

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Biología



**Determinación del potencial dendrocronológico de *Pinus hartwegii* Lindl. (Pinaceae) en el volcán Acatenango, Chimaltenango, Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por Karen Andrea Samayoa Pacheco para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

2018



Determinación del potencial dendrocronológico de *Pinus hartwegii*  
Lindl. (Pinaceae) en el volcán Acatenango, Chimaltenango,  
Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Biología



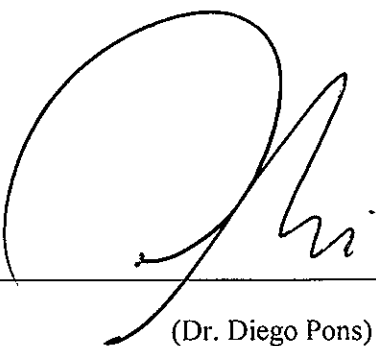
**Determinación del potencial dendrocronológico de *Pinus hartwegii* Lindl. (Pinaceae) en el volcán Acatenango, Chimaltenango, Guatemala.**

Trabajo de graduación presentado por Karen Andrea Samayoa Pacheco para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

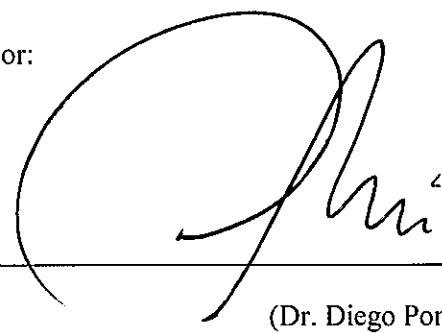
2018

Vo. Bo. Asesor Principal

(f)   
\_\_\_\_\_

(Dr. Diego Pons)


Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_

(Dr. Diego Pons)

(f)   
\_\_\_\_\_

(M.Sc. Gabriela Alfaro)

(f)   
\_\_\_\_\_

(Licda. María Renee Álvarez)

Fecha de aprobación: Guatemala, 31 de enero de 2018

## **PREFACIO**

El estudio dendrocronológico implica grandes retos en nuestro país debido a que el mal manejo de las áreas forestales ha acabado con gran parte de los bosques naturales. La situación de seguridad en Guatemala y la falta de acuerdos entre el gobierno y las comunidades que viven en algunas de las áreas con bosques remanentes es otro reto que limita el estudio de los árboles, su ecología y su fenología. Desde que inicié mi proceso en este trabajo tuve muy claro que a partir de los árboles se puede obtener información sumamente valiosa para reconstruir la historia de nuestro país y sus bosques nativos.

A medida que comprendía mejor la dendrocronología como ciencia y todas sus aplicaciones me fascinaba más por el potencial que tenía en mis manos cuando analizaba cada muestra y de todo lo que queda por hacer en Guatemala, todo lo que podemos lograr, hasta donde nos podemos expandir y hasta donde podemos llegar a reconstruir nuestra historia climatológica.

El trabajo que presento es un producto del esfuerzo y la dedicación invertidos por más de seis meses desde la recolección hasta el análisis de cada una de las muestras, pero detrás de todo esto existen personas que fueron piezas fundamentales en el desarrollo de esta investigación, ya que sin ellos no habría logrado cumplir mis objetivos.

A todos gracias por tanto y por todo:

A mis papás por su apoyo incondicional y por siempre impulsarme a seguir adelante. Gracias por estar allí para mí en los momentos de estrés y en los de alegría, por apoyarme en todo momento y por celebrar cada pequeña victoria conmigo. Gracias por permitirme creer en mí, por dejarme volar alto y por ayudarme a levantarme cuando caía. Gracias también por el apoyo económico para desarrollar el proyecto.

A mi asesor, el Dr. Diego Pons, ya que sin ti hubiera sido imposible el desarrollo de este trabajo. Gracias por el conocimiento compartido, por enseñarme a usar las herramientas técnicas y de análisis, por el tiempo que me brindaste durante todo el proceso, por siempre tomarme en cuenta, pero sobre todo gracias por compartir tu pasión por la ciencia conmigo.

A Martín Viteri por tu apoyo en el trabajo de campo y a lo largo del desarrollo del proyecto.

A mi hermano Iván por ser mi ejemplo en todo momento. Gracias por apoyarme siempre en todo lo que hago sin cuestionar nada, pero también por ayudarme a siempre tener los pies en la tierra.

A Héctor Quino Aparicio por su ayuda en el trabajo de campo y por ser un excelente guía del Volcán Acatenango.

Al Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB) de la Universidad del Valle de Guatemala por permitirme utilizar el equipo y las instalaciones para llevar a cabo la investigación.

A la Universidad de Columbia y la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF) por los fondos para obtener el equipo necesario para operar el laboratorio de Dendrocronología.

## CONTENIDO

PREFACIO.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. Antecedentes.....	2
B. Justificación.....	13
C. Objetivos.....	14
II. METODOLOGÍA.....	15
A. Sitio de estudio.....	15
B. Trabajo de campo.....	16
C. Trabajo de laboratorio.....	17
D. Análisis de datos.....	19
III. RESULTADOS.....	21
IV. DISCUSIÓN.....	27
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
VII. LITERATURA CITADA.....	35
VIII. APÉNDICES.....	41
A. Distribución de los estudios reportados con datos de anillos de árboles.....	41
B. Resultados desplegados en COFECHA.....	42
C. Cronología individual para los radios de las muestras de <i>P. hartwegii</i> ....	53
D. Correlación mensual y estacional de las series de los anillos contra los valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá para los años de 1976 a 2016.....	53

E. Cuadro de características de cada árbol.....	54
F. Cuadros de datos de estaciones climáticas.....	55

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro No. 1.</b> Datos brutos de DAP y edad de los árboles muestreados.....	21
<b>Cuadro No. 2.</b> Resultados de COFECHA.....	23
<b>Cuadro No. 3.</b> Datos de los árboles muestreados.....	54
<b>Cuadro No. 4.</b> Datos mensuales de precipitación en Santa Cruz Balanyá.....	55
<b>Cuadro No. 5.</b> Datos mensuales de temperatura en Santa Cruz Balanyá.....	56

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del corte transversal de un árbol.....	2
<b>Figura 2.</b> Modelo de un sitio óptimo para la toma de muestras (en donde el árbol sufre mayor sensibilidad a los cambios climáticos anuales).....	4
<b>Figura 3.</b> Morfología de las hojas y conos de <i>P. hartwegii</i> .....	7
<b>Figura 4.</b> Mapa de distribución de <i>P. hartwegii</i> .....	8
<b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación del municipio de estudio.....	9
<b>Figura 6.</b> Temperatura por año en la estación meteorológica de Santa Cruz Balanyá.....	10
<b>Figura 7.</b> Precipitación por año en la estación meteorológica de Santa Cruz Balanyá....	10
<b>Figura 8.</b> Mapa de cobertura forestal para el departamento de Chimaltenango .....	11
<b>Figura 9.</b> Puntos de muestreo.....	15
<b>Figura 10.</b> Método de extracción de las muestras en el tronco del árbol.....	16

<b>Figura 11.</b> Diagrama de lados A, B y C para toma de muestras.....	17
<b>Figura 12.</b> Skeleton plots de las muestras utilizadas para el estudio.....	18
<b>Figura 13.</b> Fechado con marcas sobre la muestra del árbol.....	19
<b>Figura 14.</b> Anillo correspondiente para el año 2017 en tres diferentes etapas de crecimiento y mapa de distribución de los pinos.....	22
<b>Figura 15.</b> Diagrama de spaguetti.....	24
<b>Figura 16.</b> Comparación de la cronología maestra de residuales de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl. con la cronología para los fenómenos Niño y Niña obtenida del Centro de Predicciones Climáticas.....	26
<b>Figura 17.</b> Distribución de estudios reportados con información de anillos de árboles...41	
<b>Figura 18.</b> Distribución de estudios reportados para Centro América y Sur de México con información de anillos de árboles.....	41
<b>Figura 19.</b> Cronología individual para los radios de las muestras de <i>Pinus hartwegii</i> ...53	
<b>Figura 20.</b> Correlación mensual, estacional -3 meses- y estacional -6 meses- de las Series de los anillos contra valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá con $\alpha = 0.05$ .....	53
<b>Figura 21.</b> Correlación mensual, estacional -3 meses- y estacional -6 meses- de las series de los anillos contra valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá con $\alpha = 0.1$ .....	54

## RESUMEN

El aumento en el xilema y floema componen el crecimiento radial del árbol por medio de la formación de anillos de crecimiento estacionales. Cuando los anillos de crecimiento son formados de forma anual es posible obtener muestras con patrones repetidos de eventos climáticos que han afectado potencialmente a varios árboles de una región a lo largo del tiempo (Schweingruber, 1988).

En este estudio se buscó determinar el potencial dendrocronológico del *Pinus hartwegii* Lindl. en el municipio de Acatenango, Chimaltenango en Guatemala. Para lograrlo fue necesario establecer la formación de anillos de crecimiento anuales para los ejemplares de *P. hartwegii* presentes en la región y determinar la influencia del clima en el crecimiento radial de *P. hartwegii*.

Los resultados obtenidos en COFECHA para los valores de intercorrelación de series y sensibilidad media fueron 0.468 y 0.259 respectivamente, lo que permite evidenciar la presencia de una señal la cual podría ser interpretada como la señal climática común.

Adicionalmente se analizaron las potenciales correlaciones climáticas que tienen una influencia significativa en el crecimiento de los anillos. Una comparación de la cronología maestra contra la cronología generada por el centro de predicciones climáticas para los eventos Niña demostró que el crecimiento radial de la especie se ve beneficiado de forma positiva con los años que ocurrió el evento del niño en la región 3.4.

Estos resultados permitieron brindar evidencia suficiente para definir la formación de anillos de crecimiento anuales para esta especie, lo que permitió establecer el *Pinus hartwegii* Lindl. como una especie con potencial dendrocronológico en el municipio de Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. Este primer paso nos permite establecer la especie para que sea utilizada en el sitio para futuros estudios de reconstrucción del clima histórico en esta región tan importante para la agricultura en el país.

# I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta una serie de pasos a seguir para lograr la extracción adecuada y análisis de las muestras dendrocronológicas de *Pinus hartwegii* Lindl. en la región de Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. También se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis de las muestras, los cuales fueron la base y el fundamento para determinar el potencial dendrocronológico de *Pinus hartwegii* Lindl. y la formación de anillos anuales en los ejemplares muestreados. Esto a su vez permitió generar discusión sobre la influencia del clima en el crecimiento radial de esta especie.

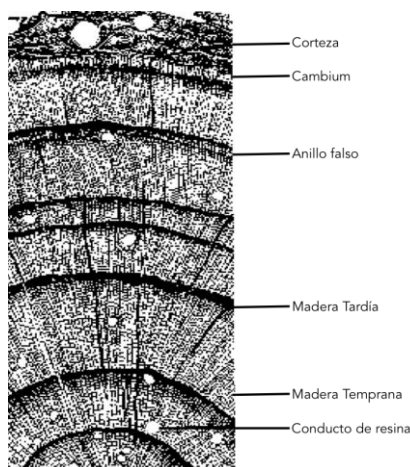
Mediante la aplicación de técnicas dendrocronológicas fue posible extraer centros de árboles con información sumamente valiosa para lograr la identificación de los patrones climáticos que influyen en el crecimiento radial de la especie. De esta forma es posible generar reconstrucciones climáticas en futuros estudios que permitan crear estrategias funcionales para enfrentar el cambio climático.

Para obtener las muestras, se trabajó en bosque de pino de 3000 a 3785 msnm ubicado en el volcán Acatenango, colectando dos a tres muestras por árbol con un barreno Pressler-Halof de 30 árboles presentes en la región. Posteriormente se realizó el análisis manual de las muestras el cual consistió en hacer un esquema de cada anillo de la muestra y fechar los anillos con la metodología propuesta por Stokes y Smiley (1968). Después se llevó a cabo el análisis digital de las muestras utilizando los softwares Measure J2X, COFECHA y R. El análisis digital permitió obtener los resultados del estudio mediante transformaciones logarítmicas que permitieron la estandarización de los datos obtenidos para obtener los valores de intercorrelación de series y sensibilidad media, y generar las cronologías individuales y cronología maestra a partir de todas las muestras.

## A. Antecedentes

**1. Dendrocronología.** El crecimiento de los árboles ocurre por la producción de anillos que se generan anualmente debido a nuevas células que se reproducen entre el tronco actual y la corteza del árbol (Carrer y Urbinati, 2004). La dendrocronología se ocupa de estudiar la secuencia del crecimiento de los anillos del árbol de forma cronológica (Ferguson, 1970). Este crecimiento anual se ve representado como anillos que están conformados por madera temprana, la cual es formada en la etapa inicial de crecimiento y madera tardía que es la que se forma en la etapa final del crecimiento anual del árbol. Ambos tipos de madera se pueden identificar debido a que son distintos en tamaño de células y color (Schweingruber, 1988).

**Figura 1.** Esquema del corte transversal de un árbol



**Fuente:** Ferguson, 1970

Existen criterios que deben tomarse en cuenta al momento de elegir el árbol para obtener una muestra. En estudios donde se busca analizar crecimiento de los anillos es recomendado obtener como mínimo dos muestras por árbol y deben muestrearse 20 árboles por lo menos (Cook y Kairiukstis, 1990). Se consideran buenos ejemplares para tomar muestras los árboles que no presentan competencia con el resto de árboles de su alrededor, que no tienen cuerpos de agua cerca y que no muestran daños externos en la corteza (Ferguson, 1970; Cook y Kairiukstis, 1990).

La metodología de Andrew Ellicott Douglass (1914) conocida como “The Douglass Method” utilizada para la toma de muestras en ejemplares vivos es uno de los aportes más importantes para esta ciencia. Esta consiste en la extracción de una muestra del tronco en árboles vivos, la muestra debe tener un diámetro aproximado de cinco milímetros por lo que no hay daño o modificaciones radicales en los árboles (Kuniholm, 2001).

**a. Principios de la Dendrocronología.** Los principios de la dendrocronología se han establecido mediante extensa investigación, observaciones y experiencia y deben tenerse presentes y cumplirse siempre que se busque hacer un estudio de esta índole (Fritts 1971).

1) Principio de uniformidad. Propuesto en 1785 por James Hutton, este principio establece que todos los procesos biológicos y físicos que relacionan el clima actual con los cambios en el crecimiento del árbol han existido y actuado de igual forma en el pasado (Fritts, 1971). Bajo este principio también se estipula la idea de que, al conocer las condiciones ambientales del pasado mediante el estudio de los anillos de los árboles, pueden hacerse predicciones para el futuro (Fritts y Swetnam, 1989).

2) Principio de factores limitantes. Este principio expone que existen “factores limitantes” que restringen procesos biológicos del árbol, para que estos no ocurran de forma más acelerada (Fritts, 1976). Cada uno de estos factores afecta de distinta forma al árbol y cada factor varía entre un año y otro. Esto permite suponer que los anillos más delgados, muestren años con condiciones más limitantes (Fritts, 1971).

3) Principio de crecimiento acumulado. Este principio sostiene que el crecimiento de cada uno de los anillos del árbol puede descomponerse en variables que interaccionan entre sí para generar mayor o menor crecimiento cada año. Para entender mejor este principio se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

Esta ecuación explica las variables que afectan al crecimiento del árbol ( $R_t$ ). La primera variable “ $A_t$ ” incluye todos los procesos fisiológicos propios del árbol que se relacionan a la edad, “ $C_t$ ” es el clima de cada año,  $\delta D1_t$  son las perturbaciones mayores que puedan ocurrir directamente a la masa boscosa como deforestación o caída de un árbol,  $\delta D2_t$  son perturbaciones menores para la masa forestal como plagas de insectos, y  $E_t$  es el error que no puede explicarse por otros procesos (Cook, 1987).

4) Principio de amplitud ecológica. El término “amplitud ecológica” hace referencia a los niveles de resistencia y tolerancia ambiental que tiene una especie para el ecosistema donde se encuentra (Sarmiento, 2001). Esta resistencia ambiental

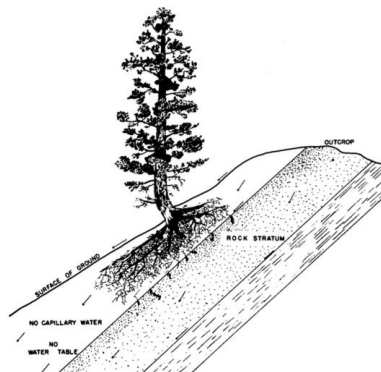
permite ampliar el rango de distribución de las especies, logrando su presencia en más hábitats (Fritts, 1976)

Cuando una especie amplaza su amplitud ecológica, pero se encuentra distribuida en distintos hábitats, ambas poblaciones pueden verse afectadas por los mismos factores climatológicos (Fritts, 1976).

5) Principio de selección del sitio. Al momento de elegir un sitio para tomar muestras deben tenerse en cuenta los principios de factores limitantes y amplitud ecológica (Figura 2). Las muestras que vayan a colectar deben de verse afectadas por los mismos factores ambientales y climáticos (Fritts, 1976).

La calidad de la muestra y cantidad de información que ésta presente va a depender mucho del sitio que se seleccionó para tomar las muestras. Es importante no elegir árboles que tengan cuerpos de agua cercanos ya que estos no presentarían sensibilidad al clima (Ferguson, 1970).

**Figura 2.** Modelo de un sitio óptimo para la toma de muestras  
(en donde el árbol sufre mayor sensibilidad a los cambios climáticos anuales).



**Fuente:** Ferguson, 1970

6) Principio de sensibilidad. Los árboles con mayor sensibilidad ambiental van a presentar anillos más variables debido a los cambios que sufre por el clima año con año (Fritts, 1976). Para determinar las oscilaciones de los anillos del árbol se utiliza una expresión estadística llamada sensibilidad media (Fritts, 1976).

La sensibilidad media se define como el promedio de la diferencia absoluta de cada dos anchos de anillos dividido por su media (Douglass, 1938). Esta variable estadística expresa la variación relativa entre el ancho de los anillos año con año (Ferguson, 1970).

7) Principio de cofecha. Es posible cofechar muestras debido a que condiciones ambientales similares afectan a todos los árboles de una región, limitando y afectando el crecimiento anual de los anillos. Cuando todos los árboles de una región se ven afectados por las mismas condiciones ambientales, las fluctuaciones año con año del crecimiento de los anillos serán similares en todas las muestras debido a variaciones sincronizadas en la estructura del anillo (Fritts, 1970).

La aplicación de este principio permite asignar un año calendario a cada anillo del árbol, de forma que se tiene un control experimental de los años en que los árboles fueron más afectados por el clima (Fritts, 1970). Esto también permite identificar áreas en donde pueden encontrarse anillos faltantes o anillos falsos dentro de las muestras (Fritts, 1976).

8) Principio de replicación. Establece que es recomendable obtener más de una muestra por árbol y más de un árbol por región ya que esto permite minimizar el ruido y maximizar la señal ambiental. De esta forma se pueden realizar estimaciones de clima más óptimas ya que se obtienen promedios y se refleja la variación estadística del crecimiento anual de los anillos por cada árbol (Fritts, 1970).

**b. Aplicaciones de la Dendrocronología.** Gracias al modelo presentado por Cook (1985), existe la posibilidad de independizar variables. Por ejemplo, mediante un análisis de regresión puede independizarse la variable de clima y el crecimiento de los anillos será la variable dependiente (Speer y Hansen-Speer, 2007).

Poder independizar variables y obtener cronologías residuales que presenten el efecto del resto de variables en la ecuación permite que la dendrocronología sea una ciencia aplicable en numerosos campos. Dentro de las aplicaciones de la dendrocronología más comunes pueden mencionarse (1) reconstrucciones de clima (2) ecología, mediante la determinación de brotes de insectos e historial de incendios, (3) calibración de radiocarbono. Otras aplicaciones adicionales en las que se aplica la dendrocronología son (4) geología localizando años con terremotos y erupciones volcánicas y (5) antropología determinando hábitats y disponibilidad de recursos en años pasados (LTRR Arizona, visitado: 20 de abril de 2017).

1) Reconstrucción de clima. Gracias a la dendrocronología es posible obtener información de temperaturas y precipitación anuales a lo largo de la historia, esto permite establecer la relación presente entre la planta y cantidad de agua, así como generar reconstrucciones del clima hacia el pasado (Gebrekirstos *et al.*, 2014). En el tronco del árbol se mantienen grabadas las señales de cualquier evento que haya sucedido, gracias a esto también se puede determinar los años en los que ocurrieron incendios en el bosque (Speer y Hansen-Speer, 2007).

La información conseguida mediante procesos dendrocronológicos es de suma importancia y puede compararse con los datos de estaciones meteorológicas del sitio para mayor control (Fritts, 1976).

2) Brotos de insectos. En el tronco del árbol se guarda registro de los años en que ocurrió brote de insectos lo que permite tener cierta evidencia del tiempo en que hubo menor disponibilidad de recursos para el bosque (Speer y Hansen-Speer, 2007).

3) Calibración de radiocarbono. Una muestra de un árbol es sumamente útil para ser utilizada en estudios para calibración de radiocarbono. Al obtener una muestra secuencial de los anillos de un árbol es posible realizar dataciones anuales y colocar un año calendario para los resultados obtenidos (Becker, 1993). De esta forma de podrán realizar calibraciones de la cantidad de  $C^{14}$  generado año con año de forma histórica (Becker, 1993).

**2. *Pinus hartwegii* Lindl.** Comúnmente conocido como Ocote o Pino de las alturas. Su hábitat está limitado estrictamente a alturas entre los 3000 a 3700 msnm. Son utilizados en la región aledaña al volcán para la construcción de casas, postes y como madera para fuego (Parker, 2008).

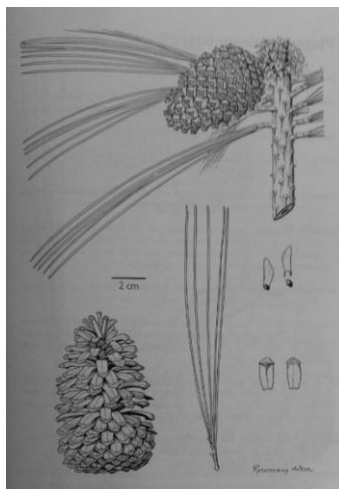
Está catalogado como una especie de menor preocupación según la lista roja de especies amenazadas de la UICN. A pesar de que su tronco tiene madera fuerte y con bastante resina, es poco explotado en todo el país debido a que su distribución limitada a sitios altos no permite el acceso de carros u otras fuentes de transporte para la madera

(Farjon, 2013). Esto sugiere que potencialmente aún se pueden encontrar árboles de viejos en el área de estudio.

**a. Morfología.** El Pino de Ocote (*Pinus hartwegii*) es un árbol que mide hasta 30 metros de alto y puede llegar a tener un metro de diámetro, su tronco es recto de corteza gruesa y bastante rugosa que se divide en placas escamosas grandes de color café grisáceo (Farjon *et al* 1997). La forma de la copa es bastante estrecha y sus ramas son firmes y rígidas con inclinación hacia arriba. (Parker, 2008).

Sus hojas son fasciculadas de color verde grisáceo y se encuentran en grupos de tres, eventualmente pueden encontrarse grupos de 4-5 hojas con un largo de 8-10 cm y 1.0-1.5 mm de ancho (Figura 3) (Farjon *et al.*, 1997). Tienen forma rígida o curva, con los estromas presentes en las superficies ventral y dorsal; poseen un margen levemente aserrado y usualmente presentan 1-2 canales de resina internos y 6-7 canales de resina medios. Presentan dos haces fibrovasculares bastante cerca uno del otro y vainas fasciculares resistentes de 10-15mm de largo (Parker, 2008).

**Figura 3.** Morfología de las hojas y conos de *P. hartwegii*



**Fuente:** Farjón *et al.*, 1997

Sus conos se soportan por pedúnculos escamosos y se encuentran de forma individual o en grupos de dos a seis, tienen forma ovalada u oblicua y miden de 8-10 cm de largo. El pedúnculo se disimula por las grandes escamas que presentan los conos en la parte basal. Las semillas son de color negro y miden de 10-11 mm de largo con cinco mm de ancho, presentan un “ala” de color café claro que mide 12-20 x 7-12 mm y generalmente tienen 5 cotiledones (Parker, 2008; Farjon *et al.*, 1997)

**b. Distribución.** *P. hartwegii* se encuentra presente en México, Honduras y Guatemala (Farjón, 2013). En Guatemala, puede encontrarse en los departamentos de Chimaltenango, Ciudad de Guatemala, Huehuetenango, Quezaltenango, Quiché, Sacatepéquez, San Marcos, Sololá y Totonicapán como se observa en la Figura 4 (Parker, 2008).

Esta especie puede encontrarse a lo largo de toda la cadena volcánica en bosques que estén a alturas mayores a los 3000 msnm donde *P. hartwegii* es la especie dominante. Aunque principalmente se encuentran bosques monotípicos de *P. hartwegii*, es probable encontrarlo con otros árboles de *Abies guatemalensis*, *Cupressus lusitanica* o *Juniperus sp.*, así como otras especies de *Quercus* (Farjón, 2013).

**Figura 4.** Mapa de distribución de *P. hartwegii*



**Fuente:** Earle, 2017. The Gymnosperm Database. Disponible en:

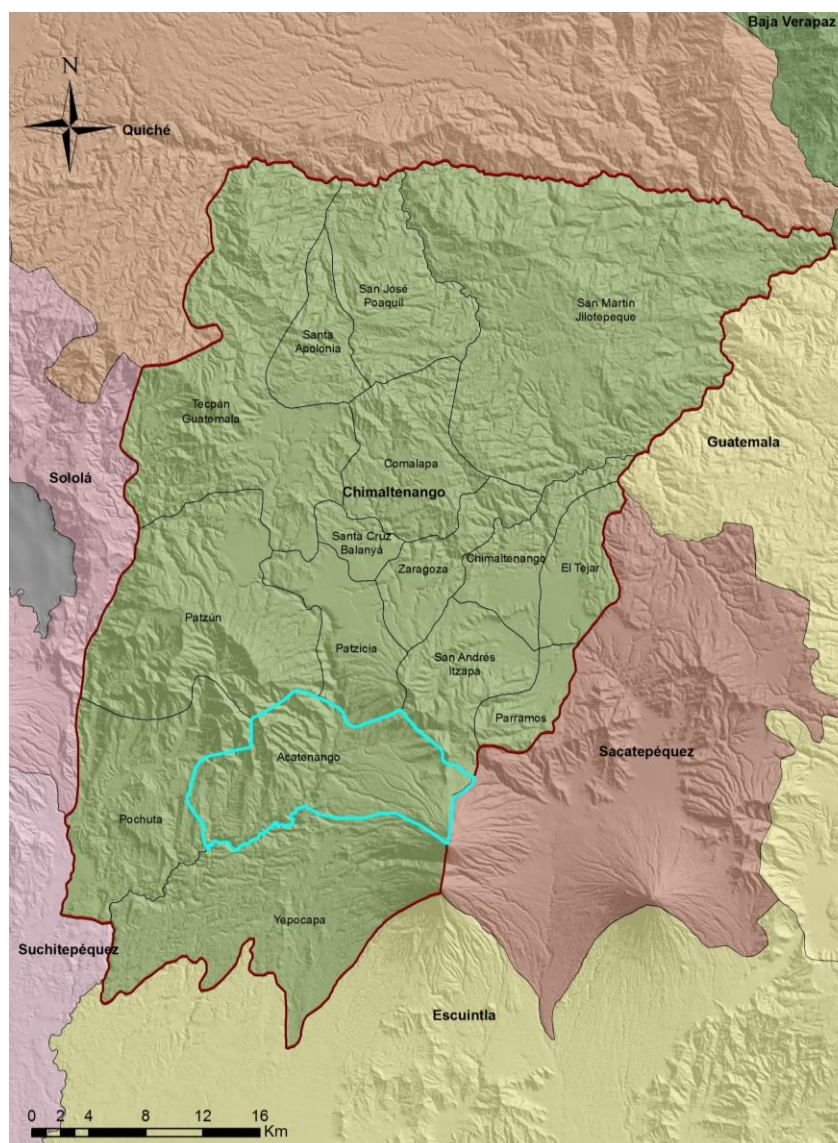
[http://www.conifers.org/pi/Pinus\\_hartwegii.php](http://www.conifers.org/pi/Pinus_hartwegii.php)

**3. Área de estudio.** El municipio de Acatenango (Figura 5) se encuentra a 85 kilómetros de la ciudad de Guatemala y está ubicado en el departamento de Chimaltenango a 30 km de la cabecera departamental. El territorio de Acatenango tiene una extensión de 172 km<sup>2</sup> y se encuentra limitado hacia el norte por los municipios de Patzicia, Zaragoza y Patzún,

hacia el sur por San Pedro Yepocapa, hacia el este colinda con San Andrés Itzapa y San Miguel Dueñas y hacia el oeste con Pochuta (SEGEPLAN, 2010).

Este municipio está conformado por un pueblo, 15 aldeas y 13 caseríos, siendo la Aldea “La Soledad” la más cercana al Volcán Acatenango (SEGEPLAN, 2010). Su población total para el año 2009 fue de 21, 454 personas de las cuales el 49% son hombres y el 51% mujeres (SEGEPLAN, 2010).

**Figura 5.** Mapa de ubicación del municipio de estudio

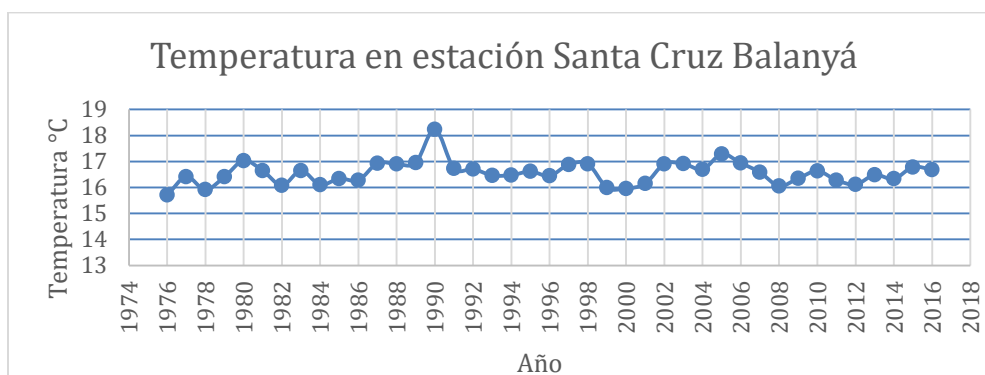


**Fuente:** Elaboración propia

**a. Clima.** El municipio de Acatenango está encuentra ubicado de 1450 msnm a 2426 msnm. Este municipio se encuentra rodeado por volcanes y montañas, hacia el Oeste del municipio se encuentra el Volcán Acatenango, hacia Este el este se puede apreciar el cerro de Balam Juyú y hacia el norte está la montaña El Socó (SEGEPLAN, 2010).

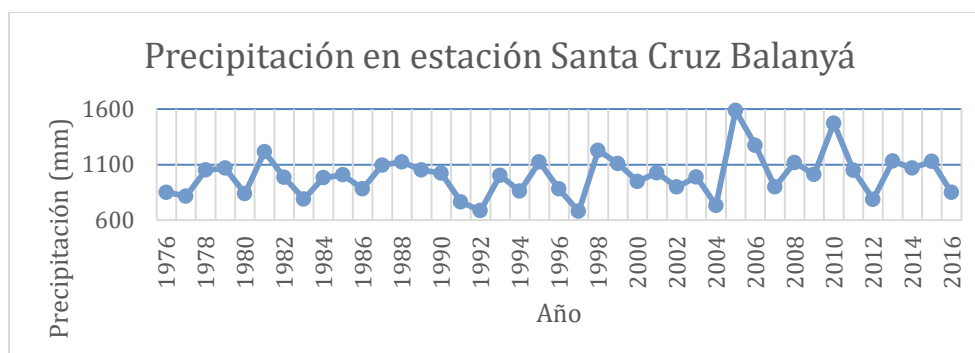
Presenta un clima bastante templado con las temperaturas más bajas principalmente en los meses de noviembre a enero. La estación meteorológica activa más cercana al municipio de Acatenango se encuentra en Santa Cruz Balanyá y presenta una temperatura promedio es de 18.8 °C (Figura 6), y precipitación anual promedio es de 1,027 mm (Figura 7). En los meses de noviembre a abril la precipitación promedio es de 124 mm y 1,575 mm de mayo a octubre (INSIVUMEH, 2017).

**Figura 6.** Temperatura por año en la estación meteorológica de Santa Cruz Balanyá



**Fuente:** Datos de INSIVUMEH, 2017

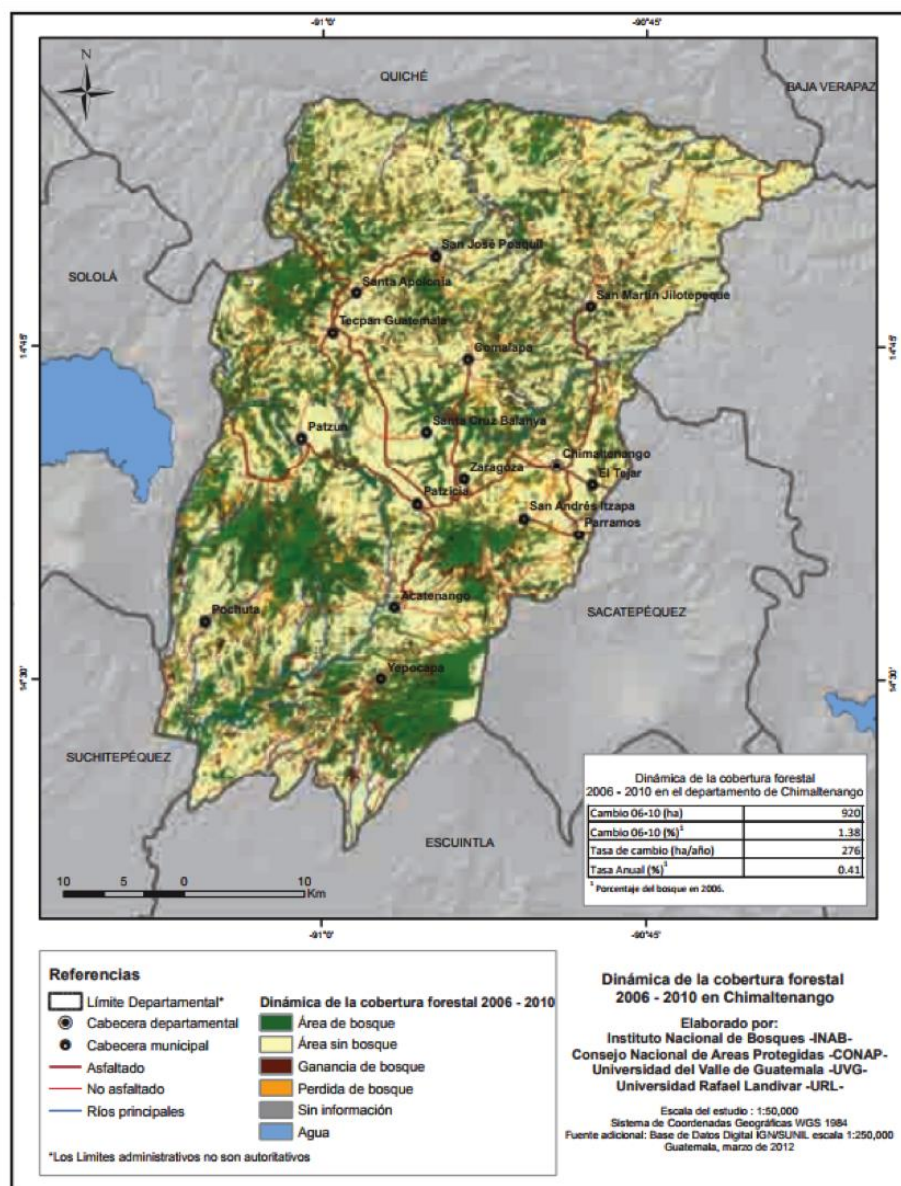
**Figura 7.** Precipitación por año en la estación meteorológica de Santa Cruz Balanyá



**Fuente:** Datos de INSIVUMEH, 2017

**b. Recurso ambiental.** El municipio de Acatenango está en la parte superior de la cuenca del río Coyolate y posee 9 ríos, 2 riachuelos y 16 quebradas (SEGEPLAN, 2001). El municipio presenta una topografía variada con pendientes entre 32% y 45% principalmente en la región del Volcán Acatenango, y pendientes de 12% a 32% en el territorio restante (SEGEPLAN, 2010). Según el informe realizado por Regalado y colaboradores, en 2012, Acatenango presentaba una cobertura forestal de 4, 447 hectáreas (Figura 8).

**Figura 8.** Mapa de cobertura forestal para el departamento de Chimaltenango



Fuente: Regalado *et al.* 2012

El complejo Acatenango-Fuego es conocido como una de las cuatro regiones montañosas con mayor diversidad en el país. El Volcán Acatenango se encuentra a 3,976 msnm y ha sido declarado área protegida desde el 2011. El Parque Regional Municipal Volcán Acatenango comienza a partir de los 2,150 msnm y presenta tres tipos de bosques a lo largo del recorrido (SEGEPLAN, 2010).

Comenzando las faldas del Volcán se encuentra la región sin protección, esta región abarca 119.5 km<sup>2</sup> y se pueden observar parcelas de monocultivos principalmente de milpa y café. La zona de amortiguamiento del Volcán ocupa 7.12 km<sup>2</sup> y comienza con bosque de encinos, luego se observa el segundo tipo de vegetación que pertenece al bosque mixto y por último se puede observar el bosque de pino y subpino. El pico del Volcán es catalogado como Zona de Veda Definitiva y esta región abarca 4.36 km<sup>2</sup> (SEGEPLAN, 2010).

En el intervalo de 3,000 a 3,976 msnm se han identificado más de 166 especies de plantas, que habitan desde el bosque mixto hasta el pico del Volcán Acatenango (CATIE, 2015). Según los pobladores del municipio se ha reportado la presencia de venados, ardillas, tatuacines, armados, gato de monte y tigrillo, así como una gran variedad de aves (Matas *et al.*, 2006).

**c. Uso del suelo.** El municipio de Acatenango se caracteriza por sus abundantes suelos arenosos y de alta fertilidad debido a la variación topográfica de la región. Según el registro de uso de suelo realizado por SEGEPLAN en 2001, solamente 63.63km<sup>2</sup> de la tierra es utilizada para cultivos perennes, mientras que el 48.58% de toda la tierra del municipio es utilizado para cultivo de café; el bosque natural ocupa 25.85% del territorio municipal dividido en 24.83km<sup>2</sup> que ocupa el bosque de coníferas del Volcán Acatenango y 9.03km<sup>2</sup> que ocupa el bosque de latifoliadas (SEGEPLAN, 2010).

## B. Justificación

El crecimiento de los anillos del árbol de forma anual representa información muy valiosa para entender mejor los cambios que ocurren en un bosque a lo largo del tiempo y cómo éste se ve afectado por factores climáticos a los que se encuentra expuesto (Pederson *et al.*, 2006). Considerables cambios en el clima han sido generados por factores antropogénicos, alterando los niveles actuales de precipitación, temperatura y evapotranspiración (Milly *et al.* 2008). Con esto se ven afectados los periodos de lluvia y sequías (Anchukaitis *et al.*, 2012), que son las variables de clima más significativas en los trópicos.

A pesar de que Coster (1927) describió la presencia de anillos anuales en los árboles de los trópicos, existe un vacío de información para la región tropical debido a que éstas son consideradas como tierras de humedad constante (Vicente-Serrano, 2012). En el mapa presentado por el Banco Internacional (2017) de Bases de Datos para información de anillos de árboles se puede percibir que existe una franja a nivel tropical sin cobertura de información.

Una de las principales razones por las que existe este vacío de información de carácter dendrocronológico en Guatemala es el hecho que hasta hace 6 años se comenzó a realizar estudios de esta índole en el país, con lo que se logró comprobar que, efectivamente, existe diferenciación en el crecimiento de los anillos año con año (Anchukaitis *et al.*, 2012; Pons *et al.* 2016).

La tasa de regeneración en los trópicos es muy alta, lo que acorta el ciclo de vida de las especies y eso a su vez limita la facilidad para encontrar ejemplares antiguos. Adicional a esto, vivimos en un país con alta tasa de deforestación, gran deficiencia de información climática y alta vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático. Como respuesta ante estos problemas surge la necesidad de ampliar el listado de especies con potencial dendrocronológico y de esta forma abarcar más regiones del país para el estudio y aplicación de estas técnicas.

El uso de especies con amplio rango de distribución para su determinación como especies potenciales en estudios dendrocronológicos permite extender la cantidad de sitios de muestreo para futuros estudios. *Pinus hartwegii* Lindl. es una de las especies que presenta amplia distribución en el territorio guatemalteco además de que su distribución a lo largo de toda la cadena volcánica permite generar información de carácter

dendrocronológico en todos los volcanes de Guatemala. Esto es sumamente importante ya que es en esta zona donde ocurre toda la recarga hídrica para obtener el agua de la costa que es la zona de mayor productividad agrícola en el país (Farjón, 2013). Adicional a esto se toma en cuenta que los bosques de los volcanes están catalogados como áreas protegidas, lo que facilita el acercamiento a especies forestales más antiguas.

Con lo expuesto, se considera necesario identificar la formación de anillos anuales y determinar la influencia del clima en el crecimiento radial de *Pinus hartwegii* Lindl. de forma que pueda clasificarse como una especie con potencial para este tipo de estudios y de esta manera ampliar el listado de especies con potencial dendrocronológico en el país. De la misma forma, se considera necesario realizar talleres e informar a las comunidades aledañas a Acatenango sobre los resultados obtenidos para generar más y mejores estrategias que permitan afrontar el cambio climático a nivel local.

## C. Objetivos

### 1. General

- Determinar el potencial dendrocronológico del Pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) en el municipio de Acatenango, Guatemala.

### 2. Específicos

- Establecer la formación de anillos de crecimiento anuales de los ejemplares de *P. hartwegii* presentes en la región de estudio.
- Determinar la influencia del clima en el crecimiento radial de *P. hartwegii*
- Generar la cronología maestra para las muestras colectadas de *P. hartwegii* colectadas en el volcán Acatenango
- Obtener los datos de intercorrelación de series y sensibilidad media de todas las muestras del estudio.



## A. Trabajo de campo

El trabajo de campo se llevó a cabo el 17 de junio de 2017 y se compuso por la selección de los árboles y la toma de muestras para el traslado de las mismas al laboratorio de dendrocronología del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad de la Universidad del Valle de Guatemala. Adicionalmente se tomó muestra botánica de uno de los especímenes muestreados para incluir la especie en el herbario de la Universidad del Valle de Guatemala.

**1. Selección de árboles.** Con el fin de maximizar influencia de la señal climática en el crecimiento radial del árbol, se seleccionaron cuidadosamente los árboles a muestrear bajo los siguientes criterios: (1) que el árbol a muestrear se encontrara lejos de cualquier cuerpo de agua, (2) lejos de caminos, (3) que no estuvieran creciendo en sitios planos y (4) que el sustrato en el que se encuentran creciendo fuera rocoso o arenoso (Schweingruber *et al.*, 1990).

**2. Toma de muestras.** Las muestras de árbol fueron tomadas utilizando un barreno Pressler-Halof (Carlón-Allende *et al.*, 2015) e introducidas en una pajilla de plástico de 6 mm de diámetro para almacenarlas en tubo portaplanos y de esta forma trasladarlas al laboratorio sin dañar las muestras (Figura 10).

Se muestreó un total de 30 árboles vivos, tomando dos a tres muestras por árbol. Cada árbol fue debidamente identificado marcando su ubicación en coordenadas UTM<sup>1</sup>, altura (msnm), número de árbol, especie, DAP, fecha de colecta y nombre del colector.

**Figura 10.** Método de extracción de las muestras en el tronco del árbol.



**Fuente:** Elaboración propia

<sup>1</sup> Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator

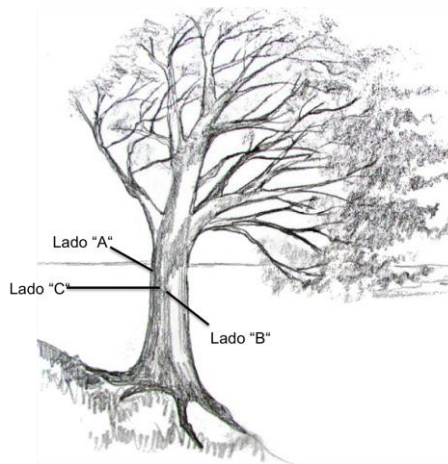
Para identificar las muestras extraídas se utilizó un código de identificación compuesto por tres letras, el número de árbol y una última letra adicional que hace referencia al lado del árbol al que pertenece la muestra. En este caso el código utilizado fue:

ACA##A

Donde “ACA” se refieren a la localidad de estudio (Acatenango), seguido del número del árbol que se estaba muestreando (árbol 01, 02, 03...) y la última letra “A” indica el lado del árbol al que pertenece la muestra. El lado directamente contrario a la pendiente es el lado C y viendo el árbol desde el lado C, el lado izquierdo es la muestra A y el lado derecho es la muestra B (Lewis *et al.*, 2006).

En este caso, el máximo de muestras tomadas por árbol fueron 3 y nunca se muestreó del lado de la pendiente ya que por razones de física y equilibrio el árbol tiende a poner mayor biomasa y generar más madera del lado de la pendiente para utilizarla como sostén (Pederson *et al.*, 2006).

**Figura 11.** Diagrama de lados A, B y C para toma de muestras



**Fuente:** Elaboración propia

## B. Trabajo de laboratorio

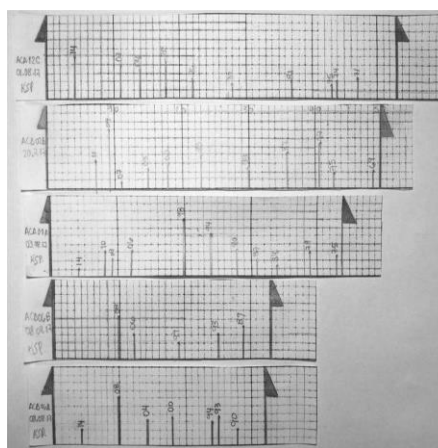
El trabajo de laboratorio abarca desde el momento en que las muestras son llevadas al laboratorio, hasta que están listas para realizar los análisis digitales y estadísticos que generan los resultados. El trabajo de laboratorio es sumamente importante ya que cada paso debe ejecutarse cuidadosamente para no dañar las muestras y obtener la mayor claridad posible para observar los anillos del cada árbol.

**1. Secado, montado y lijado de muestras.** Las muestras tomadas en campo fueron secadas al aire libre por un aproximado de siete días. Luego de sacar las muestras del tubo portaplanos y colocarlas sobre la mesa se realizaron pequeñas incisiones con una gillette en la pajilla en la que se encontraban las muestras, esto con el fin de que tuvieran mayor acceso a aire y evitar que se contaminaran con hongo. Posteriormente las muestras fueron sacadas de la pajilla cuidadosamente y se montaron en bases de madera de 1 cm de ancho por el largo necesario para abarcar toda la muestra. Las muestras fueron pegadas con cola blanca y se utilizó un pedazo de masking tape para mantenerlas fijas a la base. Luego de esto se colocó una plancha de madera encima de todas las muestras para generar peso y se dejaron por una semana y media para que la cola estuviera completamente seca.

Para observar con mayor claridad la sucesión de anillos presentes en las muestras fue necesario lijar las muestras. Cada muestra se lustró utilizando una lijadora automática y cuatro lijas de grosores A80, A120, A240 y A400. Al momento de lijar las muestras es necesario aplicar presión de manera uniforme para obtener un resultado recto y limpio de las muestras.

**2. Fechado de muestras.** El fechado de la sucesión anillos se realizó utilizando las técnicas propuestas por Stokes y Smiley en 1968 (Carlón-Allende *et al.*, 2015). El primer paso para el fechado fue realizar un skeleton plot de cada muestra (Figura 12). Los skeleton plots permiten alinear las cronologías observadas en todas las muestras de forma que al colocar todos los skeleton plots realizados se puedan observarse patrones de fenómenos que afectaron de forma similar a todos los árboles de la región (Stokes y Smiley, 1968).

**Figura 12.** Skeleton plots de las muestras utilizadas para el estudio



**Fuente:** Elaboración propia

También es importante marcar la muestra para registrar los anillos donde se cumple una década. Con lápiz se colocó un punto sobre cada anillo que marca una década, dos puntos sobre los anillos que marcan cinco décadas y tres puntos sobre el anillo que marca cada siglo como se observa en la Figura 13 (Stokes y Smiley, 1968).

**Figura 13.** Fechado con marcas sobre la muestra del árbol



**Fuente:** Elaboración propia

## C. Análisis de datos

**1. Medición digital de los anillos.** Se utilizó el software Measure J2X para realizar las mediciones del ancho de cada anillo. Este software permite tener un registro de los datos crudos de las mediciones realizadas y también proporciona herramientas para editar y crear nuevas series de datos (VoorTech Consulting, 1998-2016). Las muestras fueron medidas con 0.001 mm de precisión utilizando una estación Velmex e ingresando los datos de cada anillo a la plataforma del software MJ2X.

**2. Intercorrelación de series.** COFECHA permite obtener los resultados de intercorrelación de series y sensibilidad media, que son los valores estadísticos más importantes para determinar el potencial dendrocronológico de las especies. Para analizar las mediciones tomadas con MJ2X se utilizó el software COFECHA. Luego de ingresar el archivo con las mediciones crudas creado en MJ2X, se utilizaron los valores predeterminados que propone COFECHA para desplegar los resultados. El cuadro de resultados fue analizado detalladamente para asegurar que todas las muestras hayan sido ingresadas de forma correcta y presenten la correlación más alta posible con el resto de las muestras.

Cada vez que COFECHA señaló algún error en una de las muestras ingresadas fue necesario regresar al software MJ2X para editar la serie de muestras. Se procedió a eliminar

la muestra con el error y reingresarla, generando las mediciones de todos los anillos nuevamente. Luego de esto se realizó de nuevo el proceso de análisis con las muestras corregidas en COFECHA.

**3. Cronología maestra y cronologías individuales.** Se utilizó el software R con los paquetes Treeclim y dplR para generar las cronologías individuales y la cronología maestra del estudio. La cronología maestra de residuales se generó a partir de las cronologías individuales obtenidas, y se ve representada como una línea sola en la cual se ve expresado las oscilaciones presentes en cuanto al crecimiento radial en la totalidad de las muestras. Adicionalmente se agregó la línea de la media con un valor = 1 y se hizo una línea de suavización que representa las oscilaciones que ocurren a nivel de década en el crecimiento radial de los árboles. Por motivos de estética y visualización más clara la línea de suavización por década se colocó de color rojo.

Las cronologías individuales se comprimieron en un solo gráfico dando como resultado un diagrama de spaguetti. El diagrama de spaguetti muestra las cronologías estandarizadas para cada una de las muestras con las oscilaciones que presentaron en el crecimiento de los anillos. El otro gráfico con cronologías individuales que se generó fue un gráfico donde únicamente se observa la longitud de cada muestra en cuestión de años.

Como parte de un análisis exploratorio, se agregó en los anexos los resultados de las correlaciones mensuales y estacionales realizadas para identificar la variable climática de mayor influencia en el crecimiento de los anillos.

El primer paso fue ingresar las matrices con las mediciones instrumentales brindados por el INSIVUMEH para los datos climatológicos de precipitación y temperatura de las estaciones de San Martín Jilotepeque y Santa Cruz Balanyá. Utilizando la función “seascorr” se generó un análisis de correlación estacional (Seasonal (partial) correlation analysis), tomando la precipitación como variable climática primaria para generar la correlación y temperatura como la variable secundaria. El análisis se realizó con correlaciones a 1, 3 y 6 meses, tomando en cuenta los meses de septiembre a noviembre del año anterior. Los gráficos presentados contienen los resultados obtenidos a partir de la correlación con intervalos de confianza de 0.5 y 0.1 para evaluar la correlación estacional de la precipitación y temperatura de la estación de Santa Cruz Balanyá, con el crecimiento radial del árbol.

### III. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados generados a partir de las mediciones de los anillos de todas las muestras extraídas. Estos resultados se dividen en tres secciones, la primera es el análisis de las muestras en la cual se presenta un cuadro resumen de los datos brutos y un análisis del anillo de crecimiento para el año 2017. La segunda sección presenta el análisis de datos realizado con el software COFECHA y la tercera sección presenta los resultados de las cronologías individuales y cronología maestra generadas con el software R. Adicionalmente se entregó un espécimen colectado de *P. hartwegii* al herbario de la Universidad del Valle de Guatemala, el cual fue registrado bajo el código No. 19,850.

#### A. Análisis de muestras

El primer resultado que obtuve permite tener un primer acercamiento para conocer cómo se encuentran los árboles del bosque, principalmente los árboles muestreados en cuestión de edad. Como primer Cuadro de resultados, se presentan los datos crudos obtenidos a través de las mediciones de los anillos lo que permitió determinar la edad de las muestras obtenidas, y esto a su vez representa la edad para cada árbol. También se agrega el DAP en centímetros de cada árbol.

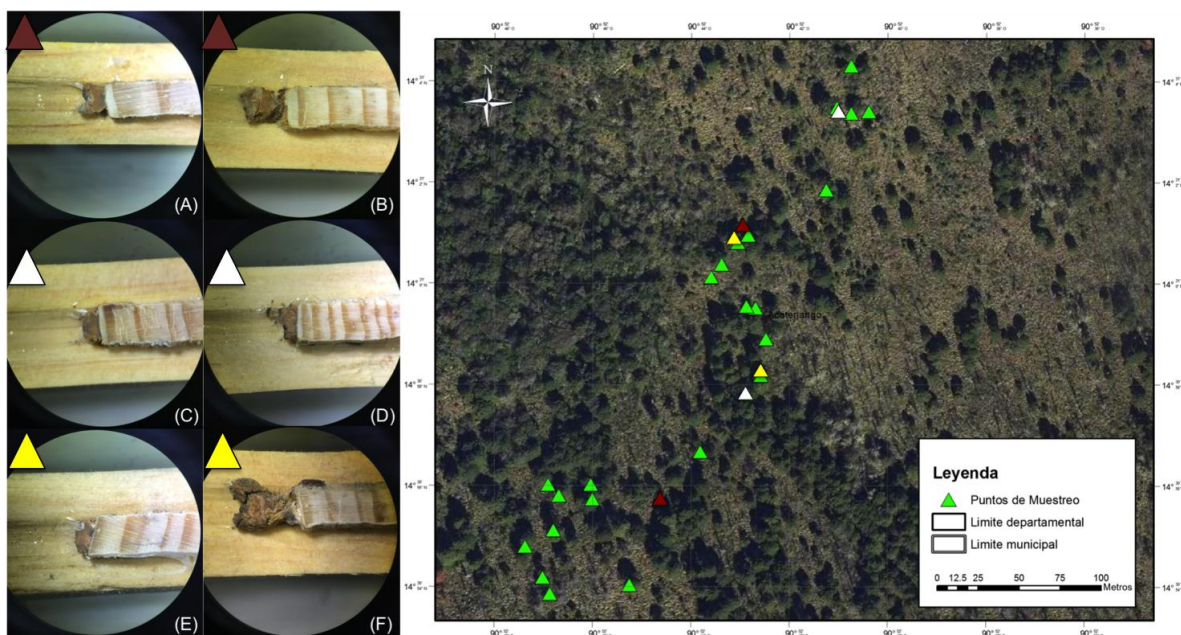
**Cuadro No. 1.** Datos brutos de DAP y edad de los árboles muestreados

Árbol	DAP (cm)	Edad (años)
ACA01	40.6	43
ACA02	-	-
ACA03	48.4	-
ACA04	56.1	29
ACA05	57.6	33
ACA06	47.6	32
ACA07	36	38
ACA08	49.3	38
ACA09	50.7	-
ACA10	36.6	38
ACA11	-	21
ACA12	38.5	52
ACA13	33.1	47
ACA14	55.3	-
ACA15	33.3	47
ACA16	46	50
ACA17	-	-
ACA18	32.1	24
ACA19	-	-
ACA20	-	-
ACA21	34.6	26
ACA22	51.6	29
ACA23	42.2	-
ACA24	-	42
ACA25	34.6	37
ACA26	-	47
ACA27	27.4	-
ACA28	33.1	-
ACA29	-	-
ACA30	39.8	28

**Fuente:** Elaboración propia

En el Cuadro 1 se puede apreciar que faltan datos para algunos árboles en el apartado de DAP. Esto se debió a que por cuestiones de logística y seguridad se complicaba tomar el DAP de algunos árboles. El problema se debe principalmente a que el sitio en el que estos árboles crecían, no permitió movernos al rededor del árbol, de forma que era imposible rodearlo para obtener el DAP. Los espacios en blanco en la columna de edad se deben a que ninguna de las muestras tomadas para estos árboles presentó claridad en la formación de anillos, lo cual nos obligó a descartar las muestras y esto a su vez no permite identificar la edad de cada ejemplar.

**Figura 14.** Anillo correspondiente para el año 2017 en tres diferentes etapas de crecimiento y mapa de distribución de pinos



**Fuente:** Elaboración propia

La imagen presentada (Figura 14) presenta del lado izquierdo un compilado de fotografías donde se pueden observar seis muestras en las cuales se identifica el anillo en crecimiento correspondiente al año 2017. Las fotos A y B presentaron el anillo con mayor crecimiento acumulado hasta la fecha de toma de muestras (17 de junio del 2017) y estas corresponden a las muestras ACA18B y ACA10B respectivamente. Las fotos C y D corresponden a las muestras ACA12C y ACA24B respectivamente y en estas se puede observar que el crecimiento es evidentemente menor a las fotos A y B, sin embargo, si se logra identificar claramente la presencia del anillo que representa al año 2017. Por otra parte, en las fotos E y D, que representan a las muestras ACA19B y ACA14B apenas se logra ver crecimiento para el anillo del año en curso. Estas muestras presentaron anillos de crecimiento únicamente de una célula para la fecha de colecta de las muestras.

Del lado derecho de la Figura, se observa el mapa con los puntos de muestreo donde se especifica el sitio de crecimiento para cada uno de los árboles originarios de las muestras presentadas en la foto previamente explicada (foto izquierda). Los árboles A y B se muestran en el mapa como triángulos rojos, C y D triángulos blancos y E y F triángulos amarillos.

Es evidente que a pesar de que las muestras A y B presentaron el anillo en formación para el año 2017 más grande, ambos árboles se encuentran creciendo a diferente latitud y longitud. Lo mismo ocurre para las muestras C y D y con las muestras E y F. Esto demuestra que no existe ningún patrón relacionado a la ubicación del sitio de crecimiento que dicte el tamaño del anillo para el año en curso.

#### A. Análisis estadístico en COFECHA

El cuadro presentado a continuación (Cuadro No. 2), resume los resultados obtenidos a partir del análisis de muestras utilizando el software COFECHA. A partir de este análisis se generaron los valores más importantes del estudio que son el valor obtenido para la intercorrelación de series y el valor de sensibilidad media. Para obtener los valores para la intercorrelación de series y sensibilidad media, el programa transforma las series obtenidas mediante modelos de autorregresión y transformaciones logarítmicas que eliminan las tendencias de frecuencia de los extremos (Grissino-Mayer, 2001). Cada secuencia ya transformada fue comparada con la cronología maestra mediante análisis de correlación con base en la superposición entre las secuencias ingresadas (Grissino-Mayer, 2001). De esta forma el programa brinda información de las correlaciones realizadas mediante la interrelación de series y verifica si existe alguna correlación más alta.

<b>Cuadro No. 2. Resultados de COFECHA</b>	
<b>C O F E C H A</b>	
Número de series fechadas	27
Serie Maestra 1966-2017	52 años
Total de anillos en todas las series	990
Total de anillos fechados revisados	989
intercorrelación de series	0.468
Sensibilidad media	0.259
Segmentos con posibles problemas	6
Promedio de largo de las series	36.0 años

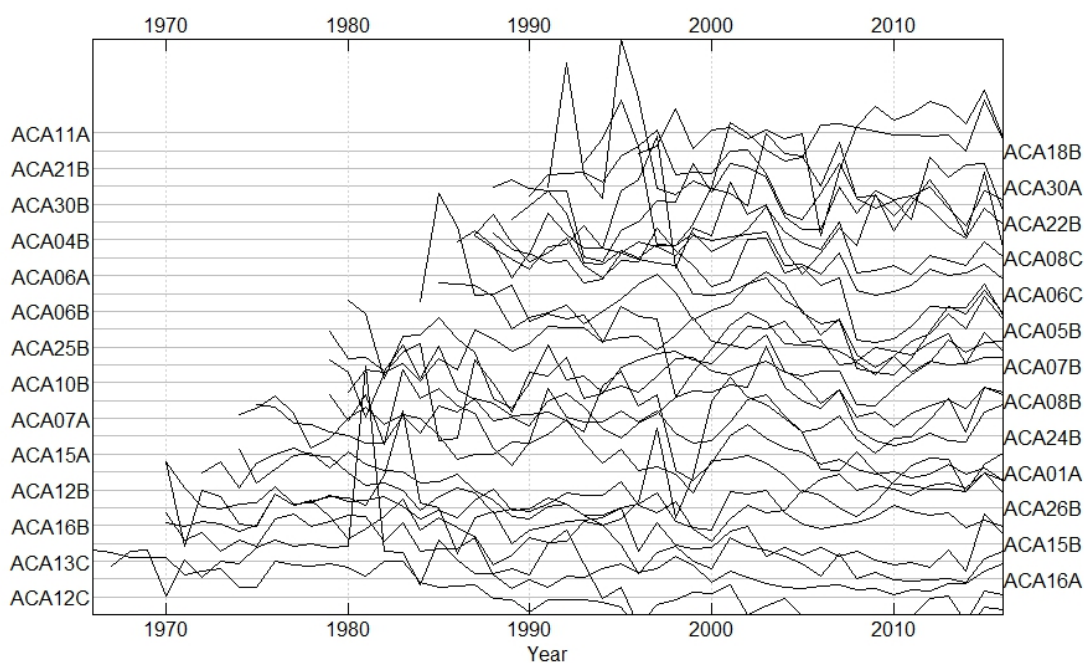
**Fuente:** Elaboración propia

El Cuadro No. 2. resume los datos más importantes del estudio. El número de series fechadas indica la cantidad de muestras ingresadas a la base de datos para analizarlas, que en este caso fueron 27 muestras. Luego tenemos la serie maestra que hace referencia a nuestra muestra más antigua la cual contiene 52 años de información. El Total de anillos en todas las series son todos los anillos que se ingresaron medidos y total de anillos fechados revisados son los anillos que se corrigieron para lograr el cofechar correctamente. La intercorrelación de series presentó un valor de 0.468 y la sensibilidad media presentó un valor de 0.259, valores bastante buenos en dendrocronología. Luego tenemos el apartado de segmentos con posibles problemas en el cual obtuve un valor de seis segmentos. Todos los problemas fueron revisados y corregidos y esta valor se debe a que el programa algunas veces presenta casos en donde si agregamos o quitamos diez o más anillos los valores de intercorrelación de series y sensibilidad media suben, sin embargo esto es imposible debido a que revisando visualmente las muestras no existe la posibilidad de que agregar o quitar diez anillos. Por último tenemos el promedio de largo de todas las series que explica el promedio de años en todas las muestras el cual fue de 36 años.

## B. Cronologías individuales y cronología maestra

El diagrama de spaguetti presentado en la Figura 15 muestra todas las muestras estandarizadas con la curva de oscilaciones de crecimiento. Para crear el diagrama de spaguetti, el paquete `dpLR` primero genera índices de los anillos eliminando la tendencia de las mediciones crudas del largo de los anillos. Cada serie es estandarizada, aplicando un valor medio de 1 (Bunn y Korpela, 2017).

**Figura 15.** Diagrama de spaguetti



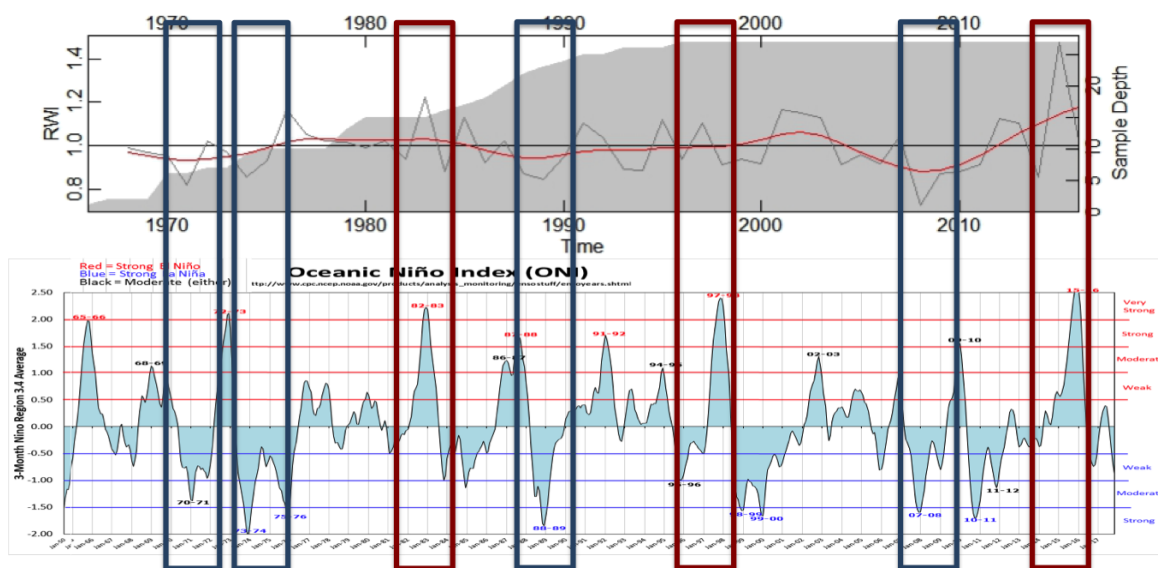
**Fuente:** Elaboración propia

Mediante el spaghetti plot es posible visualizar las tendencias que ocurren en el crecimiento de todas las muestras ya que marcan la trayectoria que cada muestra individual siguió a lo largo del tiempo. Se pueden observar patrones de crecimiento que ocurren en todas las muestras, pero también se pueden observar gráficamente cuando ocurre algún cambio atípico en el crecimiento de algún árbol. Si vemos detalladamente el diagrama podemos observar que a lo largo del año 2010 ocurre una baja en todas las muestras. Mientras que en el año 1980 se observa un pico bastante grande que está presente únicamente en una muestra, estos son algunos ejemplos de patrones comunes y datos atípicos que ocurren en el crecimiento de los árboles.

La cronología maestra se presenta como el gráfico superior de la Figura 16 se obtiene a partir de la curva que mejor se ajusta a los patrones de crecimiento del total de las muestras analizadas. La línea oscilatoria en negro representa la cronología maestra, la línea recta en negro indica la media = 1 y la línea roja es una suavización de la cronología maestra a diez años, es decir indica las oscilaciones que han presentado las muestras a nivel de década. La robustez de la cronología maestra expuesta en la Figura 14 está evaluada en función de la profundidad del muestreo es decir la cantidad de muestras que hay para cada año. La cronología maestra está representada por la línea negra que muestra las oscilaciones obtenidas de los valores residuales de las series evaluadas y la línea roja muestra las fluctuaciones para cada década. Para los años de 1970 a 1974 la profundidad de muestreo tiene un valor menor a 10, sin embargo, en el año 1975 ésta sube a 10, para 1987 es de 20 y para el 2017 es de 27 que es total de las muestras analizadas.

La gráfica inferior de la Figura 16, representa los valores obtenidos por el CPC y el NOAA para la temperatura de mar en la región 3.4, esto se traduce en el índice oceánico del Niño (ONI en inglés). Esta gráfica muestra las oscilaciones que han ocurrido en la temperatura del océano desde junio de 1950 hasta el 2017.

**Figura 16.** Comparación de la cronología maestra de residuos de *Pinus hartwegii* Lindl. con la cronología para los fenómenos Niño y Niña obtenida del Centro de Predicciones Climáticas



**Fuente:** Elaboración propia; Centro de Predicciones Climáticas, CPC y NOAA , 2016

La Figura 16 presenta ambas gráficas perfectamente alineadas de forma que la escala de tiempo es la misma en los dos casos. Los cuadros azules representan los años en los que ocurre Niña, mientras que los cuadros rojos representan los años en los que ocurre Niño. Se ve claramente que existe un patrón bastante similar en ambas gráficas, con esto podemos percibir el hecho de que cada vez que ocurre una Niña en la región 3.4 del océano, el crecimiento de los anillos en estas muestras disminuye, mientras que los años en que ocurre Niño el crecimiento de los anillos aumenta.

## IV. DISCUSIÓN

A pesar de que cada árbol se encuentra creciendo de manera independiente todos crecen bajo la misma influencia y las mismas condiciones climáticas, es por esto que en estudios dendrocronológicos se busca determinar la influencia que tiene el clima en el crecimiento radial del árbol. Este principio tiene implicaciones al momento de tomar las muestras de los árboles ya que debe maximizarse la señal climática a toda costa (Carrer, 2011).

### A. Análisis de muestras

Para este estudio registré un total de 30 ejemplares de Pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) muestreados de los cuales obtuve 67 muestras. A pesar de que todas las muestras fueron revisadas detalladamente, únicamente fue posible utilizar 27 muestras. Esto se debe a que el resto de las muestras fueron descartadas debido a que presentaban secciones de compresión de anillos y secciones con pulsos de liberación que no permitían identificar claramente el principio y el fin de los anillos.

El primero de estos fenómenos mencionados previamente, la supresión de los anillos, ocurre como respuesta a factores limitantes de carácter geomórfico como actividad volcánica, movimiento de las masas terrestres o terremotos (Wiles *et al* 1995). El segundo fenómeno (pulsos de liberación) consiste en etapas donde el árbol produce madera de forma indiferenciada y esto no permite identificar la sección de inicio y de fin de cada anillo. Estos patrones también podrían deberse a alteraciones en el dosel (Fritts, 1976; Orwin y Abrams 1994).

El Cuadro 1 presenta los datos brutos para los valores de DAP y edad de los árboles muestreados. Como se puede observar en el Cuadro no. 1, el árbol ACA12 presentó la muestra con mayor edad (52 años), sin embargo su DAP fue de 38.5 cm, mientras que el árbol ACA05 presentó el DAP más grande con 57.6cm mientras que su edad fue de 33 años. Esto nos indica que el diámetro del árbol no está directamente relacionado con la edad de cada ejemplar, por lo que debe tenerse mucho criterio al momento de elegir los árboles para el muestreo.

Las muestras fueron tomadas a mediados de junio del 2017 y como se puede observar en la Figura 14, para este mes la actividad cambial aún no había cesado. El anillo correspondiente al año 2017 estaba comenzando a formarse y esto se debe a que el año de crecimiento del árbol no está dictado por un año calendario. En este caso el crecimiento individual de los anillos puede deberse a que el ecosistema en el que están creciendo no presenta inundaciones en ninguna etapa del año lo que podría ligar a la fenología de la

especie directamente con otros factores climáticos como precipitación, sequías, irradiación solar y temperatura (Parolin *et al.*, 2010).

Por otra parte, en la Figura 14 también podemos observar la distribución de los árboles y la etapa de crecimiento en la que se encuentra el anillo para el año 2017. Esta distribución permite evidenciar que no existe ningún patrón en la distribución al que pueda atribuirse el hecho de que ciertos anillos 2017 estén más formados para la fecha de colecta, esto podría deberse a que existen factores internos del árbol y del sitio específico donde cada árbol crece que afectan la producción de madera y el crecimiento radial. Este hecho sugiere la importancia estandarizar digitalmente las muestras y eliminar esta variabilidad que afecta al crecimiento.

Otro factor importante que podría afectar al crecimiento individual de los anillos de cada árbol podrían ser alteraciones genéticas que ocurren en cada ejemplar por condiciones propias de la especie o condiciones propias del sitio de crecimiento del árbol. *Pinus hartwegii* Lindl. ha sido catalogada por Viveros-Viveros y colaboradores (2009) como una especie con alta variabilidad genética entre poblaciones que se encuentran en un mismo bosque, pero a diferente altura. Esta variabilidad genética se ve expresada como mayor resistencia a bajas temperaturas y mayor porcentaje de plantas con brotes (Viveros-Viveros *et al.*, 2009).

#### **A. Análisis estadístico en COFECHA**

El Cuadro No. 2 muestra los resultados obtenidos en COFECHA. Se analizaron un total de 27 muestras de las cuales la muestra más antigua fue ACA12C con 52 años de información, seguida de ACA16A con 50 años de información. El total de anillos analizados fue de 990, de los cuales 989 fueron efectivamente cofechados y la edad promedio de todas las muestras es 36 años.

A pesar de haber obtenido un promedio de 36 años de información en las muestras, la presencia de pinos con mayor edad (52 y 50 años) sugiere la existencia de un bosque más antiguo en el estrato superior al sitio de muestreo, lo cual fue confirmado por nuestro guía Hector Quino Aparicio. Existen factores históricos y de vulnerabilidad del bosque que complican el muestreo de pinos antiguos en el Volcán Acatenango, el primero de estos factores es la plaga del gorgojo de pino (*Dendroctonus* sp.) y el segundo son los incendios forestales que ocurren debido a erupciones fuertes del complejo volcánico Acatenango-Fuego (CATIE, 2013; Vallance *et al.*, 2001). Los eventos más recientes reportados para el bosque del volcán Acatenango son la plaga de gorgojo (*Dendroctonus* sp) en el 2008, que afectó 92 hectáreas del bosque de pinos del Volcán Acatenango y el incendio ocurrido en 2013 que causó la pérdida de doce hectáreas más de bosque en el Volcán (CATIE, 2013; CATIE, 2017).

Utilizando el software COFECHA pude generar los valores del estudio para las variables de intercorrelación de series y sensibilidad media. Es gracias a estas variables que se puede determinar si una especie tiene potencial dendrocronológico. La intercorrelación de series es una variable que indica el grado de interposición de las muestras, es decir que tanto se ajustan todas las muestras entre sí si se interpusieran una encima de la otra, pero también explica la afinidad que tienen las muestras con mayor variabilidad para ajustarse a una cronología maestra (Cook, 1985). En este estudio se obtuvo un valor de intercorrelación de series de 0.498, lo que indica la presencia de una señal común bastante fuerte entre todas las muestras ingresadas a la cronología del sitio. Si analizamos la ecuación que describe el crecimiento radial de un árbol descrita por Cook (1987), se puede asumir que la variable climática es la única que representa una señal suficientemente grande para afectar a todos los árboles de una región (Fritts, 1976; Cook, 1985). Un valor de 0.498 para la intercorrelación de series podría plantear la hipótesis que la variable “clima” forma parte de esta señal común que se ve expresada en todas las muestras y juega un papel importante en el crecimiento radial de esta especie.

La sensibilidad media explica el cambio relativo que ocurre en el ancho de los anillos, de un año al siguiente en una serie de tiempo (ITRDB, 2005). Esta variable se encuentra en función de la magnitud en que las muestras presentan los picos generados de un año al siguiente. En esta cronología obtuve un valor de 0.295 para la sensibilidad media, esto demuestra que a pesar de ser una especie con anillos relativamente complacientes, existe variabilidad en el ancho de los anillos año con año y esta variabilidad podría estar dada por factores climáticos. La evidencia de variación en el ancho de los anillos demuestra la importancia de generar información sobre la fenología de las especies en bosque tropicales (Vicente-Serrano, 2012).

En dendrocronología los valores para correlaciones en medición de anillos correctamente cruzadas difieren en base a múltiples razones, entre ellas se puede mencionar la biología de la especie, área geográfica, homogeneidad del sitio, cantidad de competencia entre los rodales y el grado de perturbación del sitio de estudio (Grisssino-Mayer, 2001). Con el tiempo los árboles pueden sufrir estrés debido a competencias por luz, humedad, acceso a suelo para sus raíces y alimento. También se ha visto estrés generado por incendios forestales o brotes de plagas, lo que se hace evidente al analizar las muestras de Acatenango. Todos estos factores afectan a la intercorrelación final de las series estudiadas. Los valores obtenidos en esta cronología son valores relativamente altos y representan un aporte significativo para el análisis de la cronología. En este caso existen dos razones principales por las cuales los valores obtenidos para la intercorrelación de series y sensibilidad media fueron bastante altos. Estas razones son 1) las muestras analizadas tienen pocos años de información para cofechar y 2) por lo general, los anillos de las muestras eran bastante complacientes (Anchukaitis *et al.*, 2012).

## B. Cronologías individuales y cronología maestra

La Figura 15 muestra el diagrama de espagueti creado a partir de las muestras cofechadas. Este gráfico utiliza los valores crudos de las mediciones de los anillos y genera un diagrama que permite tener un primer acercamiento a los patrones de crecimiento que ocurren en cada una de las muestras ingresadas, los cuales se verán representados en la cronología maestra. Algunos de los patrones más claros que se pueden observar en la Figura 15 es la presencia de un hundimiento en los años del 2010 al 2014, donde después aparece un pico cerca del año 2016. Esta baja o hundimiento de los años 2010 al 2014 puede deberse a los desastres ocurridos en el bosque de Acatenango en el 2008 y 2013 que fueron mencionados anteriormente (2008-plaga de gorgojo; 2013-incendio forestal). El decaimiento del bosque y la caída de tantos pinos podría afectar a la dinámica forestal en su totalidad y esto podría verse reflejado como una disminución en el crecimiento de los anillos que está presente en la mayoría de las muestras y se observa en el diagrama de espagueti. Mediante el análisis del diagrama de espagueti podemos tener un primer acercamiento a cómo quedará la cronología muestra viendo cómo se va dando la interposición de todas las series analizadas.

La cronología observada en la Figura 16 se expresa en valores residuales derivados de las mediciones crudas de los anillos. Esta cronología utiliza los valores residuales provenientes del modelo de autorregresión que son generados a partir del ajuste de la curva de crecimiento, y realiza un promedio estadístico para obtener la cronología de residuales (Cook, 1985). Utilicé la cronología de residuales debido que en esta serie ya ha sido eliminada la autocorrelación y el resto de variables de la ecuación de crecimiento, lo que permite obtener datos con correlación más alta en función de la señal común que podría ser clima.

Para esta cronología no realicé la reconstrucción de clima debido a que la cantidad de años en las muestras (36 años promedio) concuerda con la cantidad de años obtenidos de información climática en la estación más cercana (Santa Cruz Balanyá). En la Figura 16 se observa la variedad en la oscilación de la cronología. Para los años de 1970 hasta el 2000 las oscilaciones son poco variable en comparación con la oscilación observada en las décadas del 2000 al 2017, esto podría deberse a los cambios climáticos que han ocurrido en las últimas cinco décadas. La temperatura global y temperatura de la superficie del mar han incrementado su valor exponencialmente en los últimos 20 años. En los últimos 136 años de registro satelital para la temperatura global se han registrado 17 años que resaltan como los más calurosos de este periodo, uno de ellos fue el año de 1998 en el cual también ocurrió el fenómeno de El Niño causando grandes pérdidas para la agricultura (NASA, 2018; Rosenzweig *et al.*, 2001), y los otros 16 años han ocurrido a partir del 200, siendo el 2016 el año más caluroso reportado para esta serie de tiempo (NASA, 2018).

Si vemos la Figura 16 podemos observar está compuesta por dos gráficas, la gráfica superior es la cronología maestra de residuales hecha a partir de las mediciones de los anillos, esta gráfica expresa la variabilidad en el ancho de los anillos año con año a lo largo del tiempo. La gráfica inferior es un gráfico generado por el Centro de Predicciones Climáticas y la Administración Nacional de Océano y Atmósfera (CPC, NOAA, 2017), esta gráfica muestra la temperatura del Océano en la región 3.4 a lo largo del tiempo. Cuando ocurre el fenómeno del Niño, aumenta la temperatura en la región oceánica 3.4 y este calentamiento del Pacífico tiene severas implicaciones en el clima de Guatemala. La presencia del fenómeno El Niño genera sequías lo que afecta a nuestro país a nivel biológico alterando los ciclos de vida de las especies y también a nivel socio-económico debido a que la mayor parte de la población del país trabaja y se dedica directamente a la Agricultura (Philander, 1990; Trenberth *et al.*, 2007; SEGEPLAN, 2010).

Si comparamos la gráfica de la cronología maestra de residuales (Figura 16) con el gráfico de intensidad de los fenómenos Niño y Niña –ONI–, se observa que existen patrones similares en ambas gráficas. En la gráfica de intensidad del índice para los fenómenos Niño y Niña, se observa que en los años 1970-1971, 1973-1974, 1988-1989 y 2007-2008 (cuadros azules) ocurren fenómenos Niña bastante intensos y al observar estos años en nuestra cronología de residuales (Figura 16) se puede ver que ocurre una baja en nuestra línea, lo que implica un decaimiento del crecimiento de los anillos en relación al clima para los años con bastante precipitación.

Por otra parte los años 1982-1983, 1997-1998 y 2015-2016 (cuadros rojos) ocurren fenómenos Niño bastante intensos y al comparar estos con la gráfica para la cronología maestra de residuales (Figura 16) es evidente que nuestros anillos aumentan en tamaño cada vez que ocurre Niño. Estos datos son interesantes debido a que, a diferencia de lo que esperábamos, nuestro árbol (*Pinus hartwegii* Lindl.) presenta mayor crecimiento radial cuando ocurren sequías en la región (Coelho y Goddard, 2009).

El hallazgo de un aumento en la línea de nuestra cronología para el ancho de los anillos de *P. hartwegii* Lindl. durante los años de sequía, podría explicar que, si evaluamos el crecimiento radial de nuestra especie en función de clima, este crecimiento está relacionado de forma positiva con sequías. Greene y colaboradores (2009) han reportado la disminución de nubes durante épocas de sequías. Los bosques del volcán Acatenango se encuentran siempre rodeados de nubes, por lo que la ausencia de nubes en esta región permite que los árboles tengan mayor acceso a luz solar, accionando la actividad fotosintética de la especie y de esta forma dar lugar al crecimiento del árbol.

Estos datos son importantes y deben ser compartidos a las comunidades del interior del país para comprender mejor los efectos del cambio climático y las implicaciones que estos tienen en los bosques remanentes y el impacto que esto puede llegar a tener en la agricultura. Distintas aldeas y sus pobladores en

las zonas aledañas al Volcán Acatenango han adaptado distintos métodos para combatir el cambio climático. En las poblaciones de áreas rurales la percepción del cambio climático no es más que una idea local y las prácticas utilizadas para afrontarlo por parte de pequeños productores están en función de factores culturales (SEGEPLAN, 2010; Boissière *et al.*, 2013).

Esto crea la necesidad de generar canales de comunicación para informar a los pobladores de Acatenango sobre los fenómenos que ocurren debido al cambio climático y las implicaciones que estos tienen en los bosques remanentes ya que son ellos quienes cuidan principalmente de las áreas protegidas.

## V. CONCLUSIONES

- Se identificó la presencia de anillos anuales en las muestras de *Pinus hartwegii*.
- Para el mes de junio, la actividad cambial aún no había cesado y el anillo correspondiente al 2017 se encontraba en la etapa temprana de formación.
- El valor obtenido para la intercorrelación de series (0.468) explica la presencia de una señal común en todas las muestras analizadas.
- Se estableció *Pinus hartwegii* como una especie con potencial para estudios dendrocronológicos dentro de territorio de Guatemala.
- Se encontró la influencia de una señal común en el crecimiento radial de la especie, la cual se debe a factores climáticos.
- La especie presentó patrones de compresión de anillos y pulsos de liberación en el crecimiento radial que dificultan el análisis.
- La muestra ACA12C fue la más antigua con una cronología de 52 años.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Con el fin de alargar la cronología obtenida en el estudio realizado, es importante hacer visitas esporádicas al sitio de estudio para buscar y obtener muestras de pinos más antiguos.
- Para futuros estudios se recomienda hacer uso de los datos de la estación meteorológica privada Fca. San Sebastián para realizar el análisis de correlación climática mensual y estacional.
- Actualmente la información recolectada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH se encuentra de forma manual. Se sugiere al INSIVUMEH digitalizar las bases de datos para mantener la página actualizada y facilitar el acceso a la información.
- Hacer uso constante, registro de datos en digital y mantenimiento del equipo en las estaciones meteorológicas por parte del INSIVUMEH para mantener la información actualizada.

## VII. LITERATURA CITADA

- Anchukaitis, KJ.; MJ. Taylor; J. Martin-Fernandez; D. Pons; M. Dell; C. Chopp y EJ. Castellanos. 2012. *Annual chronology and climate response in Abies guatemalensis Rehder (Pinaceae) in Central America*. *The Holocene* 23(2): 270-277
- Biondi, F. 2001. *A 400-year Tree-ring Chronology from the Tropical Treeline of North America*. *AMBIO A Journal of the Human Environment*. 30(3): 162-166
- Becker, B. 1993. *An 11,000-year German Oak and Pine Dendrochronology for radiocarbon calibration*. *Radiocarbon* 35(1): 201-213
- Boissière, M.; B. Locatelli; D. Sheil; M. Padmanaba, y E. Sadjudin. 2013. *Local Perceptions of Climate Variability and Change in Tropical Forests of Papua, Indonesia*. *Ecology and Society* 18(4): 13
- Brondizio, ES y E. Morán. 2008. *Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 363: 1803-1809.
- Bunn, A. y M. Korpela. 2017. *An introduction to dplR*. 16 pags.
- Carlón-Allende, T.; M. Mendoza; J. Villanueva-Días y D. Pérez-Salicrú. 2015. *Análisis espacial del paisaje como base para muestreos dendrocronológicos: El caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, México*. *Madera y Bosques* 21(2): 11-22
- Carrer, M. 2011. *Individualistic and Time-Varying Tree-Ring Growth to Climate Sensitivity*. *PLoS ONE* 6(7) e22813
- Carrer, M. y C. Urbinati. 2004. *Age-dependent tree ring growth responses to climate in Larix decidua and Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730-740
- CATIE. 2013. *Cogestión del manejo sustentable y conservación del Volcán de Acatenango y Parque Regional Municipal Volcán de Acatenango. – I Informe Técnico*. Guatemala. 10 Pags

CATIE. 2015. *Acatenango, lugar místico y mágico que protege una invaluable riqueza*. Documento informativo. Consultado el 18 de julio de 2017 En: <https://www.catie.ac.cr/guatemala/attachments/article/19/trifoliar-volcan-acatenango.pdf>

CATIE-FCA-AF. 2017. *Estudio Técnico de línea base para el monitoreo biológico en el complejo volcánico Acatenango-Fuego. Guatemala*. 73 páginas Climate-Data. Clima: Acatenango disponible en: <https://es.climate-data.org/location/1017744/>

Cook, ER., 1987. *The decomposition of tree-ring series for enviromental studies*. Tree-Ring Bulletin 47: 37-59

Cook, ER., y RL. Holmes. 1999. *Users Manual for Program ARSTAN*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona.

Cook, ER.; y LA. Kairiukstis. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Enviromental Sciences*. Kluwer Academic Publishers; International Institute for Applied System Analysis.

Coster, C. 1927. *Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresbildung in den Tropen*. Annales du Jardin Batanique de Buitenzorg. 37: 49-160

Douglass, A. E. 1938. *Climate Cycles and Tree Growth*. Carnegie Institution, Washington D.C., pub. 289, no. 2

Earle, C.J., 2017. *The Gymnosperm Database, Pinus hartwegii Lindl*. Consultado el: 21/08/2017; Modificado el: 16/01/2017, Disponible en: [http://www.conifers.org/pi/Pinus\\_hartwegii.php](http://www.conifers.org/pi/Pinus_hartwegii.php)

Farjon, A., y BT. Styles. 1997. *Guía de campo de los Pinos de México y América Central*. The Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens. Bélgica.

Farjon, A. 2013. *Pinus hartwegii*. The IUCN Red List oh Threatened Species 2013: e. T42348A2974430. En: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42348A2974430.en>

Fritts, HC. 1971. *Dendroclimatology and dendroecology*. Quaternary Research 1: 419-449

- Fritts, HC., 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press Inc. Londres, Pp: 531
- Fritts, HC. y TW. Swetnam. 1989. *Dendroecology: A Tool for evaluating variations in past and present forest environments*. *Advances in Ecological Research* 19: 111-188
- Ferguson, CW. 1970. *Concepts and techniques of dendrochronology. Reprinted from chapter VII in: Scientific methods in medieval archaeology*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona: 183-200
- Gebrekirstos, A.; A. Bräuning; U. Sass-Klassen y C. Mbow. 2013. *Opportunities and applications of dendrochronology in Africa*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 6: 48-53
- Grissino-Mayer. 1993. *An updated list of species used in Tree-ring research*. *Tree Ring Bulletin* 53: 17-43.
- Grissino-Mayer, H. 2001. *Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA*. *Tree-Ring Research* 57(2): 205-221
- Holmes, RL. 1983. *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. *Tree Ring Bulletin* 43: 69-78
- International Tree-ring-Data Bank. 2005. *International Tree-ring Data Bank Correlation statistics*. World Data Center for Paleoclimatology Boulder and NOAA Paleoclimatology Program.
- Kuniholm, PI. 2001. *Dendrochronology and other applications of tree-ring studies in Archaeology*. En: *The Handbook of Archaeological Sciences*, DR. Brothwell and AM. Pollard, eds., Londres, John Wiley & Sons: 1-11
- Laboratory of Tree Ring Research: University of Arizona, Visitado el 20 de abril de 2017 En: <http://ltrr.arizona.edu/about/treerings>

- Lewis, DB.; WL. Kocis; HD. Grissino-Mayer y E. Cook. 2006. *Dendrochronological Dating of Eastern Red Cedar (Juniperus virginiana L.) logs from Alfred's Cabin, The Hermitage, Home of President Andrew Jackson*. The University of Tennessee and University of Columbia. Pp. 61
- Matas, A.; L. Archila y A. Solorzano. 2006. *Etnohistoria de Acatenango, municipio del departamento de Chimaltenango*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación del Centro de Estudios Folklóricos. Pp 78
- Milly, PCD.; J. Bethancourt; M. Falkenmark; RM. Hirsch, ZW. Kundzewicz, DP. Lettenmainer y RJ. Stouffer. 2008. *Stationarity is dead: Whither water management?* Science 319: 573-574.
- NASA. *Global Climate Change – Vital Signs of the Planet- Global Temperatura*. Última Actualización 11 de Enero de 2018. Visitado el 11 de Enero de 2018 En: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Nobre, CA.; G. Sampaio; LS. Borma; JC. Castilla-Rubio; JS. Silva y M. Cardoso. 2015. *Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm*. Proceedings of the National Academy of Sciences 113(39): 10759-10768
- Orwin, D.; M. Abrams. 1994. *Contrasting radial growth and canopy recruitment patterns in Liriodendron tulipifera and Nyssa sylvatica: gap-obligate versus gap-facultative tree species*. Canadian Journal of Forest Research. 24: 2141-2149.
- Parolin, P.; C. Lucas; MTF Piedade; F. Wittmann. 2010. *Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains*. Annals of Botany. 105: 129-130
- Parker, T. 2008. *Trees of Guatemala*. The Tree Press. Austin, Texas.
- Pederson, N.; AW. D'Amato y DA. Orwig. 2006. *Natural history from Dendrochronology: Maximum ages and canopy persistence of rarely studied hardwood species*. Proceedings of the 15th Central Hardwood Forest Conference.

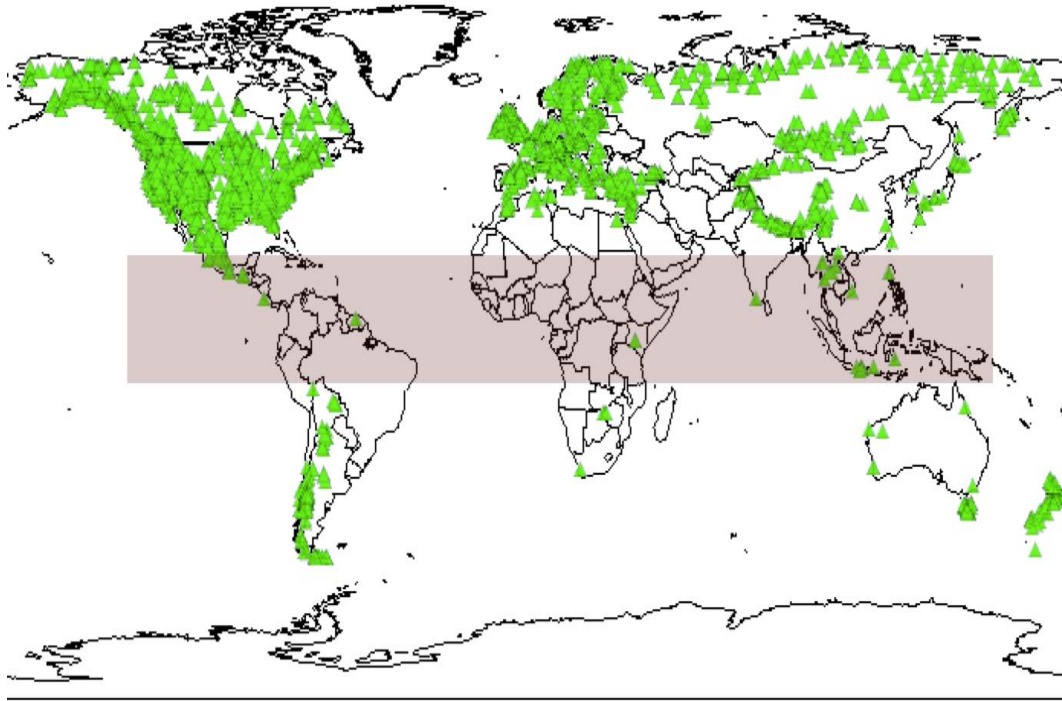
- Philander, SG. 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press, Inc. Estados Unidos.
- Pons, DA.; MJ. Taylor; D. Griffin; E. Castellanos; KJ. Anchikaitis. 2016. *On the Production of Climate Information in the High Mountain Forests of Guatemala*. Annals of the American Association of Geographers. Special Edition on Mountains.
- Regalado, O.; X. Villagrán; G. Pérez; E. Castellanos; G. Martínez; D. Incer; VH. Ramos; O. Molina; C. Belletón y JM. Gómez. 2012. *Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010*. Instituto Nacional de Bosques-Consejo Nacional de Áreas Protegidas-Universidad del Valle de Guatemala-Universidad Rafael Landívar.
- Rosenzweig, C.; A. Iglesias; XB. Yang; PR. Epstein; E. Chivian. 2001. *Climate change and extreme weather events – Implications for food production, plant diseases, and pests*. Global Change & Human Health 2(2): 90-104
- Sarmiento, F. 2001. *Diccionario de Ecología: Paisajes, Conservación y Desarrollo Sustentable*. Editorial Abya-Yala, Quito, Ecuador, 226
- Schweingruber, FH. 1988. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. Dordrecht, D. Reider Publishing Company.
- Schweingruber, FH.; L. Kairiukstis y S. Shiyatov. 1990. *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers: 23-35
- SEGEPLAN. 2010. *Plan de Desarrollo Municipal: Acatenango, Chimaltenango*. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Acatenango. Secretaría de Palificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial. Guatemala
- SEGEPLAN. 2011-2025. *Plan de Desarrollo Departamental de Chimaltenango*. Consejo de Desarrollo Departamental de Chimaltenango. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial. Guatemala

- Speer, JH. 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research*. University of Arizona Press. Pp 333
- Speer, HJ. y K. M. Hansen-Speer. 2007. *Ecological applications of Dendrochronology in Archaeology*. Journal of Ethnobiology 27(1): 88-109
- Stokes, MA. y TL. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago
- Swetman, TW.; MA, Thompson y EK. Sutherland. 1985. *Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees*. USDA Forest Service Agricultural Handbook 639Ñ 1-39
- Trenberth, KE.; PD. Jones; P. Ambenje; R. Bojariu; D. Easterling; A. Klein Tank; D. Parker; F. Rahimzadeh; JA. Renwick; M. Rusticucci; B. Soden y P. Zhai. 2007. *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. Cambridge University Press: 235-336
- Vicente-Serrano, S.; C. Gouveia; J. Camarero; S. Beguería; R. Trigo; J. López-Moreno; C. Azorín-Molina, E. Pasho; J. Lorenzo-Lacruz; J. Revuelto; E. Morán-Tejeda y A. Sánchez-Lorenzo. 2012. *Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes*. PNAS 110(1):52-57
- Viveros-Viveros, H.; C. Sáenz-Romero; JJ. Vargas-Hernández. J. López-Upton, G. Ramírez-Valverde y A. Santacruz-Varela. 2009. *Altitudinal genetic variation in Pinus hartwegii Lindl. I: Height. Growth, shoot phenology, and frost damage in seedlings*. Forest Ecology and Management 257: 836-842.
- VoorTech Consulting. 1998-2016. En: <http://www.voortech.com/projectj2x/docs/measureJ2XInfo.html>  
Consultado el: 20/04/2017
- Wiles, GC.; PE. Calkin y GC. Jacoby. 1995. *Tree-ring analysis and Quaternary geology: Principles and recent applications*. Geomorphology 16(1996): 259-272
- Wolfgang, J.; MTF. Piedade; F. Wittmann; J. Schöngart; P. Parolin. 2010. *Amazonian Floodplain Forests – Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. Springer. Ecological Studies. 210: 603 pags

## VIII. APÉNDICES

### Apéndice A. Distribución de los estudios reportados con datos de anillos de árboles

Figura 17. Distribución de estudios reportados con información de anillos de árboles



Fuente: International Tree Ring Data Bank, 2017

Figura 18. Distribución de estudios reportados para Centro América y Sur de México con información de anillos de árboles



Fuente: International Tree Ring Data Bank, 2017

## Apéndice B. Resultados desplegados en COFECHA

```

[] Dendrochronology Program Library
Program COF 13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 1
[]
[] P R O G R A M C O F E C H A
Version 6.06P 30305
-----

```

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS  
COF12K.for

Title of run: FINAL

File of DATED series: MEDICIONES1S.RAW

CONTENTS:

Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series  
Part 2: Histogram of time spans  
Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year  
Part 4: Bar plot of Master Dating Series  
Part 5: Correlation by segment of each series with Master  
Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers  
Part 7: Descriptive statistics

RUN CONTROL OPTIONS SELECTED	VALUE
1 Cubic smoothing spline 50% wavelength cutoff for filtering	32 years
2 Segments examined are	50 years lagged successively
by 25 years	
3 Autoregressive model applied	A Residuals are used in
master dating series and testing	
4 Series not transformed to logarithms	N
5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative)	
Critical correlation, 99% confidence level	0.3281
6 Master dating series saved	N
7 Ring measurements listed	N
8 Parts printed	1234567
9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations	(Y)
Time span of Master dating series is	1966 to 2016 51 years
Continuous time span is	1966 to 2016 51 years
Portion with two or more series is	1967 to 2016 50 years

```

*****
*C* Number of dated series      27 *C*
*O* Master series 1966 2016    51 yrs *O*
*F* Total rings in all series   990 *F*
*E* Total dated rings checked   989 *E*
*C* Series intercorrelation     0.468 *C*
*H* Average mean sensitivity    0.259 *H*
*A* Segments, possible problems 6 *A*
*** Mean length of series      36.0 ***
*****

```

ABSENT RINGS listed by SERIES: (See Master Dating Series for absent rings listed by year)

No ring measurements of zero value

PART 2: TIME PLOT OF TREE-RING SERIES: FINAL  
 13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 2

```

-----
 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750 1800 1850
1900 1950 2000 2050 Ident  Seq Time-span  Yrs
:   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :
:   :   : -----
:   :   :
. <====> . ACA01A . 1 1974 2016 43 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA04B . 2 1988 2016 29 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA06A . 3 1987 2016 30 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA06B . 4 1985 2016 32 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA06C . 5 1986 2016 31 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA07A . 6 1979 2016 38 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA07B . 7 1980 2016 37 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA08B . 8 1979 2016 38 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA08C . 9 1987 2016 30 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA10B . 10 1979 2016 38 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA11A . 11 1996 2016 21 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA12B . 12 1972 2016 45 . . . . . . . . . . . . . .
.<====> . ACA12C . 13 1966 2016 51 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA13C . 14 1970 2016 47 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA15A . 15 1974 2016 43 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA15B . 16 1970 2016 47 . . . . . . . . . . . . . .
.<====> . ACA16A . 17 1967 2016 50 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA16B . 18 1970 2016 47 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA18B . 19 1993 2016 24 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA22B . 20 1988 2016 29 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA24B . 21 1975 2016 42 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA25B . 22 1980 2016 37 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA26B . 23 1970 2016 47 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA30A . 24 1990 2016 27 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA30B . 25 1989 2016 28 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA05B . 26 1984 2016 33 . . . . . . . . . . . . . .
. <====> . ACA21B . 27 1991 2016 26 . . . . . . . . . . . . . .
:   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :   :
:   :   :
 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750 1800 1850
1900 1950 2000 2050

```



PART 4: Master Bar Plot: FINAL  
 13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 4

```

-----
Year Rel value Year Rel value Year Rel value Year Rel value Year Rel value Year
Rel value Year Rel value Year Rel value
2000---c
2001-----D
2002-----F
2003-----F
2004-----A
2005---b
2006--d
2007-----A
2008g
2009f
2010-e
2011-d
2012-----A
2013-----B
2014-d
2015-----I
1966-----G 2016-----B
1967-----C
1968-----D
1969-----D
1970-----B
1971f
1972-d
1973-d
1974f
1975-d
1976-----F
1977-----C
1978-----A
1979-----C
1980-----@
1981-----C
1982-----@
1983-----G
1984---c
1985-----B
1986---b
1987-----B
1988---b
1989g
1990-e
1991-----A
1992-----B
1993---b
1994---c
1995-----B
1996---a
1997-----C
1998---a
1999---b

```

PART 5: CORRELATION OF SERIES BY SEGMENTS: FINAL  
 13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 5

-----  
 Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years  
 Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at  
 other than dated position

Seq	Series	Time_span	1950	1975
---	-----	-----	-----	-----
			1999	2024
---	-----	-----	-----	-----
1	ACA01A	1974 2016	.29A	
2	ACA04B	1988 2016		.57
3	ACA06A	1987 2016		.59
4	ACA06B	1985 2016		.60
5	ACA06C	1986 2016		.66
6	ACA07A	1979 2016		.76
7	ACA07B	1980 2016		.52
8	ACA08B	1979 2016		.58
9	ACA08C	1987 2016		.54
10	ACA10B	1979 2016		.42
11	ACA11A	1996 2016		.15B
12	ACA12B	1972 2016	.32A	
13	ACA12C	1966 2016	.46	
14	ACA13C	1970 2016	.50	
15	ACA15A	1974 2016	.52	
16	ACA15B	1970 2016	.55	
17	ACA16A	1967 2016	.15A	
18	ACA16B	1970 2016	.53	
19	ACA18B	1993 2016		.40
20	ACA22B	1988 2016		.58
21	ACA24B	1975 2016		.47
22	ACA25B	1980 2016		.60
23	ACA26B	1970 2016	.47	
24	ACA30A	1990 2016		.42
25	ACA30B	1989 2016		.52
26	ACA05B	1984 2016		.14B
27	ACA21B	1991 2016		.32A
Av segment correlation			0.42	0.49

PART 6: POTENTIAL PROBLEMS: FINAL  
13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 5

-----  
For each series with potential problems the following diagnostics may appear:

[A] Correlations with master dating series of flagged 50-year segments of series filtered with 32-year spline, at every point from ten years earlier (-10) to ten years later (+10) than dated

[B] Effect of those data values which most lower or raise correlation with master series  
Symbol following year indicates value in series is greater (>) or lesser (<) than master series value

[C] Year-to-year changes very different from the mean change in other series

[D] Absent rings (zero values)

[E] Values which are statistical outliers from mean for the year

-----  
ACA01A 1974 to 2016 43 years  
Series 1

[A] Segment	High	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	
+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10								
1974	2016	0	-	-	.07	-.22	-.09	.09	.13	-.02	.24	.05	.29*	-	-

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.294) is:  
Lower 1974>-0.062 2008>-0.045 2000>-0.037 1980>-0.028 1995<-0.023  
1986>-0.018 Higher 2015 0.119 1989 0.030  
1974 to 2016 segment:  
Lower 1974>-0.062 2008>-0.045 2000>-0.037 1980>-0.028 1995<-0.023  
1986>-0.018 Higher 2015 0.119 1989 0.030

-----  
ACA04B 1988 to 2016 29 years  
Series 2

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.568) is:  
Lower 1989>-0.084 1995<-0.030 1988>-0.026 1999>-0.020 1990>-0.017  
1993<-0.016 Higher 2015 0.112 2008 0.068

-----  
ACA06A 1987 to 2016 30 years  
Series 3

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.592) is:  
Lower 1988>-0.162 2014>-0.028 2001<-0.027 2005>-0.015 1991<-0.005  
1995<-0.004 Higher 2008 0.061 2015 0.059

-----  
ACA06B 1985 to 2016 32 years  
Series 4

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.596) is:  
Lower 1986>-0.049 1990>-0.038 2000>-0.025 1991<-0.024 1996>-0.024  
1994>-0.024 Higher 2008 0.064 1989 0.039

-----  
ACA06C 1986 to 2016 31 years  
Series 5





[B] Entire series, effect on correlation ( 0.154) is:  
 Lower 1970<-0.081 1981>-0.041 2002<-0.023 2008>-0.018 1983<-0.016  
 1997<-0.013 Higher 2015 0.053 2001 0.027  
 1967 to 2016 segment:  
 Lower 1970<-0.081 1981>-0.041 2002<-0.023 2008>-0.018 1983<-0.016  
 1997<-0.013 Higher 2015 0.053 2001 0.027

[E] Outliers 1 3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year  
 1981 +5.7 SD

=====  
 ACA16B 1970 to 2016 47 years  
 Series 18

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.528) is:  
 Lower 2003<-0.044 2008>-0.028 2012<-0.019 1972>-0.017 1982>-0.014  
 1994>-0.012 Higher 1983 0.050 2015 0.047

[E] Outliers 1 3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year  
 1983 +4.0 SD

=====  
 ACA18B 1993 to 2016 24 years  
 Series 19

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.399) is:  
 Lower 2008>-0.113 1997<-0.085 2006>-0.032 2009>-0.024 1996>-0.017  
 1994>-0.017 Higher 2015 0.237 2014 0.051

=====  
 ACA22B 1988 to 2016 29 years  
 Series 20

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.578) is:  
 Lower 1996>-0.042 2009>-0.041 2011>-0.021 2005<-0.016 1988>-0.014  
 1992<-0.012 Higher 2015 0.046 2001 0.026

=====  
 ACA24B 1975 to 2016 42 years  
 Series 21

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.468) is:  
 Lower 1975>-0.063 1994>-0.055 1981<-0.044 1979<-0.023 1998<-0.016  
 1988>-0.011 Higher 2015 0.085 1983 0.023

=====  
 ACA25B 1980 to 2016 37 years  
 Series 22

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.602) is:  
 Lower 1998<-0.038 1980<-0.034 1988>-0.030 1983<-0.028 1996>-0.022  
 1993>-0.016 Higher 2015 0.054 2008 0.023

=====  
 ACA26B 1970 to 2016 47 years  
 Series 23

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.468) is:  
 Lower 1971>-0.037 1977<-0.035 1983<-0.032 1988>-0.032 2010>-0.018  
 1970>-0.016 Higher 2001 0.026 2008 0.023

=====  
 ACA30A 1990 to 2016 27 years  
 Series 24



PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS: FINAL  
 13:27 Tue 19 Dec 2017 Page 6

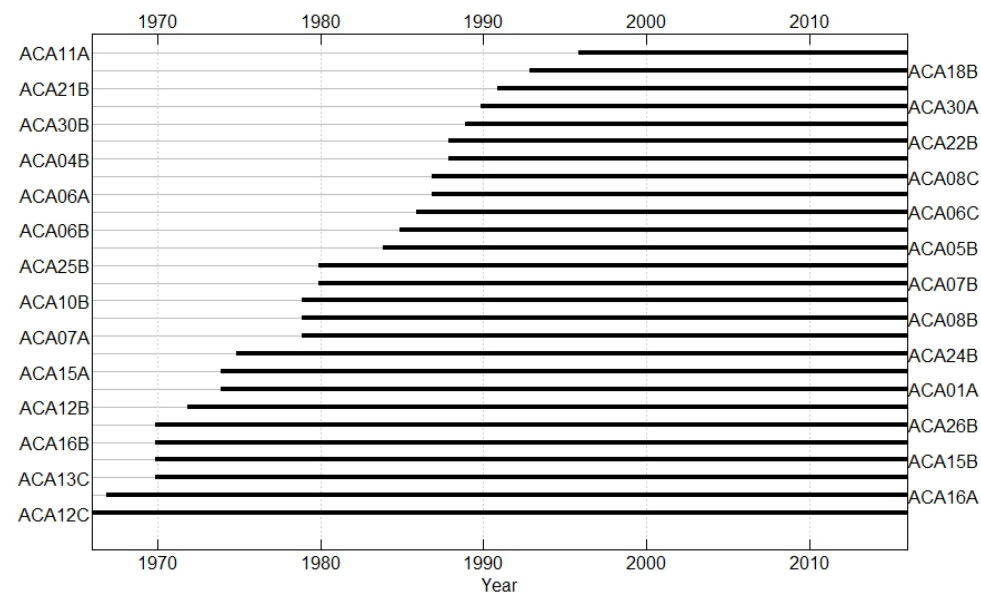
```

-----\
//---- Filtered -----\
Corr //----- Unfiltered -----\
Max      Std  Auto  AR      No.   No.   No.   with  Mean  Max   Std  Auto  Mean
Seq Series Interval AR      Years Segmt Flags Master msmt  msmt  dev  corr  sens
value   dev  corr  ()
-----
   1 ACA01A   1974 2016   43    1    1   0.294  4.59  9.87  1.974  0.715  0.222
0.72  0.323 -0.049  1
   2 ACA04B   1988 2016   29    1    0   0.568  2.84  6.24  1.530  0.746  0.320
0.88  0.425 -0.016  1
   3 ACA06A   1987 2016   30    1    0   0.592  6.78  10.21  1.950  0.783  0.151
0.50  0.231  0.082  1
   4 ACA06B   1985 2016   32    1    0   0.596  5.62  7.82  1.533  0.773  0.165
0.32  0.221 -0.017  2
   5 ACA06C   1986 2016   31    1    0   0.662  5.30  8.81  2.045  0.875  0.202
0.53  0.304  0.027  1
   6 ACA07A   1979 2016   38    1    0   0.757  4.82  7.51  1.218  0.286  0.240
0.54  0.267  0.027  1
   7 ACA07B   1980 2016   37    1    0   0.518  3.83  7.47  1.449  0.627  0.251
0.44  0.288 -0.060  2
   8 ACA08B   1979 2016   38    1    0   0.581  3.85  7.72  1.715  0.773  0.241
0.84  0.360 -0.087  1
   9 ACA08C   1987 2016   30    1    0   0.539  2.56  4.37  1.088  0.698  0.289
0.72  0.384  0.020  1
  10 ACA10B   1979 2016   38    1    0   0.415  4.16  6.84  1.560  0.466  0.305
0.58  0.354  0.045  1
  11 ACA11A   1996 2016   21    1    1   0.147  6.98  9.36  1.702  0.321  0.262
0.56  0.333  0.012  1
  12 ACA12B   1972 2016   45    1    1   0.323  3.59  5.96  1.272  0.781  0.226
0.51  0.244  0.037  2
  13 ACA12C   1966 2016   51    1    0   0.461  3.22  5.82  1.595  0.922  0.181
0.44  0.230  0.037  1
  14 ACA13C   1970 2016   47    1    0   0.503  2.41  5.14  1.441  0.879  0.243
0.66  0.305 -0.042  1
  15 ACA15A   1974 2016   43    1    0   0.518  2.48  5.75  1.571  0.867  0.404
0.97  0.421 -0.019  2
  16 ACA15B   1970 2016   47    1    0   0.553  3.43  6.22  1.358  0.800  0.221
0.56  0.279 -0.016  2
  17 ACA16A   1967 2016   50    1    1   0.154  4.19  16.15  2.446  0.548  0.295
2.49  0.520  0.002  1
  18 ACA16B   1970 2016   47    1    0   0.528  4.68  11.10  1.735  0.528  0.229
1.29  0.331 -0.002  1
  19 ACA18B   1993 2016   24    1    0   0.399  5.52  8.37  2.179  0.623  0.337
1.46  0.616  0.010  1
  20 ACA22B   1988 2016   29    1    0   0.578  5.52  10.29  1.818  0.121  0.336
0.88  0.360  0.002  1
  21 ACA24B   1975 2016   42    1    0   0.468  3.64  7.29  1.648  0.789  0.216
0.61  0.290  0.003  1
  22 ACA25B   1980 2016   37    1    0   0.602  4.27  6.51  1.206  0.476  0.229
0.47  0.269 -0.004  1
  23 ACA26B   1970 2016   47    1    0   0.468  2.64  5.18  0.767  0.541  0.197
0.47  0.231 -0.011  4
  24 ACA30A   1990 2016   27    1    0   0.421  6.04  9.21  1.554  0.700  0.167
0.31  0.171  0.066  4
  25 ACA30B   1989 2016   28    1    0   0.517  5.01  7.29  1.374  0.492  0.230
0.52  0.300  0.035  1
  26 ACA05B   1984 2016   33    1    1   0.140  2.90  10.49  2.177  0.753  0.357
0.88  0.413 -0.030  1
  27 ACA21B   1991 2016   26    1    1   0.317  3.33  10.58  2.468  0.108  0.627
1.35  0.656  0.005  1
-----
Total or mean:      990    27    6   0.468  4.07  16.15  1.622  0.649  0.259
2.49  0.331  0.000

```

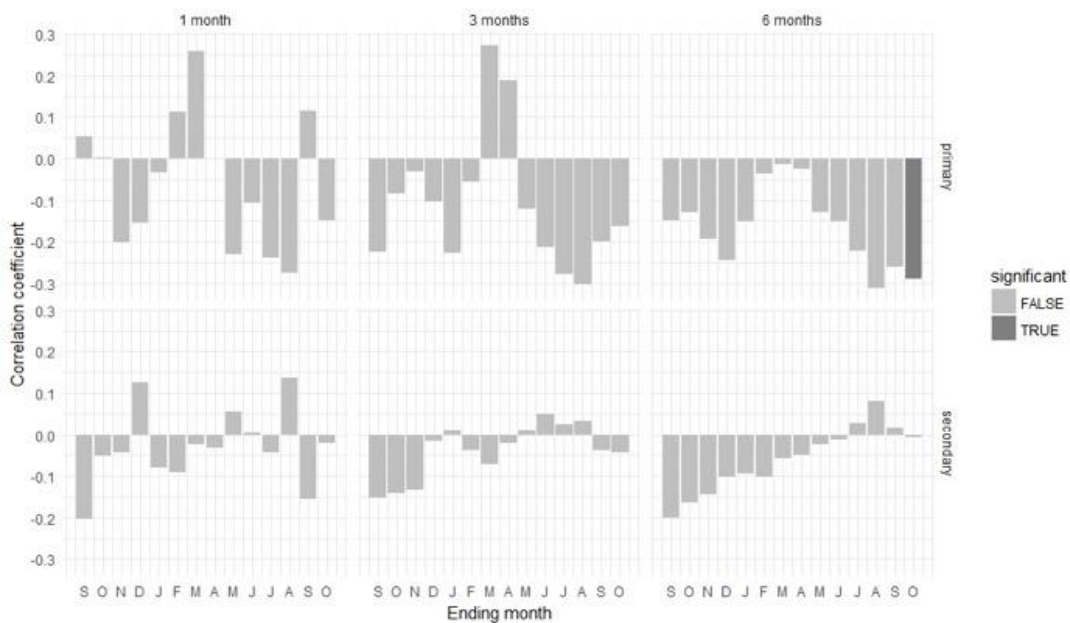
### Apéndice C. Cronología individual para los radios de las muestras de *P. hartwegii* Lindl.

**Figura 19.** Cronología individual para los radios de las muestras de *Pinus hartwegii* Lindl.

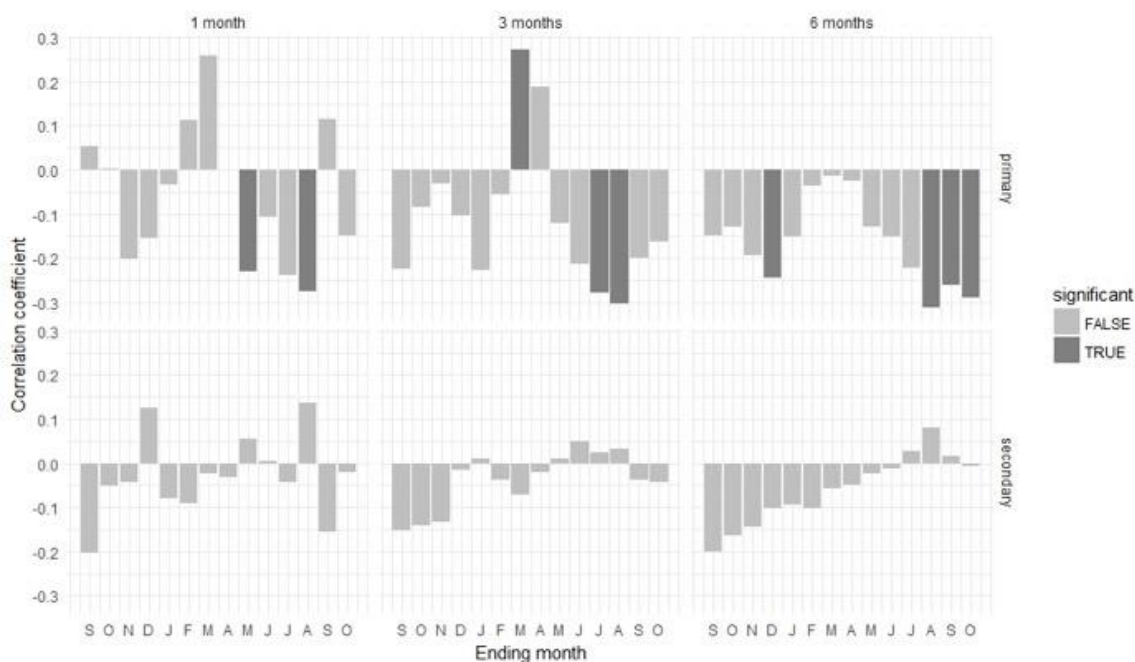


### Apéndice D. Correlación mensual y estacional de las series de los anillos contra los valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá para los años de 1976 a 2016

**Figura 20.** Correlación mensual, estacional -3 meses- y estacional -6 meses- de las series de los anillos contra valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá con  $\alpha = 0.05$



**Figura 21.** Correlación mensual, estacional -3 meses- y estacional -6 meses- de las series de los anillos contra valores instrumentales de la estación Santa Cruz Balanyá con  $\alpha = 0.1$



## Apéndice E. Cuadro de características de cada árbol

**Cuadro No. 3.** Datos de los árboles muestreados

CÓDIGO	DAP (cm)	MUESTRAS	FECHA	CÓDIGO	DAP (cm)	MUESTRAS	FECHA
ACA01	40.6	AB	17/06/17	ACA16	46	AB	17/06/17
ACA02		A	17/06/17	ACA17			17/06/17
ACA03	48.4	AB	17/06/17	ACA18	32.1	AB	17/06/17
ACA04	56.1	ABC	17/06/17	ACA19		A	17/06/17
ACA05	57.6	ABC	17/06/17	ACA20		A	17/06/17
ACA06	47.6	ABC	17/06/17	ACA21	34.6	AB	17/06/17
ACA07	36	ABC	17/06/17	ACA22	51.6	AB	17/06/17
ACA08	49.3	ABC	17/06/17	ACA23	42.2	AB	17/06/17
ACA09	50.7	BC	17/06/17	ACA24		B	17/06/17
ACA10	36.6	ABC	17/06/17	ACA25	34.6	AB	17/06/17
ACA11		B	17/06/17	ACA26		B	17/06/17
ACA12	38.5	ABC	17/06/17	ACA27	27.4	AB	17/06/17
ACA13	33.1	ABC	17/06/17	ACA28	33.1	AB	17/06/17
ACA14	55.3	AB	17/06/17	ACA29			17/06/17
ACA15	33.3	ABC	17/06/17	ACA30	39.8	AB	17/06/17



