

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**“CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA Y  
DENDROCRONOLOGÍA DE *Juglans neotropica* Diels DE ÁREAS  
RIBEREÑAS DE LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS,  
AMAZONAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**ANDREA ADRIANA EGÜES NICOLETTI**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art.24 - Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**“CARACTERIZACIÓN ANATÓMICA DE LA MADERA Y  
DENDROCRONOLOGÍA DE *Juglans neotropica* Diels DE ÁREAS  
RIBEREÑAS DE LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS,  
AMAZONAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL**

**ANDREA ADRIANA EGÜES NICOLETTI**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

Ing. Julio Cesar Canchucaja Rojas, Dr.  
Presidente

---

Ing. Sonia Cesarina Palacios Ramos, Mg. Sc.  
Miembro

---

Ing. Rolando Antonio Montenegro Muro, Mg. Sc.  
Miembro

---

Ing. Manuel Chavesta Custodio, Dr.  
Asesor

---

Ing. José Luis Marcelo Peña, Dr.  
Co Asesor

## *DEDICATORIA*

*A mis padres y hermanos por su amor y apoyo incondicional. Gracias por siempre creer en mí.*

*A Vanessa, por siempre motivarme, guiarme y ayudarme a cumplir mis sueños.*

*A mi abuela Angelita, por siempre aconsejarme y estar presente en los momentos más importantes de mi vida.*

*A Danae, quien fue una amiga incondicional. Este logro es por las dos.*

## *AGRADECIMIENTOS*

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesor Manuel Chavesta Custodio y coasesor José Luis Marcelo Peña por su disposición, apoyo, enseñanzas y consejos durante esta etapa.

Al técnico David Huamán por su apoyo en el laboratorio de Anatomía de la madera.

A la Universidad Nacional Agraria la Molina, sobre todo a la Facultad de Ciencias Forestales, por prepararme académicamente y apoyarme con la infraestructura (Laboratorio de Anatomía de la madera y Laboratorio de Dendrología y Herbario (MOL)) para la realización de esta investigación.

A mi familia por su apoyo constante, sobre todo en esta etapa importante de mi vida profesional.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Características generales de <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	3
2.1.1 Descripción botánica .....	3
2.1.2 Distribución .....	4
2.1.3 Descripción Anatómica .....	4
2.1.4 Usos de la madera.....	5
2.2 La dendrocronología .....	5
2.2.1 Formación de anillos de crecimiento.....	6
2.2.2 El clima y su relación con la dendrocronología (Dendroclimatología).....	10
2.2.3 Estudios dendrocronológicos en zonas tropicales .....	11
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1 Área de estudio .....	14
3.2 Equipos y materiales .....	17
3.2.1 Equipos y materiales de campo .....	17
3.2.2 Equipos y materiales de laboratorio .....	17
3.2.3 Programas utilizados .....	18
3.3 Metodología.....	19

3.3.1	Recolección de las muestras para el estudio de las muestras dendrocronológicas .....	19
3.3.2	Acondicionamiento de muestras.....	20
3.3.3	Caracterización anatómica de la madera .....	21
3.3.4	Recopilación y análisis de las series meteorológicas .....	23
3.3.5	Análisis dendrocronológico .....	24
3.3.6	Análisis dendroclimatológico .....	26
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1	Caracterización anatómica de la madera.....	28
4.1.1	Descripción general de la madera.....	28
4.1.2	Descripción macroscópica del leño .....	29
4.1.3	Descripción microscópica de la madera .....	29
4.2	Caracterización de los anillos de crecimiento.....	34
4.3	Análisis dendrocronológico .....	37
4.3.1	Sincronización (CO-FECHADO) de los anillos de crecimiento.....	37
4.3.2	Obtención de cronologías .....	40
4.4	Análisis dendroclimatológico .....	43
4.4.1	Respuesta climática en el crecimiento de <i>Juglans neotropica</i> .....	46
V.	CONCLUSIONES.....	50
VI.	RECOMENDACIONES .....	51
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	52
VIII.	ANEXOS .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores promedio de elementos leñosos en Juglans neotropica.....	34
Tabla 2: Control de calidad de las series de Juglans neotropica analizadas con el programa COFECHA. ....	38
Tabla 3: Correlación entre serie cronológica y precipitación y temperatura.....	45
Tabla 4: Coeficiente de correlación de Pearson entre la cronología residual y las variables climáticas.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	16
Figura 2: Colección de muestras de madera. ....	20
Figura 3: Muestras pulidas de <i>Juglans neotropica</i> . ....	21
Figura 4: Albura y duramen en <i>Juglans neotropica</i> . ....	28
Figura 5. Parénquima de <i>Juglans neotropica</i> . ....	30
Figura 6. Parénquima de <i>Juglans neotropica</i> . ....	31
Figura 7. Sección transversal de <i>Juglans neotropica</i> . ....	31
Figura 8. Corte radial de <i>Juglans neotropica</i> . ....	32
Figura 9. Corte tangencial de <i>Juglans neotropica</i> . ....	32
Figura 10. Elemento vascular de <i>Juglans neotropica</i> . ....	33
Figura 11. Fibra de <i>Juglans neotropica</i> . ....	33
Figura 12. Imagen macroscópica de los anillos de crecimiento de <i>Juglans neotropica</i> . ....	36
Figura 13. Imagen microscópica de los anillos de crecimiento de <i>Juglans neotropica</i> . ....	36
Figura 14. Falsos anillos de crecimiento. ....	37
Figura 15. Intervalo de crecimiento de las 19 muestras de <i>Juglans neotropica</i> del distrito de Magdalena.....	39
Figura 16. Intervalo de crecimiento de las 25 muestras de <i>Juglans neotropica</i> del distrito de Leymebamba.....	39
Figura 17: Serie maestra estándar y tamaño de muestra del distrito de Magdalena. ....	41
Figura 18: Serie maestra residual y tamaño de muestra del distrito de Magdalena.....	41
Figura 19: Serie maestra estándar y tamaño de muestra del distrito de Leymebamba. ....	42
Figura 20: Serie maestra residual y tamaño de muestra del distrito de Leymebamba. ....	43
Figura 21: Precipitación y temperatura promedio mensual de la estación de Chachapoyas (periodo 1972-2018).....	44
Figura 22: Correlaciones entre índices de anillos de crecimiento con pp y temperatura en el distrito de Magdalena. ....	47



Figura 23: Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento con pp y temperatura en el distrito de Leymebamba..... 48

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos de individuos muestreados del distrito de Leymebamba.....	66
Anexo 2: Datos de individuos muestreados del distrito de Magdalena.....	67
Anexo 3: Intercorrelación de series cronológicas del distrito Leymebamba a partir de los anchos de anillos de crecimiento en <i>Juglans neotropica</i> . ....	68
Anexo 4: Intercorrelación de series cronológicas del distrito de Magdalena a partir de los anchos de anillos de crecimiento para <i>Juglans neotropica</i> . ....	69

## RESUMEN

El presente estudio determinó los patrones de crecimiento de la especie *Juglans neotropica* Diels de bosque natural de Chachapoyas, se realizó la caracterización macro y microscópica del leño de la especie y se evaluó la influencia de la precipitación y temperatura en la formación de los anillos crecimiento. Las muestras se colectaron en el departamento de Amazonas, distritos de Leymebamba y Magdalena. La descripción de las características anatómicas de la madera se realizó conforme a lo descrito por IBAMA (1991) y IAWA (1989). Se analizaron los anillos de crecimiento utilizando los programas CooRecorder, COFECHA, “*Dendrochronology Program Library in R*”, y el paquete “Treeclim” de R. Se encontró que la especie posee anillos de crecimiento marcados, cuya estructura presenta poros grandes al inicio, luego poros más pequeños; finalizando con bandas de parénquima marginal delimitando el anillo. A nivel macroscópico presentó textura media, grano recto, poros solitarios y múltiples radiales de 2 a 3; porosidad semicircular; parénquima en bandas delgadas y marginal. A nivel microscópico, la madera presenta poros de tamaño mediano; con perforación simple y puntuación intervascular poligonal alterno; parénquima tipo bandas delgadas y marginal; radios heterocelulares; heterogéneos tipo II; y fibras libriformes de espesor de pared delgada a gruesa. No se evidenció influencia de la precipitación y la temperatura en la formación de los anillos de crecimiento de la especie *Juglans neotropica* para la zona estudiada.

**Palabras clave:** Anatomía de la madera, anillos de crecimiento, CooRecorder, COFECHA, Dendrochronology Program Library in R, treeclim.

## ABSTRACT

The present study determined the growth patterns of the *Juglans neotropica* Diels species from the natural forest of Chachapoyas. Also identified the macroscopic and microscopic characteristics of wood of *Juglans neotropica* Diels and evaluated the influence of precipitation and temperature on the growth rings. The sampling was carried out in the department of Amazonas, in the districts of Leymebamba and Amazonas. The description of the anatomical structure of the wood of *Juglans neotropica* Diels was made as described by IBAMA (1991) and IAWA (1989); and the dendrochronological analysis of the growth rings was carried out using the programs CooRecorder, COFECHA, "*Dendrochronology Program Library in R*" and the R package "Treeclim". This specie showed distinguishable growth rings. Its structure presents large pores at the beginning of the ring; followed by smaller pores; ending with bands of marginal parenchyma. The wood, at a macroscopic level, is classified as semi-ring-porous; straight grained and has medium texture; contains single and multiple radial pores from 2 to 3, and parenchyma in lines and marginal. At the microscopic level, wood is made up of medium pores with simple perforation and alternate polygonal intervessel pits; parenchyma in lines and marginal; heterocellular rays type II; and medium libriform fibers thin to thick walled. It was concluded that there is no influence of precipitation and temperature in the formation of growth rings for the studied area.

**Key words:** wood anatomy, growth rings, CooRecorder, COFECHA, Dendrochronology Program Library in R, treeclim.

## I. INTRODUCCIÓN

En latifoliadas, la estructura anatómica de la madera está compuesta por elementos fibrosos de tamaño y espesor de pared variable, elementos vasculares en diferente disposición y tamaño, células de parénquima axial en varios patrones y cantidades, y parénquima radial (Wiedenhoeft y Miller, 2005). Las características de la madera varían ampliamente dependiendo del género, la especie, la edad, la procedencia, y las condiciones de crecimiento. Su formación se ve influenciada por factores genéticos y ambientales; estos se reflejan en las características de los elementos leñosos, como en el tamaño de los poros, y en el patrón de los anillos de crecimiento (Chumbimune, 2017; Gimenez *et al.*, 2005; Worbes, 2004).

El estudio anatómico de la madera permite identificar las características necesarias de una especie con potencial dendrocronológico, y determinar el patrón de los anillos de crecimiento (Beltrán y Valencia, 2013). La dendrocronología se basa en la confirmación del crecimiento anual del xilema secundario de especies maderables; analizando la información registrada en la estructura de los anillos crecimiento (Tomazello y Cardoso, 1999; Villalba *et al.*, 2000). Esta es una herramienta que reconstruye el crecimiento de los árboles y determina su edad; extrayendo, separando e interpretando información sobre los diferentes factores que han influido en su crecimiento, como el clima (Gutiérrez, 2009; Villalba *et al.*, 2000). Se emplea en combinación con distintas técnicas de estudio de la madera como la anatomía cuantitativa o el análisis microscópico de la madera para conseguir mejores resultados (Novak, 2017).

En el Perú, son escasos los estudios con respecto a la edad de los árboles y al registro de las señales climáticas en los anillos de crecimiento (Marcelo *et al.*, 2020). A pesar que esta ciencia es muy importante para el sector forestal, el número de especies conocidas con potencial para investigaciones dendrocronológicas en la región es todavía pequeño (Gonçalves, 2007).

El presente estudio tuvo como objetivos caracterizar anatómicamente la madera, determinar el patrón de los anillos de crecimiento y evaluar la influencia de la precipitación y temperatura en la formación de los anillos crecimiento de la especie *Juglans neotropica* Diels.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Características generales de *Juglans neotropica* Diels

La especie *Juglans neotropica* Diels pertenece al orden Fagales, familia Juglandaceae. Sus sinónimos son *Juglans columbiensis*, *Juglans honoré* y *Juglans andina*. Los nombres comunes de esta especie son Nogal, Tocte, Cedro negro, Cedro grande, Cedro nogal y Nogal andino (CATIE, 2000; UICN, 2018).

#### 2.1.1 Descripción botánica

*Juglans neotropica* es una especie monoica que alcanza alturas de 20 a 35 m y diámetros de 30 a 120 cm. (Reynel y Marcelo, 2009). Tiene el fuste recto, cilíndrico y libre de ramas hasta un 50 % de su altura (CATIE, 2000). La corteza externa es de color gris oscuro, áspera, agrietada provista de un ritidoma que se desprende en láminas rectangulares, mientras que la corteza interna es de color crema claro (Reynel y Marcelo, 2009).

Las hojas son compuestas, alternas, pinnadas, de 25 a 40 cm de largo, sin estípulas, con 4 a 12 pares de folíolos lanceolados de 5 a 10 cm de largo. Cuentan con un borde aserrado, ápice agudo, haz verde oscuro glabro y envés verde pubescente (CATIE, 2000).

Las flores son muy pequeñas y de un solo sexo, agrupadas en espigas pendulares separadas. Las flores masculinas miden de 5 a 9 mm y tienen numerosos estambres, mientras que las femeninas miden de 2 a 5 mm y tienen un solo pistilo (Reynel y Marcelo, 2009). Además, las flores masculinas aparecen en las ramas del año anterior; mientras que las flores femeninas, de ovario ínfero, se encuentran en los extremos de las ramas nuevas (CATIE, 2000).

El fruto es una drupa de color pardo a negro, con pedúnculo corto y superficie lisa. Este posee en el interior una pulpa carnosa, una pepa muy dura y leñosa con una semilla blanquecina, comestible (Reynel y Marcelo, 2009).

### **2.1.2 Distribución**

Esta especie se encuentra distribuida en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. En el Perú, hallamos al nogal en los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Junín, La Libertad, Lambayeque y Pasco. Su rango de distribución altitudinal varía entre 500 y 3 300 msnm; observando al nogal en los bosques secundarios tardíos y en el bosque maduro (Reynel y Marcelo, 2009). Prefiere suelos profundos, de textura franca a franca arenosa, bien drenados y pH de neutro a ácido; no tolera suelos calcáreos, fríos intensos ni heladas (CATIE, 2000).

### **2.1.3 Descripción Anatómica**

La albura es de color castaño claro y el duramen castaño oscuro; veteadado en arcos superpuestos. Tiene grano recto a ligeramente entrecruzado, textura media, brillo medio, olor distintivo desagradable y sabor no distintivo (Acevedo y Kikata, 1994; CATIE, 2000; Gonzales, 2008).

Los anillos de crecimiento son diferenciados. Presenta porosidad semicircular; y poros solitarios y múltiples radiales visibles a simple vista. Según Parénquima en finas bandas y marginal. Los radios son visibles con lupa (Acevedo y Kikata, 1994; Beltrán, 2011; Gonzales, 2008; Vera *et al.*, 2011).

A nivel microscópico, los poros son solitarios y múltiples radiales con 2 a 6 poros/mm<sup>2</sup>. Los vasos tienen diámetro tangencial de 132 a 211  $\mu\text{m}$  y longitud entre 348 y 614  $\mu\text{m}$ . Cuenta con perforación simple, punteado intervascular alterno con puntuaciones poligonales y apertura de la puntuación incluida. Presencia de gomas. El parénquima es marginal y en finas bandas (Acevedo y Kikata, 1994; Armijos *et al.*, 2017; Beltrán y Valencia, 2013; Gonzales, 2008; InsideWood, 2004; Vera *et al.*, 2011). Radios heterogéneos uniseriados y multiseriados de tipo II de 1- 4 células de ancho, no estratificados. Presenta de 4 a 7



radios/mm, con altura entre 120 y 408  $\mu\text{m}$ . Punteado radio vascular similar al intervascular. Fibras libriformes con 20  $\mu\text{m}$  de diámetro, grosor de pared celular 3  $\mu\text{m}$ , clasificadas como fibras de espesor de pared de delgada a gruesa y longitud de 900 a 1600  $\mu\text{m}$  (Acevedo y Kikata, 1994; Gonzales, 2008; InsideWood, 2004).

#### **2.1.4 Usos de la madera**

La madera del nogal es de excelente calidad, muy durable y trabajable; utilizada para la ebanistería y la construcción (Reynel y Marcelo, 2009). También, es usada para la fabricación de chapas decorativas, instrumentos musicales, revestimiento ornamental y esculturas (Ospina *et al.*, 2003). Además, es utilizada en mueblería fina y en la construcción como vigas, viguetas y tejados (Perales, 2012).

### **2.2 La dendrocronología**

La dendrocronología estudia y data los anillos de crecimiento de los árboles. Para determinar la edad de un árbol, a cada anillo anual se le asigna un año. Estos se forman en respuesta a las condiciones climáticas de una zona geográfica concreta (Ortega y Camarero, 2019).

La dendrocronología como disciplina está dotada de técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento; de tal manera que se logre establecer cronologías o series maestras (Gutiérrez, 2009).

La dendrocronología explica que los procesos biológicos y físicos que en la actualidad intervienen en el crecimiento de los árboles, son los mismos que han influenciado su crecimiento en el pasado (Patón y Cuenca, 2014). Se puede asumir que la manera en que responden los árboles a ciertas condiciones ambientales se mantiene constante con el paso del tiempo. Es por ello, que si se conocen las condiciones ambientales del pasado que han influenciado en la formación de los anillos de crecimiento; analizando estos se podrá hacer predicciones y realizar una mejor gestión del medio en el futuro (Gutiérrez, 2009).

Esta ciencia permite determinar la fecha exacta a la que corresponde la formación de cada anillo de crecimiento; que se obtiene al cruzar la información de los patrones de crecimiento de diferentes árboles (cofechado) (Patón y Cuenca, 2014). Está demostrado que los árboles que han crecido bajo las mismas condiciones climáticas, responden de similar manera a los factores limitantes del entorno donde desarrollaron; lo cual se evidencia en la formación de un patrón de variación común en sus anillos de crecimiento (Gutiérrez, 2009).

Debe mencionarse que al realizar estudios dendrocronológicos la señal ambiental en estudio se puede maximizar, y el ruido (variación no deseada causada por factores ambientales o fisiológicos no estudiados) se puede minimizar, al colectarse más de una muestra por árbol y de más de un árbol por sitio (Panyushkina, 2011). Ello con el objetivo de realizar un mejor análisis y poder minimizar la variación ocasionada por factores no climáticos (Patón y Cuenca, 2014).

### **2.2.1 Formación de anillos de crecimiento**

Los anillos de crecimiento, en un corte transversal de la madera, se distinguen como una sucesión de capas de tono oscuro y claro que se forman con el paso del tiempo (Juaréz y Ardisson, 2005). La formación de los anillos de crecimiento en los árboles se da como respuesta ante los factores ambientales, como la precipitación y temperatura (Llorente, 2012); y ante los factores endógenos, como la producción de las hormonas vegetales que participan en el crecimiento, el desarrollo y la actividad metabólica de las plantas (Curtis *et al.*, 2008; Juaréz y Ardisson, 2005).

En la época de condiciones favorables para el crecimiento de la planta (calor, disponibilidad de nutrientes, altas precipitaciones, etc.) el cambium vascular se activa formando xilema hacia el interior y floema hacia el exterior (López *et al.*, 2006). En climas templados se asocia la formación de los anillos de crecimiento al fotoperiodo o al cambio en temperatura. En cambio, en las regiones tropicales y subtropicales, como las temperaturas tienden a ser uniformes; se evalúa otro factor limitante, como la precipitación (Campos, 2009; Chávez, 2014; Melo, 2010). Muchos de estos anillos son formados por una alternancia de temporadas secas y de lluvias (López *et al.*, 2006).

Cabe resaltar que se pueden presentar anomalías en el patrón de crecimiento de los árboles. Tales anomalías se manifiestan como anillos de crecimiento no anuales; formados en condiciones de estrés ambiental extremo (Jiménez, 2012). Se distinguen dos tipos de anillos no anuales: los anillos ausentes y los anillos falsos. Los anillos ausentes ocurren debido a que el cambium vascular no produce tejido porque los factores ambientales son altamente limitantes como sequías extremas, cambios bruscos y/o extremos de temperatura y precipitación. En estos casos, el árbol distribuye sus recursos, y no da prioridad a la actividad cambial por lo que no forma anillos de crecimiento (Gutiérrez, 2009; Rojas *et al.*, 2017).

Los falsos anillos son ocasionado posiblemente por factores genéticos o por algún acontecimiento climático inusual como periodos de sequías repentino durante el periodo de crecimiento (Melandri *et al.*, 2007; Melo, 2010). En otras especies, factores como las condiciones físicas del lugar de desarrollo de la planta, suelos profundos y bien drenados, puede distorsionar la visibilidad y periodicidad de los anillos de crecimiento (López *et al.*, 2006).

IAWA (1989), menciona que los anillos de crecimiento se distinguen por un cambio estructural marcado en el límite entre estos:

- ✓ Generalmente incluyen un cambio en el espesor de la pared de la fibra y/o en el diámetro de la fibra radial. Las fibras de madera tardía tienen paredes gruesas y son radialmente aplanadas, en cambio las fibras de madera temprana tienen paredes delgadas.
- ✓ El diámetro de los vasos es diferente entre la madera tardía y la madera temprana; mayor tamaño de poros en la madera temprana y poros más pequeños en la madera tardía.
- ✓ Algunas especies tienen parénquima marginal terminal o inicial; mientras que otras tienen parénquima en bandas no asociado al límite del anillo de crecimiento.

## **A. Factores que influyen en la formación de los anillos de crecimiento**

- **Factores ambientales**

Los factores ambientales tienen influencia sobre la anatomía de la madera de las especies. Estos influyen en la actividad del cambium al producir el xilema secundario. Se producirán anillos de crecimiento con número variable de células; y estas células con diferentes estructuras y con paredes celulares de diferente espesor (Chávez, 2014; Melo, 2010).

Cuando las condiciones climáticas son favorables se da una mayor división celular y se forman células con paredes delgadas y mayor diámetro; es decir, se produce madera temprana. En cambio, cuando las condiciones climáticas no son favorables; se forma la madera tardía, de células más pequeñas, menor diámetro y pared celular más gruesa (Stulz y Mukerji, 1997).

El ancho de los anillos de crecimiento puede variar de acuerdo a factores ambientales como luz, temperatura, lluvia, agua disponible en el suelo y la duración de la estación de crecimiento. En condiciones favorables con precipitaciones, los anillos de crecimiento son más anchos; mientras que en condiciones desfavorables son más angostos (López, 2014).

- **Luz solar**

El crecimiento de los árboles está influenciado por la luz solar, y el ancho de los anillos se ve afectado por la cantidad de árboles que crecen juntos (Thái, 2010). Individuos que en algún momento han crecido cercanos a claros producen el siguiente año anillos más anchos. Mientras, que los árboles que crecen bajo sombra (densa cobertura) que reciben poca iluminación su ancho de anillos se verá reducido (Melo, 2010).

- **Suelo**

La profundidad del suelo, el drenaje y la cantidad de nutrientes influenciarán en el crecimiento del árbol de manera considerable. Si el suelo es arenoso, habrá mayor filtración,

lo que se asemejará a condiciones de menor precipitación. De la misma manera, como el viento favorece la evaporación; también se generará un efecto de condiciones relativamente más secas (Melo, 2010).

Por otro lado, en suelos rocosos, donde la capacidad de retención de agua es mínima, los individuos desarrollarán poco, serán pequeños, tendrán una copa rala y los anillos de crecimiento serán delgados. En suelos profundos, donde el drenaje y la humedad son buenos, los árboles desarrollarán con mayor vigor, tendrán una copa frondosa y los anillos de crecimiento serán más anchos. Por último, en suelos inundables, con un alto porcentaje de agua subterránea, los árboles serán pequeños, tendrán una copa fina y sus anillos de crecimiento serán estrechos (Melo, 2010).

- **Composición genética**

La composición genética de la especie de un árbol influencia en su crecimiento y forma. La estructura de la madera y forma de los anillos de crecimiento pueden variar de acuerdo a la especie por factores genéticos (Melo, 2010). Dos especies pueden desarrollarse en la misma región y bajo las mismas condiciones ambientales y presentar diferente crecimiento radial en ancho (Llorente, 2012).

## **B. Formación de anillos de crecimiento en Bosques Tropicales**

Los anillos de crecimiento en árboles tropicales y su anualidad se forman debido al componente genético, factor muy importante de influencia en su formación; sin embargo, los factores ambientales también influyen en su ancho, densidad y porosidad de los anillos (Rivera, 2013). La formación de estos se basa en la estacionalidad o alguna condición ambiental que induzca a dormancia, y/o a una tendencia al crecimiento de capas cíclicas (Schöngart *et al.*, 2002; Botosso y Mattos, 2002 citado por Zúñiga, 2012); ya que es el resultado de la periodicidad en el tipo (vasos, parénquima, fibras) y forma (tamaño del lumen, engrosamiento de la pared celular) de los elementos leñosos formados por el cambium (Carlquist 1988; citado por Campos *et al.*, 2008).

El crecimiento anual radial de los árboles en el trópico está influenciado por la presencia de una estación seca anual asociada a una disminución o ausencia de las precipitaciones; períodos anuales de inundación como sucede en la Amazonía; y fluctuación anual de la salinidad del agua en el caso de los manglares (Schöngart *et al.*, 2002). Según Tháí, (2010), en años con mayores lluvias los anillos de crecimiento tienden a ser más anchos; en cambio en años secos, los anillos son más estrechos. Sin embargo, no siempre en todas las especies de árboles tropicales resulta posible identificar los anillos anuales de crecimiento, debido en parte, a la complejidad de la anatomía de la madera (Mendivelso *et al.*, 2016).

Como el clima del trópico en términos de temperatura es constante a lo largo del año y este parámetro es favorable para el crecimiento del árbol, la temperatura no permite inducir dormancia (Rosero, 2011). Cabe resaltar que, en lugares del trópico con grandes altitudes cuya fluctuación de temperatura se encuentra por debajo del promedio y la temperatura más baja es cercana de los 0°C, la inactividad del cambium tenderá a ocurrir y posiblemente se formaran anillos de crecimiento (Salisbury y Ross, 1994; citado por Rosero, 2011).

### **2.2.2 El clima y su relación con la dendrocronología (Dendroclimatología)**

La dendrocronología tiene muchas aplicaciones, uno de ellos es la dendroclimatología (Giraldo, 2011); ya que la estructura de los anillos refleja la influencia de factores externos como el clima. La información del clima registrada por los árboles puede ser recuperada y analizada, permitiendo el estudio y análisis de procesos climatológicos (Sheppard, 2010).

Los parámetros medibles de los anillos de crecimiento de los árboles se usan para reconstruir con gran precisión las variaciones anuales o estacionales de la temperatura y precipitación (Miranda *et al.*, 2007). La señal climática que registran los anillos de crecimiento se puede utilizar para reconstruir el clima del pasado para periodos de los cuales no se dispone de registros meteorológicos (Gutiérrez, 2009).

Esta ciencia permite reconstruir las variables climáticas que más limitan el crecimiento de los árboles (Gutiérrez, 2009). En sitios donde la disponibilidad de humedad limita el crecimiento de los árboles, los anillos de los árboles se pueden utilizar para reconstruir la secuencia de la precipitación; mientras que en sitios donde la temperatura limita el

crecimiento de los árboles, se pueden usar anillos de árboles para reconstruir la secuencia de la temperatura (Sheppard, 2010).

### **2.2.3 Estudios dendrocronológicos en zonas tropicales**

Antes se creía que los estudios dendrocronológicos solo eran posibles en zonas con estacionalidades muy marcadas, como en las regiones templadas de alta latitud; sin embargo, diversos estudios indican lo contrario (Brienen, 2005; Giraldo, 2011; Worbes, 2002) . Las regiones tropicales experimentan regímenes de precipitación estacional, por lo que una estación seca definida puede producir anillos de crecimiento marcados (Marcelo *et al.*, 2020).

En Brasil se estudiaron 48 especies y se encontró que los anillos de crecimiento estaban bien definidos en el 61% de las especies, mal definidos en el 33% y no distinguibles en el 6% de las especies estudiadas. Concluyen que las especies con anillos de crecimiento marcados, estaban delimitados mayormente por una zona de engrosamiento de fibras en la madera tardía con fibras aplanadas radialmente, mientras que otras especies presentaron parénquima marginal (Marcati *et al.*, 2006).

En un estudio realizado con *Tectona grandis* en Indonesia se reporta que la formación de los anillos de crecimiento está correlacionada significativamente con la lluvia; ya que la influencia de la estación seca y lluviosa pueden ser distinguidas claramente. Además, se indica que la precipitación al comienzo de la temporada de lluvias es importante para definir el ancho de los anillos de crecimiento (Schollaen *et al.*, 2013).

En bosques tropicales de África se estudiaron 22 especies, de las cuales 14 presentaron anillos de crecimiento marcados. La mayoría de estas especies presenta anillos de crecimiento delimitados por parénquima marginal. A pesar que con el método de radiocarbono se probó la formación anual de los anillos de crecimiento; no se logró realizar la datación cruzada entre individuos debido a que la variación del crecimiento podría estar influenciada por otros factores como la profundidad del suelo o la dinámica del dosel (Groenendijk *et al.*, 2014).

En 14 especies de Lauráceas, del sur de Brasil, se determinó que todas formaban anillos de crecimiento. Se demostró que la formación de los anillos de crecimiento se ve influenciado por las variaciones climáticas de temperatura y precipitación; de esta manera el crecimiento de los árboles disminuye ante situaciones de estrés hídrico (Reis-Avila y Morales, 2017).

Un estudio realizado con *Cedrelinga catenaeformis* en Perú, determinó que esta forma anillos de crecimiento anuales. Además, indica que la variable climática que más influencia el crecimiento de los árboles es la precipitación, principalmente al inicio de la estación de lluvias (enero – abril y mayo) (Campos, 2009).

Para *Cedrela odorata*, estudiada en la selva central del Perú, se indica que tiene potencial para estudios dendroclimáticos y dendroecológicos; pues forma anillos de crecimiento por influencia de la precipitación sobre el crecimiento radial (Pereyra, 2011).

En el bosque seco del Perú, se determinó que *Bursera graveolens* y *Loxopterigyum huasango* forman anillos de crecimiento y se encontró en el análisis dendrocronológico que las edades varían de 27 a 59 y de 21 a 47 años respectivamente. La variable determinante para el crecimiento diametral del tronco de los árboles fue la precipitación. La especie *Capparis scabrida* no tiene potencial para estudios dendrocronológicos; debido a que no se logra diferenciar de manera visual los anillos (Rosero, 2011).

En plantaciones de *Tectona grandis* en el Fundo La Génova, en Junín, se determinó que esta especie forma anillos de crecimiento y que cuenta con potencial dendrocronológico. Se concluyó que la edad de la plantación era 25 años y que la variable climática que influencia en su crecimiento es la precipitación (Zúñiga, 2012).

En el departamento de Cajamarca, se realizó el estudio dendrocronológico de la especie *Caesalpinia spinosa*. Se encontró en el análisis dendrocronológico que las edades varían entre 40 y 84 años. Se concluye que el crecimiento de los árboles presenta una respuesta común ante la precipitación y temperatura (Chávez, 2014).

En especies arbóreas de bosques estacionales del Centro y Norte del Perú, se analizaron 183 especies, de las cuales 157 presentaron anillos de crecimiento visibles que pueden utilizarse



para estudios dendrocronológicos. Además, se encontró heterogeneidad en la delimitación de los anillos de crecimiento según el tipo de bosque. Los anillos de crecimiento de las especies de los bosques tropicales estacionalmente secos están delimitados principalmente por una zona de engrosamiento de la pared de la fibra y parénquima marginal; mientras que los anillos de crecimiento de las especies de bosques húmedos premontanos y bosques tropicales de la Amazonía están delimitados por zonas de engrosamiento de la pared de fibra (Marcelo, 2017).

En *Guatteria hyposericea*, *Jacaranda copaia* y *Pourouma minor*, del departamento de Junín, se comprobó la potencialidad de estas especies para estudios dendrocronológicos; pues marcan anillos de crecimiento. Se encontraron correlaciones significativas entre las cronologías de las especies con la temperatura y precipitación mensual; sin embargo, no se hallaron correlaciones significativas de las cronologías con las variables climáticas anuales (Zegarra, 2018).

En *Cedrela nebulosa*, se encontró anillos de crecimiento marcados, delimitados por parénquima marginal. Se determinó que la precipitación inicia el crecimiento de los árboles al comienzo de la temporada de primavera, pero la temperatura parece ser el principal control del crecimiento anual (Layme *et al.*, 2018).

En bosques secos tropicales del Marañón - Perú, se realizó la datación de árboles y determinación de la tasa de crecimiento en *Anadenanthera colubrina*, *Cedrela kuelapensis*, *Cordia iguaguana*, y *Esenbeckia cornuta*. Se concluyó que estas especies tienen potencial dendroclimático y dendroecológico. Las tasas de crecimiento son heterogéneas entre especies y dentro de la misma especie y solo dos especies mostraron correlación positiva entre edad y diámetro (Marcelo-Peña *et al.*, 2019).

Para la especie *Juglans neotropica* Diels, Vera *et al.* (2011) realizó la caracterización de los anillos de crecimiento. Se encontró que la especie presenta una secuencia que marca el inicio de un anillo con poros o vasos grandes, seguido con un espacio con poca presencia de estos en la zona fibrosa; finalizando en la concentración de bandas delgadas de parénquima; tanto en albura como en duramen. A partir de esta caracterización, se logró diferenciar anillos

verdaderos y falsos. Señalan que existe una gran variabilidad en la secuencia y ancho de los anillos, debido a condiciones naturales de crecimiento.

En selva central del Perú se analizó el potencial dendrocronológico de *Juglans neotropica*; se confirmó que la especie tiene potencial para dendrocronología, presentando anillos de crecimiento delimitados por la diferencia en el diámetro de los poros (porosidad semicircular) (Beltrán y Valencia, 2013).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Área de estudio**

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Amazonas, provincia de Chachapoyas, distritos de Leymebamba (2158 m.s.n.m) y Magdalena (1980 m.s.n.m) (Figura 1). El territorio de la provincia de Chachapoyas, debido a la presencia de la cordillera oriental, se caracteriza por contar con paisajes ondulados, con colinas, montañas altas y valles Intramontanos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge, el distrito de Magdalena ( $6^{\circ}21'00''$  S;  $77^{\circ}49'01''$  O) pertenece a la zona de vida Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT). El distrito de Leymebamba ( $6^{\circ}40'59''$  S;  $77^{\circ}46'59''$  O) cuenta con 3 zonas de vida; en lugares de mayor altitud se encuentran las zonas de vida Bosque pluvial montano tropical (bp-MT) y Bosque húmedo montano tropical (bh-MT); mientras que en la parte baja se encuentra la zona de vida Bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT) (SINIA, 2009).

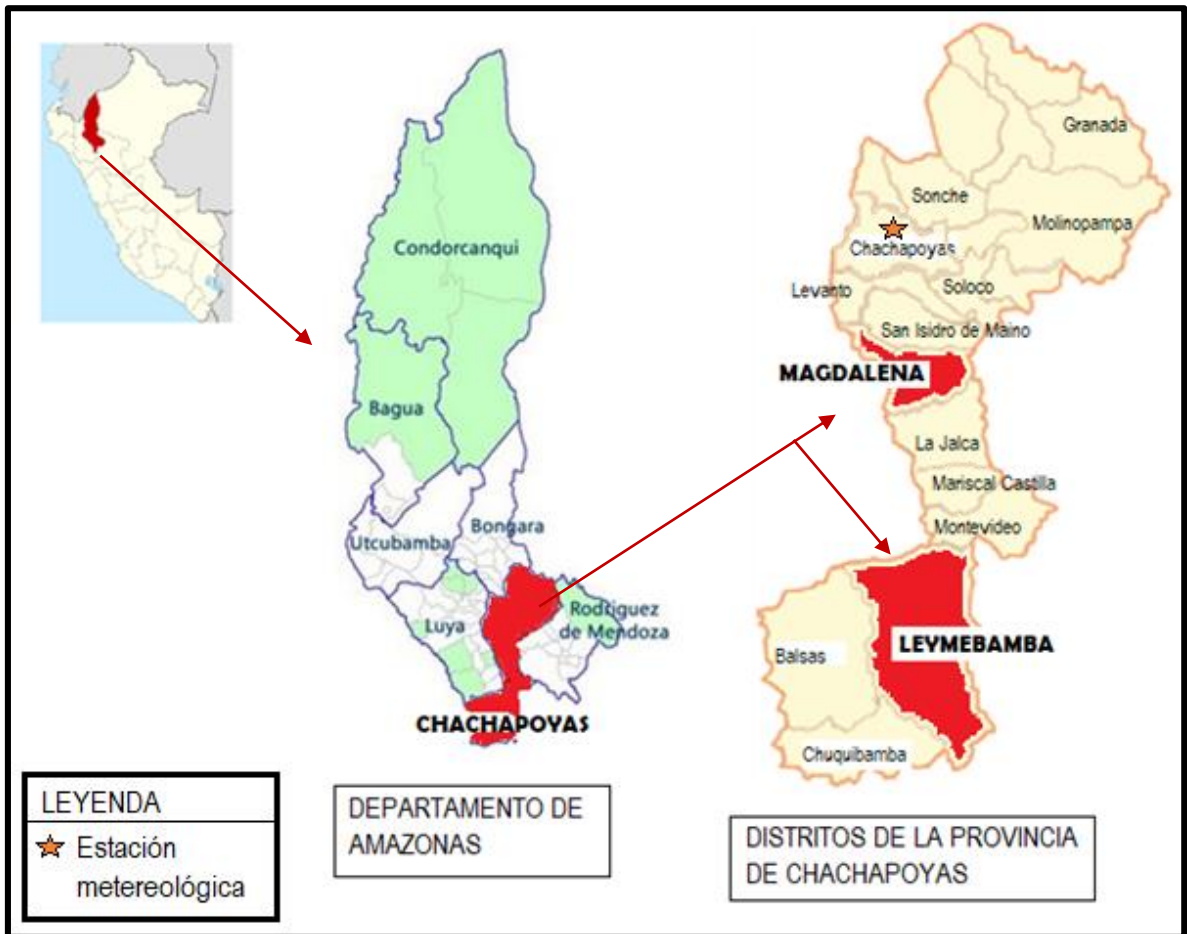


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

## **3.2 Equipos y materiales**

### **2.2.2 Equipos y materiales de campo**

- Barreno Pressler
- Perforadora Stihl BT45
- Sonda metálica (2,5 cm de diámetro, 25 cm de largo)
- Cachimba
- Martillo
- Machete
- Combustible (gasolina + aceite 2T)
- Cuchilla
- Plumón indeleble negro
- Preservante de madera (CCB)
- Alcohol
- Cinta masking tape
- Sorbetes
- Libreta de campo
- Pincel
- Tarugos de madera
- Botella de plástico
- Guantes

### **2.2.3 Equipos y materiales de laboratorio**

- Escáner HP SCANJET con 600 ppp de resolución.
- Lijadora orbital Skill
- Compresor de aire Picetti de 2,5 HP
- Estereoscopio OLYMPUS.
- Microscopio Leica DM 750 con cámara digital incorporada ICC50 HD.
- Micrótopo Leica, modelo SM 2010R
- Plancha de calentamiento

- Lupa de 10X
- Cuchillas descartables Leica para micrótopo
- Alcohol de 30°, 60° y 90°
- Agua destilada
- Ácido acético glacial
- Solución safranina al 1% en alcohol de 90°
- Placas Petri
- Porta objetos (76x26 mm)
- Cubre objetos (18 x 18 mm)
- Cubre objetos (22 x 22 mm)
- Vasos pírrex graduados
- Pincel pelo de Martha #5
- Aguja hipodérmica
- Pegamento Merckoglass
- Lijas de granos 120, 180, 240, 320, 400 y 600 grano/pulgada<sup>2</sup>
- Soportes de madera para muestras
- Cola sintética

#### **2.2.4 Programas utilizados**

- Programa Leica Application Suite EZ
- COFECHA 6.0
- CooRecorder 7.8
- CDendro 7.8
- Software R 4.0.2
- R Studio 1.3.1093
- “*Dendrochronology Program Library*” in R
- Treeclim
- Microsoft Excel

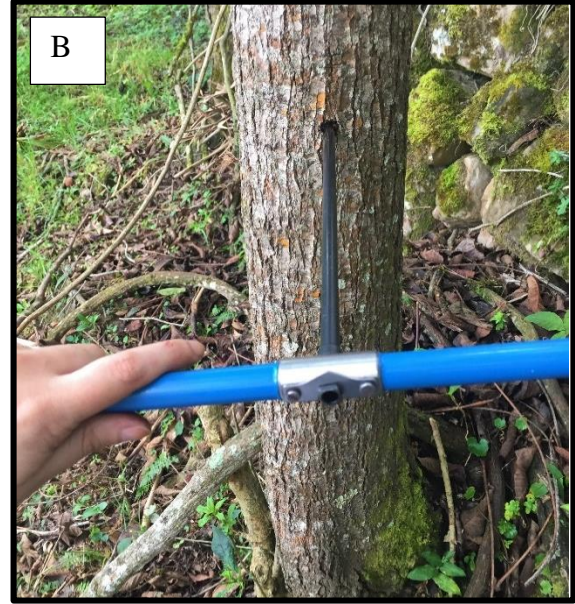
### **3.3 Metodología**

#### **2.2.5 Recolección de las muestras para el estudio de las muestras dendrocronológicas**

Se seleccionaron 20 árboles de Nogal de bosque natural en cada distrito, los cuales se encuentran en un rango altitudinal de 1670 a 2100 m.s.n.m. Las muestras fueron obtenidas del bosque colindante a la carretera Chachapoyas- Cajamarca, la cual se encuentra al margen derecho del río Utcubamba. Para la selección de árboles se tomaron en cuenta criterios tales como: árboles dominantes y/o codominantes (bien establecidos y menos afectados por la competencia), fuste recto, buen estado sanitario y árboles de diferentes diámetros (Nehrbass-Ahles *et al.*, 2014).

La extracción de las muestras se realizó mediante el método no destructivo utilizando el barreno Pressler y la perforadora Stihl BT45 (Figura 2). Para árboles con diámetros mayores a 30 cm se usó la perforadora; colectándose 2 muestras radiales a la altura del DAP, distanciadas 90° entre sí. Para los individuos con diámetros menores se utilizó el barreno y se obtuvo 1 muestra de todo el diámetro del individuo; o 2 muestras radiales del leño, distanciadas 180°.

Antes de la extracción de la muestra, se desinfectó el barreno y la perforadora con alcohol. Las muestras de madera obtenidas fueron codificadas y almacenadas en sorbetes, sellando los extremos con masking tape para evitar que se pierdan. Estos fueron colocados en botellas de plástico cortadas a la mitad para facilitar su traslado y ser analizadas en los Laboratorios de Dendrología y de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Luego de la extracción de la muestra de cada árbol, el orificio fue taponado con tarugos preservados de madera.



A. Extracción de muestras con perforadora Stihl BT45. B. Obtención de muestras con barreno de Pressler.

**Figura 2: Colección de muestras de madera.**

### **2.2.6 Acondicionamiento de muestras**

Las muestras de maderas fueron pegadas en soportes de madera, colocando las muestras de manera que las fibras estén dispuestas en sentido longitudinal, que permita exponer la sección transversal en la parte superior, y visualizar los anillos de crecimiento. Los soportes de madera con las muestras fueron pegados en tablas para facilitar el lijado. Previamente al lijado, las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente. Las muestras fueron lijadas y pulidas en su sección transversal (Figura 3), para resaltar los anillos de crecimiento. Para ello, se utilizó una lijadora eléctrica con lijas de granos: 120, 180, 240, 320, 400 y 600 (grano/pulgada<sup>2</sup>). La limpieza de la superficie se realizó con aire comprimido.





A. Muestra obtenida con la perforadora. B. Muestra obtenida con el Barreno.

**Figura 3: Muestras pulidas de *Juglans neotropica*.**

### **2.2.7 Caracterización anatómica de la madera**

El estudio anatómico se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la UNALM de acuerdo a la norma del Instituto Brasileiro de Medio Ambiente y de Recursos Naturales Renovables (IBAMA, 1991) y de la Asociación Internacional de Anatomía de la Madera (IAWA, 1989).

## **A. Descripción macroscópica**

La evaluación se realizó usando una lupa 10X, describiéndose las siguientes características: diferenciación de anillos de crecimiento, color, grano, textura, brillo, veteado, poros, parénquima y radios.

## **B. Descripción microscópica**

Previo a la evaluación microscópica de la madera, se realizó la microtecnia que comprende la preparación de láminas histológicas y tejido macerado para la caracterización respectiva; cuyos pasos son los siguientes:

### **B.1 Preparación de láminas histológicas**

- Preparación de cubos para ablandamiento: Se prepararon cubos de 1x1x1,5 cm; perfectamente orientados en sus tres planos de corte (transversal, radial y tangencial).
- Ablandamiento de cubos: Los cubos fueron colocados en agua en una plancha de calentamiento a temperatura de 350°C, por un tiempo aproximado de 60 horas.
- Corte de láminas: Se realizaron en el micrótopo de deslizamiento horizontal en las tres secciones de corte: transversal, radial y tangencial; obteniéndose láminas de 20 a 30 um de espesor; las cuales fueron colocadas en placas Petri en alcohol de 30°.
- Deshidratación: Se realizó de forma gradual empleando soluciones de alcohol de 30°, 60° y 90°; dejando las láminas en cada concentración por espacio de 15 minutos.
- Coloración: Las láminas fueron coloreadas con Safranina, para lo cual se agregó 5 gotas, hasta obtener un coloreado uniforme y se dejó reposar entre 10 a 15 minutos. Luego, se lavó con alcohol de 90° para eliminar el exceso de colorante.
- Montaje: El montaje de láminas fue de tipo permanente, utilizándose porta y cubre objetos. Antes de colocar el cubre objetos se agregó una gota de Merkoglass y el secado fue instantáneo. En cada portaobjeto se colocaron 3 láminas, una de cada sección de corte.

## **B.2 Preparación de tejido macerado**

- **Maceración:** Se prepararon astillas en tamaños semejantes a palitos de fósforo. Estos se colocaron en un vaso Pyrex de 100 ml y se agregó ácido acético glacial en una cantidad suficiente como para cubrirlos completamente. El vaso se colocó en la plancha de calentamiento por 20 minutos, a una temperatura de 80° C.
- **Lavado, coloración, selección y montaje:** Para eliminar el exceso de ácido, se lavó varias veces con agua. Luego, se colocó en alcohol de 90° y se agregó cinco gotas de safranina. Parte del tejido macerado se colocó en una placa Petri y se comenzó a seleccionar fibras y vasos con ayuda de una aguja hipodérmica y un microscopio. Se colocaron aproximadamente 25 fibras y vasos en un portaobjetos. Antes de colocar el cubreobjetos se agregó una gota de Merckoglass.

## **B.3 Medición de elementos leñosos**

Se realizaron 25 mediciones conforme a lo indicado por IAWA (1989) para longitud y diámetro de vasos, espesor, longitud y diámetro de fibras. Asimismo, se realizaron mediciones del diámetro tangencial de poros y número de poros por milímetros cuadrado, número de células en ancho y altura de radios, así como número de radios/mm. Para realizar las mediciones se usó el Software Leica Application Suite EZ en un microscopio Leica DM750 con cámara ICC50 HD adaptada.

## **B.4 Evaluación de los resultados**

Se calcularon los promedios, valores máximos y mínimos y coeficiente de variabilidad de los elementos leñosos.

### **2.2.8 Recopilación y análisis de las series meteorológicas**

Los datos meteorológicos promedio de precipitación y temperatura mensual fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) para la estación Chachapoyas; cuya estación está ubicada en el departamento de Amazonas, con latitud de 06°12'29.88", longitud de 77°52'1.62" y altitud de 2442 msnm. La distancia entre

la estación de Chachapoyas y el distrito de Leymebamba es aproximadamente de 100 km y desde dicha estación hasta el distrito de Magdalena es de 50 km aproximadamente.

Con la información meteorológica, para un mejor análisis, se elaboró un climatograma con los datos de precipitación promedio mensual y temperatura promedio mensual de los años 1972-2018.

### **2.2.9 Análisis dendrocronológico**

#### **A. Demarcación, digitalización y medición de los Anillos de Crecimiento**

Los anillos fueron demarcados con lápiz y con ayuda de un estereoscopio marca OLYMPUS. Luego, se procedió a escanear las muestras en un escáner HP SCANJET con 600 ppp de resolución. Se midió el ancho de los anillos de crecimiento y se elaboraron las series cronológicas para cada muestra utilizando el software CooRecorder (Larsson, 2013).

#### **B. Sincronización (CO-FECHADO) y elaboración de la Serie Maestra**

Con las series cronológicas de cada muestra, se realizó el cofechado o *crossdating* (cruzado de cronologías de los anillos de crecimiento) utilizando el programa COFECHA (Holmes, 1983); controlando la calidad de las mediciones y verificando la sincronización de las cronologías, para asegurar que cada anillo sea asignado al año calendario correcto de su formación.

Para realizarse el cofechado, se comparan las series cronológicas de los árboles muestreados entre ellas (Grissino-Mayer, 2000). La datación cruzada se basa en la sincronía que existe en el patrón de anillos característicos de los árboles que han crecido bajo las mismas condiciones climáticas durante un periodo común (Gutiérrez, 2009).

A partir de las series cronológicas de la muestra, se desarrolló la serie maestra o serie media. Esta es utilizada por el programa para ajustar las series individuales; comparando las series individuales con la serie maestra para determinar el grado de sincronía entre las series, dando

como resultado tantos coeficientes de correlación como series individuales haya.

Algunas series cronológicas de las muestras fueron retiradas debido a que presentaban coeficientes de correlación bajos con respecto a la serie maestra. Según Lara (2000), durante la realización del cofechado usualmente se pueden cofechar sólo una parte de las muestras; el porcentaje de muestras cofechadas puede variar entre 43% y 90%, dependiendo de las características de sitio.

### **C. Obtención de cronologías**

La estandarización de las series de cada localidad se realizó en las versiones estándar y residual, como fue realizado por Aliste (2016), utilizando el paquete “*Dendrochronology Program Library in R*” (Bunn, 2008). La estandarización se realiza con el objetivo de eliminar la variación relacionada a la edad (Ortiz, 2015), ajustando los datos de los anchos de los anillos de crecimiento de las series a una función de regresión que elimine dicha tendencia. Como resultado se obtienen las series de índices cronológicos (índices de crecimiento), cuya variabilidad se atribuye principalmente al clima. (Gutiérrez, 2009). El objetivo de producir cronologías, a diferencia de las series individuales, es determinar el comportamiento en el crecimiento de un grupo de individuos (Ortega, 2014).

Para lograr la estandarización, se utilizó la función de curva exponencial negativa; ya que en el caso de árboles de menos de 100 años esta función se ajusta mejor y no tiende a dar índices del crecimiento de los anillos de los árboles por encima o por debajo de lo real como ocurre con la curva *spline* (Cook y Holmes, 1999). La curva exponencial negativa puede ajustarse mejor a la porción más variable en la tendencia del ancho de los anillos de crecimiento (porción juvenil), que a la porción menos variable asociada con la madurez (Cook & Kairiukstis, 1992).

Luego, que todas las series fueron estandarizadas se promediaron y se obtuvo la cronología estándar. Es decir, la cronología estándar se obtuvo promediando estadísticamente los índices de crecimiento de cada serie que compone la muestra; conforme lo indica Urrutia (2002). Al realizarse este promedio, todos los factores diferentes al clima que hayan afectado

al ancho de los anillos se anularán de manera proporcional al número de series que se promedien (Gutiérrez, 2009; Rosero, 2011).

Después, se procedió a calcular la cronología residual; ya que según Urrutia (2002) y, Moya y Lara (2010), la cronología residual presenta correlaciones más altas con las variables climáticas porque en esta cronología se elimina la autocorrelación; es decir, la correlación del ancho de un anillo de un año determinado con el ancho de los anillos de los años anteriores, presente en las series de ancho de anillos correspondiente al componente biológico. Para calcular esta cronología, se realizó una autoregresión con cada serie estandarizada; de esta manera los valores residuales obtenidos del modelo de autoregresión fueron promediados estadísticamente para obtener la cronología residual.

#### **2.2.10 Análisis dendroclimatológico**

Se realizó el análisis de correlación entre la cronología residual de cada localidad y las variables climáticas (precipitación y temperatura). Se determinó si la precipitación y/o temperatura influyen en la formación de los anillos de crecimiento.

Además, utilizando el paquete “Treeclim” (Zang y Biondi, 2013) de R, se analizó la respuesta de los anchos de los anillos de crecimiento de los árboles con las variables climáticas mensuales de precipitación y temperatura, del periodo 1972 – 2018, mediante coeficientes de correlación de Pearson. Este análisis más detallado se realizó porque según Brienen y Zuidema (2005); y Domínguez (2014) la precipitación tiene influencia en el crecimiento de árboles no solo debido a la variación año a año; sino como resultado del déficit de precipitación durante ciertas estaciones del año.

Para esta correlación, los índices cronológicos son las variables dependientes y los parámetros climáticos (precipitación y temperatura) son las variables independientes. Al correlacionar ambas variables, se obtuvo como resultado una función de respuesta para cada cronología, determinando la relación entre el crecimiento de la especie y el clima mensual.

Para este análisis se consideró que en el hemisferio sur el año dendrocronológico no coincide con el año calendario, debido a que la estación de crecimiento es compartida por dos años (Domínguez, 2014). Siguiendo lo mencionado por Ortega (2014) y Zegarra (2018), el año dendrocronológico de cada anillo de crecimiento inicia en el año en el cual el anillo comenzó a formarse. Considerando que el año calendario es "t"; el inicio de la estación de crecimiento ocurre entre septiembre y octubre del año previo (t-1), lo que coincide con el inicio de la época de precipitaciones; y finaliza entre febrero y marzo del año actual (t), momento en el cual termina la época de lluvias. Esto se debe a que la formación de los anillos de crecimiento en los árboles inicia cuando las condiciones climáticas son favorables y se detiene cuando estas son desfavorables (Gutiérrez, 2009).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización anatómica de la madera

#### 4.1.1 Descripción general de la madera

En condición seca al aire, existe diferencia entre albura y duramen: el primero de color amarillo y el segundo color marrón oscuro (Figura 4). La madera tiene grano recto y textura media; sin olor, sin sabor. Presenta anillos de crecimiento distinguibles, delimitados por bandas oscuras. Estas características concuerdan con la descripción de Acevedo y Kikata (1994), CAM (2009), CATIE (2000) y Gonzales (2008); excepto en grano, que según Gonzales (2008) es grano entrecruzado y según Acevedo y Kikata (1994) es recto a ligeramente entrecruzado.

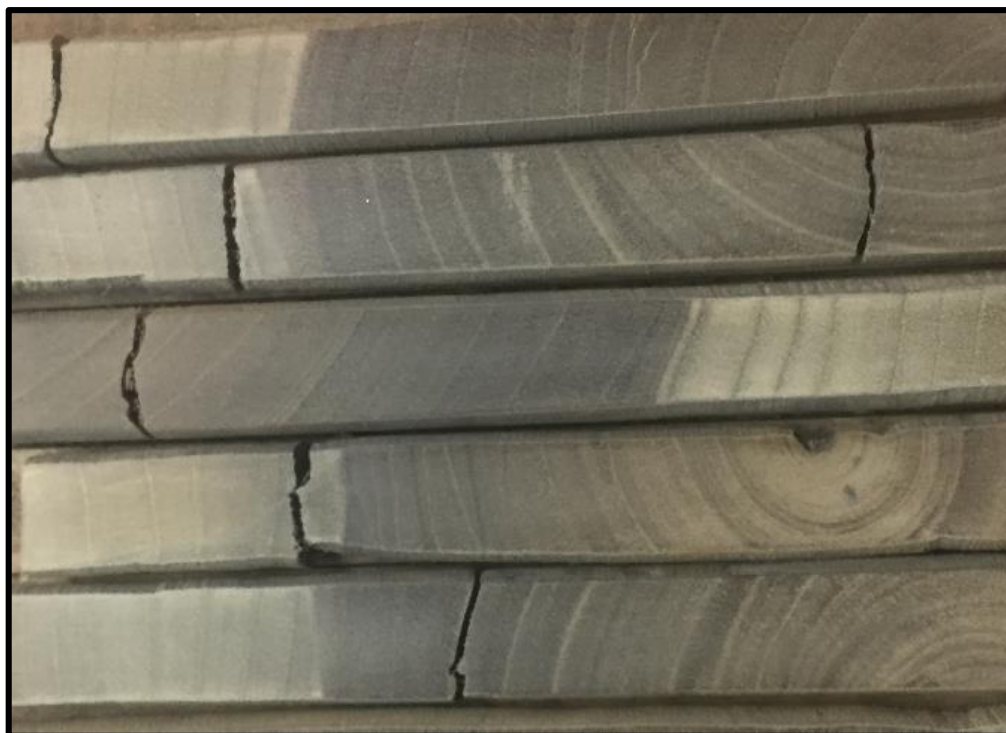


Figura 4: Albura y duramen en *Juglans neotropica*.



#### **4.1.2 Descripción macroscópica del leño**

Madera de porosidad semicircular con poros visibles a simple vista; solitarios y múltiples radiales de 2 a 3. Parénquima en bandas delgadas y marginal. Los radios son visibles con lupa. Las mencionadas características concuerdan con Armijos *et al.* (2017), Beltrán y Valencia (2013), Gonzales (2008), *InsideWood* (2004) y Vera *et al.* (2011).

#### **4.1.3 Descripción microscópica de la madera**

##### **Poros/Elementos vasculares**

El diámetro tangencial promedio de poros es 161  $\mu\text{m}$ , clasificados como medianos; longitud promedio de los elementos vasculares de 316  $\mu\text{m}$ , clasificados como pequeños (Figura 10). El promedio de poros por milímetro cuadrado es de 4 poros, clasificados como muy pocos. Con perforación simple y puntuaciones intervasculares de forma poligonal y disposición alterna. Presencia de gomas.

##### **Parénquima**

Parénquima longitudinal tipo bandas delgadas y marginal (Figura 5, 6 y 7).

##### **Radios**

Altura promedio de 347  $\mu\text{m}$  clasificados como extremadamente bajos; ancho promedio de 56  $\mu\text{m}$  clasificados como finos, con 4 células de ancho en promedio y 5 radios/mm en promedio clasificados como pocos numerosos. Heterogéneos de tipo II, multiseriados no estratificados. (Figura 8 y 9)

##### **Fibras**

Libriformes, longitud promedio de 1370  $\mu\text{m}$ , clasificadas como medianas. Diámetro promedio de 28  $\mu\text{m}$ , clasificadas como medianas. Diámetro de lumen promedio 21  $\mu\text{m}$  y espesor de pared promedio de 3,5  $\mu\text{m}$ , clasificadas como fibras de pared delgada a gruesa (Figura 11).

Respecto a los vasos, concuerda con lo descrito por Acevedo y Kikata (1994), Gonzales (2008) e *InsideWood* (2004), quienes mencionan que estos presentan perforación simple y puntuaciones intervasculares de forma poligonal y disposición alterna. El parénquima en el presente estudio se caracterizó como parénquima en bandas delgadas y marginal, dato corroborado por Armijos *et al.* (2017), Beltrán y Valencia (2013), Gonzales (2008), *InsideWood* (2004) y Vera *et al.*, (2011).

La caracterización de los radios coincide con los descrito por Acevedo y Kikata (1994), Gonzales (2008) e *InsideWood* (2004), quienes indican que son heterocelulares y heterogéneos tipo II no estratificados. En relación a las fibras, coinciden con lo descrito por *InsideWood* (2004), Ospina *et al.* (2003) y Ramos *et al.* (2020) quienes indica que esta especie presenta fibras libriformes de pared delgada a gruesa.

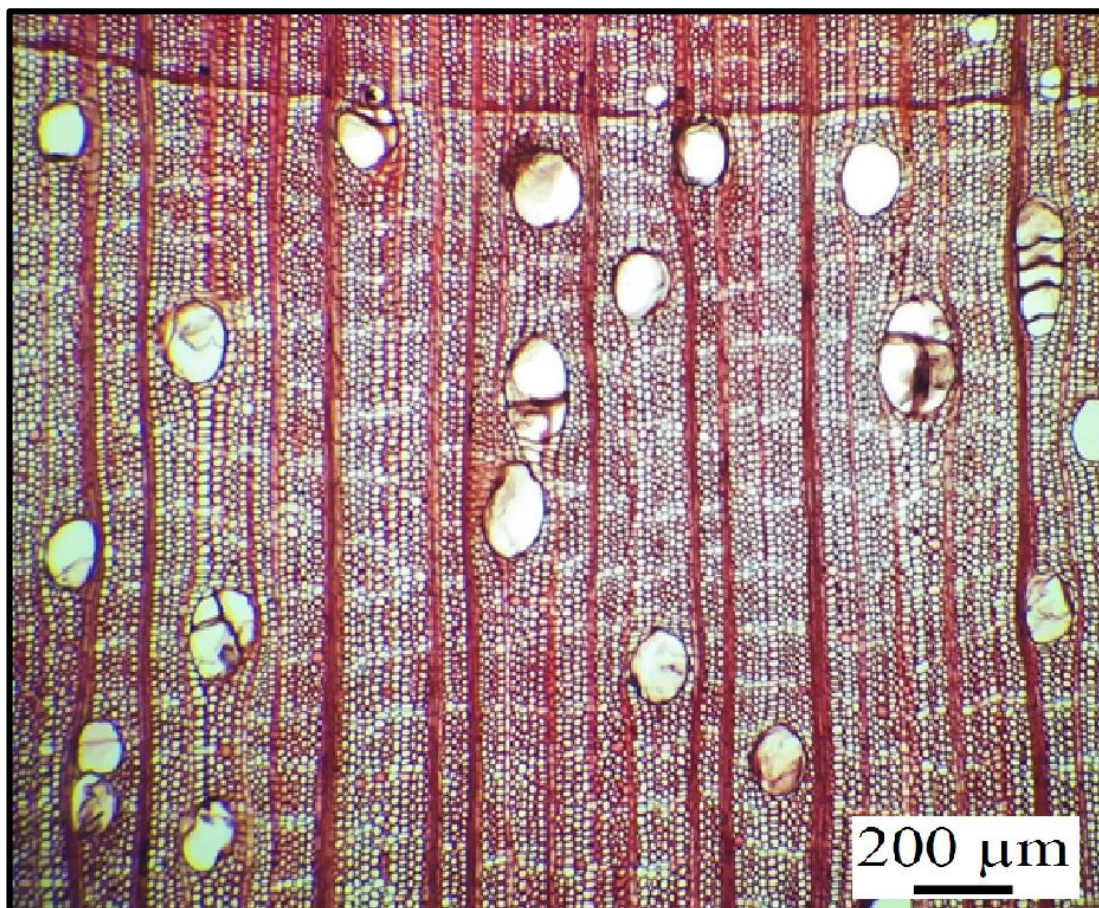


Figura 5. Parénquima de *Juglans neotropica*.



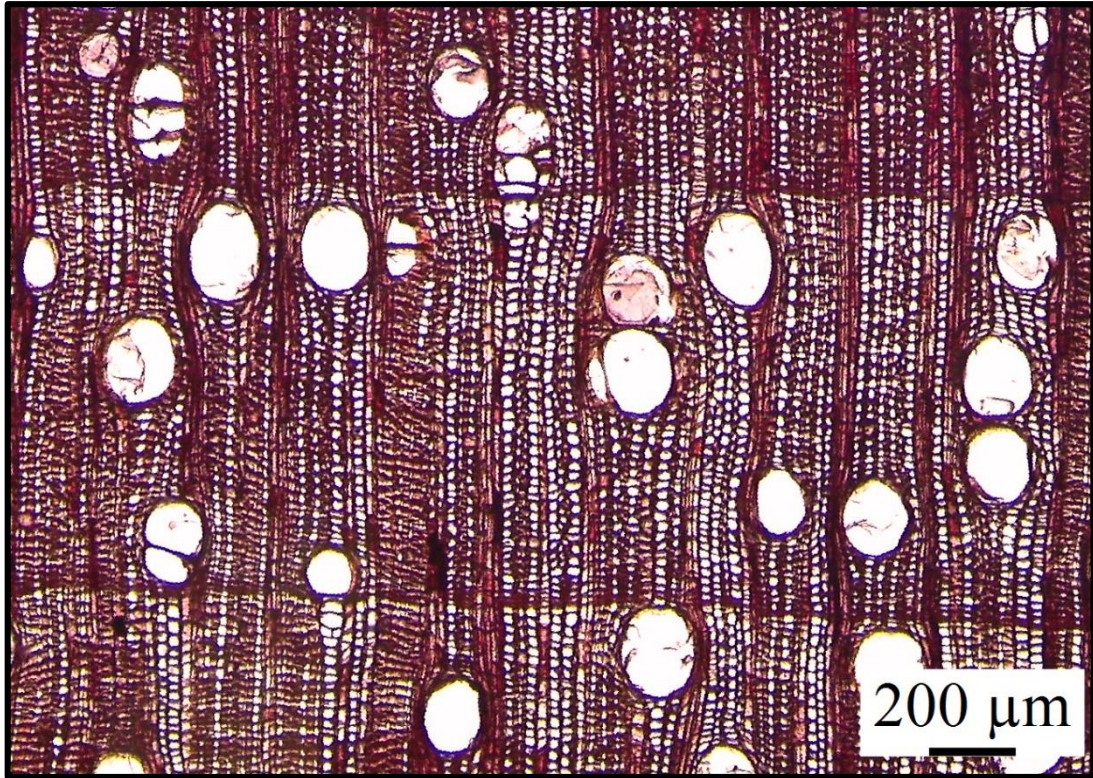


Figura 6. Parénquima de *Juglans neotropica*.

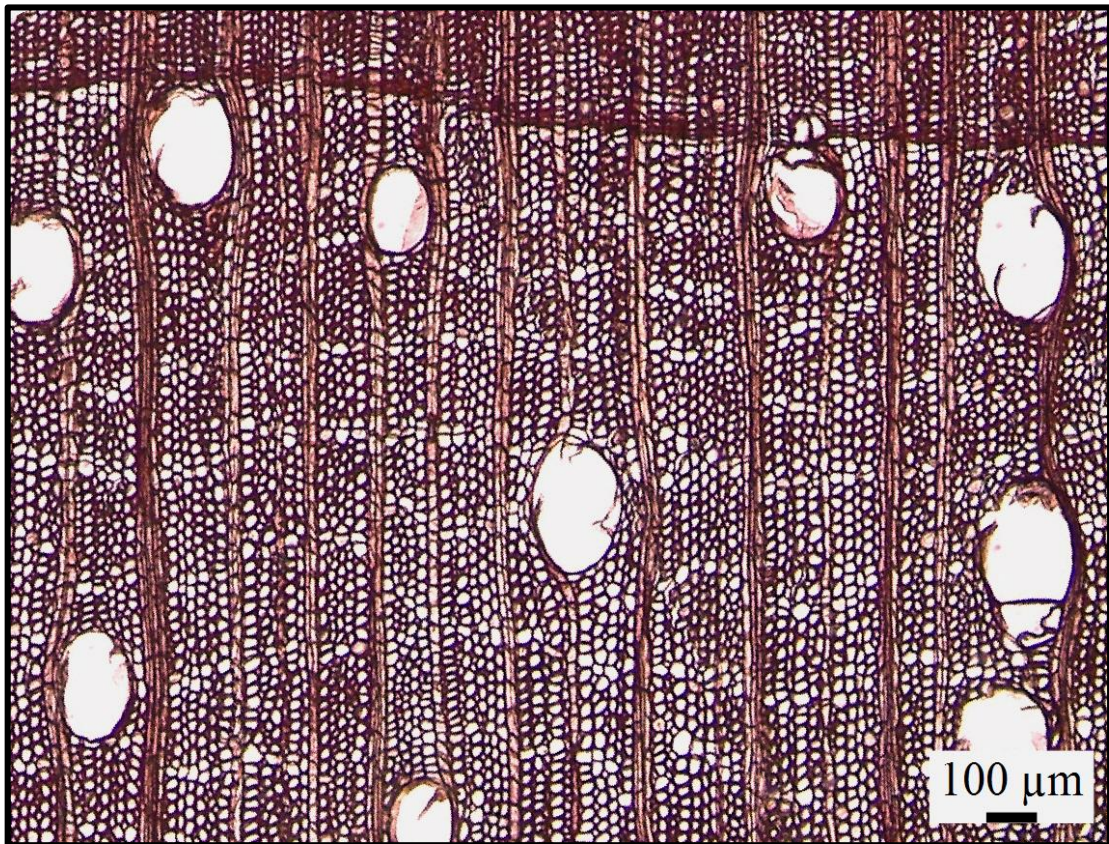


Figura 7. Sección transversal de *Juglans neotropica*.



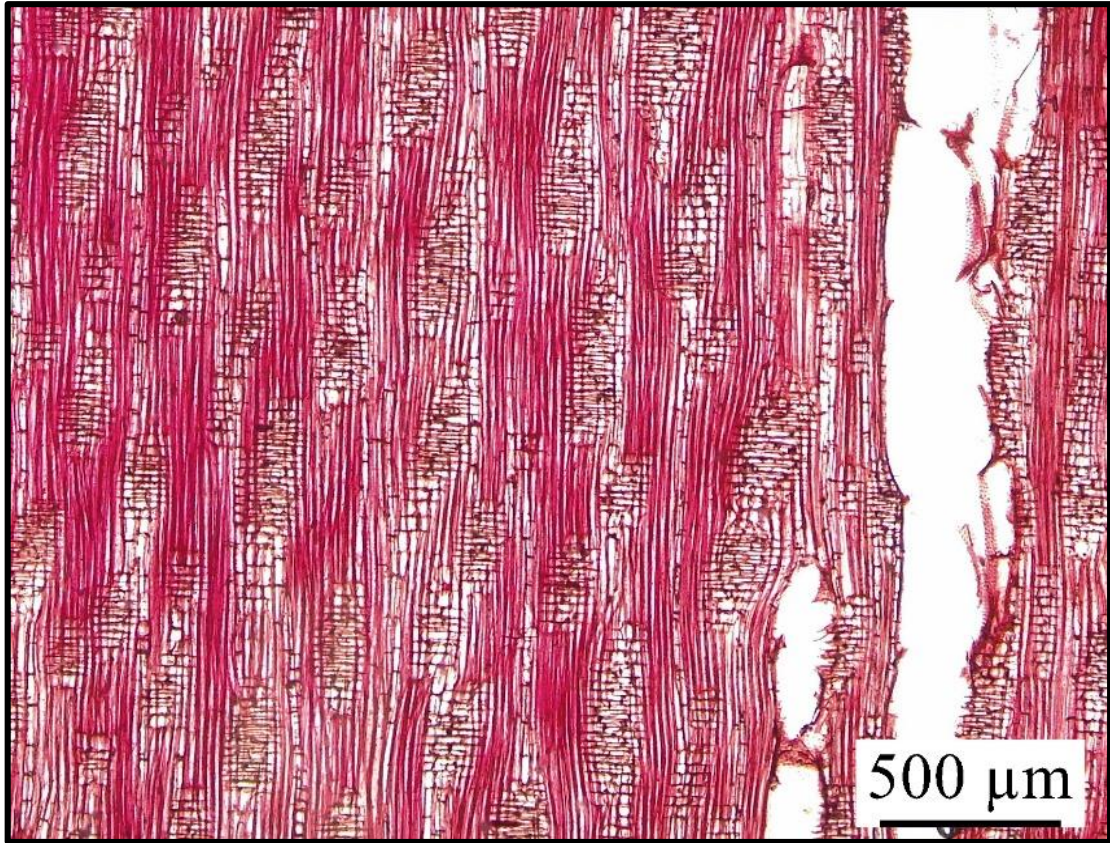


Figura 8. Corte radial de *Juglans neotropica*.

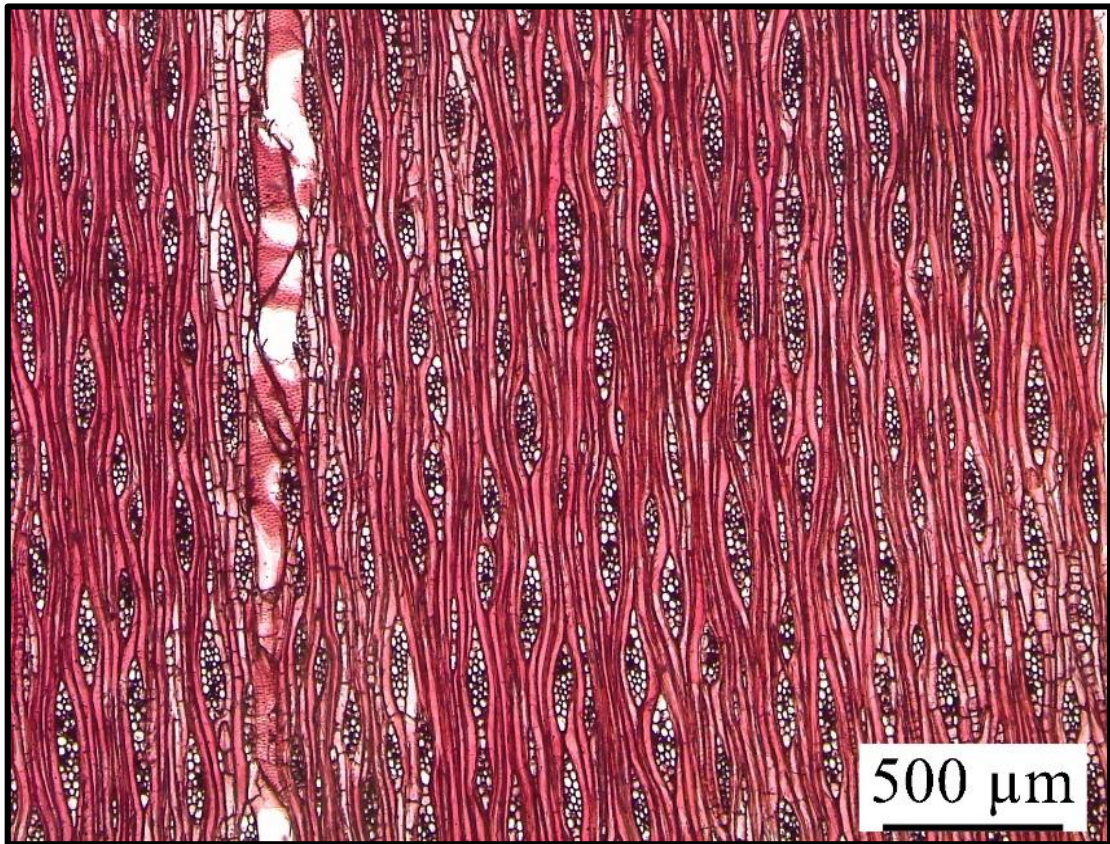


Figura 9. Corte tangencial de *Juglans neotropica*.



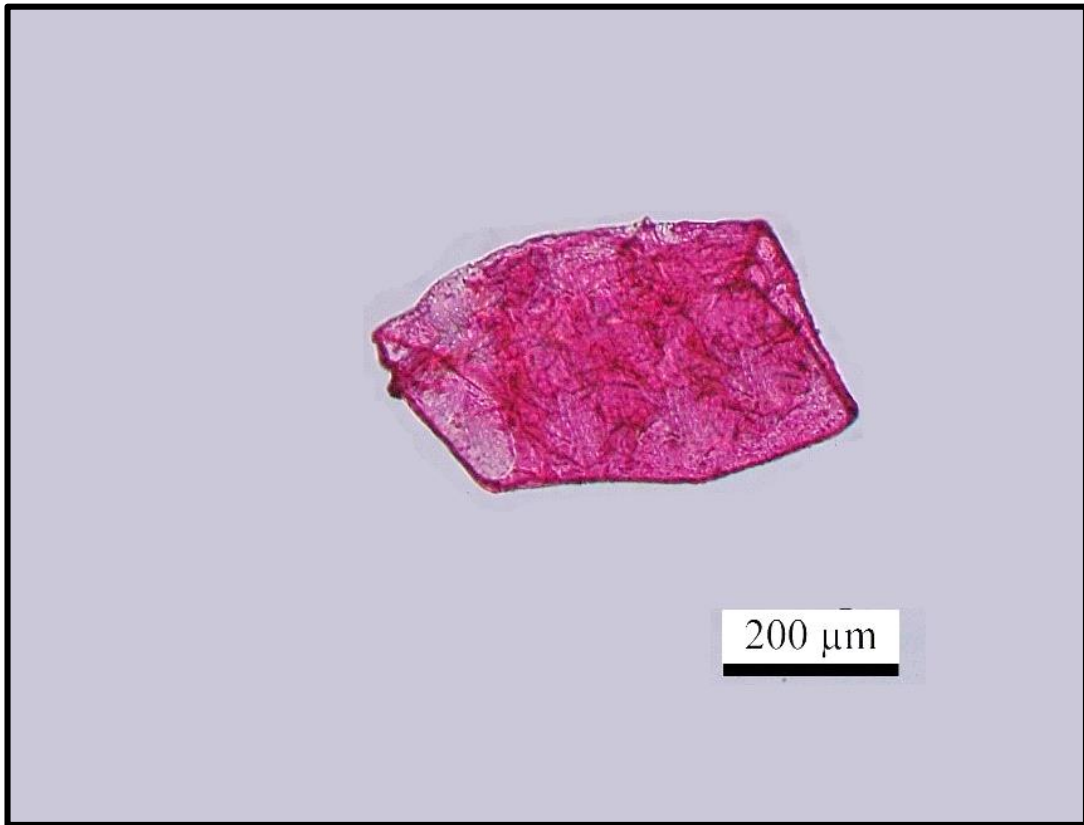


Figura 10. Elemento vascular de *Juglans neotropica*.

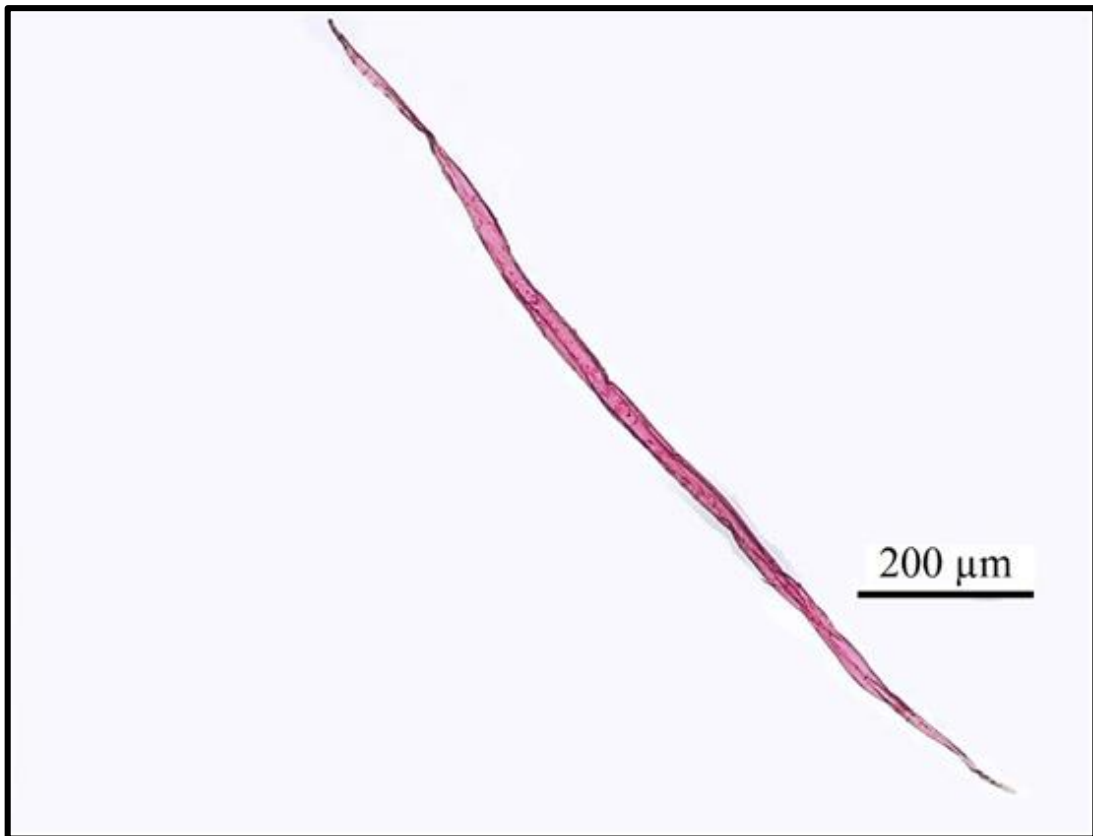


Figura 11. Fibra de *Juglans neotropica*.

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio y coeficientes de variabilidad de los elementos leñosos de la madera.

**Tabla 1: Valores promedio de elementos leñosos en *Juglans neotropica*.**

Parámetros/ características	<i>Juglans neotropica</i>											
	POROS		VASOS	RADIOS					FIBRAS			
	Diámetro tangencial (µm)	Número por mm <sup>2</sup>	Longitud (µm)	Altura (µm)	Ancho (µm)	Número de células		Número por mm	D. total (µm)	LUMEN (µm)	Esp. Pared (µm)	Longitud (µm)
						Altura	Ancho					
<b>Promedio</b>	161	4	316	347	56	14	4	5	28	21	3,5	1370
<b>Máximo</b>	229	8	511	545	86	24	6	8	42	32	5,5	1708
<b>Mínimo</b>	80	2	130	179	16	8	2	3	17	11	2,1	925
<b>CV %</b>	18	38	26	25	21	29	26	23	18	23	19,8	13

El diámetro tangencial de poros y el promedio de poros/mm<sup>2</sup> se encuentra en el rango establecido por Acevedo y Kikata (1994), Gonzales (2008) e InsideWood (2004). Los elementos vasculares tienen una longitud menor al rango establecido por Acevedo y Kikata (1994) e InsideWood (2004); lo cual sucede porque al ser una característica cuantitativa de la madera esta varía entre árboles de una misma especie y en diferentes partes dentro de un mismo árbol tanto a nivel axial como a nivel radial (Chumbimune, 2017; León y Espinoza, 1999; Yaman, 2008).

En relación a las fibras, coinciden con lo descrito por Ospina *et al.* (2003) y Ramos *et al.* (2020), quienes reportan fibras medianamente largas (900-1600 micras). Asimismo, el promedio de diámetro y espesor de pared de las fibras son similares a los promedios reportados por Acevedo y Kikata (1994).

#### **4.2 Caracterización de los anillos de crecimiento**

Los anillos de crecimiento son visibles a simple vista, delimitados por parénquima marginal de una coloración oscura debido al engrosamientos de las paredes celulares de las fibras; que concuerda con lo descrito por Gonzales (2008), Beltrán y Valencia (2013) e InsideWood

(2004) (Figura 12 y 13). Las demarcaciones de los anillos de crecimiento por zonas fibrosas son comunes en maderas tropicales; según menciona Duarte *et al.* (2020) y Rosero (2011).

Los anillos están caracterizados por una porosidad semicircular, con presencia de poros grandes al inicio y luego poros más pequeños dentro de los anillos de crecimiento; que coincide con lo indicado por Vera *et al.* (2011) y Armijos *et. al* (2017). Las células de mayor diámetro son producidas al inicio de la estación de crecimiento; en cambio la formación de células de menor diámetro está relacionada a la menor concentración de auxinas al final de la estación de crecimiento debido a factores como la sequía (Haygreen y Bowyer, 1982; citado por Ávila *et al.*, 2011; y Beltrán y Valencia, 2013).

También se observaron falsos anillos, los cuales fueron identificados durante la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento; conforme a los patrones descritos por Gonzales (2008) y Vera *et al.* (2011). (Figura 14)

Los anillos presentan variabilidad en su ancho (Figura 12); común en especies de bosques tropicales debido a la influencia de los factores del entorno durante su crecimiento; reflejando la sensibilidad de los mismos; conforme lo indican Vera *et al.* (2011) y Campos *et al.* (2008).

La formación de los anillos de crecimiento está influenciada por factores ambientales como lluvia, sitio, incidencia de luz, disponibilidad de agua, además de los factores intrínsecos de los árboles; por ello estos no son características favorables en la identificación de especies (Alves y Angyalossy, 2000; Duarte *et al.*, 2020; Schweingruber, 2007).

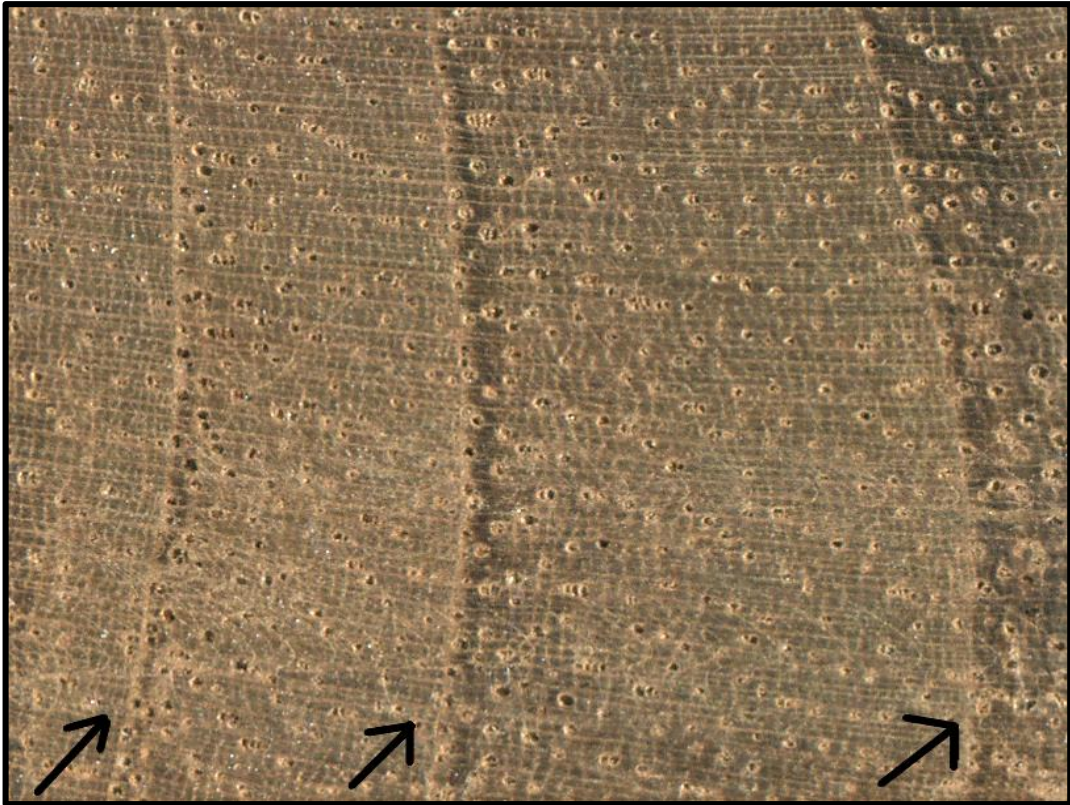


Figura 12. Imagen macroscópica de los anillos de crecimiento de *Juglans neotropica*.

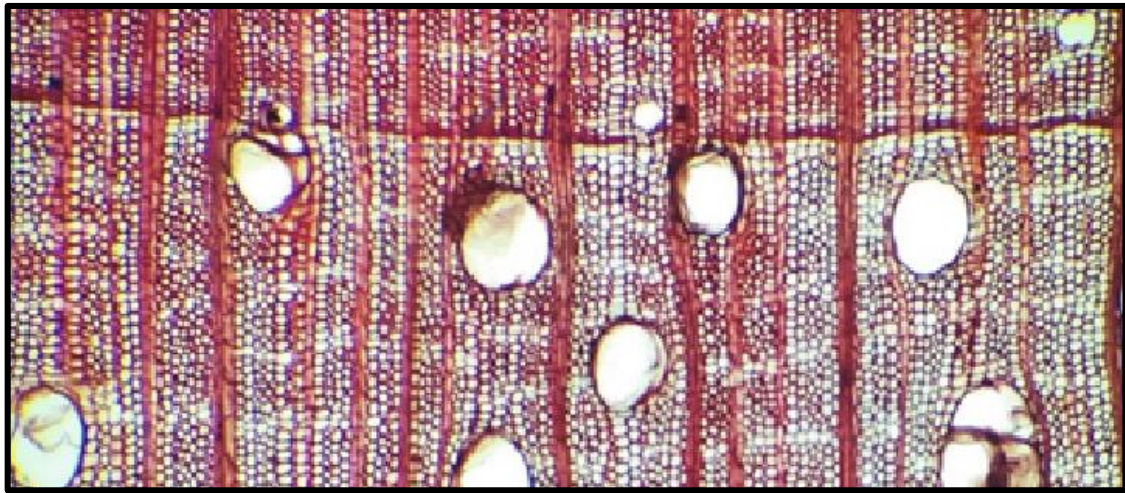


Figura 13. Imagen microscópica de los anillos de crecimiento de *Juglans neotropica*.



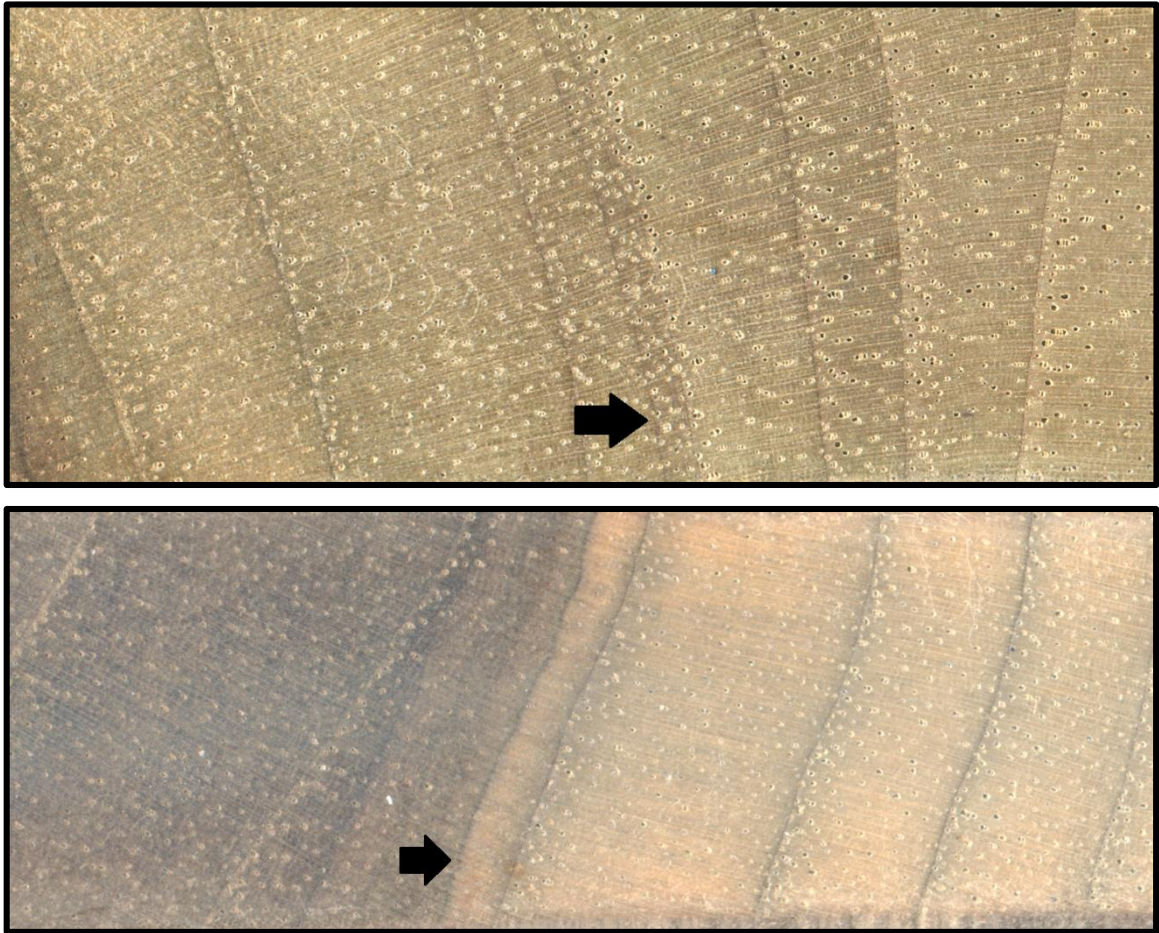


Figura 14. Falsos anillos de crecimiento.

### 4.3 Análisis dendrocronológico

#### 4.3.1 Sincronización (CO-FECHADO) de los anillos de crecimiento

El control de calidad de las series e inter-correlaciones de las series de anillos de crecimiento para cada distrito se muestran en los Anexos 1 y 2. De los 20 árboles muestreados en Magdalena y 19 en Leymebamba, solo tienen señal común de crecimiento 15 individuos para cada localidad. La cronología maestra de la especie *Juglans neotropica* del distrito de Magdalena fue generada a partir de 15 árboles con 19 muestras, que permitió construir una serie maestra de 47 años (periodo 1972- 2018). Para la cronología maestra del distrito de Leymebamba se utilizaron 15 árboles con 25 muestras, obteniéndose una serie maestra de 39 años (periodo 1980 – 2018).

Para el caso de Magdalena el valor de intercorrelación significativa es de 0,344; mientras que para el caso de Leymebamba es de 0,482 (tabla 2). Ambos valores de intercorrelación son mayores al establecido por Cofecha ( $r = 0,3281$ ). Los resultados coinciden con el estudio dendrocronológico para la misma especie (Inga y Del Valle, 2017), cuya correlación obtenida entre las series y la cronología maestra fue alta y estadísticamente significativa ( $r = 0.477$ ) para el periodo 1805–2009. Estos resultados indican la presencia de una señal común de crecimiento entre los árboles de cada localidad, pudiéndose afirmar que la especie presenta anillos de crecimiento anuales.

Se debe mencionar que las muestras que presentaron correlaciones por debajo del nivel de correlación crítico de significancia (Pearson 99%) establecido por Cofecha, no fueron usados en el análisis final; debido a la presencia de irregularidades en la estructura anatómica de las muestras como médula excéntrica, falsos anillos, poca visibilidad de los anillos, entre otros como señala Zegarra (2018).

**Tabla 2: Control de calidad de las series de *Juglans neotropica* analizadas con el programa COFECHA.**

Distrito	Árboles (series)	Árboles (series)	N° total de anillos analizados	Intercorrelación media	Intercorrelación crítica (al 99% de nivel de confianza) COFECHA
	Total	COFECHA			
<b>Magdalena</b>	20 (32)	15 (19)	593	0,344	0,3281
<b>Leymebamba</b>	19 (40)	15 (25)	554	0,482	0,3281

En las Figuras 15 y 16 se presentan las series resultantes, luego de aplicarse el control de calidad a las series individuales de ancho de anillos para Magdalena y Leymebamba. En la figura 15 para Magdalena, se observa que la serie de menor edad con 16 años es la JN\_M15-A, perteneciente al periodo 2003-2018; mientras que las series JN-M08, JN\_M19-A y JN\_M21-B son las de mayor edad con 47 años, pertenecientes al periodo 1972-2018. Para Leymebamba; se observa que la serie JN\_L11B es la de menor edad con 12 años, perteneciente al periodo 2007-2018; mientras que la serie JN\_L06-B es la de mayor edad con 39 años, perteneciente al periodo 1980-2018.

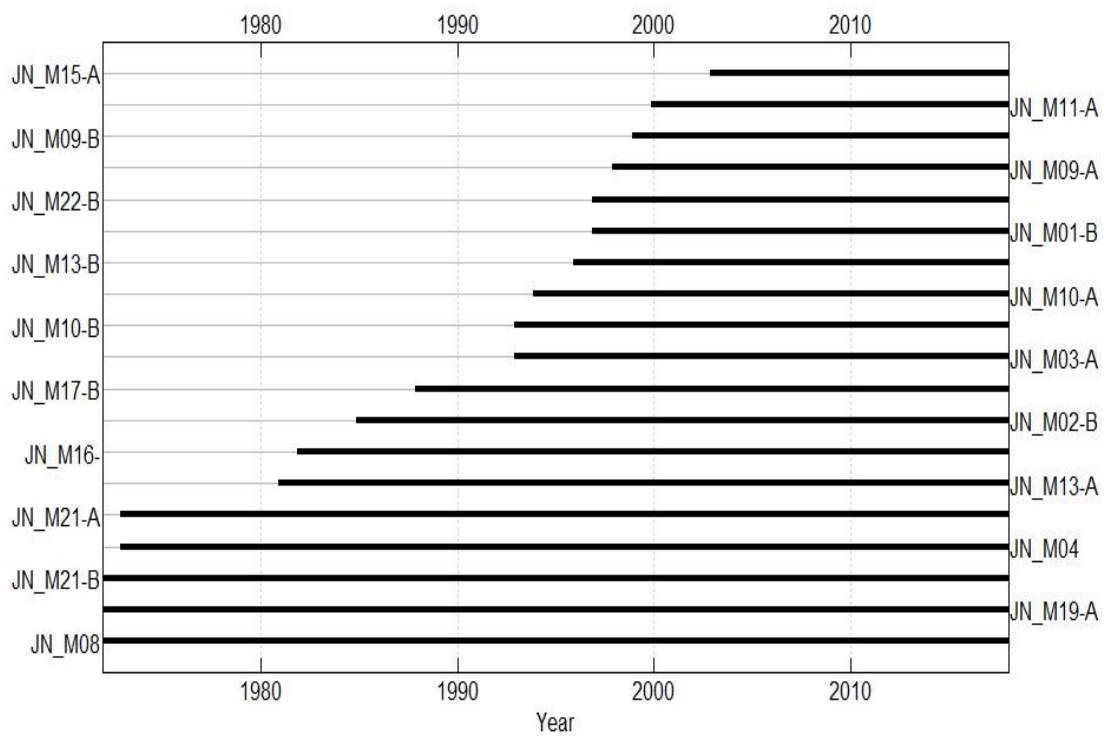


Figura 15. Intervalo de crecimiento de las 19 muestras de *Juglans neotropica* del distrito de Magdalena

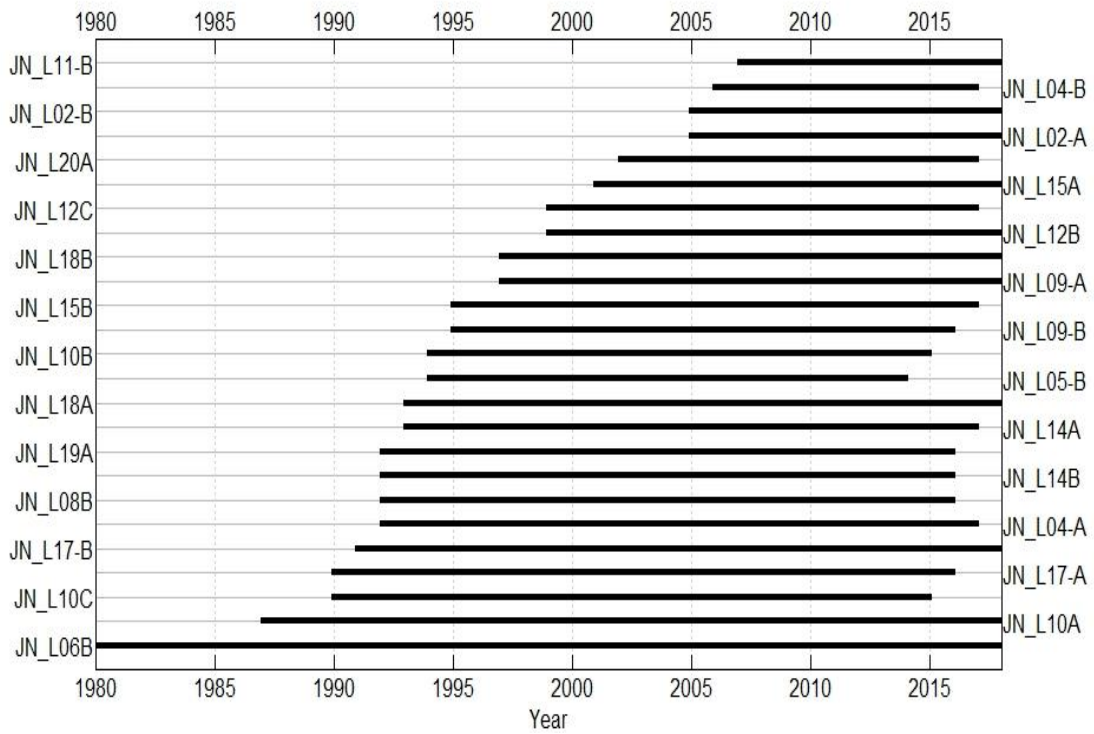


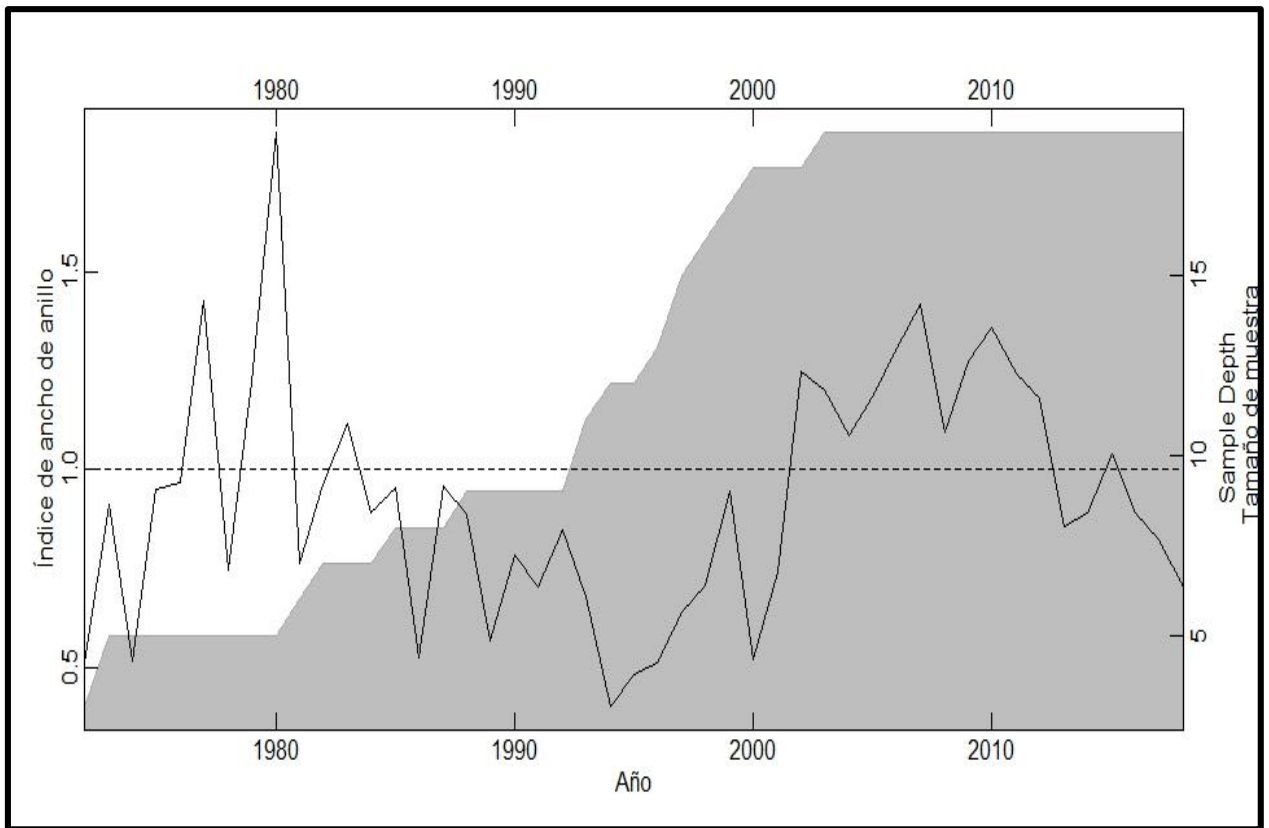
Figura 16. Intervalo de crecimiento de las 25 muestras de *Juglans neotropica* del distrito de Leymebamba

Conforme a lo observado en ambas figuras, las series obtenidas del distrito de Magdalena son de mayor edad que las de Leymebamba. El 53 % de las series de Magdalena se encuentran dentro del periodo 1990-2018 con menos de 29 años; y el 47% de las series tienen más de 29 años. En cambio, en Leymebamba el 92 % de las series se encuentran dentro del periodo 1990-2018 con menos de 29 años; y el 8% de las series son mayores.

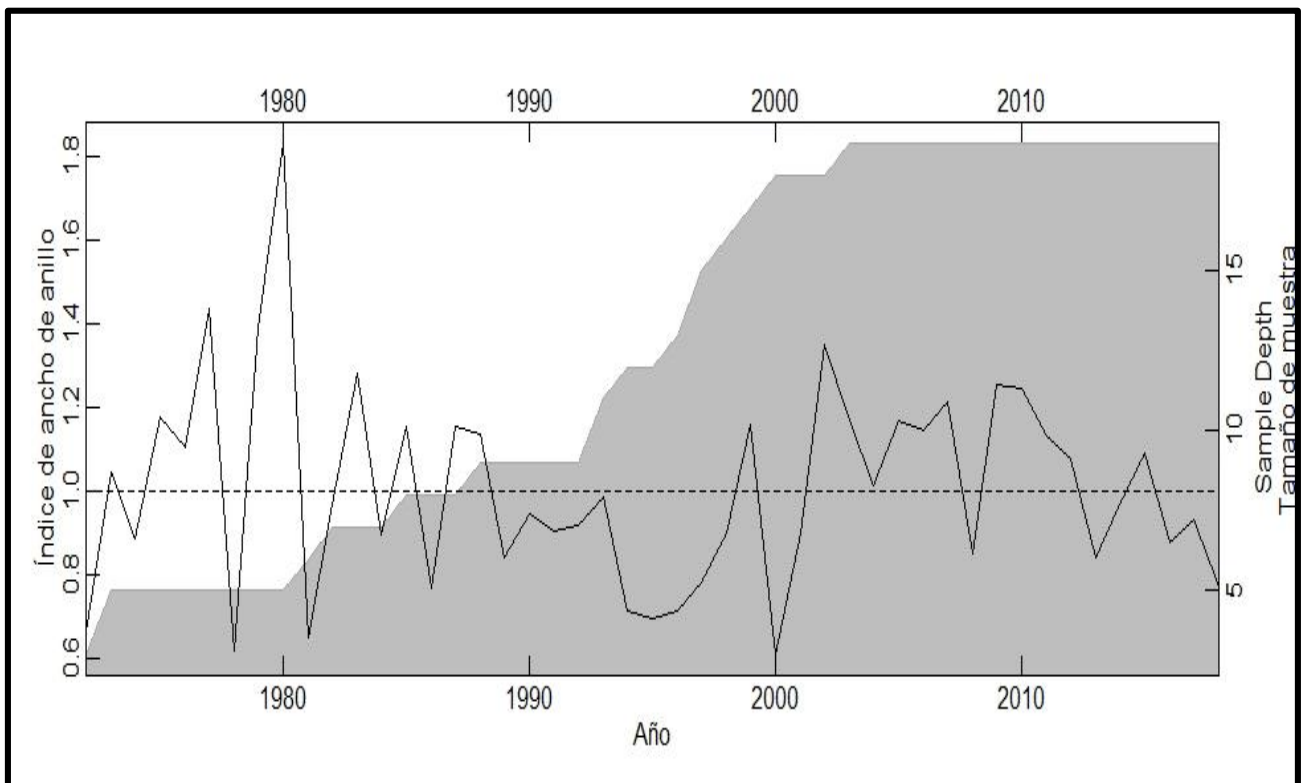
#### **4.3.2 Obtención de cronologías**

Para ambas localidades se generó una cronología estándar y una cronología residual. La serie cronológica residual difiere de la estándar; debido a que para lograr la cronología residual se elimina la autocorrelación. Es decir, se elimina la correlación del ancho de un anillo de un año determinado con el ancho de los anillos de los años anteriores, presente en las series de ancho de anillos correspondiente al componente biológico (Moya y Lara, 2010; Urrutia, 2002).

En las Figuras 17 y 18 se muestran las series maestra estándar y residual para el distrito de Magdalena para el periodo 1972 – 2018. En ambas figuras se observa, en la zona sombreada, que se da un cambio abrupto en la cantidad de muestras después del año 1990; es decir, se utilizó más muestras con menos de 29 años para generar la cronología maestra.



**Figura 17: Serie maestra estándar y tamaño de muestra del distrito de Magdalena.**



**Figura 18: Serie maestra residual y tamaño de muestra del distrito de Magdalena.**

En las figuras 19 y 20 se muestra las series maestra estándar y residual para el distrito de Leymebamba para el periodo 1980 – 2018. La zona sombreada en ambas figuras muestra que, la cantidad de muestras aumenta conforme se incrementan los años de la cronología. Ocurre un cambio abrupto en la cantidad de muestras después del año 1990; indicativo del uso de más muestras menores de 29 años para generar la cronología maestra.

Mencionar que, en ambas localidades la cantidad de muestras indica su confiabilidad de la serie en ciertas partes; es decir, mientras más muestras se utilizan más representativa es la fracción de la serie.

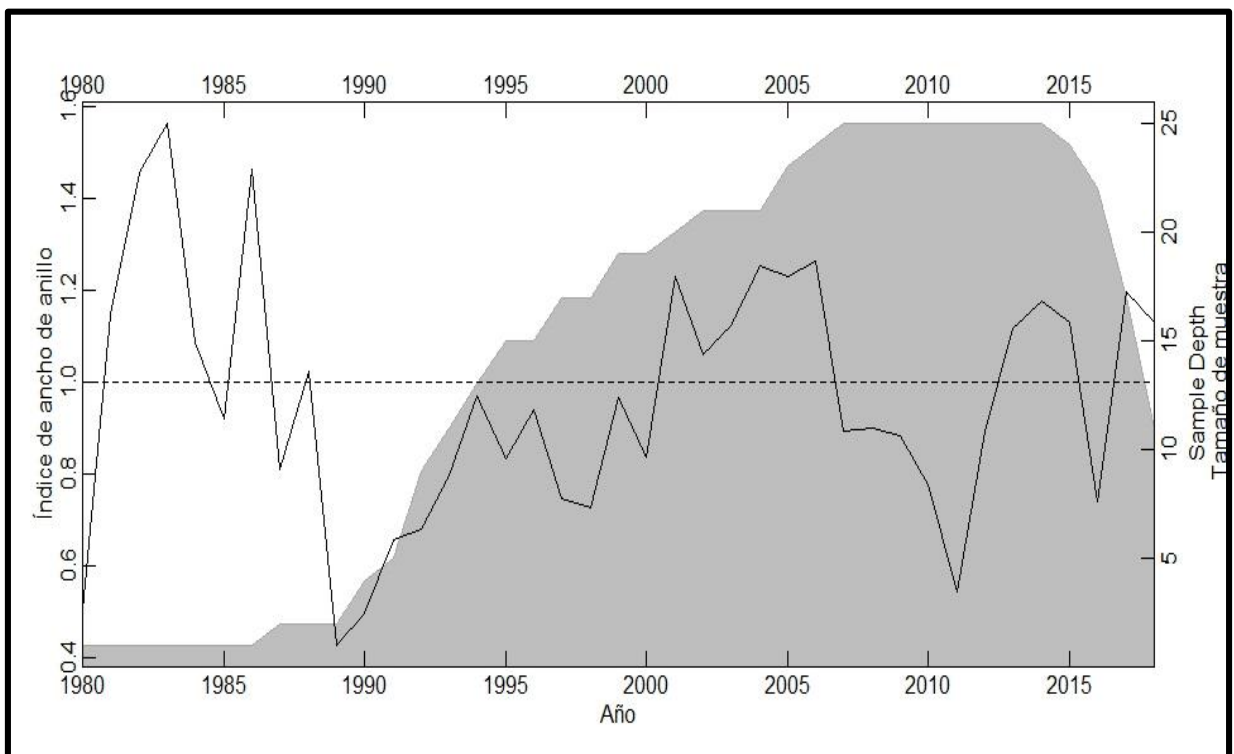


Figura 19: Serie maestra estándar y tamaño de muestra del distrito de Leymebamba.

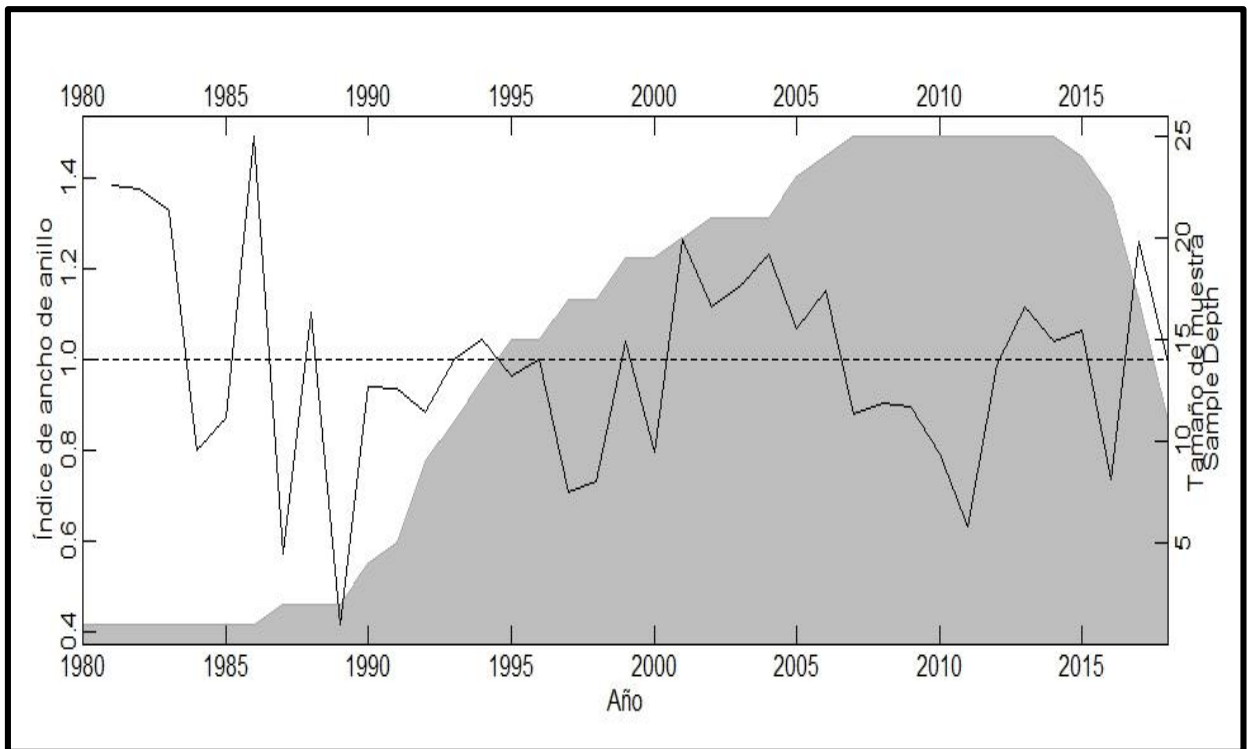
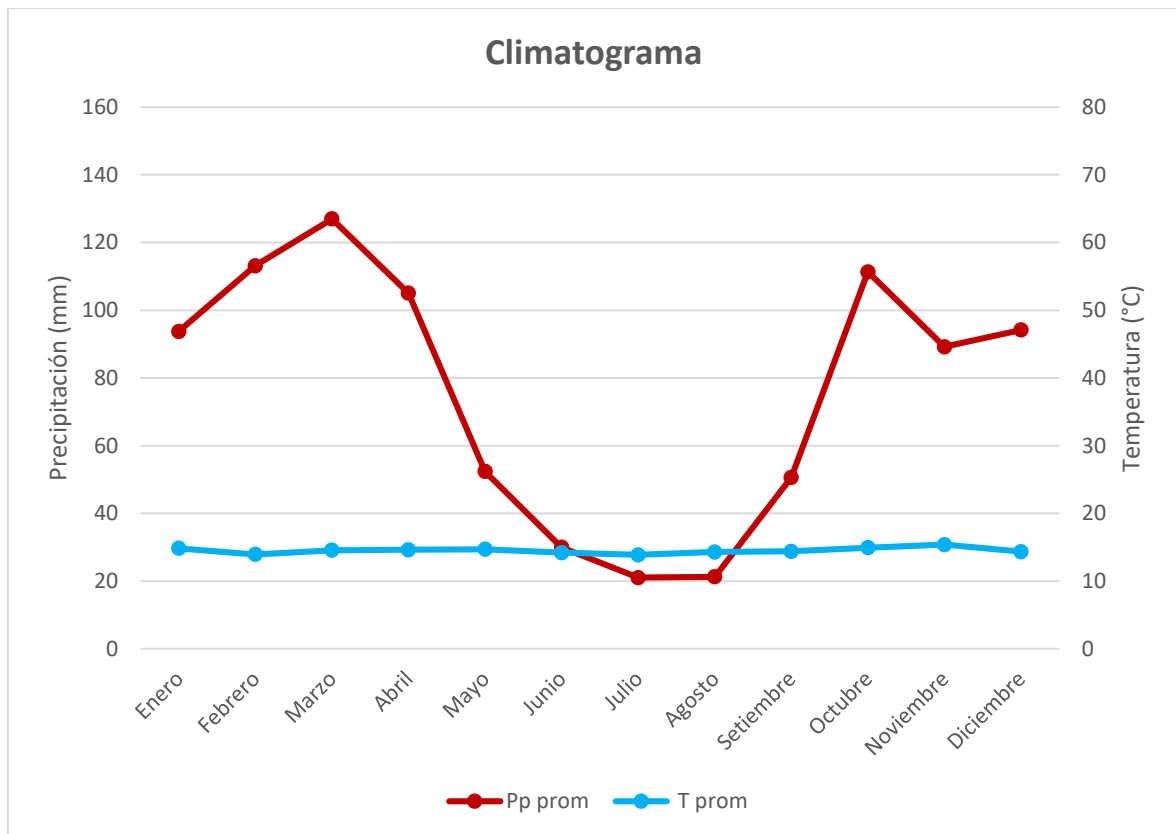


Figura 20: Serie maestra residual y tamaño de muestra del distrito de Leymebamba.

#### 4.4 Análisis dendroclimatológico

Se elaboró un climatograma con datos promedios mensuales de precipitación y temperatura, de los años 1972-2018 provenientes de la estación meteorológica de Chachapoyas (Figura 21). Se observa que la precipitación promedio mensual es muy variable; a partir de mayo se observa una disminución de la precipitación; siendo los meses de junio, julio y agosto los más secos del año ( $pp < 50$  mm). A partir de septiembre la precipitación empieza a aumentar, siendo los meses más húmedos desde octubre hasta abril ( $pp > 80$  mm). Asimismo, la temperatura promedio mensual es casi constante durante todo el año; siendo la temperatura mínima de  $13.87$  °C en julio; y la máxima de  $15.39$  °C en noviembre.





**Figura 21: Precipitación y temperatura promedio mensual de la estación de Chachapoyas (periodo 1972-2018).**

Del análisis de correlación entre la serie cronológica de los árboles de *Juglans neotropica* y los datos de precipitación total anual se obtuvo para Magdalena un coeficiente de correlación de Pearson negativo (-0.03) para Magdalena y para Leymebamba una correlación positiva (0.27). En la correlación de la serie cronológica con la temperatura promedio anual resultó ser de -0.08 para Magdalena y de -0.24 para Leymebamba. (Tabla 3)

Para ambas localidades, la correlación para ambas variables indica que no existe una fuerte relación, por lo que se puede inferir que la formación de los anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* no está influenciada por la precipitación, ni la temperatura. Su formación podría estar inducida por otros factores externos como intervención humana, tipo de suelo, profundidad del suelo, el drenaje, la cantidad de nutrientes, incidencia de luz, viento, agua disponible, sitio, entre otros (Duarte *et al.*, 2020; López, 2014; Melo, 2010; Rosero, 2011; Schweingruber, 2007; Tháí, 2010; Tomazello *et al.*, 2001; Zegarra, 2018).



Adicionalmente, mencionar que en ambas zonas, la lejanía entre la estación meteorológica y los puntos de muestreo podrían haber influido en los resultados, debido a los microclimas que se dan en la amazonia; especialmente en la correlación con la precipitación (Moya y Lara, 2010). En otras especies tropicales como *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* se ha demostrado que la sensibilidad de las cronologías también se debe a variaciones en las condiciones no favorables del micro sitio en las zonas de estudio; como cambios en las condiciones locales de luz, agua, y demanda de nutrientes (Dunisch *et al.*, 2003).

**Tabla 3: Correlación entre serie cronológica y precipitación y temperatura.**

<b>Zona</b>	<b>Coefficiente de correlación de Pearson</b>	
	<b>Precipitación</b>	<b>Temperatura</b>
<b><i>Juglans neotropica</i> Distrito Magdalena</b>	-0,03	-0,08
<b><i>Juglans neotropica</i> Distrito Leymebamba</b>	0,27	-0,24

Si bien no existen estudios dendroclimatológicos previos con las variables en estudio para la especie *Juglans neotropica*, existen diversos reportes para otras especies tropicales; como *Clarisia racemosa*, *Cedrelinga cateniformis* (Soliz-Gamboa *et al.*, 2010), *Tectona grandis* (Zúñiga, 2012), *Jacaranda copaia*, *Pourouma minor* y *Guatteria hyposericea* (Zegarra, 2018); donde igualmente obtuvieron correlaciones negativas entre las series cronológicas con precipitación y/o temperatura.

Además, señalar que se optó por correlacionar de manera separada las muestras de cada distrito con la precipitación y la temperatura; con la finalidad de comparar si la influencia de las variables climáticas estudiadas en la formación de los anillos de crecimiento es igual en ambas zonas. La diferencia más resaltante entre los distritos estudiados es la altitud, con una diferencia de 433 msnm entre el individuo ubicado a menor altitud en Magdalena (1673 msnm) y el individuo ubicado a mayor altitud en Leymebamba (2106 msnm). A pesar de la diferencia altitudinal entre las zonas muestreadas, se obtuvo para ambos distritos que la formación de los anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* no está influenciada por la precipitación, ni la temperatura.

#### 4.4.1 Respuesta climática en el crecimiento de *Juglans neotropica*

En la Tabla 4, se presentan las correlaciones respuesta del ancho de anillos de crecimiento y las variables climáticas mensuales de precipitación y temperatura del periodo 1972 – 2018 para *Juglans neotropica* en los distritos de Magdalena y Leymebamba. En Magdalena, la precipitación en el mes de agosto del año previo (t-1) influye de manera significativa y negativa; mientras que la temperatura en el mes de noviembre del año anterior (t-1) influye de forma positiva y significativa en el crecimiento del ancho de los anillos de crecimiento. En Leymebamba, la temperatura del mes de junio del año actual (t) influye de forma negativa y significativa en el crecimiento de ancho de anillos de crecimiento.

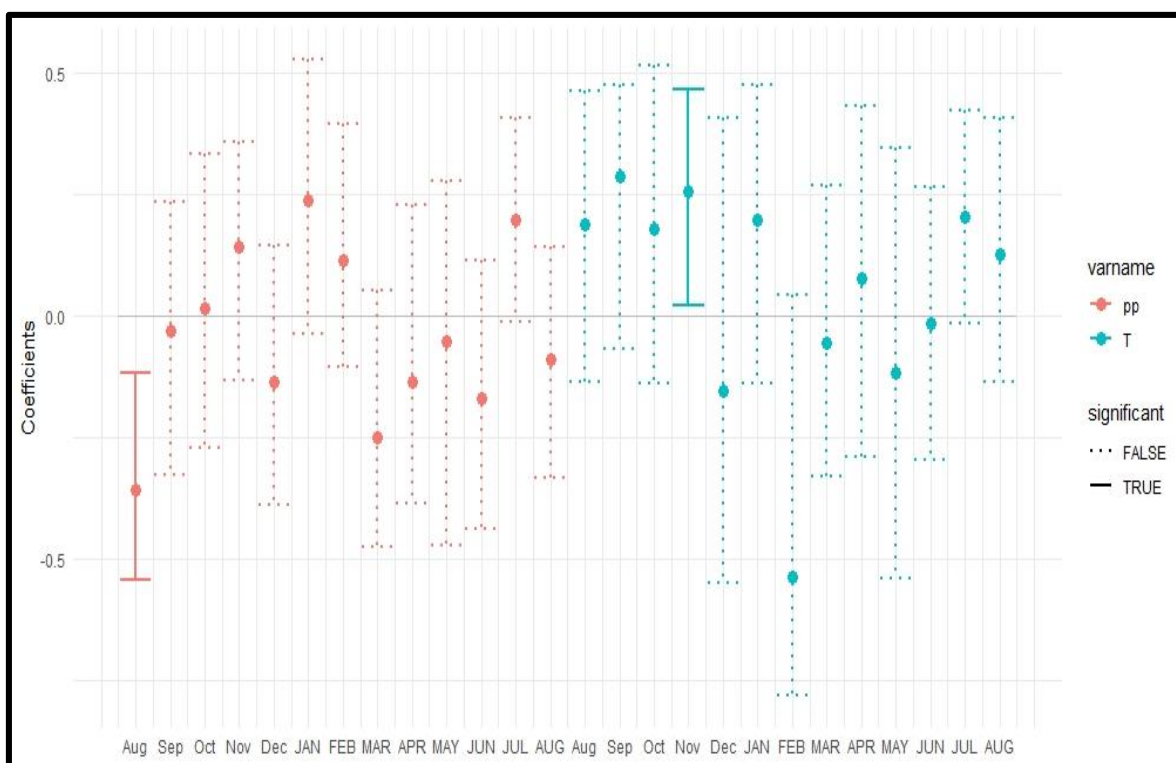
**Tabla 4: Coeficiente de correlación de Pearson entre la cronología residual y las variables climáticas.**

Especie		<i>Juglans neotropica</i>			
Distrito		Magdalena		Leymebamba	
Variable climática		PP	T°	PP	T°
Meses					
Año previo (t-1)	Aug	-0,36*	0,186	0,006	-0,155
	Sep	-0,031	0,285	0,277	-0,095
	Oct	0,012	0,179	0,219	-0,131
	Nov	0,140	0,253*	0,164	-0,027
	Dec	-0,138	-0,156	0,176	-0,100
Año actual (t)	JAN	0,235	0,195	0,253	-0,144
	FEB	0,112	-0,539	0,115	-0,192
	MAR	-0,250	-0,058	0,149	-0,341
	APR	-0,138	0,077	0,192	-0,128
	MAY	-0,055	-0,119	0,152	-0,168
	JUN	-0,171	-0,016	0,064	-0,336*
	JUL	0,196	0,203	-0,154	-0,031
	AUG	-0,091	0,125	-0,123	-0,039

- Valores significativos \*

En la Figura 22, se muestran las correlaciones al igual que en la tabla 4, resultantes del comportamiento del crecimiento de los anillos de crecimiento (analizado a partir del ancho de los anillos) con la precipitación y temperatura para Magdalena. Las correlaciones con la precipitación, están representadas de color rojo; mientras que la temperatura de color celeste. En ambos casos solo se obtiene una correlación significativa.

La precipitación en el mes de agosto del año previo (t-1), presenta una correlación de -0.36; indicando que esta variable influye de manera significativa y negativa (Tabla 4). Esta correlación indica que, en agosto cuando la precipitación es baja, el incremento de ancho de anillos de crecimiento es mayor. Ello explicado por la acumulación de agua en el suelo de los meses previos con precipitaciones altas (marzo - abril), generando un posterior crecimiento en los árboles, y/o a la producción de compuestos orgánicos mediante procesos fotosintéticos del periodo anterior, que fueron almacenados e influenciaron positivamente en el ancho de los anillos de crecimiento durante este periodo (Brienen y Zuidema, 2005; Zegarra, 2018). Luego del inicio de la época húmeda, al aumentar el agua en el suelo, el árbol logra mantener un balance positivo de agua; logrando utilizar todos los nutrientes almacenados (López *et al.*, 2006; Rosero, 2009).

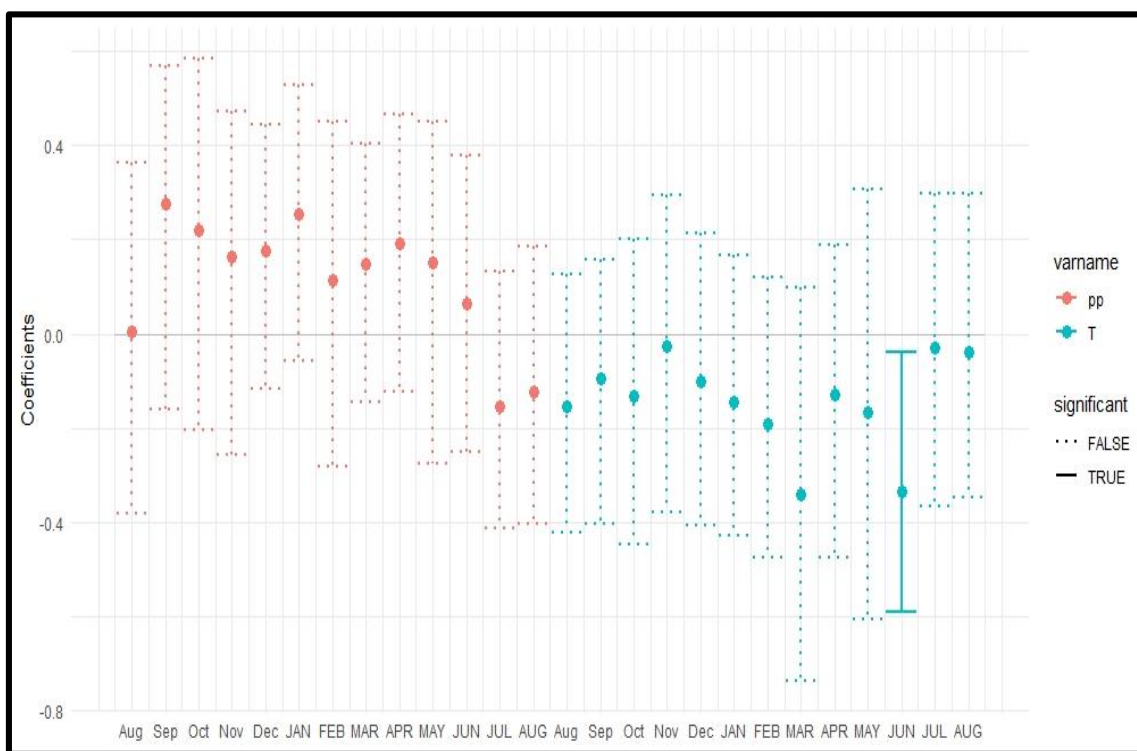


**Figura 22: Correlaciones entre índices de anillos de crecimiento con pp y temperatura en el distrito de Magdalena.**

En relación a la temperatura de la misma zona, la correlación del mes de noviembre del año anterior (t-1) es de 0,253, indicando que esta variable influye de manera significativa y positiva (tabla 4). Esta correlación indica que, a mayor temperatura, mayor será el ancho de

los anillos de crecimiento. Sin embargo, se conoce que la formación de anillos de crecimiento puede responder a cambios estacionales térmicos o hídricos bien marcados; y como las fluctuaciones de temperatura en el trópico no son marcadas y en este mes solo se registra un ligero aumento en la temperatura promedio, otro factor podría estar influenciando el crecimiento (Campos, 2009; Chávez, 2014; Melo, 2010). Esta correlación podría estar influenciada indirectamente por el inicio de la época de lluvias, meses septiembre- octubre, lo cual afecta positivamente el crecimiento debido al efecto de la radiación solar y al aumento de la actividad fotosintética (Beltrán, 2011; Rosero, 2009; Rozendaal y Zuidema, 2011).

Para Leymebamba, en la Figura 23 se muestran las correlaciones, al igual que en la tabla 4, entre índice de anillos de crecimiento y la precipitación y temperatura. Las correlaciones con la precipitación, están representadas de color rojo; mientras que la temperatura de color celeste. Solo se obtiene una correlación significativa para la temperatura.



**Figura 23: Correlaciones entre los índices de anillos de crecimiento con pp y temperatura en el distrito de Leymebamba**

Al correlacionar crecimiento con la precipitación, resultaron bajas correlaciones y no significativas. Se observan correlaciones positivas en los meses con mayores precipitaciones y valores negativos para los meses de época seca (julio-agosto) de la tabla 4. La no

significancia, indica que otros factores podrían haber influenciado la formación de los anillos de crecimiento; como variaciones de micro sitio en las zonas estudiadas, neblina, incidencia de luz, viento, disponibilidad de agua subterránea generado por las filtraciones del río, alta nubosidad, entre otros (Ancajima, 2017; Dunisch *et al.*, 2003; Melo, 2010; Ortega, 2014; Soliz-Gamboa *et al.*, 2010).

Para temperatura en la misma zona, la correlación del mes de junio del año actual (t) es de -0,336; indicando que esta variable influye de manera negativa y significativa (tabla 4). Esto indicaría que, a mayor temperatura, menor será el ancho de los anillos de crecimiento; lo cual puede estar relacionado al inicio de la temporada seca, con reducción de agua, y no al aumento de la temperatura; pues en el trópico las temperaturas tienden a ser uniformes. Otro factor como la disponibilidad de agua, podría estar influenciando el crecimiento; ya que la temperatura no es un factor limitante (Campos, 2009; Chávez, 2014; Melo, 2010). Al ser junio un mes con temperatura alta y precipitación baja, la temperatura alta puede aumentar la tasa de evapotranspiración y los árboles se pueden ver sometidos bajo estrés hídrico por la reducción de la reserva de agua en el suelo; lo cual explicaría de manera indirecta la correlación negativa entre la temperatura y el crecimiento (Rosero, 2009; Zúñiga, 2012).

## V. CONCLUSIONES

- 1) A nivel macroscópico la especie *Juglans neotropica* se caracteriza por presentar textura media, grano recto, poros solitarios y múltiples radiales de 2 a 3; porosidad semicircular; parénquima en bandas delgadas y marginal; y radios visibles con lupa y abundante presencia de gomas.
- 2) Microscópicamente los vasos presentan perforación simple y puntuaciones intervasculares de forma poligonal con disposición alterna. Parénquima tipo bandas delgadas y marginal. Los radios son heterogéneos tipo II y las fibras son libriformes de pared delgada a gruesa.
- 3) Los anillos de crecimiento en *Juglans neotropica* son marcados, caracterizados por presentar poros grandes al inicio y poros más pequeños al final del anillo de crecimiento. Además, estos se encuentran delimitados por parénquima marginal.
- 4) No se encontró influencia de la precipitación y temperatura en la formación de los anillos de crecimiento de la especie *Juglans neotropica* para las zonas estudiadas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- El muestreo debe ser realizado con más de 30 árboles; ya que durante el cofechado se controla la calidad de las series y se eliminan las que presentan correlaciones por debajo del nivel de correlación crítico de significancia establecido por Cofecha.
- De cada árbol extraer más de dos tarugos del leño; ya que al tener más muestras de un individuo será más fácil la obtención de la serie cronológica, pues se tiene más tarugos para analizar considerando un posible daño en algunas muestras, poca visibilidad de los anillos o la presencia de falsos anillos.
- En este tipo de estudios es necesario que los datos climáticos de la estación meteorológica sean representativos de la zona muestreada; para que no afecte los resultados del análisis dendroclimatológico.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, M., & Kikata, Y. (1994). Atlas de Maderas Del Perú. Lima. Perú: Publifor.

Aliste, D. (2016). Desarrollo de una cronología de ancho de anillos para *Fitzroya cupressoides* y su relación con la variabilidad climática, en la Cordillera de la Costa, sector Los Pabilos, Región de Los Lagos, Chile. (Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile). Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/fifa414d/doc/fifa414d.pdf>

Alves, E., & Angyalossy, V. (2000). Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal, 21(1), 3-30. Doi: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000233>

Ancajima, E. (2017). Dendrocronología de Prosopis sp. En la región Piura. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura). Recuperado de: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1046/CIE-ANC-MOR-17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Armijos, A., Alvarado, Y., Quito, J., León, T., Guamán, L., & Pucha, D. (2017). Anatomía de la madera de diez especies forestales de bosque andino del sur del Ecuador. Cedamaz, 7. Recuperado de: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/375>

Ávila, Y., Ballón, C., Rosero, J., Chavesta, M., Bustamante, K., & Condori, C. (2011). Evaluación del crecimiento de árboles de *Enterolobium cyclocarpum* (JACQ.) GRISEB (Oreja de negro) a través del análisis dendrocronológico. Xilema, 24, 7. Doi: <http://dx.doi.org/10.21704/x.v24i1.661>



- Beltrán, L. (2011). Caracterización anatómica de anillos de crecimiento de especies forestales tropicales maderables con valor comercial para dendrocronología - Selva central. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de:  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2595/Beltran%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Beltrán, L., & Valencia, G. (2013). Anatomía de anillos de crecimiento de 80 especies arbóreas potenciales para estudios dendrocronológicos en la Selva Central, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 61(3). Doi: <https://doi.org/10.15517/rbt.v61i3.11778>
- Brienen, R. (2005). Tree rings in the tropics: A study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. *ResearchGate*. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/27690622\\_Tree\\_rings\\_in\\_the\\_tropics\\_a\\_study\\_on\\_growth\\_and\\_ages\\_of\\_Bolivian\\_rain\\_forest\\_trees](https://www.researchgate.net/publication/27690622_Tree_rings_in_the_tropics_a_study_on_growth_and_ages_of_Bolivian_rain_forest_trees)
- Brienen, R., & Zuidema, P. (2005). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146, 1-12. Doi: [10.1007/s00442-005-0160-y](https://doi.org/10.1007/s00442-005-0160-y)
- Bunn, A. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). Elsevier GmbH. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>
- CAM. (2009). Guía de identificación de maderas aserradas. Departamento de Huila. Colombia. Recuperado de:  
[https://cam.gov.co/images/documents/phocadownload/guias\\_de\\_identificacion/guia%20identificacion%20maderas%20aserradas%20Huila.pdf](https://cam.gov.co/images/documents/phocadownload/guias_de_identificacion/guia%20identificacion%20maderas%20aserradas%20Huila.pdf)
- 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. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://iiap.org.pe/Archivos/publicaciones/PUBL491.pdf>

Campos, L., Lobao, M., Rosero, J., Tomazello, M., Yopez, F., & Fontana, C. (2008). Potencialidad de especies forestales para dendrocronología a través de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en la Amazonía Peruana – Brasileira. *ResearchGate*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/282292222\\_POTENCIALIDAD\\_DE\\_ESPECIES\\_FORESTALES\\_PARA\\_DENDROCRONOLOGIA\\_A\\_TRAVES\\_DE\\_LA\\_CARACTERIZACION\\_ANATOMICA\\_DE\\_LOS\\_ANILLOS\\_DE\\_CRECIMIENTO\\_EN\\_LA\\_AMAZONIA\\_PERUANA\\_-\\_BRASILERA](https://www.researchgate.net/publication/282292222_POTENCIALIDAD_DE_ESPECIES_FORESTALES_PARA_DENDROCRONOLOGIA_A_TRAVES_DE_LA_CARACTERIZACION_ANATOMICA_DE_LOS_ANILLOS_DE_CRECIMIENTO_EN_LA_AMAZONIA_PERUANA_-_BRASILERA)

CATIE. (2000). *Juglans neotropica* Diels. (Nota técnica 082; pp. 163-164). Recuperado de: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a0008s/a0008s82.pdf>

Chávez, J. (2014). Dendrocronología de *Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze, “Taya”, en bosques naturales de la provincia de San Marcos y distrito de Matara. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperado de: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1864>

Chumbimune, S. (2017). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de Ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café en Villa Rica, Perú. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/733/1/Chumbimune-Tesis-Caracterizacion\\_anatomica...madera\\_Ulcumano.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/733/1/Chumbimune-Tesis-Caracterizacion_anatomica...madera_Ulcumano.pdf)

Cook, E., & Holmes, R. (1999). Program Arstan: Chronology development with statistical analysis. University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.

Cook, E., & Kairiukstis, L. (1992). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences* - Google Libros. Springer Science and Business Media. Recuperado de: [https://books.google.com.pe/books?id=C7TnCAAQBAJ&dq=spline+or+negative+exponential+dendrochronology&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=C7TnCAAQBAJ&dq=spline+or+negative+exponential+dendrochronology&hl=es&source=gbs_navlinks_s)

- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., & Massarini, A. (2008). *Biología* (7.a ed.). Médica Panamericana. Recuperado de: <https://books.google.com.pe/books?id=mGadUVpdTLsC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Domínguez, J. C. (2014). Evaluación de la influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Pinus patula* y *Pinus muricata* en plantaciones de la Granja Porcón (Perú) a través de técnicas dendrocronológicas. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/882/T007174.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duarte, P., Freire, M., Tonelli, C., Danielli, D., Cruz, T., Lamounier, D., Ferreira, A., & Calegario, N. (2020). Identificação macroscópica de madeiras tropicais comercializadas como Guajará em Lavras. MG. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), 60539-60547. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-463>
- Dunisch, O., Ribeiro, V., & Bauch, J. (2003). (PDF) Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *ResearchGate*. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/226006423\\_Dendroecological\\_investigations\\_on\\_Swietenia\\_macrophylla\\_King\\_and\\_Cedrela\\_odorata\\_L\\_Meliaceae\\_in\\_the\\_central\\_Amazon](https://www.researchgate.net/publication/226006423_Dendroecological_investigations_on_Swietenia_macrophylla_King_and_Cedrela_odorata_L_Meliaceae_in_the_central_Amazon)
- Gimenez, A., Moglia, J., Hernández, P., & Gerez, R. (2005). *Anatomía de la madera* (2.a ed.). Recuperado de: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>
- Giraldo, J. (2011). Dendrochronology in the tropics: Current and potential applications. *Colombia Forestal*, 14(1), 97-111. Recuperado de: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3554/5155>

- Gonçalves, G. (2007). Dendrocronología: Principios teóricos, problemas prácticos e aplicabilidade (p. 16). Recuperado de: [http://www.altshn.org/uploads/3/1/9/2/3192138/dendrocronologia\\_-\\_principios\\_teoricos.pdf](http://www.altshn.org/uploads/3/1/9/2/3192138/dendrocronologia_-_principios_teoricos.pdf)
- Gonzales, I. (2008). Atlas de Maderas Selva Central (Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de: [https://issuu.com/nicanorebook/docs/atlas\\_de\\_maderas\\_ebook](https://issuu.com/nicanorebook/docs/atlas_de_maderas_ebook)
- Grissino-Mayer, H. D. (2000). Crossdating—The Basic Principle of Dendrochronology. Recuperado de: <https://www.ltrr.arizona.edu/lorim/basic.html>
- Groenendijk, P., Sass-Klaassen, U., Bongers, F., & Zuidema, P. (2014). Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa. *Forest Ecology and Management*, 323, 65-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.037>
- Gutiérrez, E. (2009). La dendrocronología: Métodos y aplicaciones. *Arqueología náutica mediterránea*, X (Nieto i M.A. Cau (eds.). Monografies del CASC. Generalitat de Catalunya), 309-322. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/286242799\\_La\\_dendrocronologia\\_metodos\\_y\\_aplicaciones](https://www.researchgate.net/publication/286242799_La_dendrocronologia_metodos_y_aplicaciones)
- Holmes, R. (1983). Programa COFECHA.
- IAWA. (1989). IAWA List of microscopic features for hardwood identification with an Appendix on non-anatomical information. *Bulletin n.s.*, 10(3), 219-332. Recuperado de: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>
- Inga, J., & Del Valle, J. (2017). Log-relative growth: A new dendrochronological approach to study diameter growth in *Cedrela odorata* and *Juglans neotropica*,

- Central forest, Peru. *Dendrocronología*, 44, 117-129. Doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.009>
- InsideWood. (2004, actualidad). InsideWood. Recuperado de:  
<https://insidewood.lib.ncsu.edu/description?4>
- Jiménez, J. (2012). Movimientos de ladera en la vertiente meridional de sierra nevada (Tesis de Doctorado, Universidad de Granada). Recuperado de:  
<https://www.ugr.es/~jorgejp/tesis/archivos/apendice1.pdf>
- Juaréz, A., & Ardisson, P. (2005). Formación de anillos de crecimiento: Fuente natural de información biológica y ambiental. *Avance y Perspectiva*, 24, 25-31. 1. Recuperado de:  
[https://www.researchgate.net/publication/231205757\\_ANILLOS\\_DE\\_CRECIMIENTO\\_FUENTE\\_NATURALDE\\_INFORMACION\\_BIOLOGICA\\_Y\\_AMBIENTAL](https://www.researchgate.net/publication/231205757_ANILLOS_DE_CRECIMIENTO_FUENTE_NATURALDE_INFORMACION_BIOLOGICA_Y_AMBIENTAL)
- Larsson, L. (2013). CooRecorder and Cdendro programs of the CooRecorder /Cdendro package version 7.8. Cybis Dendrochronology: Home of CDendro & CooRecorder. Recuperado de: <http://www.cybis.se/forfun/dendro/>
- Layme, E. T., Ferrero, M. E., Palacios, K. S., & Requena, E. J. (2018). *Cedrela nebulosa*: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. *Dendrochronologia*, 50, 105-112. Doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.06.004>
- León, W., & Espinoza, N. (1999). Variabilidad de la madera de *Cordia thaisiana* (BORAGINACEAE) en sentido longitudinal. *Revista Forestal Venezolana*. Recuperado de:  
[http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24218/articulo43\\_1\\_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/24218/articulo43_1_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Llorente, C. (2012). La historia que nos explican los árboles. *Biología on line. Revista de divulgación de la Facultat de Biologia*, 1(2), 24. Recuperado de: [http://revistes.ub.edu/index.php/b\\_on/index](http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/index)
- López, J. (2014). Anatomía de plantas cultivadas. Recuperado de: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/series-didacticas/sd-1-anatomia-de-madera.pdf>.
- López, J., Valdez, J., Terrazas, T., & Valdez, R. (2006). Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies forestales tropicales del estado de Colima, México. *Agrociencia*, 40(4), 533-544.
- Marcati, C., Oliveira, J., & Machado, S. (2006). Growth rings in cerrado woody species: Occurrence and anatomical markers. *Biota Neotrop*, 6(3). Doi: <https://doi.org/doi.org/10.1590/S1676-06032006000300001>
- Marcelo, J. L. (2017). Diversidade florística, dendrologia e dendroecologia em florestas estacionais decíduas do Centro e Norte do Peru (Tesis de doctorado, Universidade de São Paulo). Recuperado de: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-04082017-143653/pt-br.php>
- Marcelo, J. L., Roig, F., Goodwin, Z., & Tomazello, M. (2020). Characterizing growth rings in the trees of Perú: A wood anatomical overview for potential applications in dendroecological-related fields. *Dendrochronologia*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125728>
- Marcelo, J. L., Santini, L., & Tomazello Filho, M. (2019). Wood anatomy and growth rate of seasonally dry tropical forest trees in the Marañón River Valley, northern Peru. *Dendrochronologia*, 55, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2019.04.008>
- Melandri, J. L., Dezzeo, N., & Espinoza, N. (2007). Periodicidad de los anillos de crecimiento en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* proveniente de una plantación del Estado Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 5, 57-66. Recuperado de:

<https://biblat.unam.mx/en/revista/revista-forestal-venezolana/articulo/periodicidad-de-los-anillos-de-crecimiento-en-pinus-caribaea-var-hondurensis-proveniente-de-una-plantacion-del-estado-merida-venezuela>

Melo, J. (2010). Dendrocronología de la especie *Pinus radiata* de plantaciones de la granja Porcón, Cajamarca (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1170/T003831.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mendivelso, A., Camarero, J., & Gutiérrez, E. (2016). Dendrochronology in Neotropical dry forests: Methods, advances and applications. *Ecosistemas*, 25(2), 66-75. Doi: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). Plan de Acondicionamiento territorial de la provincia de Chachapoyas. Recuperado de: <http://eudora.vivienda.gob.pe/>

Miranda, R., Puy, M. J., & Martínez, J. (2007). El árbol: Fuente de información en las ciencias de la tierra. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 14(67), 41-43.

Moya, J., & Lara, A. (2010). Cronologías de ancho de anillos de queñoa (*Polylepis tarapacana*) para los últimos 500 años en el Altiplano de la región de Arica y Parinacota, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 32, 165-173. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000200007>

Nehrbass-Ahles, C., Babst, F., Klesse, S., Nötzli, M., Bouriaud, O., Neukom, R., Dobbertin, M., & Frank, D. (2014). The influence of sampling design on tree-ring-based quantification of forest growth. *Global Change Biology*, 20(9), 2867-2885. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.12599>

- Novak, K. (2017). Características de los anillos de crecimiento de *Pinus halepensis* en el Mediterráneo (Tesis de Doctorado, Universidad de Alicante). Recuperado de: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/69853/1/tesis\\_klemen\\_novak.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/69853/1/tesis_klemen_novak.pdf)
- Ortega, D. (2014). Evaluación de la influencia del raleo en el crecimiento de *Pinus patula* Schl. Et Cham. Aplicando técnicas dendrocronológicas en plantaciones de Cajamarca - Perú (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/867>
- Ortega, M., & Camarero, J. (2019). Dendrocronología. La historia contada por los árboles. Naturalmente. Recuperado de: <http://arboreo.org/wp-content/uploads/2018/12/arboreo-publicacion-dendrocronologia-historia-web.pdf>
- Ortiz, E. (2015). Desarrollo de una secuencia dendroarqueológica del Complejo Astronómico Chankillo usando *Prosopis sp.* en Casma. Región Ancash (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura). Recuperado de: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1694/CIE-ORT-VAR-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ospina, C., Hernández, R., Aristizabal, F., Patiño, J., & Salazar, J. (2003). El cedro negro: Una especie promisoría de la zona cafetera. Cenicafé, 41. Recuperado de: <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot025.pdf>
- Panyushkina, I. (2011). Dendrochronology. ResearchGate. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/259220539\\_Dendrochronology](https://www.researchgate.net/publication/259220539_Dendrochronology)
- Patón, D., & Cuenca, J. (2014). Conceptos de Dendrocronología. Academia. Recuperado de: [https://www.academia.edu/3204844/Concepto\\_de\\_Dendrocronolog%C3%ADa](https://www.academia.edu/3204844/Concepto_de_Dendrocronolog%C3%ADa)
- Perales, E. (2012). *Juglans neotropica* Diels. «Nogal». Ficha técnica. Recuperado de: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/download/654/638>.



- Pereyra, M. (2011). Potencialidad de *Cedrela odorata* L. para estudios dendroclimáticos y dendroecológicos en selva central del Perú (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú). Recuperado de: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2601>
- Ramos, R., Murillo, O., & Gallo, L. (2020). Potencial de mejoramiento genético en *Juglans neotropica* Diels, a los 10 meses de edad en Tunshi, Chimborazo. Knowledge E, VI Congreso Internacional Sectei 2019, 562-575. Doi: <https://doi.org/10.18502>
- Reis-Avila, G., & Morales, J. (2017). Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. *Dendrochronologia*, 44, 103-116. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.04.002>
- Reynel, C., & Marcelo, J. (2009). Árboles de los ecosistemas forestales andinos. Manual de identificación de especies. Intercooperación Fundación Suiza. Recuperado de: <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/02190ca87f921d9feb250ae672ae6653.pdf>
- Rivera, C. (2013). Potencial dendrocronológico de árboles de la amazonia colombiana (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/9561/1/carolinariverabuiles.2013.pdf>
- Rojas, M., Álvarez, C., Le Quesne, C., Velásquez, G., Hadad, M., & Duncan, C. (2017). Anomalías anatómicas en anillos de crecimiento anuales de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic-Serm. Et Bizzarri en el norte de su rango de distribución. *Gayana. Botánica*, 74(2), 269-281. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432017000200269>
- Rosero, J. (2009). Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru. Universidad de Sao Pablo. Recuperado de: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-18052009-165913/pt-br.php>

- Rosero, J. (2011). Análisis Dendrocronológico de tres especies forestales del Bosque seco Ecuatorial Estacional (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1671>
- Rozendaal, D., & Zuidema, P. (2011). Dendroecology in the tropics: A review. *Trees*, 25(1), 3-16. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0480-3>
- Schollaen, K., Heinrich, I., Neuwirth, B., Krusic, P. J., D'Arrigo, R. D., Karyanto, O., & Helle, G. (2013). Multiple tree-ring chronologies (ring width,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) reveal dry and rainy season signals of rainfall in Indonesia. *Quaternary Science Reviews*, 73, 170-181. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.05.018>
- Schöngart, J., Piedade, M. T. F., Ludwigshausen, S., Horna, V., & Worbes, M. (2002). Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology*, 18(4), 581-597. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467402002389>
- Schweingruber, F. (2007). Wood Structure and Environment. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-48548-3>
- Sheppard, P. (2010). Dendroclimatology: Extracting climate from trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(3), 343-352. Doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.42>
- Soliz-Gamboa, C., Rozendaal, D., Ceccantini, G., Angyalossy, V., van der Borg, K., & Zuidema, P. (2010). Evaluating the annual nature of juvenile rings in Bolivian tropical rainforest trees. *Trees*, 25, 17-27. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0468-z>
- Stulz, R., & Mukerji, K. (1997). *Materiales de construcción apropiados (Primera edición)*. SKAT. Recuperado de: <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0b.htm>

- Thái. (2010). La Madera: Anillos de Crecimiento. Recuperado de: <https://quimicasthai.wordpress.com/2010/03/16/la-madera-anillos-de-crecimiento/>
- Tomazello, M., Botosso, P., & Lisi, C. (2001). Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: Dendrocronologia e dendroclimatologia. *Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicações*, 117-143. Recuperado de: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50917/1/Mattos-Botosso.pdf>
- Tomazello, M., & Cardoso, N. (1999). Seasonal variations of the vascular cambium of *Tectona grandis* in Brazil. Wimmer, R. & R. E. Vetter (eds.) *Tree-ring Analysis: Biological Methodological and Environmental Application*. CABI Publishing, Oxford., 45-67. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1125786504700053>
- UICN. (2018). The IUCN Red List of Threatened Species. IUCN Red List of Threatened Species. Recuperado de: <https://www.iucnredlist.org/en>
- Urrutia, R. (2002). Desarrollo de una cronología de anchos de anillos para alerce (*Fitzroya cupressoides*) y reconstrucción de la historia de incendios en el área de Abtao, parque nacional Chiloé, X región (Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica de Chile). Recuperado de: [http://www.dendrocronologia.cl/pubs/2002\\_Urrutia\(TesisFor\).pdf](http://www.dendrocronologia.cl/pubs/2002_Urrutia(TesisFor).pdf)
- Vera, A., Ortega, D., Pérez, P., Rosero, J., & Chavesta, M. (2011). Avances en la caracterización e identificación anatómica de los anillos de crecimiento de la especie *Junglans neotropica* Diels (Nogal) para estudios dendrocronológicos en el fundo La Génova, Junín (Perú). *Xilema*, 24(1), 5-11. Doi: <https://doi.org/10.21704/x.v24i1.659>
- Villalba, R., Villagra, P., Boninsegna, J., Morales, M., & Moyano, V. (2000). Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *Prosopis*. *Multequina*, 9, 1-18. Recuperado de:

[https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/09\\_02/9\\_2\\_1.pdf](https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal//multequina/indice/pdf/09_02/9_2_1.pdf)

Wiedenhoeft, A., & Miller, R. (2005). Handbook of Wood chemistry and wood composites, second edition. CRC Press. Recuperado de: <https://www.routledge.com/Handbook-of-Wood-Chemistry-and-Wood-Composites/Rowell/p/book/9781439853801>

Worbes, M. (2002). One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*, 20(1), 217-231. Doi: <https://doi.org/10.1078/1125-7865-00018>

Worbes, M. (2004). Tree-Ring Analysis. *Encyclopedia of Forest Sciences*, 586-599. Doi: <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00059-4>

Yaman, Ü. (2008). Variación en características cuantitativas de elementos de vaso en madera de *Juglans regia* en la región occidental del Mar Negro, Turquía. *Agrociencia*, 42(3), 357-365. Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-31952008000300010&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952008000300010&lng=es&nrm=iso)

Zang, C., & Biondi, F. (2013). Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia*, 31, 68-74. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.001>

Zegarra, L. (2018). Caracterización anatómica y dendrocronológica de *Gutteria hyposericea*, *Jacaranda copaia* y *Pourouma minor* de Junín, Perú (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3715>

Zúñiga, 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 (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/404>

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1: Datos de individuos muestreados del distrito de Leymebamba.**

<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altitud (msnm)</b>	<b>DAP (cm)</b>
<b>JN-L01</b>	S 06° 39' 45,4"	+/- 4	2077	21,70
	W 077° 47' 54,8"			
<b>JN-L02</b>	S 06° 39' 44,9"	+/- 6	2078	16,50
	W 077° 47' 55,6"			
<b>JN-L03</b>	S 06° 39' 51"	+/- 4	2100	15,60
	W 077° 47' 54,2"			
<b>JN-L04</b>	S 06° 39' 45,2"	+/- 3	2077	20,05
	W 077° 47' 55,45"			
<b>JN-L05</b>	S 06° 39' 57,6"	+/- 6	2101	24,00
	W 077° 48' 0,82"			
<b>JN-L06</b>	S 06° 39' 59,7"	+/- 6	2096	36,00
	W 077° 48' 1,61"			
<b>JN-L07</b>	S 06° 39' 59"	+/- 6	2101	27,50
	W 077° 48' 30"			
<b>JN-L08</b>	S 06° 40' 2,77"	+/- 4	2106	30,70
	W 077° 48' 1"			
<b>JN-L09</b>	S 06° 36' 38,5"	+/- 3	2014	28,00
	W 077° 48' 43"			
<b>JN-L10</b>	S 06° 36' 46,5"	+/- 3	2027	44,00
	W 077° 48' 39,9"			
<b>JN-L11</b>	S 06° 37' 16,9"	+/- 3	2027	34,00
	W 077° 48' 49,4"			
<b>JN-L12</b>	S 06° 37' 16,9"	+/- 3	2027	29,9
	W 077° 48' 49,4"			
<b>JN-L13</b>	S 06° 38' 9,9"	+/- 3	2042	29,8
	W 077° 48' 41,2"			
<b>JN-L14</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	40,20
	W 077° 47' 50,8"			
<b>JN-L15</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	34,00
	W 077° 47' 51,4"			
<b>JN-L16</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	29,00
	W 077° 47' 51,4"			
<b>JN-L17</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	35,60
	W 077° 47' 51,4"			
<b>JN-L18</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	31,20
	W 077° 47' 51,4"			
<b>JN-L19</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	36,20
	W 077° 47' 51,4"			
<b>JN-L20</b>	S 06° 39' 21,6"	+/- 3	2083	34,50
	W 077° 47' 51,4"			

**Anexo 2: Datos de individuos muestreados del distrito de Magdalena.**

<b>Código</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altitud (msnm)</b>	<b>DAP (cm)</b>
<b>JN-M01</b>	S 06° 19' 9,8"	+/-24	1673	79,00
	W 077° 56' 49,2"			
<b>JN-M02</b>	S 06° 20' 53,1"	+/-3	1760	34,00
	W 077° 55' 41,6"			
<b>JN-M03</b>	S 06° 21' 18,1"	+/-4	1760	43,80
	W 077° 54' 34,9"			
<b>JN-M04</b>	S 06° 21' 58,9"	+/-5	1787	70,00
	W 077° 54' 53,9"			
<b>JN-M05</b>	S 06° 21' 59,3"	+/-2	1768	56,00
	W 077° 54' 55,5"			
<b>JN-M06</b>	S 06° 21' 59"	+/-3	1770	47,00
	W 077° 54' 57,1"			
<b>JN-M07</b>	S 06° 21' 57,9"	+/-6	1771	47,00
	W 077° 54' 57,9"			
<b>JN-M08</b>	S 06° 21' 58,7"	+/-6	1740	43,70
	W 077° 54' 58,4"			
<b>JN-M09</b>	S 06° 21' 59,6"	+/-6	1739	31,00
	W 077° 54' 58,2"			
<b>JN-M10</b>	S 06° 25' 39,1"	+/-3	1824	36,30
	W 077° 52' 35,6"			
<b>JN-M11</b>	S 06° 25' 34,2"	+/-2	1848	33,60
	W 077° 52' 34,8"			
<b>JN-M12</b>	S 06° 25' 00,9"	+/-3	1828	34,10
	W 077° 52' 19"			
<b>JN-M13</b>	S 06° 25' 00,9"	+/-3	1828	43,70
	W 077° 52' 19"			
<b>JN-M14</b>	S 06° 24' 58,5"	+/-3	1857	42,40
	W 077° 52' 20,7"			
<b>JN-M15</b>	S 06° 23' 36,5"	+/-2	1803	27,40
	W 077° 53' 49,6"			
<b>JN-M16</b>	S 06° 23' 35,3"	+/-2	1816	18,00
	W 077° 53' 50,3"			
<b>JN-M17</b>	S 06° 23' 33,1"	+/-3	1816	43,00
	W 077° 53' 51,2"			
<b>JN-M18</b>	S 06° 23' 32,9"	+/-6	1808	51,20
	W 077° 53' 50,1"			
<b>JN-M19</b>	S 06° 23' 32,9"	+/-6	1808	40,60
	W 077° 53' 50,1"			
<b>JN-M20</b>	S 06° 23' 32,1"	+/-4	1808	23,00
	W 077° 53' 51"			
<b>JN-M21</b>	S 06° 23' 31,6"	+/-3	1808	44,00
	W 077° 53' 51,2"			
<b>JN-M22</b>	S 06° 23' 35,3"	+/-3	1805	26,00
	W 077° 53' 48,6"			

**Anexo 3: Intercorrelación de series cronológicas del distrito Leymebamba a partir de los anchos de anillos de crecimiento en *Juglans neotropica*.**

Secuencia	Serie	Intervalo	Intercorrelación	
			Periodo 1975-2024	Periodo 2000 - 2049
1	JN_L02-A	2005 - 2018		0.58
2	JN_L02-B	2005-2018		0.28B
3	JN_L04-A	1992-2017	0.43	
4	JN_L04-B	2006 - 2017		0.82
5	JN_L05-B	1994 - 2014	0.49	
6	JN_L06B	1980 - 2018	0.62	
7	JN_L08B	1992 - 2016	0.77	
8	JN_L09-A	1997 - 2018	0.40B	
9	JN_L09-B	1995 - 2016	0.43	
10	JN_L10A	1987 - 2018	0.42	
11	JN_L10B	1994 - 2015	0.32A	
12	JN_L10C	1990 - 2015	0.22B	
13	JN_L11-B	2007 - 2018		0.65
14	JN_L12B	1999 - 2018	0.73	
15	JN_L12C	1999 - 2017	0.62	
16	JN_L14A	1993 - 2017	0.42	
17	JN_L14B	1992 - 2016	0.56	
18	JN_L15A	2001 - 2018		0.31B
19	JN_L15B	1995 - 2017	0.34	
20	JN_L17-A	1990 - 2016	0.46	
21	JN_L17-B	1991 - 2018	0.37B	
22	JN_L18A	1993 - 2018	0.57	
23	JN_L18B	1997 - 2018	0.48	
24	JN_L19A	1992 - 2016	0.42	
25	JN_L20A	2002 - 2017		0.59
<b>Correlación promedio</b>			0.48	0.54

A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones más elevadas que en otras posiciones.



**Anexo 4: Intercorrelación de series cronológicas del distrito de Magdalena a partir de los anchos de anillos de crecimiento para *Juglans neotropica*.**

Secuencia	Serie	Intervalo	Intercorrelación		
			Periodo 1950-1999	Periodo 1975 - 2024	Periodo 2000 - 2049
1	JN_M01-B	1997 - 2018		0.42B	
2	JN_M02-B	1985 - 2018		0.28B	
3	JN_M03-A	1993 - 2018		0.25B	
4	JN_M04	1973 - 2018	0.34		
5	JN_M08	1972 - 2018	0.32A		
6	JN_M09-A	1998 - 2018		0.38	
7	JN_M09-B	1999 - 2018		0.41B	
8	JN_M10-A	1994 - 2018		0.12B	
9	JN_M10-B	1993 - 2018		0.65	
10	JN_M11-A	2000 - 2018			0.44B
11	JN_M13-A	1981 - 2018		0.44	
12	JN_M13-B	1996 - 2018		0.71	
13	JN_M15-A	2003 - 2018			0.14B
14	JN_M16-	1982 - 2018		0.22B	
15	JN_M17-B	1988 - 2018		0.20A	
16	JN_M19-A	1972 - 2018	0.30A		
17	JN_M21-A	1973 - 2018	0.32A		
18	JN_M21-B	1972 - 2018	0.31A		
19	JN_M22-B	1997 - 2018		0.47	
<b>Correlación promedio</b>			0.32	0.38	0.29

A: Correlación máxima obtenida; B: Presencia de correlaciones más elevadas que en otras posiciones