del árbol se considera "complaciente", cuando no exhibe un alto grado de variación anual, es decir, existe poca variación del

ancho de los anillos de crecimiento a través del tiempo. En los estudios de dendrocronología se prefieren los patrones de crecimiento en donde exista sensibilidad ya que el proceso de crossdating se facilita más mientras mayor sea la variación en el ancho de los anillos, (Martínez, 1996).

(Espinoza, 2001) (Tomazello, Botosso, & Lisi, 2001), afirman que además de los principios descritos, la dendrocronología utiliza un procedimiento de estandarización el cual, algunas veces es considerado como un principio. El ancho de los anillos de crecimiento puede variar no solo como consecuencia de cambios climáticos, sino que también se pueden producir variaciones como consecuencia de la edad del árbol, altura del tallo donde se toma la muestra, condiciones y productividad del sitio. En los estudios de variación del estudio del ancho de los anillos de crecimiento en relación a cambios climáticos, es conveniente estimar la tasa de cambios sistemáticos de anchos de anillos asociados con la edad, para así "removerlos" de las mediciones.

Esta corrección del ancho del anillo con relación a la edad y geometría del árbol es conocida con el nombre de estandarización y los valores trasformados reciben el nombre de índice de ancho del anillo (Fritts, 1976).

La estandarización consiste en la extracción de las variaciones de largo periodo en una serie temporal de parámetros medidos en los anillos de crecimiento. El proceso consiste en dividir los valores observados (medidas de los anillos) por los valores estimados por la función de estandarización ajustada; de esta manera, una serie temporal del grosor de los anillos es convertida en una serie de índices del grosor de los mismos (Kaennel & Scheweingruber, 1995).

h. Principio de Replicación:

Este principio indica que se debe tomar más de una muestra por radio del tallo por el árbol y más de un árbol por sitio. Esto permite realizar comparaciones estadísticas de variabilidad entre árboles y entre grupos de árboles. Las mediciones de esta variación proporcionan información valiosa sobre como los factores del sitio y clima controlan el crecimiento (Fritts, 1976). Al tomar más

de una serie de anillos por árbol se reduce más la variación dentro de un mismo árbol (Grissino Mayer H. , 2001).

2.9.El clima y su Relación con la Dendrocronología (Dendroclimatología)

Sin embargo, desde hace varios siglos se sabe que el ancho de anillos de crecimiento de los árboles es una fuente importante de información climática y cronológica. Los estudios dendroclimatológicos se remontan al siglo XV, en el que Leonardo Da Vinci estudio la relación entre el clima y los anillos de crecimiento. Con el pasar de los años distintos científicos europeos fueron confirmando esta teoría y contribuyendo a mejorar las técnicas para la obtención de data. Según hoy en día el análisis de los anillos de crecimiento se ha desarrollado ampliamente para numerosos propósitos climatológicos y otras ciencias de la Tierra, ya sea en estudios de bosques templados o tropicales, (Del Valle & Zapata, 2004).

No obstante, la formación y acumulación de madera en los árboles da información que puede ser utilizada como registros de cambios ambientales. La Dendroclimatología constituye una disciplina especifica que permite extraer y aprovechar información de carácter climático contenido en la variabilidad de los datos dendrocronológicos (Génova, 2004).

Asimismo, el ancho de los anillos de los árboles es el rasgo anatómico tradicionalmente utilizado en la Dendrocronología para el estudio de bosques, ya que data procesos geodinámicas, o puede reconstruir variaciones climáticas pasadas tal como lo menciona (Fritts, 1976).

De igual manera los factores de estrés que se producen estacionalmente y permiten la formación de anillos de crecimiento, se deben a las bajas temperaturas de invierno en las zonas templadas y elevaciones altas, así como a las estaciones secas y lluviosas en los zonas tropicales (Worbes, 1995). Estos factores de estrés climáticos inducen una latencia cambial en los árboles, y en consecuencia la formación de anillos en la madera.

Por otra parte Fritts (1976), desarrolló los principales métodos aplicados a la Dendroclimatología, entre ellos el de la selección de los árboles, que se encuentren en sitios donde se limita el ancho de los anillos, directa o indirectamente por el estrés causado por las variables climáticas. Los requerimientos para realizar análisis dendrocronológicos de las variaciones del clima, son los siguientes:

1.- Muestreo: Especies forestales que presenten anillos de crecimiento periódicos, así como también la selección de sitios donde los árboles presentan una mayor sensibilidad a los factores climáticos.

2.- Medición y análisis de crecimiento: Las etapas de medición y análisis de las secuencias de crecimiento deben hacerse con mucha precisión, ya que permitirán un análisis de los patrones de crecimiento y la secuencia temporal.

3.- Sincronización y datación (crossdating): El crossdating es un proceso clave en los estudios dendrocronológicos y consiste básicamente en la identificación y corrección de las irregularidades en la cronología, como heridas, anillos múltiples, anillos discontinuos y/o ausente.

4.- Estandarización o normalización: La estandarización analiza la variabilidad común de las secuencias datadas del crecimiento, que generalmente provienen de árboles de diferentes edades.

Sin duda, la importancia de los estudios dendroclimatológicos radica en la posibilidad de comprender y predecir los efectos de los factores climáticos en el crecimiento de los árboles, a través de la construcción y/o reconstrucción de series climáticas y las respectivas respuestas de la planta, y en consecuencia, la influencia del clima en la calidad de madera formada (Ugulino, 2011). Es por ello

que las investigaciones han sido dirigidas al estudio de las correlaciones entre algunos factores climáticos, como la precipitación y temperatura, y el incremento anual de los árboles.

Por consiguiente es ampliamente aceptado que el clima influye fuertemente sobre los patrones de la vegetación a grandes escalas espaciales y temporales; por ello, en la actualidad, el conocimiento de las relaciones entre el clima y el crecimiento de los árboles puede ayudar en el desarrollo de métodos silviculturales más sofisticados, como también estimar los impactos del calentamiento global sobre los bosques (Nutto & Farinha, 2002).

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Actividad Cambial: actividad periódica del cambium que va acumulando año tras año capas sobrepuestas que van a originar la formación de los anillos de crecimiento, (Imaña & Encinas, 2008)

Anillos anuales: anillos conformados de forma de secuencia de pares de bandas claras y bandas oscuras con cierta constancia de espesores, o con variaciones aproximadamente continuas de los mismos, (Nuñez, 2008)

Anillos de crecimiento: cualquier banda concéntrica o subconcéntrica visible a simple vista en el corte trasversal del tronco (Nuñez, 2008).

Anillos falsos: son anillos poco evidentes, no siendo anuales que ocurren cuando se forma un anillo más por periodo vegetativo, (Araba, Rodriguez, Chaves, & Alvarado, 2011)

Arstan: Es el programa más popular utilizado en la estimación de las condiciones climáticas pasadas y en la predicción del cambio climático futuro. La descentralización y el desarrollo de la cronología son los pasos fundamentales del estudio de la dendrocronología, (Zhao *et al*, 2015).

Balance Hídrico: Es la relación con la cuantía, distribución y posibilidades de aprovechamiento de los recursos hídricos. (Echeverríaa, Huberc, & Taberletd, 2007)

Cofecha: Es un programa de computadora que evalúa la calidad del crossdating y la precisión de medición de la serie de anillos de árboles. El programa es una herramienta que ayuda al dendrocronólogo a evaluar la calidad del crossdating y la precisión de la medición, (Holmes, 1982).

Correlación: es una relación mutua entre dos cosas, de tal manera que un aumento o disminución en una, va generalmente asociada con un aumento o disminución de la otra, (Biología, 2016).

Crossdating: Es el reconocimiento del mismo patrón de anillo en diferentes árboles. (Douglass, 1941)

C.R.U.: Climatic Research Unit, es una Unidad de Investigación Climática dedicada a mejorar la comprensión científica del sistema climático y sus interacciones. (C.R.U., 2018)

Dendrocronología: es una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales y extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento, (Gutiérrez, 2009).

Dormancia: se define como un período en el cual no ocurre ningún crecimiento visible de los brotes, disminuyendo el crecimiento activo de las plantas, (Rodríguez & Moreno, 2010)

Image-Pro Plus: es el software más utilizado a nivel mundial en el entorno del análisis de imagen. Ha sido diseñado para investigadores y técnicos que necesiten soluciones de procesado y análisis de imagen, para todos aquellos que utilicen microscopios o cualquier otro método de captura de imágenes. (Infaimon, 2014).

Precipitación: es la cantidad de aguas meteóricas que caen sobre la superficie de la tierra, tanto bajo la forma líquida como solida (nieve, granizo). Estos tipos de precipitación son normalmente medidos sin efectuar su discriminación por medio de su equivalente agua. (Segerer & Villodas, 2006).

Plantaciones Forestales: se define como un bosque establecido mediante plantación y/o siembra en el proceso de forestación o reforestación para la producción de bienes y servicios, caracterizados por pocas especies y líneas rectas de árboles. Está integrada por especies introducidas o en algunos casos autóctonas. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2000).

Ruido: Variancia producida por otro factor distinto del clima. (Roig F. , 1991)

Señal: Variancia común de todas las muestras que forman parte de la cronología. (Roig F. , 1991)

Serie Master: Representa el valor medio de una señal común de las series; formando una serie máster que representa cada una de las series maximizadas, lo que disminuye la producción de ruido al generar resultados no sesgados. (Roig F. , 1991)

Temperatura: es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente éstas, mayor será la temperatura. (Rodriguez, Benito, & Portela, 2004).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del estudio

Las muestras colectadas de la especie ***Cedrelinga cateniformis*** provienen del anexo Alexander Von Humboldt; perteneciendo políticamente al departamento Ucayali, ubicada geográficamente a 8° 49’ 31.7’’ latitud sur y 75° 3’ 19.5’’ longitud oeste. **Figura 1.**

Según el mapa de zonas de vida de, Holdridge (1978), el área está ubicada en un bosque húmedo tropical (bh-t) a bosque húmedo pre montano tropical (bh-pt) a 250 a 300 m.s.n.m, con una precipitación de 3600 mm y temperatura media de 26 °C, distribuido en tres fisiografías marcadas: plana – ondulada – colinosa. (Angulo, 2014).

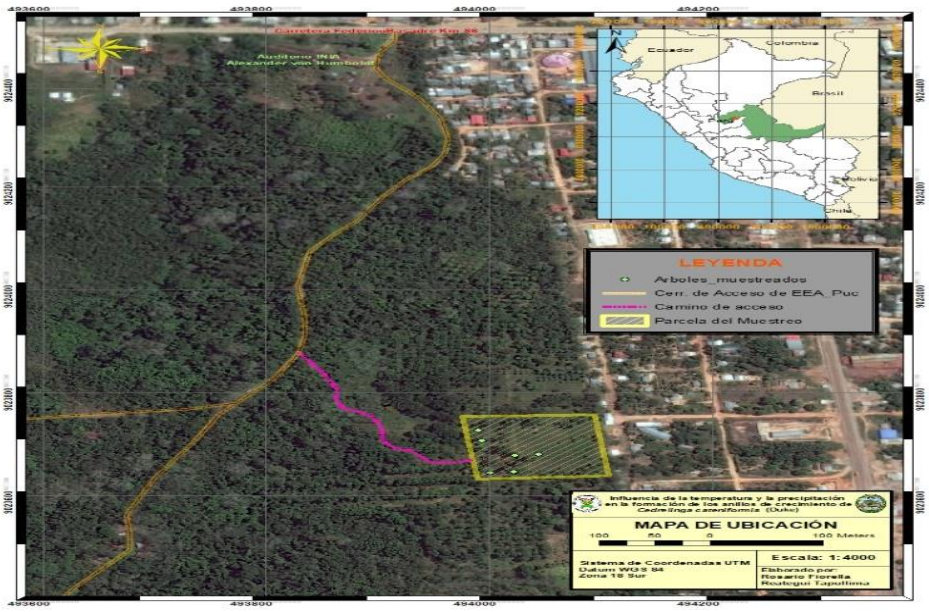


Figura 1. Ubicación de la plantación multiestrato de *Cedrelinga cateniformis* en el Anexo Experimental Alexander von Humboldt.

3.2. Método de investigación.

El estudio contemplo dos enfoques de investigación, en primer lugar, de tipo cualitativo, utilizando técnicas de observación para el análisis de características macroscópicas de la especie de ***Cedrelinga cateniformis***. El segundo fue de tipo

cuantitativo, realizando un análisis de correlación entre las variables climatológicas de precipitación y temperatura con la variable del ancho de los anillos de crecimiento.

En este caso el diseño, bajo un enfoque no experimental transversal ya que se recolectan datos en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su correlación en un momento dado.

3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población

Especies de *Cedrelinga cateniformis* ubicados en la plantación establecida en el anexo Experimental Alexander von Humboldt, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad, departamento de Ucayali.

3.3.2. Muestra

Las muestras totales colectadas en la plantación están representadas por 6 árboles, de los cuales se extrajeron 04 probetas por árbol, haciendo un total de 24 series, siendo así que solo sirvieron 19 series para ser analizadas

3.4. Procedimientos de recolección de datos.

Para la selección se tomó al azar los árboles en distintas ubicaciones de la plantación, debido que ésta plantación contempla un área de 2.5 ha en una distribución de 5 x 5 m.

Las muestras de madera de los 6 árboles se colectaron por dos métodos:

Método destructivo: Se extrajo una rodaja de 10 cm de espesor de 2 árboles, procurando demarcar las direcciones opuestas Norte-Sur y Este-Oeste.

Método no destructivo: De 04 árboles y con ayuda del barreno de Pressler, se extrajeron 4 tarugos por árbol en sentido radial que incluían la médula, cuyas dimensiones fueron 5,1 x 400 mm; diámetro y largo. El barreno de Pressler fue introducido formando un ángulo de 90° respecto al eje longitudinal del tronco.

Obtenidas las muestras estas fueron colocadas en sorbetes de plástico para su protección y evitar la pérdida de humedad.

Posteriormente las muestras fueron acondicionadas y pegadas en soportes de madera, buscando que la sección transversal quedase en la parte superior y finalmente codificadas.

Luego las muestras fueron pulidas con lijadora tipo banda, utilizando lijas de grano 40, 80, 120, 140, 180, 250. 400, 600, 800, 1000, y 2000 grano/pulg2.

El lijado permitió observar con mayor nitidez la sección trasversal con el objetivo de diferenciar los límites de los anillos de crecimiento. Cuando fue difícil diferenciar el límite de los anillos de crecimiento se hizo uso del estereomicroscopio.

3.5.Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

3.5.1. Técnicas

La investigación se realizó utilizando técnicas de selección, tratamiento, observación científica y estandarización de las muestras ya estandarizadas para estudios dendrocronológicos.

3.5.2. Instrumentos

a. Instrumentos de recolección de datos

- GPS
- Cinta métrica
- Pintura
- Machetes
- Botas
- Libreta de campo
- Bolígrafos
- Cámara fotográfica

b. Equipos de laboratorio y softwarare

- Laptop
- Estereomicroscopio 28X
- Mesa medidora VELMEX
- Impresora
- Software COFECHA
- Software RESPO
- Software Image Pro Plus
- Software ARSTAN

3.6.Procesamiento para recolección de datos.

- Los anillos de crecimiento fueron delimitados utilizando un software de análisis de imagen llamado Image Pro Plus.

- Para reconstruir la formación los de anillos, se dataron desde el primer anillo central observado, siendo el primer anillo encontrado el año 1 que corresponde a la fase de vivero, por lo tanto, el conteo de anillos se valida desde el primer año en vivero.

3.7.Tratamiento de datos.

a) Para la Formación de Anillos de Crecimiento

- Mediante el Programa Image Pro Plus, se realizaron las respectivas mediciones del ancho de los anillos todas las series (24), construyéndose así, series cronológicas individuales y exportadas al programa Microsoft Excel.

- Una vez obtenido el ancho de los anillos, se pasó a realizar el control de calidad mediante el Software COFECHA sincronizándolas con la serie master (promedio de las series individuales) y permitiendo determinar errores en la medición e identificación de falsos anillos.

- Se realizó el control de calidad de los valores obtenidos del ancho de anillos de crecimiento, mediante el COFECHA, habiéndose codificado (series) cada

serie individualmente en un periodo de 18 años (intervalo), analizados en spline (1990-2099 – 2010-2019) de 10 años descartándose aquellos valores provenientes de muestras cuyo nivel de correlación eran bajos, obteniéndose 19 series aptas con un nivel de correlación aceptable.

b) Para los datos Climáticos

- De igual forma se elaboraron series de precipitación y temperatura total anual y trimestral de los años 1998 a 2015. (C.R.U., 2018), se optó por esta opción debido a la falta de valores para precipitación y temperatura en los años que se requería realizar el análisis.

- Los datos encontrados de la estación Meteorológica Macuya en cuanto a temperatura fue de diciembre del 2011 a octubre del 2013, diciembre del 2013 a octubre del 2014, diciembre del 2014 a diciembre del 2016; para el caso de la precipitación de diciembre del 2011 a octubre del 2013, diciembre del 2013 a octubre del 2014, diciembre del 2014 a diciembre del 2016.

- Los datos encontrados de la estación El Maronal fue del año 1998 al 2013 la temperatura máxima, 2001 al 2013 temperatura mínima; para el caso de la precipitación del año 2002 al 2013.

- Debido a la falta de valores de los años 1998 a 2015 en datos climatológicos de la zona, se procedió a utilizar la plataforma Climatic Research Unit (CRU) proveniente de la School of Environmental Sciences, University of East Anglia; es una unidada de investigación que construye con datos observados de estaciones cercanas e interpolada en función de la latitud, longitud y elevación.

- Dicha información es de acceso libre para la investigación climática. En la zona de estudio CRU se utilizó datos observados de una sola estación la de El Maronal (latitud: 8°26’59.95” Longitud: 75°5’48.31” y altitud: 185) (Fuente: SENAMHI).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Caracterización de la presencia y anualidad de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

La descripción macroscópica de *Cedrelinga cateniformis*, se caracteriza por presentar elementos vasculares que son visibles a simple vista, registrando vasos solitarios de forma ovalada con una porosidad difusa, asimismo, vasos múltiples radiales de 2 a 4 (figura 2) coincidiendo con los resultados obtenidos por Yoza, Baradit, & Acevedo (2015) , así como Campos (2009).

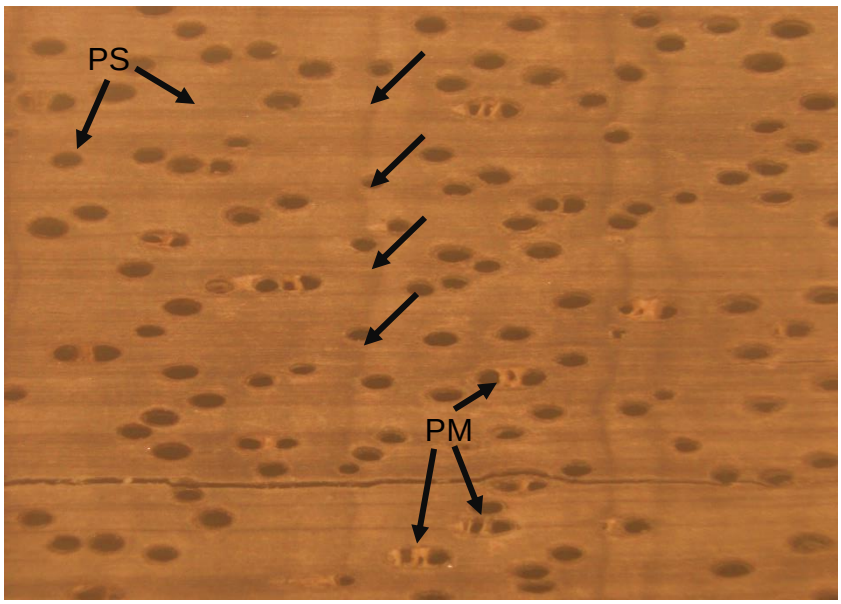


Figura 2. Poros solitarios (PS), poros múltiples (PM), el límite del anillo está definido por una estrecha banda de parénquima marginal (flechas).

La madera se caracteriza por presentar porosidad difusa, caracterizada por la observación de poros de diámetro similar, dentro de los anillos de crecimiento tal como se muestra en la figura 3, mismas características encontradas por Campos (2009).

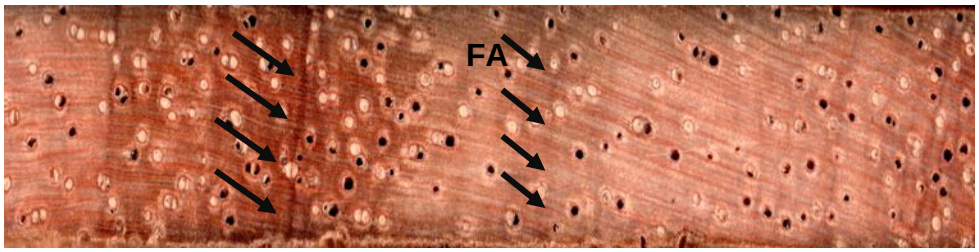


Figura 3. Porosidad difusa sin patrón definido de variación en cuanto a tamaño al ancho del anillo de crecimiento, límite del anillo de crecimiento (flechas), falsos anillos (FA).

La estructura de los anillos de crecimiento de la especie *Cedrelinga Cateniformis*, están demarcados por una franja de tejido parenquimático (parénquima marginal) de un color más oscuro que el tejido circundante el cual presenta una coloración más clara.

La especie *Cedrelinga cateniformis* forma anillos falsos (fig.3) y (fig.4-b), el cual es producto del principio de sensibilidad, estos aparecen como una línea de tejidos de coloración más clara, poco visibles y se encuentran de manera discontinua (Fig. 4), debido al estímulo de crecimiento fuera de la época motivado por condiciones favorables como precipitaciones tal como lo afirman Burger (1991); Gutiérrez (2009); Nuñez (2008); Brienen & Zuidema (2003) y Lopez (2006), estas características es más común en especies latifoliadas tropicales según García, Guindeo, Peraza, & de Palacios, (2003).

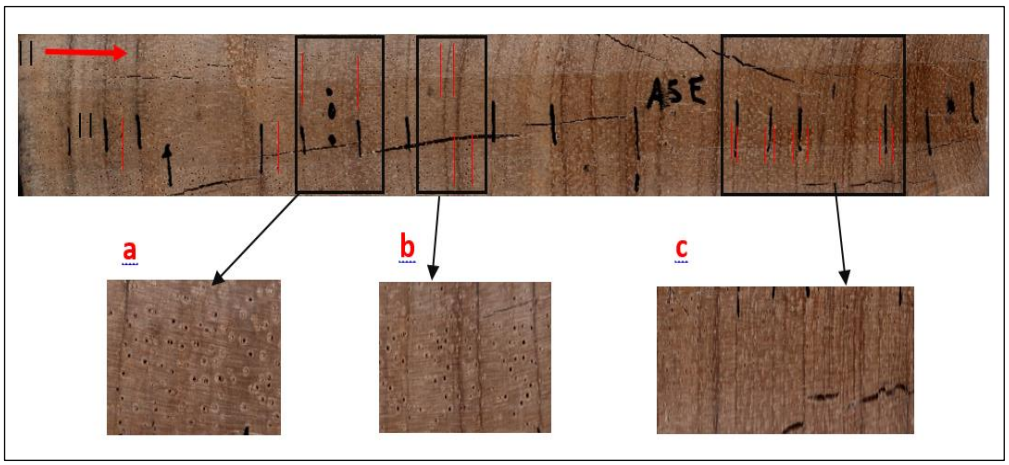


Figura 4. Variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke). a) Serie de anillos poco visibles. b) Falsos anillos. c) Variabilidad de anillos de crecimiento anchos y estrechos.

4.2. Obtención y validación de cronologías del ancho de los anillos de crecimiento de *Cedrelinga Cateniformis* mediante COFECHA.

En la construcción de las series cronológicas del ancho de los anillos de crecimiento de cada muestras se obtuvo series 24, construyendo una señal común entre los árboles cofechados, mediante el cual se procedió a detectar los errores de medición, siendo éstos eliminados y seleccionados 19 con una señal (Intercorrelación) buena, resultando un nivel de correlación de 0.57, en un master de 18 años con un spline de 10 años, tal como se muestran en el cuadro 1 y 2 respectivamente.

Del análisis de cofecha los árboles que no presentaron correlaciones altas y no llegaban a un nivel de correlación crítico de significancia (Pearson 99%), fueron descartados del análisis.

Asimismo, Araba, Rodriguez, Chaves, & Alvarado (2011), mencionan que el cofechado como principio básico en dendrocronología, asegura que cada anillo individual es asignado en su año exacto de formación, permite comparar patrones de ancho de anillos dentro y entre árboles tal como se realizó en la investigación. El control de calidad de las series e intercorrelaciones de los anillos de crecimiento en la especie ***Cedrelinga cateniformis*** se presenta en la tabla 1.

Tabla 1: Inter-correlación de las series cronológicas a partir de los anchos de anillos de crecimiento para la especie Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke.

Secuencia	Serie	Intervalo	Intercorrelación	
			1990-2009	2010-2019
1	A1-O	2000 - 2015		0.6
2	A1-S	1998 - 2015	0.33A	
3	A2-E	2000 - 2015		0.38.A
4	A2-N	2000 - 2015		0.62
5	A2-S	2000 - 2015		0.74
6	A3-E	1999 - 2015	0.44A	
7	A3-N	2002 - 2015		0.52
8	A3-O	2002 - 2015		0.93
9	A3-S	1999 - 2015		0.53
10	A4-E	1999 - 2015	0.55	
11	A4-S	1999 - 2015	0.42A	
12	A5-E	2000 - 2015		0.62
13	A5-N	1999 - 2015	0.7	
14	A5-O	1999 - 2015	0.69	
15	A5-S	1998 - 2015	0.24A	
16	A6-O	2002 - 2015		0.79
17	A6-S	2001 - 2015		0.65
18	A6-E	2002 - 2015		0.69
19	A6-N	2000 - 2015		0.57
Correlación promedio			0.48	0.63

Correlación Pearson 99%, nivel crítico de correlación 0,5155; A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones más elevadas que en otras posiciones. Correlaciones de segmentos fechados a 20 años, rezagados 10 años.

Tabla 2: Resultados del control de calidad de las series ejecutadas en el programa COFECHA.

ESPECIE	ARBOLES (series) TOTAL	ARBOLES (series) COFECHA	N° total de anillos observados	Intercorrelación media	Intercorrelación critica (al 99% de nivel de confianza)
Cedrelinga cataneiformis (Ducke ducke)	6(24)	6(19)	303	0.57	0.5155

En la tabla 2, se muestra los resultados del control de calidad de las mediciones de ancho de los anillos de crecimiento realizadas a las 19 series seleccionadas, con un nivel crítico de correlación 0.5155 a un 99% de significancia.

La correlación de las 19 series analizadas del ancho de anillos de crecimiento de *Cedrelinga cateniformis* colectas del anexo experimental Alexander von Humboldt, distrito de Irazola, provincia de Padre Abad es de 0.570, con un nivel crítico de correlación de 0.5155 a un 99%, la sensibilidad media que mide la diferencia relativa entre un anillo y el siguiente es de 0.516 y la media de longitud de series es de 20 años con un spline de 10 años presentando un total de 303 series de anillos para un periodo de 18 años (1998-2015), lo que indica que las series muestran señales comunes de crecimiento y características similares.

Los resultados de la investigación concuerdan con lo obtenido por Cerano *et all*, (2014) quien encontró una intercorrelación significativa entre series ($r= 0.473$; $p<0.01$), esto puede deberse a que las series de *Abies religiosa* tienen potencial para ser consideradas proxy de la variabilidad climática de la región.

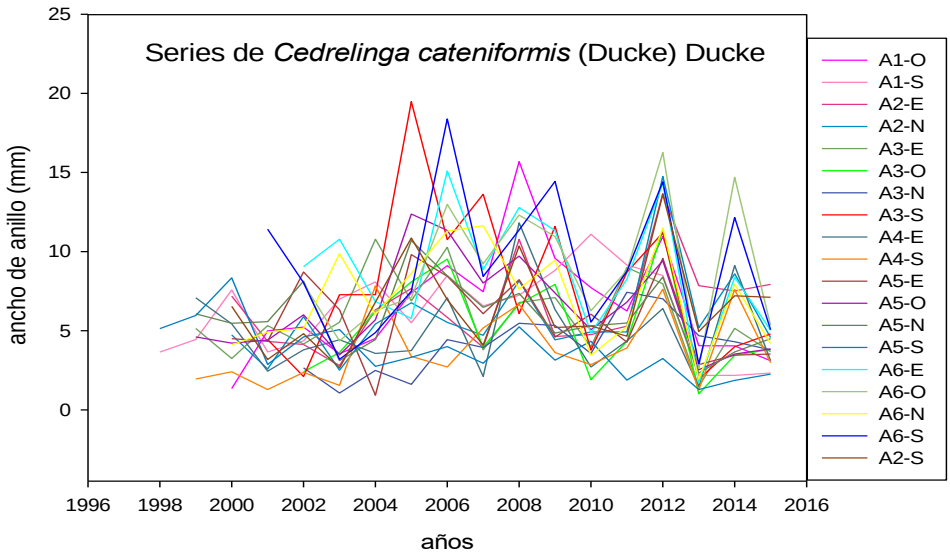


Figura 5. Series individuales del ancho de anillos con señal común en *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

En la figura 4 se observa el patrón de crecimiento de 19 series cronológicas de la especie ***Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke,** esto sugiere la existencia de una señal ambiental anual común, y nos indica que todos los anillos presentan similares tendencias de crecimiento en los mismos años.

El nivel de correlación entre las series de ancho de anillos correctamente medidas puede diferir entre individuos, sitios, competencia, nivel de perturbaciones al que han estado expuestas tal como lo afirma Grissino Mayer, H. (2001)

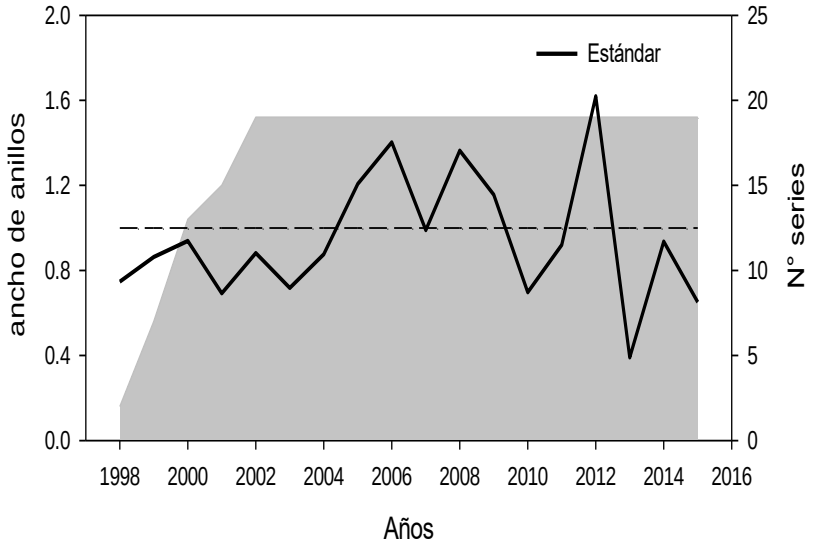


Figura 6. Serie maestra obtenidas individuales del ancho de anillos con señal común en *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke.

Finalmente se procedió a estandarizar todas las series generando una media común, normalmente es una media ponderada que suaviza el valor de los años extremos, y de ese modo se obtuvo la cronología maestra**.** Esta cronología se utiliza para analizar las relaciones crecimiento-clima (acción – reacción) y si la señal climática se mantiene para el periodo del cual se dispone de datos climáticos se puede llevar a cabo la reconstrucción de dicha señal. Asimismo, se puede utilizar para dataciones que determine el periodo para el cual es fiable la correlación (Cronología-Datos climáticos), tal como se muestra en la figura 5.

a. **Correlación de datos meteorológicos con las cronologías estándar.**

Mediante el programa RESPO se correlacionaron las cronologías obtenidas por el programa ARSTAN y las variables climáticas de precipitación y temperatura, para los periodos de 1998 al 2015. En el cuadro 3 se observa que la precipitación en el periodo trimestral (t) (feb-abr) influye en forma positiva en el crecimiento del ancho de los anillos de crecimiento; en tanto que la temperatura del periodo trimestral (t) (may-jul) influye en forma positiva y con un valor de correlación mucho menor al obtenido en la precipitación.

Tabla 3: Coeficiente de correlación de Pearson entre la cronología master y los valores trimestrales de PP (mm) y T° (°C).

CORRELACION		
Month	**pp**	**T°**
FEV/MAR/ABR	0.081831467	0.055258554
MAY/JUN/JUL	0.194028334	-0.227581651
AGO/SET/OCT	0.399414808	-0.298313844
NOV/DIC/ENR	0.392448553	-0.333194598
FEB/MAR/ABR	**0.54332078**	-0.260062693
MAY/JUN/JUL	0.194028334	**0.218842944**
AGO/SET/OCT	0.399414808	0.146024603
NOV/DIC/ENR	0.392448553	-0.180292692

Fuente: Propia

Considerando que el año dendrocronológico del árbol (año de crecimiento) no coincide con el año calendario o año corriente, pues la estación de crecimiento del árbol es compartida por dos años: inicia en septiembre u octubre del año previo (t^{-1}) y termina en febrero o marzo del año actual (t); esto se relaciona directamente con el inicio y fin de las precipitaciones respectivamente (Schulman, 1956).

Para la especie *Cedrelinga cateniformis* se obtuvieron correlaciones positivas para la precipitación en el periodo (feb-abr) del año (t); esto quiere decir que, para ese periodo, donde la disponibilidad de agua en el suelo es mayor y la temperatura se mantiene en equilibrio brindando las condiciones óptimas haciendo que los árboles tengan mayor posibilidad de incrementar el ancho de sus anillos, lo cual es favorecido por la mayor cantidad de agua en el suelo. Resultados similares obtuvieron Brienen & Zuidema (2003) y Brienem (2005) al estudiar árboles de *Cedrelinga* en un bosque estacionalmente seco, señalando que los primeros meses de la estación de lluvia son probablemente los más importantes para el crecimiento de los árboles, debido a que son el inicio de la época de crecimiento y la reserva del agua del suelo en el bosque.

Para la temperatura, se obtuvo una correlación positiva en el periodo (may-jul) ya que las temperaturas son casi constantes. Otros estudios explican que la formulación de las capas de crecimiento de los árboles, es más intenso inmediatamente después del inicio de la temporada de lluvias y de menor

intensidad hacia el final, posiblemente debido a la disminución de la capacidad fotosintética de las hojas viejas y a los cambios en el almacenamiento y la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Estos factores climáticos solo o combinados buscan explicar la importancia de los niveles de precipitación al inicio de la época de lluvias, (Priya & Bhat, 1999).

4.3. Análisis Dendroclimatológico.

Mediante la correlación entre las cronologías de anillo de crecimiento de la especie *Cedrelinga cateniformis* y los datos climáticos que se obtuvo a través del programa ARSTAN, se analizó la influencia de las variables climáticas en el crecimiento del diámetro de la especie. Así mismo se construyó el climatograma con datos que corresponden a los años 1998 – 2015, tal como se muestra en la figura 7, estos son útiles para la interpretación del clima de la región en términos ecológicos tal como lo indica Giraldo & Del Valle (2011).

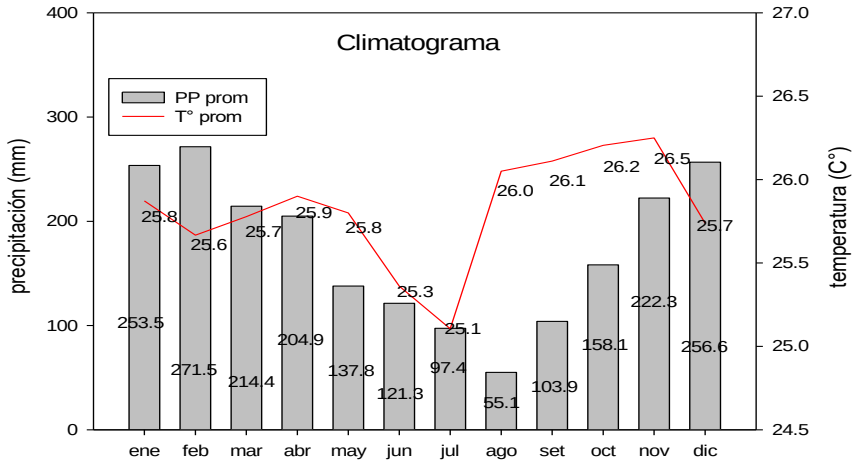


Figura 7. Promedio mensual de la Interrelación de los factores precipitación y temperatura, valores de la Unidad de Investigación Climática de 1998 hasta 2015.

Los resultados indican que existe una variabilidad marcada en la precipitación mensual en comparación con la temperatura que se mantiene constante (25.1 - 26.2 C°) todo el año, siendo los meses de junio y julio los más secos del año (pp < 150 mm), mientras que de agosto a mayo son los meses más húmedos, concordando con Domínguez (2014); Pereyra, et all, (2014); Campos (2009); Villalba et all (2000), quienes encontraron similares resultados, ya que dichos autores realizaron estudios en zonas tropicales donde se distribuye *Cedrelinga cateniformis.*

a. Correlación de datos de precipitación con las cronologías

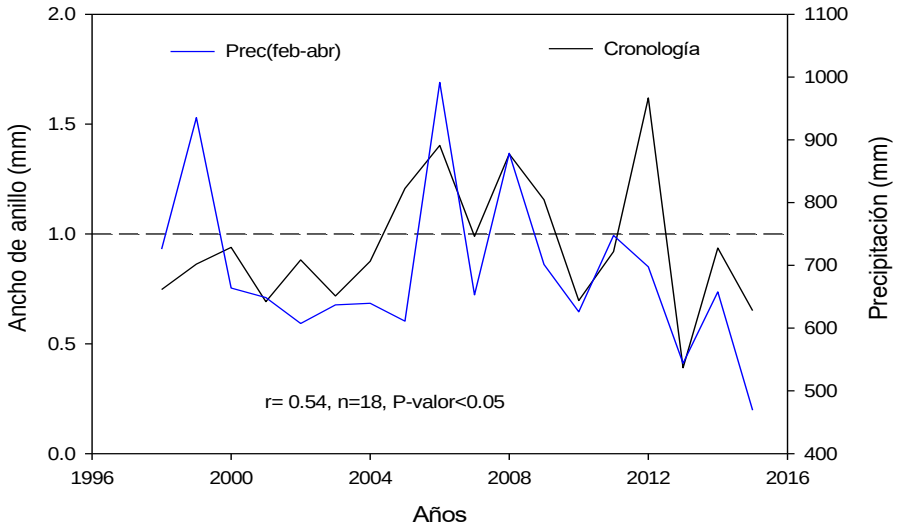


Figura 8. Correlación precipitación – ancho de anillos.

En la figura 8 se muestra los resultados del análisis de correlación entre las series cronológicas de *Cedrelinga cateniformis* y los datos de precipitación registrados en los años 1998 – 2015 en la estación climática El Maronal, mediante C.R.U.

De este modo se muestra una relación positiva entre la variación de la precipitación y la cronología maestra, obteniéndose un coeficiente de correlación Pearson de r=0.54, este valor de r significa que el 54% de la variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento corresponde a una variación en la precipitación. Esto va acorde con lo señalado por Brienem (2005) quien menciona que la disponibilidad de agua tiene gran influencia en el crecimiento de los árboles tropicales. Habiéndose realizado el análisis de las cronologías de los anillos de los árboles con los datos de precipitación se obtuvo un p-valor de 0.02 por lo tanto es significativa.

La mayor actividad en el proceso de desarrollo se encuentra en los meses de febrero – abril, indicando que la cantidad de lluvia en ese periodo es la que modula el ancho del anillo de crecimiento. Del mismo modo, concuerda con Villalba et all (2000) quien menciona que la mayor actividad cambial (producción de madera) coincide con el inicio de las precipitaciones de verano y presenta un declive o entra en un periodo de dormancia en los meses secos y más fríos. Esto es

corroborado por Tecnohelicon (2011) quien atribuye que los anillos del tronco de los árboles se forman a causa de las estaciones, e inician el ciclo de crecimiento del árbol en los periodos más húmedos y lluviosas, justo debajo de la corteza del tronco donde se producen grandes vasos de paredes finas.

b. Correlación de datos de temperatura con las cronologías

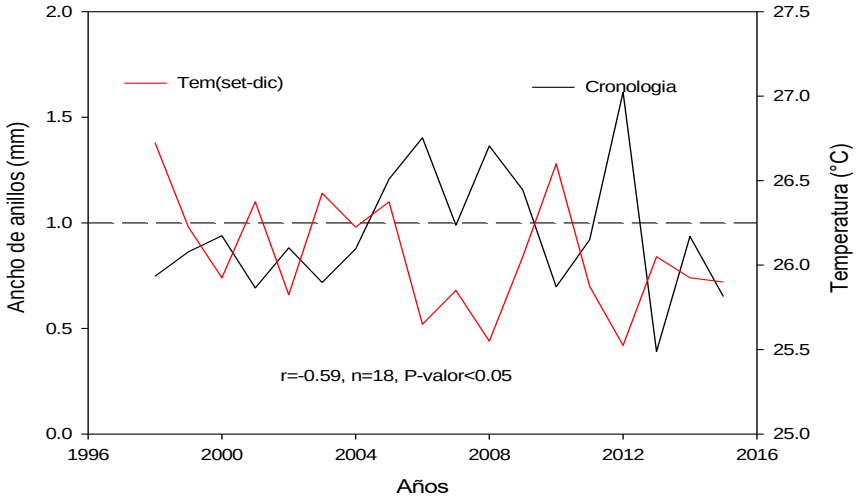


Figura 9. Correlación temperatura – ancho de anillos.

En base a las correlaciones entre el índice de ancho de anillos y la variable temperatura se obtuvo un coeficiente de Pearson de r= -0.59, indicando que la temperatura influye negativamente, reflejando que a mayor temperatura el crecimiento de los anillos es menor, estaría reflejando el proceso de la evapotranspiración de los árboles y de la evapotranspiración directa del suelo, en consecuencia reduciendo la cantidad de agua disponible para el crecimiento y ésta a su vez reduciendo el valor del ancho de los anillos.

Habiéndose realizado el análisis de las cronologías de los anillos de los árboles con los datos de precipitación se obtuvo un p-valor de 0.01 indicando que la correlación es significativa y a su vez muestra que los meses de setiembre – diciembre, es el periodo donde la temperatura muestra niveles óptimos para el desarrollo de la especie.

Por otro lado la correlación negativa obtenida en temperatura también ha sido obtenida en otros estudios (Zuñiga, 2012), (Villanueva, Lopez, & Cerrillo, 2016), por lo que se podría señalarse que la temperatura es determinante para adecuar las condiciones medioambientales al nivel óptimo en el crecimiento de los árboles.

Al respecto dichos resultados concuerdan con los estudios de Morales et all (2001), donde menciona que la temperatura y humedad están correlacionadas significativamente con el crecimiento radial, sin embargo, la precipitación se relaciona positivamente, mientras que la temperatura lo hace en forma negativa, indicando de este modo que el factor que controla el crecimiento sería el balance hídrico tal como lo afirma López et all (2006) quién indica que las especies estudiadas tienen una producción de células en forma periódica, regulada por un patrón anual de disponibilidad de agua, lo que sugiere la formación anual de cada anillo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo al análisis de los datos obtenidos en el desarrollo de este trabajo, se concluye lo siguiente:

- La especie *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke colectada en la plantación multiestrato del anexo Experimental Alexander Von Humboldt de 17 años, tiene anillos anuales marcados y su vez presenta anillos falsos como una línea de tejidos de coloración más clara, poco visibles y se encuentran de manera discontinua, convirtiéndola así en una buena fuente de información y a su vez con poco potencial dendrocronológico debido a la presencia de falsos anillos las cuales dificultan la demarcación de los anillos de crecimiento anuales.

- De acuerdo al COFECHA, las muestras colectadas de *Cedrelinga cateniformis* tiene anillos de crecimiento anual, presentando una correlación de r = 0.57, describiendo así una señal común entre ellas lo cual indica que las series presentan un patrón similar de crecimiento.

- Se demostró la hipótesis planteada determinando la correlación de Pearson, entre el crecimiento radial (cronología) con la precipitación trimestral (feb-abr), correlacionándose positivamente con un valor de r=0.54 alcanzando esta máxima correlación en los meses de febrero a abril, explicando en un 54 % de la variabilidad del ancho de los anillos de crecimiento corresponde a una variación en la precipitación.

- En base a la hipótesis planteada de la influencia de la temperatura trimestral (may-julio) y el crecimiento radial, se demostró la correlación de Pearson, correlacionándose negativamente con un valor de r = -0.59 alcanzando esta máxima correlación en los meses de mayo a julio, reflejando que a mayor temperatura el desarrollo de los anillos de crecimiento es menor, lo cual indica que estos factores son inversamente proporcionales.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones en dendroclimatología y dendroecología con árboles nativos, para ir construyendo una cronología regional de ancho de anillos para los bosques tropicales de la región, ya que esta información podría ser determinante para conocer posibles efectos de las variaciones de precipitación, temperatura sobre los bosques de la región.

- Para verificar la potencialidad de la especie a formar anillos de crecimiento anual anuales, se sugiere realizar estudios de potencial dendrocronológico ya que no todas las especies tienen esta particularidad.

- Es necesario que, al momento de realizar la datación de las muestras, el ambiente cuente con suficiente iluminación, debido a la minuciosidad del trabajo para así realizar un mejor trabajo.

- Así mismo para el trabajo tanto de laboratorio como de colección de muestras, se recomienda utilizar equipos adecuados en estado óptimo.

- Es preciso mencionar que la carencia de estaciones climatológicas en la zona de estudio, dificultó el análisis de las variables, teniendo que utilizar una metodología no convencional y a su vez resultando la única opción para obtener dicha información, por lo que se sugiere asentar estaciones climatológicas a largo de la amazonia para futuras investigaciones en las que intervienen la utilización de las mismas.

- Por otra parte, la falta de instrumentos y equipos para la investigación en el campo dendrocronológico, conllevo a buscar laboratorios adecuados e implementados para dicho análisis, sugiriendo así implementar un laboratorio lo cual resultaría fundamental para avanzar en dicha área de investigación.

BIBLIOGRAFIA

Aguilar, S., & Barajas, J. (2005). Anatomía de la Madera de Especies Arbóreas de un Bosque Mesófilo de Montaña: Un Enfoque Ecológico - Evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México, 77*, 51-58. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57707704

Angulo, W. (2014). Crecimiento y Productividad de la Plantacion de Cedrelinga catenaeformis Ducke, establecida en diferentes condiciones de sitio, en suelo Inceptisol en el Bosque Alexander Von Humboldt. *INIA*, 3.

Araba, A., Rodriguez, D., Chaves, P., & Alvarado, J. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie Junglans neotropica Diels (Nogal) para estudios dentrocronológicos en el fundo La Génova, Junín (Perú). *Revista Xilema, 24*.

Aróstegui, A., & Díaz, M. (1992). *Propagación de Especies Forestales, Nativas Promisorias en Jenaro Herrera. Iquitos, Perú.* Iquitos - Perú: IIAP. Obtenido de http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/100

Aróstegui, V., & Sato, A. (1970). Descripción de las propiedades físicomecánicas y usos de las maderas del Perú. Centro de Investigaciones Forestales, Lima, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 102.

Biología. (2016). *Glosario de Biología*. Obtenido de https://glosarios.servidor-alicante.com/biologia/correlacion

Boninsegna, J., & Villalba, R. (1996). Dendroclimatology in the Southern Hemisphere: Review and Prospect. *The University of Arizona, Tucson: Radiocarbon.*, 127-141.

Brienen, R., & Zuidema, P. (2003). *Anillos de Crecimiento de Árboles Maderables en Bolivia: Su Potencial Para el Manejo de Bosques y una Guía Metodológica.* Bolivia: Riberalta.

Brienen, R., & Zuidema, P. (2003). Anillos de Crecimiento de Árboles Maderables en Bolivia: su Potencial para él Manejo de Bosques y una Maderables en Bolivia: Su Potencial para él Manejo de Bosques y una Guía Metodológica. *PROMAB / IGEMA*, 33.

Burger, L. (1991). *Anatomia de la madera.*

C.R.U. (2018). *Climatic Research Unit*. (Universidad de East Anglia) Obtenido de http://www.cru.uea.ac.uk/

Campos, L. (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.* Lima, Perú: UNALM- EPG.

Campos, L., Lobão, M., Rosero, J., Tomazello, M., Lisi, C., Torres, G., & Yepez, F. (2008). Potencialidad de Especies Forestales para Dendrocronología a través de

la Caracterización Anatómica de los Anillos de Crecimiento en la Amazonía Peruana – brasilera. *Congreso de Estudiantes Forestales - UNAMAD*, (págs. 1-17). Madre de Dios.

Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Cervantes Martínez, R., Vázquez Selem, L., Trucios Caciano, R., & Guerra de la Cruz, V. (2014). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. *Investigaciones geográficas, (83)*, 41-54. Obtenido de https://dx.doi.org/10.14350/rig.35190

Claussi, A., Marmillod, D., & Blaser, J. (1992). *Descripción silvicultural de las plantaciones forestales de Jenaro Herrera.* Iquitos: IIAP. Obtenido de http://repositorio.iiap.org.pe/handle/IIAP/118

Constante García, V., Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Cornejo Oviedo, E. H., & Valencia Manzo, S. (2009). Dendrocronología de Pinus cembroides Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Ciencia forestal en México, 34* (106), 17-39. Obtenido de www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000200002&lng=es&tlng=es.

Coster, C. (1927). Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen- und Jahressringbildung in der Tropen. I. Ann. Jard. Bot.Buitenz. 37: 49 -161.

Del Valle, A., & Zapata, M. (2004). *Los anillos de crecimiento de los árboles pueden develar información acerca del cambio climático en el trópico (1 parte).* Revista Cambium.

Domínguez, J. (2014). *Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de Pinus patula y Pinus muricata en plantaciones de la Granja Porcon (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas.* Lima: UNALM.

Douglass, A. E. (1941). *Crossdating in Dendrochronology.* Crossdating in Dendrochronology: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona.

Echeverríaa, C., Huberc, A., & Taberletd, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *BOSQUE , 28*(3), 271-280.

Espinoza, P. (2001). *Anatomia de la madera* .

Flores, Y. (2010). *Crecimiento y Productividad de Plantaciones Forestales en la Amazonía Peruana.* Loreto: Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. Obtenido de http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/309

Flores, Y. (2017). Catálogo de especies arbóreas del anexo experimental Alexander von Humboldt, Ucayali. Estación Experimental Agraria Pucallpa. *INIA, 1*, 1-56.

Freitas Da Silva, M., Medeiros, L., & Lima. (1992). Leguminosas da Amazônia brasileira - II Cedrelinga Ducke (Leg. Mimos.).Belém. *Acta Botanica Brasilica, 1*.

Fritts, H. C. (1976). *Tree Rings and Climate.* Tucson, Arizona, U.S.A.: ACADEMIC PRESS.

García, L., Guindeo, A., Peraza, C., & de Palacios, P. (2003). *La Madera y su Anatomia.* España: MundiPrensa Libros, S.A. MP.

Génova, M. ; Martínez, D. (2003). Dendroclimatic Reconstructions in Southern Sistema Iberico. 1-6.

Génova, M. (2004). *Los anillos de crecimiento como indicadores climáticos. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal.* Madrid,.

Giraldo, J., & Del Valle, J. (2011). *Modelo de Crecimiento del Diámetro y del Volumen de Prioria Copaifera Empleando Técnicas Dendrocronológicas.* Colombia.

Grissino Mayer, H. (1996). *Principles of Dendrochronology*. Obtenido de http://www.ltrr.arizona.edu/people/henri/princip.htm.

Grissino Mayer, H. (2001). Evaluación de la precisión de los datos cruzados un manual y un tutorial para el programa de computadora cofecha. *Tree Ring Research, 57*(2), 205-221.

Gutiérrez, E. (2009). La Dendrocronología: Métodos y Aplicaciones. *Nieto i M.A.*, 309-322.

Haygreen, J., & Bowyer, J. (1982). Forest products and world science: an introduction. Ames: The Iowa State University Press. 496.

Holdridge, L. (1978). *Regiones y zonas ecologicas en el peru* .

Holmes, R. (1982). Evaluación de la precisión del crossdating: un manual y un tutorial para el programa de computadora COFECHA.

Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal* (1 ed.). (E. C.A., Ed.) Brasil.

Imaña, J., & Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Brasilia.* (Vol. 1). Brasilia, Brasil.: Edikapas C.A.

Infaimon. (2014). *infaimon.* Obtenido de https://www.infaimon.com/producto/image-pro-plus/

Jacoby, G. C. (1989). Overview of Tree-Ring Analysis in Tropical Regions. *IAWA Journal, 10*(2), 99-108 .

Kaennel, M., & Scheweingruber, F. (1995). *Multilingual glossary of Dendrochronology. Terms and definitions in English, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmensdorf.*

Kozlowski. (1979). Physiology of Woody Plants. 2nd Edition, Academic Press, New York.

López Ayala, J., Valdez Hernández, J., Terrazas , T., & Valdez Lazalde, R. (2006). Anillos de Crecimiento y su Periodicidad en Tres Especies Tropicales del Estado

de Colima, Mexico. *Agrociencia, 40*(4), 533-544. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240412

Lopez, L. (2003). *Estudio de los anillos de crecimiento en once especies forestales de Turrialba.* Santa Cruz: Bolfor.

López, L. (2006). Historia de los cambios ambientales y la dinámica de los bosques nativos del cerrado boliviano: una apreciación dendrocronológica. Mendoza argentina. Departamento de dendrocronología e historia ambiental, IANIGLA, CROCYT, CONICET. 1-16.

López, R. (1981). Estudio Silvicultural del Tornillo (Cedrelinga catenaeformis DUCKE). *Revista Forestal del Perú, 10*(1), 181-191.

Martínez, L. (1996). *A Guide to Dendrochronology for Educators.* Obtenido de http://www.ltrr.arizona.edu/people/henry/lorim/lori.htm.

Mc carthy, B. (1998). *Dendrochronology seminar. PBIO -69 Dendrochronology seminar 500.*

Melo, C. (2010). *Dendrocronología de la especie Pinus radiata de plantaciones de la granja Porcón Cajamarca.* Lima: UNALM.

Morales, M., Villalba, R., Grau, H., Villagra, P., Boninsegna, J., Ripalta, A., & Paolini, L. (2001). Potencialidad de Prosopis ferox Griseb (Leguminosae, subfamilia:Mimosoideae) para estudios dendrocronológicos en desiertos subtropicales de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural, 74*(4), 865-872. Obtenido de https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2001000400013

Nuñez, C. (2008). *Anatomía de la Madera - Macroestructura.* Posadas - Argentina: Unam.

Nutto, L., & Farinha, W. (2002). *Relayoes entre fatores climáticos e incremento em diametro de Zanthoxylum rhoifolia Lam. e Zanthoxylum hyemale St. Hil. na regiao de Santa María.* Colombo.: Boletín de investigación forestal.

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. (2014). *Fichas de identificación de especies forestales maderables de la zona de Tingo Maria.* Tingo Maria: Solvima Graf. SAC. Obtenido de https://www.osinfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/06/Fichas-de-identificaci%C3%B3n-de-especies-forestales-maderables-de-la-zona-de-Tingo-Maria-2014.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). *Perspectivas Mundiales del Suministro Futuro de Madera Procedente de Plantaciones Forestales.* Roma: FAO.

Pereyra Espinoza, M. J., Inga Guillen, G. J., Santos Morales, M., & Arisméndiz, R. (2014). Potencialidad de Cedrela odorata (Meliaceae) para estudios dendrocronológicos en la selva central del Perú. *Revista de Biología Tropical, 62*(2), 783-793. Obtenido de

www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000100031&lng=en&tlng=es.

Pomalaza, A. (2016). *"Anatomía, propiedades físico-mecánicas, químicas y potencial dendrocronológico de Buchenavia capitata (vahl) eichl procedencia Pucallpa".* Huancayo: UNCP.

Priya, P., & Bhat, K. (1999). Influence of Rainfall, Irrigation and Age on the Growth Periodicity and Wood Structure in Teak (Tectona Grandis). *IAWA Journal, 20*(2), 181-192.

Requena, J. (2015). Dendrocronología de Alnus acuminata en el bosque reservado de San Pedro de Saño, Huancayo. *Apuntes de Ciencia y Sociedad - Universidad Continental*, 1. doi:DOI: http://dx.doi.org/10.18259/acs.2015035

Reynel, C., Pennington, R., Pennington, T., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Árboles Útiles de la Amazonía Peruana. Un manual con apuntes de identificación,.*

Rodríguez, L., & Moreno, L. (2010). Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. *Agronomía Colombiana*, 189-197.

Rodriguez, R., Benito, A., & Portela, A. (2004). Meteorología y Climatología. *Semana de la Ciencia y la Tecnología*.

Roig, F. (1991). Dendrocronología y Dendroclimatología del Bosque de Pilgerodendron Uviferum en su Área Norte de Dispersión. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 27*, 217-234.

Roig, F. (2000). *Dendrocronología en los bosques del neotropico: revisión y prospección futura.* Mendoza: Univerdidad Nacional De Cuyo.

Rubio, A. (2016). Estudio del crecimiento y su relación con el clima en Pinus pinaster comparando las técnicas clásicas mpleadas en dendrocronología con las multivariantes. 8.

Sass-Klaassen, U., Couralet, C., Sahle, Y., & Sterck, F. (2008). Juniper from Ethiopia Contains a Large-Scale Precipitation Signal. *International Journal of Plant Sciences, 169*(8), 1057-1065. doi:10.1086/590473

Schulman. (1956). Cambios dendroclimáticos en América semiárida. 142.

Schweingruber, F. (1989). Tree rings. Basics and applications in Dendrocrhonology Klumer Academic Publishers. 280 .

Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrologia- unidad 5- Las precipitaciones . *Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería Civil*.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2017). *Anuario Forestal y de Fauna SIlvestre.* Lima: SERFOR.

Tecnohelicon. (2011). *Los Blogs de Hélicon*. Obtenido de http://colegiohelicon.org/blogs/tecnohelicon/2011/01/18/la-madera-que-son-los-anillos-del-tronco-de-un-arbol/#respond

Tomazello & Cardozo. (1999). *Seasonal variations of the vacular cambium of Teak (Tectona grandis L.) in Brazil. In: R. Wimmer & R.E. Vetter (eds.) Tree Ring Analysis.* England: CAB Internationa.

Tomazello, M., Botosso, P., & Lisi, C. (2000). Potencialidad de la familia Meliaceae para dendrocronología en regiones tropicales y subtropicales,. *Dendrocronología en América Latina*, 381-431.

Tomazello, M., Botosso, P., & Lisi, C. (2001). *Análise e Aplicação dos Anéis de Crescimento das Árvores como Indicadores Ambientais: Dendrocronologia e Dendro-Climatologia.*

Tomazello, M., Lisi, C., Hansen, N., & Cury, G. (2004). Anatomical features of incrernent zones in different tree in the State of Sao Paulo, Brazil. . *Sciencitia Forestalis, 66*, 46-55.

Ugulino, 0. B. (2011). *Dendrocronología e análise de varia9ilo radial da densidade do lenho de árvores de Tectona grandis L. f. do municipio de Cáceres.* Rio de Janeiro: Universidad rural de Rio de Janeiro.

Villalba, R., Villagra, P. E., Boninsegna, J. A., Morales, M. S., & Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatológica con especies del genero Prosopis en Argentina. Mendoza, Argentina. Departamento de dendrocronología e historia ambiental. *MULTEQUINA, 9*(2), 1 - 18.

Villanueva, K., Lopez, L., & Cerrillo, R. (2016). Regional chronologies of Cedrela fissilis and Cedrela angustifolia in three forest types and their relation to climate. (Springer, Ed.) *Springe*. doi:10.1007/s00468-016-1391-8

Worbes, M. (1995). How to Measure Growth Dynamics in Tropical Trees a Review. *IAWA Journal, 16*(4), 337-351.

Yoza, L., Baradit, E., & Acevedo, M. (2015). Caracterización de las Propiedades Físico Mecánicas de Especies, Pino (Pinus patula) y Tornillo (Cedrelinga cateniformis) Provenientes del Perú utilizando Técnicas no Destructivas. *Anales Científicos, Vol. 76*(No 1), pp. 12-16. doi:DOI: http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.758

Zhao, S., Jiang, Y., Jiao, L., Wang, M., Zhang, L., & Zhang, L. (2015). A Comparative Analysis of ARSTAN and the dplr Package of R Language in Analyses of Tree-ring Chronologies. doi: 10.5846 / stxb201403300597

Zuñiga, C. (2012). *Aplicación de la dendrocronología para evaluar la influencia de la precipitación y la temperatura en el crecimiento de Tectona grandis L.f. procedente del Fundo Génova- Junín.* Llima: UNALM.

ANEXO

Tabla 4: Valores promedios de cronología, precipitación y temperatura para el análisis de la correlaciones Cedrelinga cateniformis.

Año	Serie	Cronología	Precipitación	Temperatura
1998	1	0.747	725.8	26.725
1999	2	0.863	935.4	26.225
2000	3	0.939	663.9	25.925
2001	4	0.692	648.6	26.375
2002	5	0.882	607.4	25.825
2003	6	0.718	636.9	26.425
2004	7	0.876	639.6	26.225
2005	8	1.207	611.1	26.375
2006	9	1.403	991.5	25.65
2007	10	0.989	652.9	25.85
2008	11	1.364	878.6	25.55
2009	12	1.156	701.4	26.05
2010	13	0.697	625.9	26.6
2011	14	0.92	747.6	25.875
2012	15	1.619	697.7	25.525
2013	16	0.391	543.9	26.05
2014	17	0.936	657.7	25.925
2015	18	0.651	469.2	25.9
1998	19	0.747	725.8	26.725

Tabla 5. Valores de la cronología en mm obtenidos mediante Image Pro Plus para el periodo 1998 – 2015.

COD. SERIE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
A1-O			2.699	9.996	10.46	7.103	9.032	14.82	18.22	14.93	31.38	19.15	15.45	12.5	21.89	8.106	8.09	6.204
A1-S	7.309	8.888	15.16	7.326	8.716	14.01	16.18	11.01	16.99	13.15	14.49	17.63	22.2	18.31	16.98	4.352	4.357	4.654
A2-E			14.38	8.658	8.261	5.59	12.65	15.33	11.71	7.899	21.55	9.284	9.521	10.57	27.33	15.7	15.02	15.85
A2-N			9.478	5.18	11.78	5.019	10.85	13.53	11.05	9.43	16.31	8.845	9.854	9.853	29.51	10.39	17.19	9.142
A2-S			13.08	6.373	9.627	5.305	13.63	21.73	13.92	8.191	20.7	10.42	10.61	9.32	27.25	9.905	14.42	14.22
A3-E		10.29	6.491	10.65	8.334	11.08	21.57	13.79	20.54	7.592	13.57	14.19	7.966	18.01	15.94	2.948	10.31	7.36
A3-O					4.825	7.244	12.43	16.17	19.06	7.94	13.39	15.86	3.822	8.679	22.62	2.034	6.902	7.645
A3-N					5.317	2.126	4.988	3.227	8.882	7.887	10.95	10.66	7.136	14.87	14.04	9.376	8.603	7.597
A3-S				8.899	4.212	14.55	14.55	38.95	21.52	27.24	12.17	23.18	7.552	17.39	22.38	3.864	7.978	9.591
A4-E		14.16	10.86	4.893	7.584	8.853	7.128	7.5	14.16	4.24	23.64	12.68	5.428	8.699	12.82	2.942	18.24	6.211
A4-S		3.91	4.811	2.565	4.727	3.101	15.67	6.762	5.427	10.35	13.32	7.249	5.718	7.819	15.24	2.517	15.2	5.956
A5-E			9.004	8.675	17.43	12.66	1.85	19.63	16.89	12.16	16.46	9.198	12.09	8.563	19.15	5.722	6.912	7.06
A5-O		9.214	8.432	8.808	12.01	6.944	11.39	24.75	22.69	16.03	19.44	14.77	10.13	13.61	18.85	5.062	7.061	7.721
A5-N		12.13	10.95	11.16	16.26	6.224	8.879	21.41	16.93	12.95	14.71	9.706	10.61	10.97	16.8	4.653	7.325	9.008
A5-S	10.27	11.93	16.69	5.733	9.226	10.15	5.503	6.641	8.003	5.901	10.49	6.284	8.675	3.755	6.49	2.576	3.723	4.509
A6-E					18.09	21.56	13.69	11.56	30.19	17.73	25.57	22.66	9.709	16.52	28.64	3.402	16.76	10.05
A6-O					15.95	8.723	12.53	14.18	25.98	18.45	24.6	21.91	12.53	17.63	32.53	5.248	29.39	10.67
A6-N			8.227	9.827	10.3	19.75	12.03	17.26	22.59	23.27	15.27	18.93	6.892	10.54	23	3.901	15.85	8.385
A6-S				22.83	16.08	6.398	9.766	15	36.76	16.87	22.75	28.88	11.09	17.51	28.83	5.814	24.32	10.13

Tabla 6. Valores de temperatura obtenidos de la estación Maronal – 108027 para el periodo 2002 – 2013.

	TEMPERATURA MENSUAL												TEMPERATURA TRIMESTRAL			
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**F/M/A**	**M/J/J**	**A/S/O**	**N/D/E**
2002	26.4	26.3	26	26.1	25.5	24.3	25.7	25.6	26.1	26.2	26.3	25.9	26.2	25.2	26	26.2
2003	26.3	26.3	26.2	25.5	25.1	24.9	24.3	24.9	25.3	27.1	26.2	25.6	26	24.8	25.7	26
2004	26.8	26.4	27	25.6	25.3	24.5	25.2	25.1	25.7	26.2	26.5	25.9	26.3	25	25.7	26.4
2005	26.9	26.9	22.3	32.2	26.3	25.8	25.8	26.2	25.5	26.7	26.3	26.4	27.1	26	26.1	26.6
2006	25.8	26.2	25.8	25.1	24.1	25.6	25.7	26.3	26.4	26.6	26.6	25.8	25.7	25.1	26.4	26.1
2007	26.5	26.2	26.2	25.6	25	25	25.5	26.3	26.3	26.7	26.4	26	26	25.2	26.4	26.3
2008	26.3	25.7	26.3	25.4	24.3	25.4	26.4	26.3	25.1	26.2	25.9	25.8	25.8	25.4	25.9	26
2009	26	26	26.3	26	25.6	25.1	25.9	26.3	27.1	26.6	26.5	26.1	26.1	25.5	26.7	26.2
2010	26.4	26.3	26.4	26	26.5	24.9	26.4	27.3	26.9	26.3	26.1	26.3	26.2	26	26.8	26.2
2011	25	24.7	25.6	26.5	25.8	25.4	26.2	26.9	26	25.8	25.6	25.8	25.6	25.8	26.2	25.5
2012	25	25.1	25.3	26.6	26.8	26.8	26.7	26.7	26	26.4	25.1	26	25.7	26.8	26.4	25.4
2013	25.7	25.7	27.1	26	25.8	25.4	25.3	26.8	26.6	26	26.7	26.1	26.3	25.5	26.5	26.2

Tabla 7. Valores de precipitación obtenidos de la estación Maronal – 108027 para el periodo 2002 – 2013.

	TEMPERATURA MENSUAL												TEMPERATURA TRIMESTRAL			
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**F/M/A**	**M/J/J**	**A/S/O**	**N/D/E**
2002	204.7	215.5	320.3	178.4	224.3	39.1	0	43.8	133.5	240	409.2	246.7	714.2	263.4	417.3	860.6
2003	296.2	291.1	314.5	169.5	306.9	190.5	50.6	68.8	207	90.8	124.2	225.8	775.1	548	366.6	646.2
2004	269.1	412.1	211.5	197.1	132.8	144.9	88.9	112.7	56.8	108.4	215.3	159	820.7	366.6	277.9	643.4
2005	202.1	270.1	225.5	269.8	105.5	54.3	26.2	30.8	--	182.8	238.3	270.9	765.4	186	213.6	711.3
2006	104	322.8	327.6	200.9	134.8	64.6	138.3	165.4	140.9	175.8	115.3	78.31	851.3	337.7	482.1	297.61
2007	197.9	269	334.5	214.4	228.3	107.6	23.9	39.4	243.2	82.3	189.4	297.4	817.9	359.8	364.9	684.7
2008	327	153.3	263.7	235.6	129.1	40	234.7	56.8	78.5	150.4	258	237.1	652.6	403.8	285.7	822.1
2009	135.8	163.9	223.4	--	60.6	59.5	24.9	86.2	66.2	403.5	124.9	419.4	387.3	145	555.9	680.1
2010	222.4	351.9	175.3	157.4	104.2	66	54.9	95	88.3	150.7	486.6	213.2	684.6	225.1	334	922.2
2011	158.5	270.4	214.1	193.9	116.2	12	51.6	98.4	76.4	279.2	90.7	115.4	678.4	179.8	454	364.6
2012	395.6	208.2	366.6	166.5	134.8	102.9	36.9	22.9	113	122.8	190.7	190.7	741.3	274.6	258.7	777
2013	334.2	155.5	120.7	440.1	251.6	109.5	116.6	23.5	37.3	72.1	168.1	100.4	716.3	477.7	132.9	602.7
2014	138.6	201.9	180.5	230	116.3	51	104.4	3.4	105.9	53.4	270.9	140.5	612.4	271.7	162.7	550
2015	343	532.9	392.9	152.6	69.5	46.7	11.5	79.4	259.7	110.9	137.7	181.5	1078.4	127.7	450	662.2
2016	165.7	157.8	354.8	229.6	60.7	45.5	50.3	15.8	92.4	195.6	89.6	425.9	742.2	156.5	303.8	681.2
2017	173.5	203.3	205.8	128.2	105.7	201.7	43.5	144	134.5	98	410.7	45	537.3	350.9	376.5	629.2
2018	434	190.3	389.8	337.3	--	194.1	--	--	--	--	--	--	917.4	194.1	0	434

Tabla 8. Valores de temperatura obtenidos de la Unidad de Investigación Climática para el periodo 1997 – 2015.

	TEMPERATURA MENSUAL												TEMPERATURA TRIMESTRAL			
AÑO	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**	**F/M/A**	**M/J/J**	**A/S/O**	**N/D/E**
1997	25.4	25.2	25.5	26.4	26.8	26.8	26.2	25.9	26.9	26.9	26.6	26.5	25.7	26.6	26.6	26.2
1998	27	26.8	27.1	27.6	26.9	25.8	25.9	27.1	26.4	26.4	26.1	26	27.2	26.2	26.6	26.4
1999	25.1	25.6	25.5	25.2	25.1	25.1	24.7	25.7	25.8	26.2	25.9	25.8	25.4	25	25.9	25.6
2000	25.4	25.3	25.4	25.2	25.7	25.5	24.4	26.3	26.3	26.5	26.9	25.8	25.3	25.2	26.4	26
2001	25.3	25.8	25.4	25.9	25.4	24.1	24.6	25.8	25.5	26.1	26.2	25.5	25.7	24.7	25.8	25.7
2002	25.8	25.6	26.1	26.3	26.3	25	24.6	26.2	26.5	26.6	26.3	26.3	26	25.3	26.4	26.1
2003	26.5	26.1	26.2	25.8	25.4	25.4	25.2	23.7	25	26.8	27	26.1	26	25.3	25.2	26.5
2004	26.3	26.1	26.2	26.4	25.7	25.2	25.3	25.9	26.3	26.6	26.5	26.1	26.2	25.4	26.3	26.3
2005	26.4	25.8	26.1	26	26.4	25.7	25.1	26.6	26.3	26	25.6	24.7	26	25.7	26.3	25.6
2006	25.9	25.5	26.2	25.6	25.3	25.5	26	26.7	25.6	25.4	26.4	26	25.8	25.6	25.9	26.1
2007	26.5	25.8	25.4	26	24.8	24.6	24.6	25.6	25.7	25.6	25.7	25.2	25.7	24.7	25.6	25.8
2008	25.6	25.6	25.7	25.5	25	24.7	25.7	26.9	26.2	26	26.1	25.9	25.6	25.1	26.4	25.9
2009	25.4	25.5	25.7	26.2	25.7	25.1	25.6	26.5	26.6	26.5	26.9	26.4	25.8	25.5	26.5	26.2
2010	26.9	26.5	26.5	26.8	26.2	25.5	24.4	25.8	26.2	26.1	25.8	25.4	26.6	25.4	26	26
2011	25.6	25.1	24.9	25.5	25.9	25.9	25.3	26	25.6	25.6	26	24.9	25.2	25.7	25.7	25.5
2012	25.4	24.7	25.1	25.9	26.1	25.8	25.8	26.4	26.2	26.2	26.4	25.4	25.2	25.9	26.3	25.7
2013	25.6	25.4	25.5	25.4	25.5	24.8	24.1	25	26.1	25.9	25.7	26	25.4	24.8	25.7	25.8
2014	25.8	25.2	25.2	25.2	26.4	26.4	24.8	25.8	26.1	26	26	25.5	25.2	25.9	26	25.8
2015	25.2	25.6	25.8	25.7	26.6	26.4	25.8	26.9	27.6	27.2	27	26.3	25.7	26.3	27.2	26.2

Tabla 9. Valores de precipitación obtenidos de la Unidad de Investigación Climática para el periodo 1997 – 2015.

	TEMPERATURA MENSUAL												TEMPERATURA TRIMESTRAL			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	F/M/A	M/J/J	A/S/O	N/D/E
1997	240.1	280.3	312.5	141.4	186.8	61.9	114.2	55.2	119	141.8	177.5	127.7	244.7	121	105.3	181.8
1998	78.4	157.7	306.6	261.5	240.2	105.4	26.7	41.2	192.2	168.2	280.4	242.6	241.9	124.1	133.9	200.5
1999	624.9	389.8	334.8	210.8	226.2	61.1	122.9	75.5	145.5	95.5	234.8	233.8	311.8	136.7	105.5	364.5
2000	163	212.8	139.3	311.8	114.5	133.6	166.6	45.7	59.9	147.3	174.6	255	221.3	138.2	84.3	197.5
2001	182.7	181.2	273.4	194	136.4	176.2	194.6	14.8	127.5	76.9	92.8	159.6	216.2	169.1	73.1	145
2002	448.1	158.4	245	204	33.4	39.4	49.5	58	40.3	162.8	179.6	210	202.5	40.8	87	279.2
2003	196.4	266.5	245	125.4	238.9	296.7	65	101.8	183.4	87.5	87.9	453	212.3	200.2	124.2	245.8
2004	286.7	258.2	234.8	146.6	102.7	94.3	251.6	66.8	131.9	119.6	307.8	333.4	213.2	149.5	106.1	309.3
2005	142	212.8	205.7	192.6	15.9	103.4	11.1	77.6	45	159.5	247.7	326.3	203.7	43.5	94	238.7
2006	229.8	644.3	110.2	237	41.5	154.9	40.1	78.8	88.5	299.4	412.3	203.5	330.5	78.8	155.6	281.9
2007	175.4	271	177.9	204	265.7	17.3	77.8	91.5	40.8	213.8	215.2	233.1	217.6	120.3	115.4	207.9
2008	474.1	350.6	249.2	278.8	64.2	273.5	100	20.7	157.6	168.6	228.4	83.3	292.9	145.9	115.6	261.9
2009	444.3	273.8	223.6	204	173.2	52	81.7	48	78.6	174.7	140.5	279.3	233.8	102.3	100.4	288
2010	84.3	233.9	235.8	156.2	169.7	22.4	64.4	69.3	50.3	85.1	220.8	219.5	208.6	85.5	68.2	174.9
2011	164.9	395.9	194.2	157.5	300.1	174.2	115.6	16.3	186.2	241	352.1	506.6	249.2	196.6	147.8	341.2
2012	150	271	268.6	158.1	106.2	93.6	108	21.4	71.4	195.4	43.6	257.7	232.6	102.6	96.1	150.4
2013	363	313.1	140.7	90.1	91.7	83.9	140.5	37.5	144.6	181.2	276.1	175.2	181.3	105.4	121.1	271.4
2014	215	71.5	194.6	391.6	75.6	246.1	69	66.5	37.1	198.9	344.3	271.2	219.2	130.2	100.8	276.8
2015	140	224.5	79.8	164.9	85.2	56.5	68	60.7	91.1	71.5	162.7	177.2	156.4	69.9	74.4	160

Proceso para la obtención de muestras en campo.



Figura 10. Camino a la plantación de tornillo.



Figura 11. Reconocimiento de la plantación de tornillo.



Figura 12. Tumbado del árbol para la extracción de muestras.



Figura 13. Tocones para la extracción de rodajas.



Figura 14. Rodajas para la demarcación de direcciones.



Figura 15. Extracción de los tarugos con ayuda del barreno de Pressler.

Secuencia del aserrado para la obtención de muestras de rodajas y tarugos.



Figura 16. Aserrando la rodaja para el proceso de lijado.

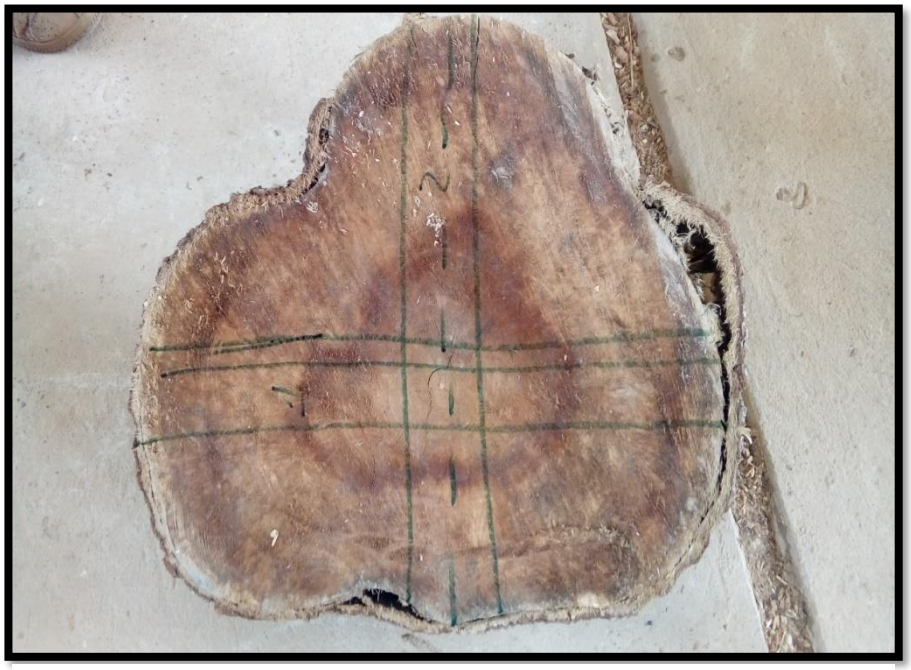


Figura 17. Demarcación de direcciones opuestas Norte-Sur y Este-Oeste.



Figura 18. Rodaja luego de ser pulida con lijadora tipo banda.



Figura 19. Se observa con mayor nitidez los límites de los anillos de crecimiento.



Figura 20. Tarugos por árbol en sentido radial incluyendo la médula.



Figura 21. Tarugos pegados en soporte de madera.

Muestras codificadas y escaneadas para procesar en el programa IPWIN



Figura 22 Muestras de rodaja primera codificación.

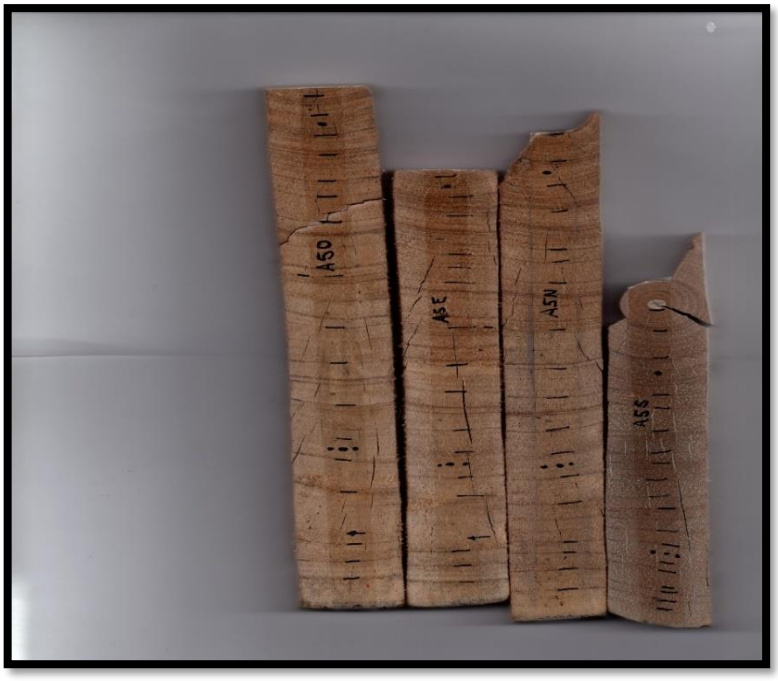


Figura 23 Muestras de rodaja segunda codificación.

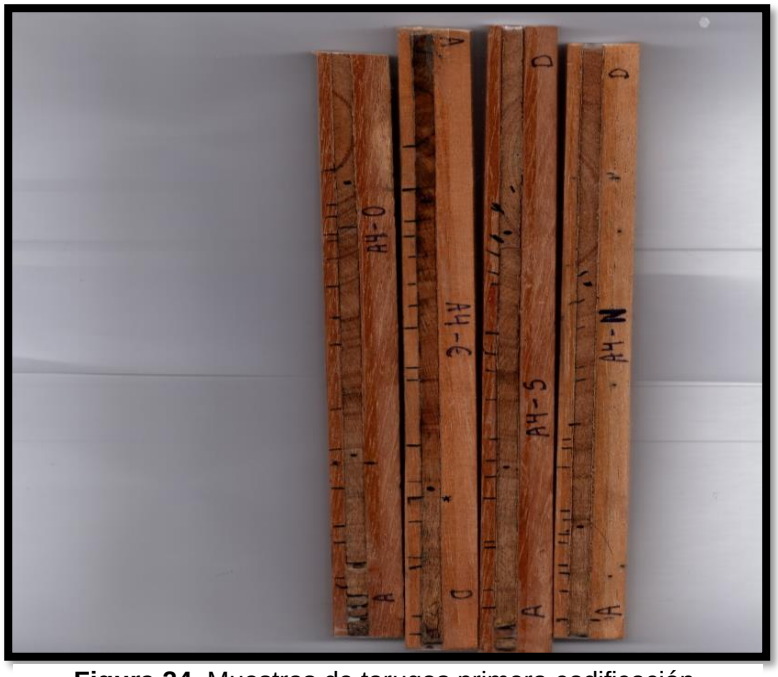


Figura 24. Muestras de tarugos primera codificación.



Figura 25. Muestras de tarugos segunda codificación.