CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN PROGRAMA DE POSGRADO

Análisis dendroclimático en el trópico húmedo de Centroamérica

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Agroforestería y Agricultura Sostenible

Pedro Pablo Gómez Gómez

Turrialba, Costa Rica, 2019

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

***MAGISTER SCIENTIAE* EN AGROFORESTERÍA Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

FIRMANTES:

Bryan Finegan, Ph.D.
Director de tesis

Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Alejandra Martínez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Luis D. Jiménez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana Escuela de Posgrado

Pedro Pablo Gómez Gómez
Candidato

DEDICATORIA

A Dios, porque me permitió teclear cada letra de este documento.

Para ti, mamá Martha, quien me tuviste en tu vientre durante 9 meses, tu hijo ha crecido, y sé cuándo te dije una vez que quería ser un campesino, no cumplí del todo… Corrí con fortuna y llegué a ser un campesino con título [agrónomo]. Tuve siempre presentes tus consejos y ahora te dedico este grado que no pagará nunca todo tu amor por mí.

Para ti, papá Francisco [Maestro Panchito], has sido un gran padre para mí, ahora que veo tus canas, me pregunto: ¿si algún día llegaré a ser la mitad de lo que eres? Me siento orgulloso de tenerte por papá, de enseñarme con tu ejemplo el valor que tienen el esfuerzo y la dedicación.

A ustedes mis hermanitos, porque aunque crezcan y sean más altos que yo, siempre serán mis hermanitos. Dedicarles este logro no compensará todos los momentos que no pasé junto a ustedes; pero sé que sabrán seguir su propio camino y sus propias decisiones. Los quiero mucho, y aunque no lo pedí ser el *Bankilal*, sigue siendo mucho peso.

¡A mi pueblo valiente OXCHUC!, por su esfuerzo en aquel 8 de enero del 2016, hoy puedo terminar una maestría y no estar en una cárcel gracias a su determinación, que aunque esto lleve tiempo, la perseverancia y la buena voluntad triunfaran.

A Ovidio (†), amigo y camarada, quien partiste antes de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Al Pueblo de México que con sus impuestos hicieron posible que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología me otorgara una beca.
A los responsables de las Becas PROBEPI: Toña, Blanca y Michel.

A los profesores que contribuyeron en mi formación.

A Bryan Finegan, por acompañarme a desarrollar esta idea que venía rondando desde el 2016, y ahora es una realidad.

A Fernando Casanoves, por su paciencia y dedicación en el análisis estadístico de esta tesis.

A Alejandra Martínez, por su paciencia en la espera para revisar esta tesis la cual parecía que llevaría más tiempo.

A Luis Diego Jiménez, por su apoyo en la revisión de este documento.

Al Dr. José Villanueva, el quinto miembro del comité, por sus oportunas observaciones para el procesamiento de las mediciones de los anillos, pues fueron cruciales para concretar esta investigación.

A tres bolillos:
Catherine y Felipe, por las horas de café que forjaron nuestra hermandad y amistad, hicieron que cada momento valiera la vida, cuando escribí esto los estaba extrañando mucho, espero que un día coincidamos en algún rincón de nuestros países o del mundo.

Para ti CAFECITO: *Por compartir la vida, la paciencia, los ánimos, los sueños, los desvelos, las locuras. Hoy compartimos este paso, ¿no sé cuántos más vendrán, o si este sea el último? pero agradezco cada vivencia y lección que has impreso en este presente.*

A mi niña Belkis, por su amistad y compañerismo. A Vanesa y Adelina por sus charlas, consejos y las aterrizadas que me dieron, creo que necesitaré más regañadas más adelante.

A Wendell, ¡Cabrón usted!, gracias hermano, te aprecio mucho… Éxito en todo!

A Fay, mi Beliceña Favorita, por tu amistad y confianza. Tus historias, sin ti la maestría hubiera sido aburrida.

A Karina ¡la mae!, por aguantar mis bromas, por tu apoyo y verificación de los datos de la estación.

A mi ahijado Ahmín, y a mis compadres Isueh y Mustafá.

Al vaquero Hawaiano Torey Jenkins, ¡un mexicano de corazón!.

A cada uno de mis compañeros de maestría: Katia, Itzá, Marcio, Gerardo.

A Fabien Charbonnier, esta idea de tesis surgió con usted durante mi etapa de asistente de investigación.

CONTENIDO

DEDICATORIA III
AGRADECIMIENTOS IV
ÍNDICE DE CUADROS VI
ÍNDICE DE FIGURAS VI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS VIII
RESUMEN IX
ABSTRACT X
1. INTRODUCCIÓN 1
2. Objetivo general 2
2.1 Objetivos específicos 2
3. REVISIÓN DE LITERATURA 2
3.1 Annona papilionella 2
3.2 Dendrocronología 3
3.2.1 Anillos de crecimiento 4
3.2.2 Cofechado 6
3.3 Influencia del clima en el crecimiento arbóreo 7
3.3.1 Tendencia Biológica y Geométrica 7
3.4 Cambio Climático en Centroamérica 7
3.4.1 Teleconexión 9
3.4.2 El niño/Oscilación Sur [ENSO] 9
3.4.3 Índice Oceánico del Niño [ONI] 10
3.5 Funciones de correlación y respuesta 11
3.5.1 Método Bootstrap 12
4. METODOLOGÍA 13
4.1 Localización del estudio 13
4.2 Muestreo 14
4.3 Medición y verificación de anualidad 15
4.4 Índice de Ancho de Anillo y relación climática 17
4.5 Cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas 18
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
5.1 Estructura y anualidad 19
5.2 Relación climática del IAA 21

5.3 Relaciones dendroclimáticas 23
6. CONCLUSIONES 26
7. LITERATURA CITADA 26

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Formato de presentación de los valores del Índice Oceánico del Niño obtenidos del NOAA..... 11
Cuadro 2.- Base de datos de la estación meteorológica de CATIE y valores del Índice Oceánico del Niño..... 18
Cuadro 3.- Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para el modelo ajustado entre IAA de A. papilionella y las variables climáticas de la estación del CATIE y de los valores del Índice de Oceánico del Niño..... 22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Muestras colectadas por el Smitsonian Tropical Research [https://stricollections.org/portal/taxa/index.php?taxon=61697&clid=71]..... 3
Figura 2.- Anillo perdido y falso anillo..... 5
Figura 3.-Representación del COFECHADO. Fuente: Cerano-Paredes et al. (2009)..... 6
Figura 4.- Impactos del Cambio Climático en el Producto Interno Bruto de Centroamérica en el 2010. Fuente: (FAO/ECHO/ACH 2012). 9
Figura 5.-Impactos del Cambio Climático en el Producto Interno Bruto de Centroamérica en 2030. Fuente: (FAO/ECHO/ACH 2012)..... 9
Figura 6.-Valores del Índice Oceánico del Niño calculados con la versión ERSSSTv5 del periodo de 1950 al 2017..... 11
Figura 7.-Representación gráfica de intervalos múltiples en DENDROCLIM2002 entre 1950 y 1996 utilizando una longitud de base (o intervalo mínimo). 13
Figura 8.- Variables climáticas de Turrialba, construido con los promedios mensuales de la estación meteorológica de CATIE. Esta estación se encuentra ubicada en las coordenadas 9°53´28´´ LN, 83°39´10´´LW, 609 M.S.N.M. 13
Figura 9.- Mapa de la ubicación del bosque secundario en donde se obtuvieron las muestras de Annona papilionella. 14
Figura 10.- Obtención de muestras a través de un barreno Pressler. 14
Figura 11.- Corte transversal de Annona papilionella. 15
Figura 12.- Núcleos de crecimiento escaneados para su procesamiento en Cybis Coorecorder 9.3.1. y Cdendro9.3.1..... 15
Figura 13.- Proceso de medición de y datación de una muestra de Annona papilionella en Cybis CooRecorder 9.3.1. La muestra corresponde a una de las muestras transversales e indica cada uno de los anillos identificados respecto de los años de formación. 16

Figura 14.-Visualización de los crecimientos de las muestras AP052D [línea verde] y AP678A [línea ázul]..... 16
Figura 15.- Esquema metodológico para la obtención del Índice de Ancho Anillo y cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas. 19
Figura 16.- Skeleton plot de las muestras AP052D y AP578A. En ella se verifica el patrón de crecimiento entre dos núcleos de la especie, en este caso entre dos árboles. 20
Figura 17.- Distinción visual de madera temprana [A] y madera tardía [B] en Annona papilionella. 20
Figura 18.- Tendencia en el tiempo del crecimiento de Annona papilionella (línea continua, representa el ancho de anillo par esos años) y el número de anillos medidos para la obtención del crecimiento de la especie (línea interrumpida) 21
Figura 19.-Índice de ancho de anillo [IAA, línea continua] de A. papilionella, en el cual se elimina las tendencias biológicas y geométricas para maximizar la señal climática. La línea azul es el suavizado cubico del IAA. La línea interrumpida representa la cantidad de anillos que se estandarizaron para obtener el IAA de ese año..... 21
Figura 20.-Análisis de correlación del IAA con los promedios mensuales de temperatura registradas en la estación meteorológica del CATIE. Las barras muestran las correlaciones y la línea morada el comportamiento de la temperatura a lo largo del año..... 23
Figura 21.- Análisis de correlación del IAA con la precipitación registrada en la estación meteorológica del CATIE. Las barras muestran las correlaciones y la línea azul el comportamiento de la precipitación a lo largo del año. 24
Figura 22.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos evolutivos hacia atrás para el periodo de 1951-1968. El cual muestra correlaciones positivas. 24
Figura 23.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos evolutivos hacia adelante para el periodo de 2000-2017. El cual muestra correlaciones positivas..... 25
Figura 24.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos móviles para el periodo de 2000-2017. El cual muestra correlaciones positivas..... 25

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AA	Ancho de Anillo
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CC	Cambio Climático
CpMallows	Criterio de Predicción de *Mallows*
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IAA	Índice de Ancho de Anillo
ICOADS	Conjunto de datos Internacionales de Atmósfera Oceánica Integral
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
$MtCO_2Eq$	Millones de Toneladas de CO_2 Equivalente
MEI	Índice ENSO Multivariado
m.s.n.m	Metros sobre el nivel medio del mar
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
ONI	Índice Oceánico del Niño
DJF	Diciembre-Enero-Febrero
JFM	Enero-Febrero-Marzo
FMA	Febrero-Marzo-Abril
MAM	Marzo-Abril-Mayo
AMJ	Abril-Mayo-Junio
MJJ	Mayo-Junio-Julio
JJA	Junio-Julio-Agosto
JAS	Julio-Agosto-Septiembre
ASO	Agosto-Septiembre-Octubre
SON	Septiembre-Octubre-Noviembre
OND	Octubre-Noviembre-Diciembre
NDJ	Noviembre-Diciembre-Enero
SST	Temperatura Superficial del Mar
AIC	Criterio de Información de Akaike
BIC	Criterio Bayesiano de Información
VIF	Factor de Inflación de la Varianza

RESUMEN

El desarrollo de la dendrocronología en regiones del trópico húmedo inicia con la exploración de la presencia de anillos anuales en los árboles. La distinción de madera tardía y madera temprana suele ser un buen indicio. Sin embargo, la diferenciación de estas estructuras no evidencia ni confirma que esa especie arbórea posea anillos anuales de crecimiento y la dificultad de demostrar la anualidad con los softwares clásicos [COFECHA, ARSTANL, FMT] de dendrocronología se acentúa si la especie por analizar presenta un fuste irregular [común en árboles tropicales]. El análisis anatómico de madera es imperante para confirmar la anualidad de los anillos. No obstante, la característica caducifolia de la especie y la presencia de particularidades climáticas interanuales, suman características para la presencia de especies arbóreas con anillos de crecimiento anual. Esta investigación se realizó en un bosque secundario del cantón de Turrialba, Costa Rica, el cual se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 21.9 °C y una precipitación promedio anual de 2696 mm. Se recolectaron muestras en 28 individuos de *Annona papilionella* con cuatro mediciones en diferentes lados de cada individuo muestreado. Se dataron 6259 anillos de crecimiento, mediante la digitalización de las muestras en formato *.JPG* con un scanner *EPSON Perfection V850 Pro* en una resolución de 2400 ppp. La medición y datado de los anillos se realizó por medio de los softwares complementarios *Cybis Coorecorder 9.3.1. y Cdendro9.3.1*; lo anterior y el análisis anatómico de la madera confirmó la formación de anillos anuales. Con los softwares clásicos se obtuvo el Índice de Ancho de Anillo [IAA] del 2017 a 1950. Para explicar la influencia ambiental en el IAA, se acondicionó una base de datos de las variables climáticas medidas de estación meteorológica del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]; también se incluyeron los valores del Índice Oceánico del Niño [ONI] para el mismo periodo que abarca el IAA. Debido a que había más variables que registros [años] y que no todas las variables estaban registradas en todos los años, se optó por realizar un análisis de regresión múltiple aplicando la técnica de selección *Stepwise.* De las 145 regresoras, la técnica retuvo ocho regresoras que generaron un modelo con un R^2 de 0.84 y un R^2 ajustado de 0.77. El modelo obtenido refiere que la precipitación del mes de marzo y el promedio de la temperatura mínima del mismo, influyen en el IAA. También se presenta una teleconexión con los valores de JFM y AMJ del Índice Oceánico del Niño. También se analizaron con el Software DEDNROCLIM2002 los cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas del IAA de *A. papilionella,* el cual confirmó la correlación positiva de la precipitación de marzo y correlaciones positivas con algunos valores del ONI. Finalmente, se concluye que es importante seguir desarrollando la dendroclimatología para comprender la influencia de las variables y teleconexiones climáticas en la productividad forestal de los bosques del trópico húmedo.

Palabras Claves: Dendroclimatología, ONI, Teleconexiones, Relación Climática, *Annona papilionella*, Índice de Ancho de Anillo

ABSTRACT

The development of dendrochronology in humid tropical regions begins with the exploration of the presence of annual rings in trees. The distinction of late wood and early wood is usually a good indication. However, the differentiation of these structures does not necessarily confirm that a tree species has annual growth rings and the difficulty of demonstration with the classic dendrochronological software [COFECHA, ARSTANL, FMT] is accentuated if the species to be analyzed has an irregular trunk, a common feature of tropical trees. The anatomical analysis of wood is imperative to confirm the annual nature of the rings. However, if a tree species is deciduous and the climate seasonal, the probability of tree species with annual growth rings increases. This research was conducted in a secondary forest of Turrialba County, Costa Rica, which is characterized by a mean annual temperature of 21.9 ° C and mean annual precipitation of 2696 mm. Samples were collected in 28 *Annona papilionella* trees with four measurements on different sides of the tree. 6259 growth rings were dated, by digitizing the samples in .JPG format with an EPSON Perfection V850 Pro scanner at a resolution of 2400 dpi. The measurement and dating of the rings was carried out by the complementary software *Cybis Coorecorder* 9.3.1. and Cdendro9.3.1. These procedures and the anatomical analysis of wood confirmed the presence of annual rings. The Ring Width Index [IAA] was obtained from 1950 to 2017. To explain the environmental influence on the IAA, a database of the climatic variables measured from the CATIE weather station was constructed and values of the EL Niño Oceanic Index for the same period covered by the IAA were obtained. Because there were more variables than records [years] and not all variables were recorded in all years, we chose to perform a multiple regression analysis using the Stepwise selection technique. Of the 145 potential predictors, the technique retained eight, generating a model with an R2 of 0.84 and an adjusted R2 of 0.77. The model obtained indicates that the March precipitation and average minimum temperature influence the IAA. There is also a potential teleconnection with the El Niño Oceanic Index for January, February and March and April, May and June. The temporal changes in the dendroclimatic relations of the IAA of *A. papilionella* were also analyzed with the DEDNROCLIM2002 Software, which confirmed the positive correlations of IAA with March precipitation and some ONI values. Finally, it is concluded that it is important to continue developing dendroclimatology to understand the influence of climatic variables and teleconnections in the productivity of tropical rain forests.

Key Words: Dendroclimatology, ONI, Teleconnection, climatic relation, Annona papilionella, Ring Width Index.

1. INTRODUCCIÓN

El engrosamiento periódico y concéntrico de los anillos de crecimiento de los árboles permite explorar sus interacciones con el ambiente (Hughes et al. 2011); este engrosamiento actúa como sensor natural de los cambios en el ambiente, conservando información histórica de múltiples variables, que en su conjunto explican el crecimiento arbóreo [Competencia intra- e inter- especifica, desempeño fisiológico, nutrición mineral, y demás], que con el empleo de softwares especializados en dendrocronología permite el estudio formal del comportamiento histórico del ambiente.

La importancia de los estudios dendrocronológicos se había acotado al estudio de las interacciones de las especies arbóreas en ambientes templados (Grau et al. 2003); con expresiones relevantes como la construcción de curvas de crecimiento para la estimación de la producción de madera, herramienta útil para la planificación forestal. Sin embargo, el uso de anillos de crecimiento ha cobrado importancia para la comprensión de las expresiones climáticas; la relación de su grosor con las variables climáticas, permiten entender y datar la variabilidad del clima. Su utilidad en la descripción y reconstrucción de patrones de perturbaciones permitió que las investigaciones concentradas en regiones boreales o zonas templadas, dieran paso a investigaciones similares en los trópicos (Grau et al. 2003, Brienen y Zuidema 2005, Hughes et al. 2011).

Con los efectos inherentes de la variabilidad y cambio climático, generado por la acción directa e indirecta del hombre (IPCC 1995) se reconoce la sensibilidad y vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales (IPCC 2001). No obstante, los escenarios contemplados por el IPCC refieren escalas globales, continentales; con una gama de variaciones en los escenarios de emisiones (IPCC 2001, 2014), lo que da lugar a la incertidumbre de los efectos locales en los sistemas naturales y humanos. Ante esa incertidumbre, el empleo de la dendroclimatología y dendroecología para reconstrucciones climáticas, y el estudio histórico de los efectos del clima en la formación de madera, facilitan más información para una mejor toma de decisiones ante los escenarios cambiantes (IPCC 2001, 2014, Stoffel et al. 2010, Hughes et al. 2011, Layme-Huaman et al. 2018).

Descifrar los efectos de la variabilidad climática en sensores naturales como los árboles, facilitará establecer relaciones más cercanas de sus efectos itinerantes en un contexto regional. Aunado a las investigaciones dendroclimáticas y la necesidad de entender los efectos regionales de la variabilidad climática, esta investigación pretende explorar el potencial dendroclimático de *Annona papilionella* y establecer los efectos del cambio climático en el crecimiento diamétrico (Gutiérrez 2009), esto permitirá demostrar que en los trópicos húmedos existen especies que generan anillos de crecimiento anual, con potencial predictivo sobre los efectos de la variabilidad del clima, y su relación con teleconexiones climáticas.

Esta investigación ha usado los softwares clásicos COFECHA, ARSTANL y FMT desarrollados por Cook y Holmes (1999) y Grissino-Mayer (2001), para establecer las

relaciones entre el Índice de Ancho de Anillo [IAA] con variables climáticas y el Índice Oceánico del Niño [ONI por sus siglas en Inglés]. Así mismo con DENDROCLIM2002 se analizan los cambios temporales de las relaciones dendroclimáticas (Biondi y Waikul 2004).

2. Objetivo general

Determinar la relación del crecimiento arbóreo con el clima en un sitio del trópico húmedo de Centroamérica, como contribución a la dendroclimatología en los trópicos.

2.1 Objetivos específicos

- Determinar la presencia de anillos de crecimiento anual en *Annona papilionella.*
- Establecer el grado de correlación entre el engrosamiento diamétrico de *Annona papilionella* con variables climáticas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Annona papilionella

Los estudios moleculares y reclasificaciones que ha tenido esta especie, acepta como sinonimias a *Rollinia microsepala, Rollinia pittieri, Rollinia papilionella;* y como nombre actual a *Annona papilionella* (Zamora 2006, Rainer 2007). Es una especie característica de los bosques neotropicales (Finegan 1992) que tiene preferencia por los espacios abiertos (Zamora 2006); es considerada como una especie maderable de bosques secundarios (Guariguata 2000, Zamora 2006) con hábito caducifolio durante los meses de noviembre a marzo. También es una especie que se adapta bien en las pasturas (Piotto 2007). Sus flores se observan de enero a agosto, con presencia de frutos entre enero-agosto y octubre a diciembre (Zamora 2006).

Esta especie se extiende desde Nicaragua a Brasil y Bolivia (Zamora 2006). En Costa Rica se distribuye en la zona norte, en la vertiente del Caribe, Pacífico central y Zona Sur, en un rango de 0 a 700 m.s.n.m. El *Smitsonian Tropical Research* [Figura 1]donde ha realizado colectas, y confirma la generalidad de la distribución de *Annona papilionella* reportados por Finegan (1992), Zamora (2006) y Rainer (2007).

Esta especie cuenta un fuste recto con gambas a una altura de 1.2 m, este presenta una pubescencia blanquecina. Posee hojas simples, alternas, dísticas de 10-18 x 3.5-7 cm, una hoja oblonga o lanceolado-oblongas, ápice acuminado, base cuneada a redondeada, glabras en el haz y blanquecino seríceas en el envés, venas secundarias de 10 a 20 por lado; peciolos hasta 1.6 cm de largo. Presenta flores verdes, amarillentas o anaranjadas, sépalos diminutos, con tres pétalos externos de 1.5-3 x 1-1.8 cm, obovados y arreglados en forma de hélice; estambres numerosos, las inflorescencias con ripidios cortos con 1-5 flores, supra-axilares u opuestos a las hojas. Sus frutos son sincárpicos de 1.5-3.5 x 1.5-3 cm, globosos a ovoide, verde amarillo-verdoso, con numerosos carpelos casi lisos y pubescentes (Zamora 2006).

Figura 1.- Muestras colectadas por el *Smitsonian Tropical Research*
[https://stricollections.org/portal/taxa/index.php?taxon=61697&clid=71]

3.2 Dendrocronología

La dendrocronología como ciencia, parte del estudio de los anillos de crecimiento de los árboles como medio para la datación de eventos ambientales que han influido en el crecimiento anual del árbol. El fechado de los anillos y la obtención de IAA permite ubicar acontecimientos puntuales en el tiempo. Esta ciencia ha permitido el estudio de las perturbaciones forestales, la reconstrucción de fenómenos climáticos [precipitación, temperatura, radiación, ENSO, ONI], geomorfológicos, reconstrucción de caudales en cuencas, índice de sequias y fluctuaciones de los niveles de agua subterránea (Fritts 1976, Villanueva Díaz et al. 1989, Villalba et al. 2000, Dang et al. 2008, Van der Valk 2009, Gholami et al. 2015, Díaz Ramírez et al. 2016).

En sus diversas disciplinas ha permitido comprender la dinámica de los bosques en el tiempo y su interacción con el ambiente los cuales que han dado lugar a disciplinas como para estudiar procesos ecológicos [dendroecología], comportamiento y reconstrucción del clima [dendroclimatología], reconstrucción de caudales [dendrohidrología], regímenes de incendios [dendrocronopirología], reconstrucciones de deslizamientos y aludes [dendrogeomorfología]; actividad de glaciares [dendroglaciología], disciplinas que surgieron con la necesidad de entender la historia de los procesos ambientales(Kaennel y Schweingruber 1995, Stoffel et al. 2010, Avila et al. 2014, Cerano et al. 2015).

La construcción de series climáticas extensas permite una mejor apreciación de los eventos locales y regionales. Para ello, se han empleado anillos de crecimiento, capas de hielo, polen fósil, sedimentos marinos y corales (Bradley 1999). No obstante, el desarrollo de las series climáticas en América se ha centrado en la dendroclimatología, y utilizando Índice de Ancho de Anillo [IAA] se reconstruyen las variables climáticas que condicionan o limitan el crecimiento de los anillos (Villalba et al. 2000, Sheppard 2010, Rozendaal y Zuidema 2011). Trabajos como los de Cook et al.(2007) y Stahle et al. (2016) muestran su utilidad en la construcción de los Atlas de sequias en México y Norteamérica.

Los intentos de establecer la relación del índice de ancho de anillo [IAA, estandarización de los anillos de crecimiento] con variables climáticas, dio origen a trabajos como los de (Cook y Holmes 1999, Stahle et al. 1999, Stoffel et al. 2010, Villanueva Díaz et al. 2010, Cerano Paredes et al. 2015); que han permitido sincronizar cronologías en México y Norteamérica para crear la *Mexican Drought Atlas* [desde 1400-2012] y la *North American Drought Atlas* [desde AD 0000-2005] en donde se construyen las sequias que han afectado a esta región de América. En ellas se destacan coincidencias con la sequía de 1454 que provocó una hambruna en el imperio Azteca (Cook et al. 2007, Stahle et al. 2016). Así mismo, de las sequías y heladas en los mismos años de 1624, 1786 y 1808 reportada en la investigación documental de (Domínguez 2016).

El desarrollo de la dendrocronología en América no habría sido posible sin las contribuciones de (Cook y Holmes 1999, Grissino-Mayer 2001) en el desarrollo de softwares como COFECHA, ARSTAN, FMT los cuales son funcionales en la obtención del IAA, la base para estudiar las interacciones ambientales con el crecimiento arbóreo. En la época contemporánea se han desarrollado softwares como DENDROCLIM2002 (Biondi y Waikul 2004) y el paquete BootRes con base en R (Zang y Biondi 2013). Sin embargo en la actualidad es posible analizar la relación del IAA con las diferentes variables climáticas con softwares estadísticos como InfoStat.

3.2.1 Anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento como la columna vertebral de la dendrocronología, se ha caracterizado de manera particular por su morfología y estructura celular, ello permite conocer las perturbaciones a las cuales han estado sometidos (Bernal 2000, Roig et al. 2012, Amoroso y Suárez 2015). Entre ellos, los anillos de *crecimiento anual* se conforman por dos bandas con estructuras y morfologías definidas, las que pueden ser nombradas madera temprana [de primavera] y madera tardía [de verano]. La primera posee menor densidad y la segunda de mayor densidad [formada en la fase terminal de crecimiento]. La madera temprana presenta un mayor diámetro en las traqueidas [característica fisiológica que dota a la banda como la etapa de mayor crecimiento]; en tanto, la madera tardía presenta traqueidas y paredes más reducidas, característica fisiológica que permite la formación de madera de resistencia mecánica (Kaennel y Schweingruber 1995, Villanueva Díaz et al. 2010).

Partiendo de esa perspectiva, un anillo anual condensa la información de las condiciones ambientales que prevalecieron durante su periodo de formación, por lo cual su análisis «permite generar series de tiempo de alta resolución» (Fritts 1976, Villanueva Díaz et al. 2010).

La confusión que generan los *falsos anillos* [Figura 2]se debe a la simulación de anillos completos y con límites definidos. Se generan en un periodo de crecimiento no anual. Su distinción de un anillo verdadero es morfológicamente imposible; por ende, el empleo de la datación cruzada permite descartarlo como anillo verdadero (Kaennel y Schweingruber 1995, Villanueva Díaz et al. 2010). En algunas muestras suelen presentarse *anillos ausentes* [Figura 2], su ausencia son producto de una baja señal ambiental que impidió la activación del cambium vascular (Kaennel y Schweingruber 1995, Pumijumnong y Wanyaphet 2006).

Para descartar un anillo falso, implica realizar la datación cruzada de las muestras [núcleo o corte transversal] de madera (Kaennel y Schweingruber 1995). Ello implica la identificación de *anillos característicos*, en forma de anillo ausente, anillo falso o anillos con daños físicos, madera de compresión por aumento de conductos vasculares y daños en la estructura celular (Kaennel y Schweingruber 1995, Díaz Ramírez et al. 2016).

Ante perturbaciones por deslizamiento, viento o golpe, se genera *madera de comprensión* como un mecanismo de compensación del centro de gravedad del árbol; se caracteriza por tener una madera más oscura, anillos compactos, producto del desarrollo de células con paredes muy engrosadas, lignificadas, y ocasionalmente, pueden presentar fisuras (Kaennel y Schweingruber 1995, Van der Valk 2009, Stoffel et al. 2010).

Figura 2.- Anillo perdido y falso anillo.

3.2.2 Cofechado

La aparición del cofechado [datación cruzada de anillos formados en una misma época y sitio, figura 3] en el estudio de Arthur Freiherr Von Seckendorff-Gudent, sentó las bases para el establecimiento de la anualidad de los anillos y los patrones de crecimiento en los anillos (Kaennel y Schweingruber 1995, Schweingruber 1988, Stoffel et al. 2010, Giraldo 2011). Con todo ese esfuerzo, Burgsdorf fue el que mereció el título del padre del cofechado por haber encontrado relación de las heladas en Alemania en el invierno de 1708-1709 con los anillos de crecimiento de los árboles que estudió (Schweingruber 1988). En tanto, Robert Hartig (1869-1901), demostró en sus publicaciones la relación de los anillos de crecimiento con daños provocados por granizo, heladas e insectos (Schweingruber 1988, Stoffel et al. 2010).

El desarrollo del cofechado permitió el estudio del comportamiento ambiental en el contexto temporal [comportamiento del ambiente a lo largo de los años], su aplicación permitió sincronizar anillos coetáneos de árboles jóvenes, longevos y muertos de un mismo sitio, lo cual ha permitido extender las cronologías de los distintos estudios (Studhalter 1956, Kaennel y Schweingruber 1995). Sin embargo, para su aplicación es importante considerar que la adaptación y evolución de las especies se acotan a una amplitud ecológica (Schweingruber 1988, Giraldo 2011, Stoffel et al. 2010, Hughes et al. 2011), lo que condiciona a seguir explorando especies potenciales para el estudio climático de los sitios a través del uso de la dendrocronología como ciencia central.

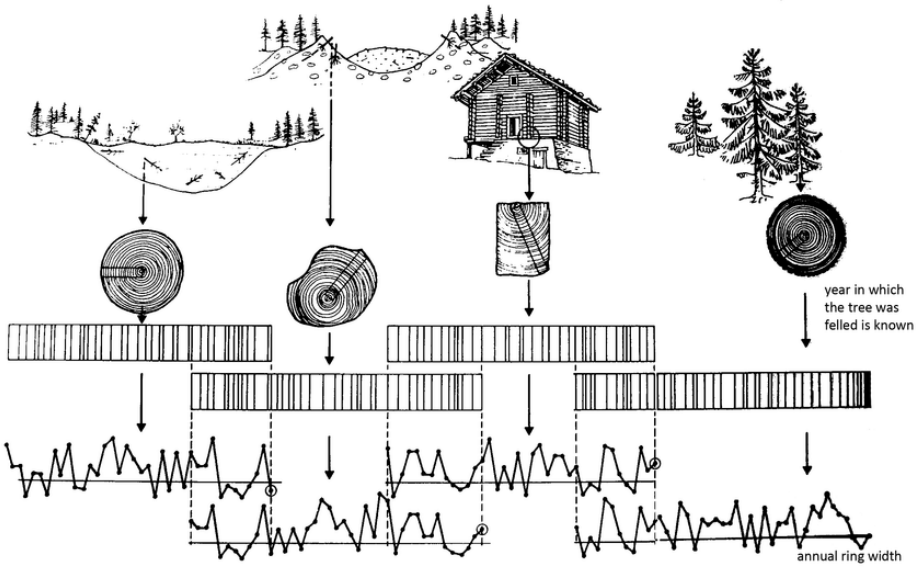

Figura 3.-Representación del COFECHADO. Fuente: Cerano-Paredes et al. (2009)

3.3 Influencia del clima en el crecimiento arbóreo

El crecimiento diamétrico de los árboles lo definen una diversidad de variables, y son el clima y el suelo los principales factores determinantes. Sin embargo, para la sensibilidad climática de las especies arbóreas, es importante considerar que estos expresarán en mayor medida la condición que más restricciones imprime en su crecimiento (Villalba et al. 2000, Stoffel et al. 2010, Forero et al. 2014, Amoroso y Suárez 2015).

La temperatura y la precipitación tienen efectos directos en el crecimiento arbóreo (Valk 2009, Gholami et al. 2015, Díaz et al. 2016). En términos fenológicos, Chapman et al. (2018) reportan que estas dos variables imprimen un efecto positivo en la fructificación. Sin embargo, resaltan que el mejor predictor de la fructificación es radiación solar. Pero el amento de la precipitación asociada al cambio climático y por consiguiente el aumento de la nubosidad, impactará directamente en la fructificación (Chapman et al. 2018). Bajo, esos términos, trabajos como los de Stoffel et al. (2010) y Dussart et al. (2015) refieren que cada elemento limitante o perturbación climática en la que se encuentre inmerso una especie arbórea, desencadenará un proceso fisiológico que se reflejará en la morfología celular de la madera, o bien en floraciones anticipadas o tardías (Granados 2010, Chapman et al. 2018).

3.3.1 Tendencia Biológica y Geométrica

Las tendencias biológicas que influyen en el crecimiento arbóreo como : i) la competencia por nutrientes, agua, nutrientes, luz y sombra, ii) la supresión generada por el estrés por factores ecológicos tales como la erosión, ataque de insectos, incendios, tala selectiva o por el ramoneo de animales, iii) la liberación generada por los claros y eliminación de individuos con los cuales competía por nutrientes, luz y agua; iv) la ontogenia entendida como el desarrollo arbóreo definido por la genética. Así mismo, las tendencias geométricas hacen referencia al crecimiento diamétrico, y la disminución anual de los anchos de anillo por distribuirse en un área mayor (Fritts 1976, Kaennel y Schweingruber 1995, Constante García et al. 2009, 2010, Chávez-Gándara et al. 2017).

3.4 Cambio Climático en Centroamérica

El cambio climático [CC] se define como la variación del estado del clima, identificable [con pruebas estadísticas] en las variaciones del valor medio y en la variabilidad de sus propiedades; los que muestran tendencias de incremento en periodos largos [décadas] atmosférica(IPCC 2001, 2013, 2014). Estos cambios se atribuyen a acciones antropogénicas, procesos internos naturales, modulaciones en ciclos solares, erupciones y cambios en la composición atmosférica (IPCC 2013). Uno de los causantes directos ha sido el aumento de los gases de efecto invernadero, que muestran unos niveles históricos comparados con los últimos 800 mil años; por consiguiente, ha derivado en el incremento de la temperatura del planeta en 0.85° C en el periodo de 1880 al 2012 (IPCC 2013). El derretimiento del Ártico

superó las proyecciones, e incluso el aumento del nivel del mar en 1 m para el 2100, podría aproximarse a los 2 m (Berger et al. 2012). Sus efectos y desarrollo seguirán siendo continuos y crecientes, a tal punto de que las proyecciones y compromisos de los países seguirán siendo rebasadas.

El cambio climático como un elemento inherente del devenir histórico de la tierra demanda la racionalidad de los grupos humanos para preservarse como especie. Así mismo, requiere adaptar y buscar las condiciones para seguir coevolucionando con las especies de las que se alimenta. En esa búsqueda de la racionalidad y de la coevolución de las diferentes realidades implicarán en cada ambiente medidas particulares (Worster 2008).

Centroamérica, como cualquier territorio, y por la diversidad de ambientes que posee, presenta complejidades particulares para la adaptación y mitigación del cambio climático (Corrales 2010). Sumado a la presencia de los océanos Pacífico y Atlántico, la variabilidad climática de la región aumenta. Por ejemplo, el calentamiento superficial del Atlántico incide en el aumento de la precipitación en esa vertiente, mientras que el aumento de la temperatura del Pacífico y el descenso del Atlántico se refleja en la disminución de la precipitación de la vertiente del Pacífico (Imbach et al. 2017). En esa complejidad la temperatura ha aumentado 1 °C aproximadamente desde 1990, esto a consecuencia de un aumento del 2.5 % de los días y noches cálidos, y en sentido inverso se ha presentado la disminución del 2.2 de días y noches frías (Corrales 2010).

Como región genera emisiones inferiores al 0.5 %. de gases de efecto invernadero GEI. En el 2005 emitió 200 toneladas métricas de CO_2 equivalente [$MtCO_2Eq.$]; y es Guatemala el que aporta el 45 %, Honduras con el 31 % y el resto de los países valores del 7 %. En el periodo de 1960-2006, la región ha mostrado un crecimiento acelerado de las emisiones, y en ella Belice, Costa Rica y Honduras han mostrado el mayor crecimiento(Corrales 2010). Estos cambios repercutirán directamente en las aptitudes ecológicas y agroecológicas de los sitios; lo cual, sumados a la complejidad económica y social de la región, desencadenará problemas particulares y complejos para cada país (Granados y Sarabia 2010, Corrales 2010, Imbach et al. 2012, Lipper et al. 2014, CEPAL 2015, Imbach et al. 2017). Los grados de afección en el Producto Interno Bruto [PIB] serán distintos. Sin embargo, esto irá en detrimento de la calidad de vida de sus habitantes (FAO/ECHO/ACH 2012).

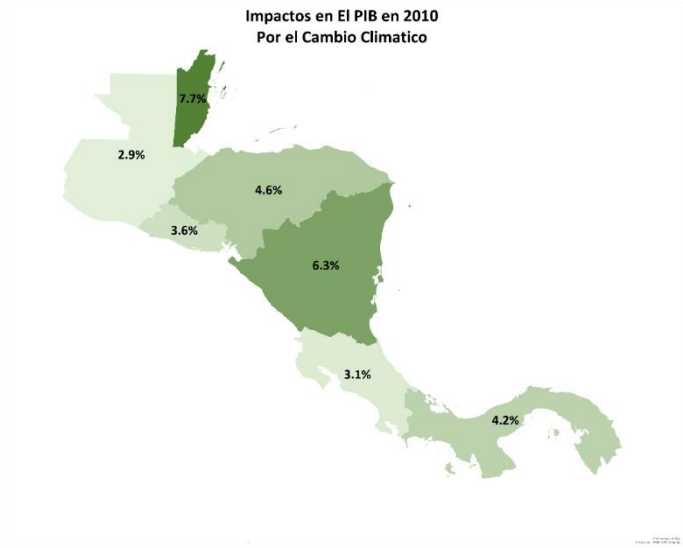

Figura 4.- Impactos del Cambio Climático en el Producto Interno Bruto de Centroamérica en el 2010. Fuente: (FAO/ECHO/ACH 2012).

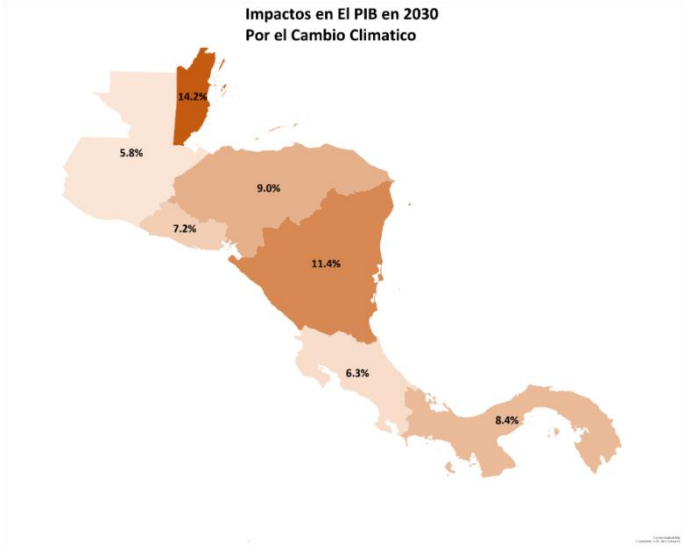

Figura 5.-Impactos del Cambio Climático en el Producto Interno Bruto de Centroamérica en 2030. Fuente: (FAO/ECHO/ACH 2012).

3.4.1 Teleconexión

El glosario de IPPC (2013) define «*teleconexión* como una asociación estadística entre variables climáticas en lugares geográficos muy distantes entre sí». Las teleconexiones son producto de las grandes estructuras espaciales como formas de variabilidad océano-atmósfera. Las teleconexiones más importantes son EL niño/Oscilación del Sur [ENSO], El Índice Decadal del Pacífico [POD] y el Índice Oceánico del Niño.

3.4.2 El niño/Oscilación Sur [ENSO]

EL niño/Oscilación del Sur [ENSO] es el fenómeno océano-atmosférico más importante, sus efectos se manifiestan en la variabilidad del clima global en escalas estacionales e

interanuales (Wolter 1989, Wolter y Timlin 2011, Hughes et al. 2011). La NOAA [https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php], define a este fenómeno como la fluctuación periódica de la temperatura superficial del mar [El Niño] y la presión atmosférica de atmósfera suprayacente [Oscilación del Sur] a través del Pacífico ecuatorial, alcanzando su plenitud al final del año.

Los intentos de monitorear el ENSO para un mejor entendimiento remite al uso del Índice ENSO Multivariado [MEI], el cual implica el uso de seis variables observadas en el Pacífico tropical como son Presión al nivel del mar, Presión Zonal, Presión meridional, viento en la superficie, temperatura de la Superficie del mar, temperatura del aire en la superficie del mar, temperatura de la superficie y la fracción de nubosidad total (Wolter y Timlin 2011).

Bjerknes (1966) menciona el vínculo entre la Oscilación Sur [SO] y El Niño. Rasmusson y Carpenter (1982) describieron las regiones Niño [1,2,3 y 4] usando pistas de barcos. No obstante, la definición de la región 3.4 SST [SST=Temperatura de la superficie del mar] maximiza la señal del ENSO (Barnston et al. 1997). En ese tenor, el índice de Niño 3.4 usa una media de 5 meses, y esto permite definir los eventos de El niño o La niña cuando la temperatura superficial del mar excede ± 0.4 °C por un periodo de seis meses o más.

Los efectos del CC y el ENSO en las cronologías son perceptibles. Especies como *Toona ciliata* muestra una correlación positiva de la precipitación y su actividad cambial, concluyendo que la actividad cambial se relaciona con la cantidad de lluvia (Bender, citado por Pumijumnong y Buajan 2013). Por su parte, Banks y Heinrich (2006) refieren que una colecta de *Toona ciliata* en bosques tropicales y subtropicales de Australia confirma la relación positiva y la precipitación. Tiempo después Heinrich et al. (2009) mostraron que existe una asociación entre el ancho de anillo con ENOS. En otro estudio Layme-Huaman et al. (2018) refieren una relación entre la cronología de *Cedrela nebulosa* con el Índice ENSO y la temperatura superficial del Océano Pacífico.

3.4.3 Índice Oceánico del Niño [ONI]

El NOAA (2019) define el ONI como una medida de El Niño-Oscilación del Sur, los valores ONI proporcionados por el NOAA se actualizan el primer jueves de cada mes, «debido a los filtros de alta frecuencia aplicado a los datos de ERSSTv5» (Huang et al. 2017). Estos valores pueden modificarse hasta meses de la publicación de su valor inicial. Por ende el último valor actualizado es una estimación (NOAA 2019).

Este índice describe a los valores [cuadro 1] en «períodos cálidos [rojos] y fríos [azules] basados en un umbral de ± 0.5 °C para el Índice oceánico del Niño (ONI) [media de ejecución de 3 meses de anomalías ERSST.v5 SST en la región Niño 3.4 (5 o N-5 o S, 120 o -170 o W)], basado en períodos básicos centrados de 30 años actualizados cada 5 años» (NOAA 2019).

La Temperatura reconstruida extendida de la superficie del mar [ERSSTv5 por sus siglas en inglés], es un conjunto de datos mensuales global de la temperatura superficial del mar, derivado de del conjunto de datos internacional de la atmósfera y el océano [ICOADS], estos

datos ERSST se obtienen en una cuadrícula de 2 ° × 2 ° con una integridad espacial mejorada mediante la utilización de métodos estadísticos. Incluye análisis mensuales desde 1854 hasta el presente, incluyendo anomalías calculadas respecto de una climatología mensual de 1971-2000; la versión 5 [actual] incorpora nuevos datos de ICOADS Reléase 3.0 de Temperaturas de la superficie del mar [SST], las cuales provienen de flotadores Argo de más de 5 m y la concentración de hielo marino [Hadley Center Ice-SST versión 2 (HadISST2).](Huang et al. 2017, NOAA 2018).

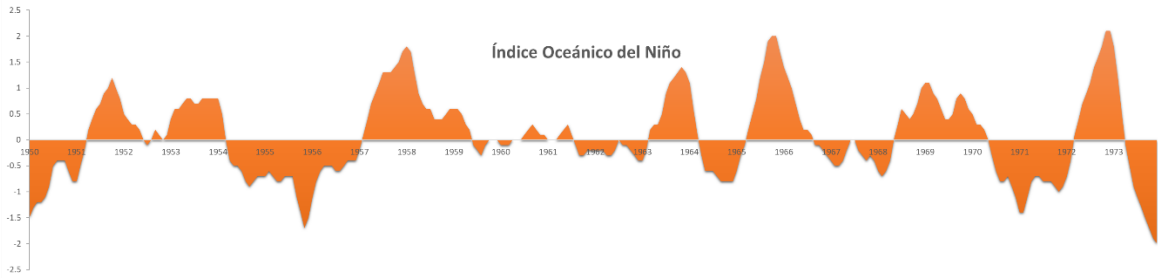

Figura 6.-Valores del Índice Oceánico del Niño calculados con la versión ERSSSTv5 del periodo de 1950 al 2017.

Cuadro 1.- Formato de presentación de los valores del Índice Oceánico del Niño obtenidos del NOAA. DJF: Diciembre-Enero-Febrero, JFM: Enero-Febrero-Marzo, FMA: Febrero-Marzo-Abril, MAM: Marzo-Abril-Mayo, AMJ: Abril-Mayo-Junio, MJJ: Mayo-Junio-Julio, JJA: Junio-Julio-Agosto, JAS: Julio-Agosto-Septiembre, ASO: Agosto-Septiembre-Octubre, SON: Septiembre-Octubre-Noviembre, OND: Octubre-Noviembre-Diciembre, NDJ: Noviembre-Diciembre-Enero.

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	**-1.5**	**-1.3**	**-1.2**	**-1.2**	**-1.1**	**-0.9**	**-0.5**	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	**0.6**	**0.7**	**0.9**	**1**	**1.2**	**1**	**0.8**
1952	**0.5**	0.4	0.3	0.3	0.2	0	-0.1	0	0.2	0.1	0	0.1
1953	0.4	**0.6**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.8**	**0.7**	**0.7**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**
1954	**0.8**	**0.5**	0	-0.4	**-0.5**	**-0.5**	**-0.6**	**-0.8**	**-0.9**	**-0.8**	**-0.7**	**-0.7**
1955	**-0.7**	**-0.6**	**-0.7**	**-0.8**	**-0.8**	**-0.7**	**-0.7**	**-0.7**	**-1.1**	**-1.4**	**-1.7**	**-1.5**
1956	**-1.1**	**-0.8**	**-0.6**	**-0.5**	**-0.5**	**-0.5**	**-0.6**	**-0.6**	**-0.5**	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	**0.7**	**0.9**	**1.1**	**1.3**	**1.3**	**1.3**	**1.4**	**1.5**	**1.7**
1958	**1.8**	**1.7**	**1.3**	**0.9**	**0.7**	**0.6**	**0.6**	0.4	0.4	0.4	**0.5**	**0.6**
1959	**0.6**	**0.6**	**0.5**	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0	0	0
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1

3.5 Funciones de correlación y respuesta

Una descripción general remite que la mayoría de los dendrocronólogos utilizan modelos estadísticos basados en “funciones de correlación” y “funciones de respuesta” para conocer la influencia climática en el crecimiento de las especies (Fritts et al. 1971, Blasing et al. 1984). En ese término «“función” refiere a una secuencia de coeficientes entre la cronología

de los anchos de anillo y las variables climáticas mensuales», ordenadas desde el crecimiento del año anterior hasta el actual (Biondi y Waikul 2004).

En una función de correlación los coeficientes son «estimaciones univariadas de la correlación de momento del producto de Pearson» (Morrison 1983, Biondi y Waikul 2004), y las funciones de respuesta «sus coeficientes son estimaciones multivariadas de un modelo de regresión de componentes principales»(Briffa y Cook 1990, Morzukh y Ruark 1991, Biondi y Waikul 2004).

En ese sentido, Biondi y Waikul (2004) refieren que la interpretación de las funciones de correlación y respuesta permiten una evaluación precisa de su significación estadística, lo que permite generar hipótesis ecofisiológicas (Biondi 1993, 1997) y reconstrucciones climáticas (Biondi et al. 1999, Biondi 2000). No obstante, Cropper (1985), Morzukh (1991) y Biondi (2004) refieren que en las funciones respuesta, los niveles normales de significancia de los coeficientes suelen ser engañosos porque las estimaciones de error están subestimadas, lo que sugiere que algunos coeficientes suelen pasar erróneamente la prueba de significancia (Biondi y Waikul 2004). Estas subestimaciones al generar un mayor número de coeficientes significativos en las funciones de respuesta en comparación con las funciones de correlación (Villalba et al. 1994), autores como Efron (1979), Efron y Tibshirani (1986), Guiot (1990) plantean el empleo de estimaciones de error *Bootstrap* para obtener resultados más precisos, y como medida sumatoria es importante calcular los intervalos de confianza de arranque para las funciones de correlación (Biondi y Waikul 2004).

3.5.1 Método Bootstrap

Gil-Abreu (2014) refiere que el *bootsrap* fue introducido por Efron (1979). No obstante, los avances en los años sucesivos se produjeron con las aportaciones de Robert Tibshirani, Michel Chernik, Jun Shao y Anthony Davidson. «Este método son una clase de métodos Monte Carlo no paramétrico, que estima la distribución poblacional mediante el remuestreo» (Gil-Abreu 2014), lo que resuelve los problemas relacionados con la estimación de intervalos de confianza y la significacncia estadistia (Ledesma 2008). Este remuestreo trata a la muestra observada como una población finita, que a partir de ellas generan muestras aleatorias para estimar caracteristicas poblacionales y hacer inferencia sobre la población muestreada. Así mismo, este remuestreo permite estimar propiedades de un estimador tales como el sesgo y el error estandar (Gil-Abreu 2014).

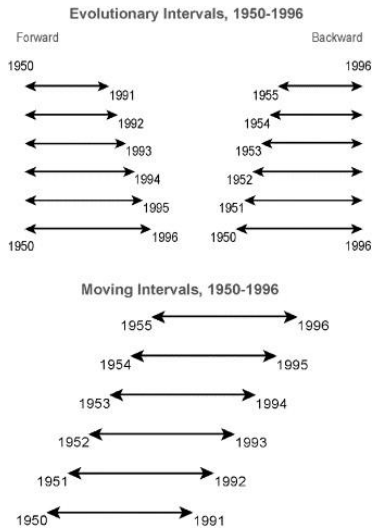

Figura 7.-Representación gráfica de intervalos múltiples en DENDROCLIM2002 entre 1950 y 1996 utilizando una longitud de base (o intervalo mínimo).

4. METODOLOGÍA

4.1 Localización del estudio

La investigación se realizó en el Cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica. Acorde a los datos de la estación meteorológica del CATIE, la temperatura promedio anual es de 21.9 °C y una precipitación promedio anual de 2696 mm. donde los meses comprendidos de enero y abril corresponden a los de menor precipitación.

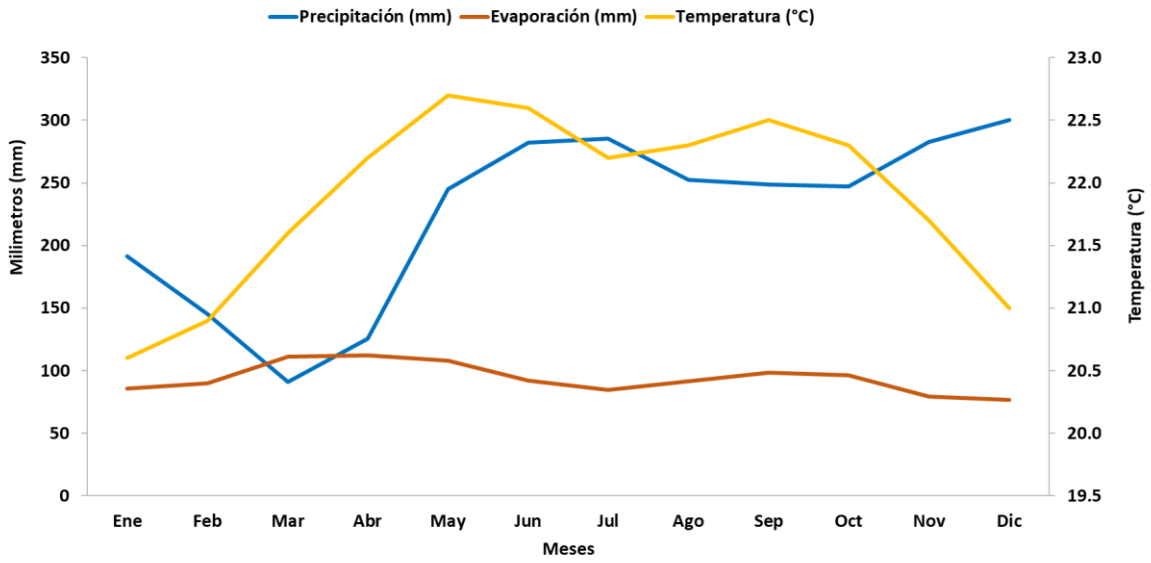

Figura 8.- Variables climáticas de Turrialba, construido con los promedios mensuales de la estación meteorológica de CATIE. Esta estación se encuentra ubicada en las coordenadas 9°53´28´´ LN, 83°39´10´´LW, 609 M.S.N.M.

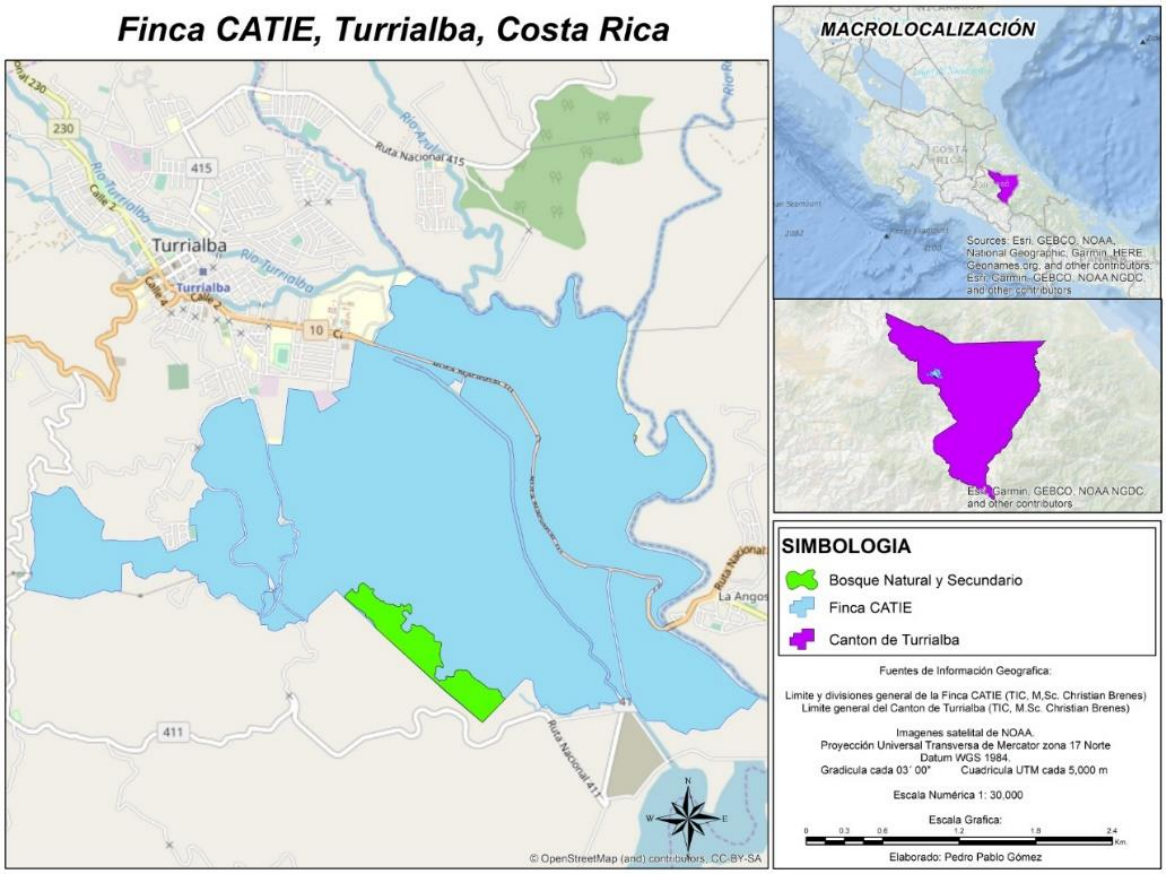

Figura 9.- Mapa de la ubicación del bosque secundario en donde se obtuvieron las muestras de *Annona papilionella.*

4.2 Muestreo

En un bosque secundario se recolectaron muestras en 21 individuos de *Annona papilionella* 4 núcleos de crecimiento con un barreno *Pressler* [marca JIM-GEM de 3 hilos y de 5.15 mm]. Adicionalmente con una motosierra se obtuvieron 7 cortes transversales, para un total de 28 individuos muestreados, lo cual representó un universo muestral de 112 núcleos de crecimiento.

Figura 10.- Obtención de muestras a través de un barreno *Pressler*.

Para la preparación de los núcleos de crecimiento se ocuparon molduras de madera, los cuales posteriormente fueron procesadas con una lijadora de vibración marca BOLT, comenzando con lijas gruesas hasta llegar a las más finas [P120, P200, P220, P240, P300, P320, P400, P600]. Para el procesamiento de los cortes transversales se usó una lijadora industrial marca *Truper* con lijas de los números [P50, P60, P80, P100, P120] y para el proceso final se empleó la lijadora de vibración con las mismas lijas usadas para los núcleos de crecimiento.

Figura 11.- Corte transversal de *Annona papilionella.*

Figura 12.- Núcleos de crecimiento escaneados para su procesamiento en *Cybis Coorecorder 9.3.1.* y *Cdendro9.3.1.*

4.3 Medición y verificación de anualidad

La medición de las muestras implicó su digitalización en formato ***.JPG*** con un scanner *EPSON Perfection V850 Pro* en una resolución de 2400 ppp. Finalmente el proceso de medición se realizó con los softwares complementarios *Cybis Coorecorder 9.3.1. y Cdendro9.3.1*. Con el software *Cybis Coorecorder 9.3.1.* se permitió la lectura de las imágenes escaneadas en coordenadas, tomando como año cero el último anillo formado [2017], estas coordenadas son guardadas en formato ***.pos***, *y* se procesó la salida por medio de *Cdendro9.3.1*. para obtener los valores numéricos [en mm] en formato ***wid.*** Así mismo este software se cofechó gráficamente a través de su función *Skeleton Plot.*

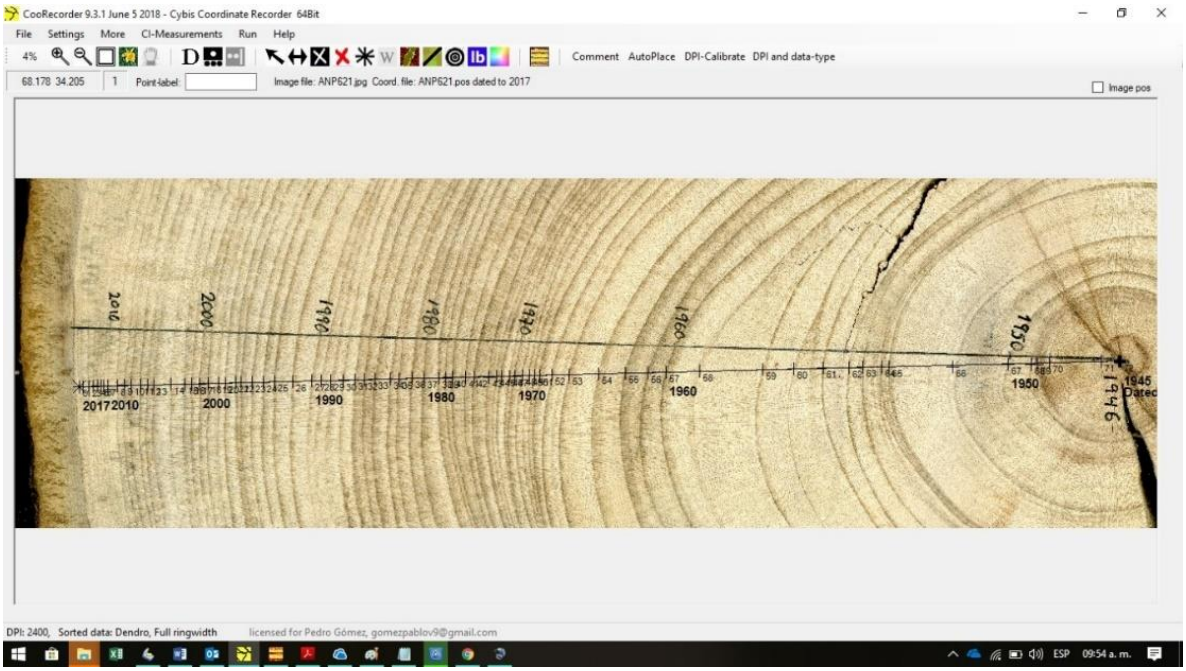

Figura 13.- Proceso de medición de y datación de una muestra de *Annona papilionella* en *Cybis CooRecorder 9.3.1.* La muestra corresponde a una de las muestras transversales e indica cada uno de los anillos identificados respecto de los años de formación.

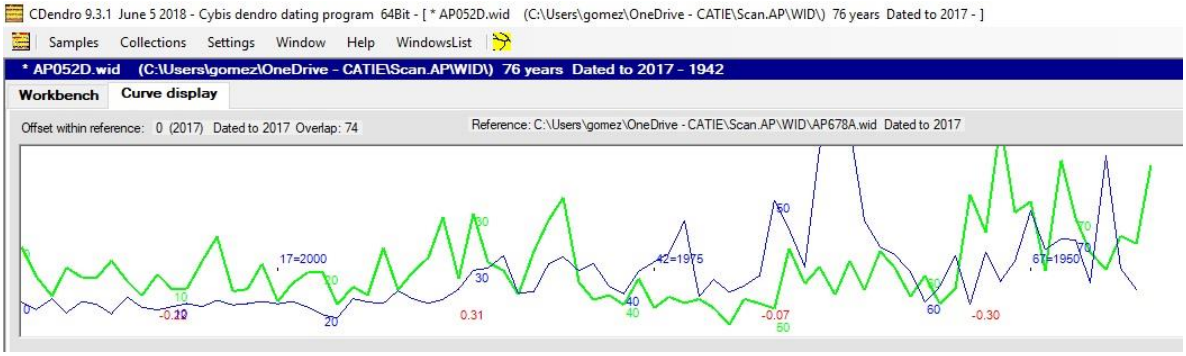

Figura 14.-Visualización de los crecimientos de las muestras AP052D [línea verde] y AP678A [línea ázul].

Para el uso del software COFECHA se transformaron los valores de medición a micras [µm] y se procesó en formato TUCSON [***.dat***]; esto permitió ejecutar un análisis de intercorrelación entre series [Intra- e Inter- relaciones] y generar el archivo de salida [***.out***], en donde se pudo verificar la calidad del fechado mediante los valores de intercorrelación ente series [>0.3281] y la sensibilidad media [0.4 a 0.9] que refieren el software; en donde los valores de 0.55 y 0.75 son los que consideran la mayoría de las cronologías reportadas para hacer reconstrucciones climáticas (Villanueva Díaz et al. 2010).

Para la eliminación de las tendencias biológicas [competencia, supresión, libración y ontogenia] y geométricas [incremento del área basal y disminución anual de los anchos de los anillos al distribuirse en una mayor área] (Fritts 1976, Kaennel y Schweingruber 1995, Constante et al. 2009, 2010, Chávez et al. 2017), se estandarizó el crecimiento [eliminación

de variables no relacionadas con el clima] procesando el archivo ***.dat*** en ARSTANL [software usado para estudios con más de 100 series] (Cook y Holmes 1999) y en ella se obtiene el archivo ***.CRN*** para su posterior procesamiento en el software FMT y así obtener los valores del IAA] y el *spline* [suavizado cubico] (Villanueva Díaz et al. 2010).

Para este proceso, ARSTANL usa un parámetro estadístico llamado como *sensibilidad media*, por medio del cual indica las diferencias relativas entre las anchuras de los anillos adyacentes, variación dada por las fluctuaciones del factor climático limitante. El valor de *sensibilidad media* varía de acuerdo con la especie y la región climática; pero en las diversas investigaciones un valor de 0.65 indica una especie muy sensible y valores de 0.15 indica especies poco sensibles (Fritts 1976, Constante García et al. (2009, 2010), Chávez-Gándara et al. 2017)

Durante el procesamiento, ARSTANL emplea la *desviación estándar*, para describir la media de las variaciones del crecimiento del año previo respecto del año actual; previo a la estandarización, sus valores oscilan entre 0.3 a 0.8. Sin embargo, solo indica las fluctuaciones de los crecimientos (Constante García et al. 2009, 2010).

Para explicar la proporción de la influencia de un año anterior sobre un año **n**, ARSTANL emplea la autocorrelación. Con ella descarta la influencia biológica y geométrica no atribuidos al clima. Los valores de autocorrelación de 0.3 a 0.5 corresponden a especies con alta sensibilidad, y los valores por arriba de 0.9, indican que el crecimiento de un año especifico está influenciado por el crecimiento ocurrido hasta dos años atrás (Constante et al. 2009, Villanueva et al. 2010).

4.4 Índice de Ancho de Anillo y relación climática

La matriz de datos se acondicionó incluyendo todas las variables climáticas que pudieran tener influencia en el Índice de Ancho de Anillo [IAA] de *A. papilionella.* Se trabajó con la base de datos de la estación meteorológica del CATIE [Cuadro 2], y se establecieron dos periodos de precipitación, época seca (enero-abril) y época húmeda (mayo-diciembre); para ver el efecto de estas variables en el tiempo, se consideró su valor en cada uno de los 5 años anteriores a la medición. También se obtuvo el promedio móvil del año actual y de los tres años anteriores con la finalidad del ver la influencia de estas variables en el IAA. Además, se incluyeron en la base de datos los valores del Índice Oceánico del Niño [ONI] obtenidos de la página oficial de la NOAA para el periodo de 1950 a 2017.

La base de datos fue analizada en *InfoStat* (Di Rienzo et al. 2018), se incluyó un total de 157 variables. Debido a que había más variables que registros [años] y que no todas las variables estaban registradas en todos los años, se optó por realizar un análisis de regresión múltiple aplicando la técnica de selección *Stepwise*, lo cual permite la entrada y salida de las variables para realizar las combinaciones hasta encontrar el mejor subconjunto de variables que explican el IAA. Así, si el modelo retiene alguna variable con pocos datos estas condicionan

a que las otras variables se limiten a esa cantidad de datos [esta matriz trabaja con datos completos]. Una vez seleccionado el mejor modelo con la técnica *Stepwise* se verificaron los supuestos de normalidad con *Q-Q Plot*, el supuesto de homogeneidad de varianza con el grafico de residuos vs predichos, con el cual se concluyó que no había problemas en los supuestos distribucionales.

Para intentar la mejora en el modelo hallado por el método *Stepwise*, se probó manualmente la exclusión de algunas variables. Se consideraron los valores AIC y BIC [criterios para seleccionar el mejor modelo], se usó también el *CpMallow*s, que da una idea sobre la capacidad predictiva de cada variable y para evitar la multicolinealidad [inclusión de variables correlacionadas] se empleó el Factor de inflación de varianza [VIF] y se consideró que ese valor fuera menor que cinco. Todas las variables que tenían *CpMallows* mayor o igual al número de parámetros del modelo fueron dejadas en el modelo por su capacidad de predicción, aunque su valor de probabilidad no fuera significativo al 5 %.

Cuadro 2.- Base de datos de la estación meteorológica de CATIE y valores del Índice Oceánico del Niño.

Variables	Promedio mensual	Promedio anual	Fuente
Precipitación [mm]	1949-2016	1949-2016	Estación CATIE
Temperatura [°C]	1958-2016	1958-2016	Estación CATIE
Temperatura mínima [°C]	1958-2016	1958-2016	Estación CATIE
Temperatura máxima [°C]	1958-2016	1958-2016	Estación CATIE
Radiación solar [MJ/m^2]	1968-2016	1968-2016	Estación CATIE
Evaporación [mm]	1968-1998	1968-1998	Estación CATIE
Humedad relativa [%]	1968-2016	1968-2016	Estación CATIE
Índice Oceánico del Niño	1950-2017	1950-2017	NOAA

4.5 Cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas

Con los datos mensuales de la estación meteorológica del CATIE y los datos del Índice Oceánico del Niño [ONI] obtenidos del NOAA, se analizaron los cambios temporales de las relaciones dendroclimáticas del IAA de *Annona papilionella*. Este análisis se realizó con el Software DENDROCLIM2002 (Biondi y Waikul 2004), empleando funciones de correlación y respuesta *Bootstrap* [re-muestreo de los datos originales con reemplazo] para intervalos únicos y múltiples (Biondi 1997, 2000, Biondi y Waikul 2004). Para calcular los coeficientes de respuesta y de correlación en un nivel de significancia de 0.05 DENDROCLIM2002 se utilizan mil muestras extraídas al azar con reemplazo del intervalo de calibración. «La correlación media y los coeficientes de respuesta se consideran significativos si exceden, en

valor absoluto, la mitad de la diferencia entre el 97.5º cuantil y el 2.5º cuantil de las 1000 estimaciones» (Dixon 2001, Biondi 2004).

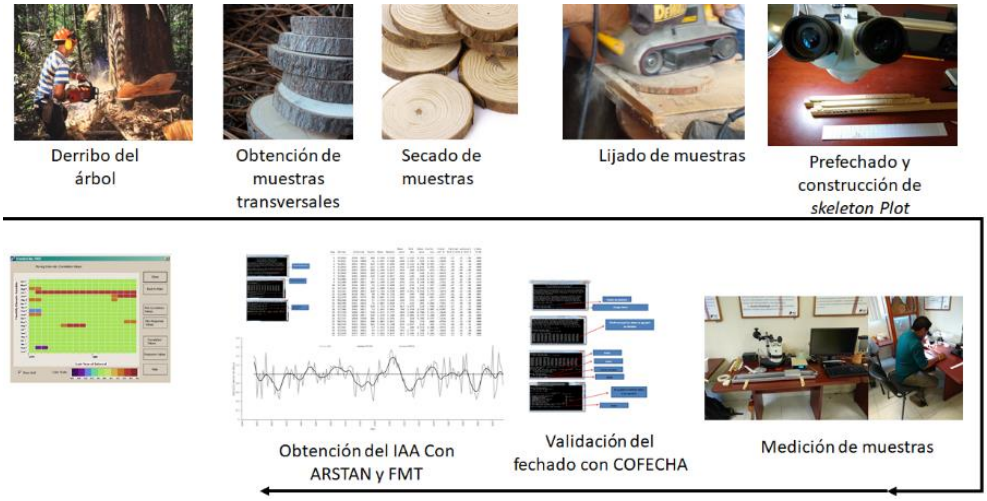

Figura 15.- Esquema metodológico para la obtención del Índice de Ancho Anillo y cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas.

Para el análisis de los cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas, DENDROCLIM2002 utiliza los intervalos múltiples *Backward Evolutionary Intervals*, *Forward Evolutionary Intervlas* y *Moving Intervals*. Las correlaciones significativas con el criterio del cuantil 97.5 y 2.5 se guardan en formato ***ASCII*** y «se trazan en la pantalla utilizando símbolos codificados por colores»(Biondi y Waikul 2004), en donde se muestran los cambios temporales de las relaciones dendroclimáticas con el uso de intervalos evolutivos y de movimiento (Biondi y Waikul 2004).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Estructura y anualidad

Los núcleos de crecimiento de *A. papilionella* medidos con *Cybis Coorecorder 9.3.1.* fueron analizados con la función de *Skeleton plot* [Figura 16] del software *CDendro*, y muestran la anualidad de la especie. No obstante, su análisis en COFECHA presenta valores bajos en la intercorrelación entre series [0.047] y en la sensibilidad media [0.450], valores que pueden estar relacionados a la deformidad del fuste de la especie, lo cual influye en la variabilidad de los anchos de anillo.

La estructura anatómica de *Annona papilionella* denota una variación en el tamaño de sus células; visualmente se manifiesta en un cambio de coloración en las fibras transversales de su madera [Figura 17], confiriendo así la capacidad de generar madera tardía y madera temprana, características que suman a la generación de anillos de crecimiento anual (Briceño-J et al. 2018). Con base a lo anterior; además del hábito caducifolio de la especie de noviembre a marzo, y lo reportado por Worbes (2002) con relación al género *Annona* se

puede afirmar que *A. papilionella* genera anillos de crecimiento anual; esta la sumaría a *Annona spranguei* y a *Annona coriacea* como especies con capacidad de formación de anillos anuales definidos (Devall et al. 1995, Marcati et al. 2006).

El resultado anterior se suma a lo reportado por Rozendaal y Zuidema (2011) y aporta al reconocimiento de la formación de anillos anuales en algunas especies arbóreas del trópico húmedo. Esto amplía la visión que solo en las zonas templadas y en trópicos secos se formen anillos de crecimiento anual, y que estos dependan generalmente de las restricciones de precipitación como se aceptan en los estudios de Worbes (1999), Schöngart et al. (2002), Zweifel et al. (2006) y Eilmann et al. (2009).

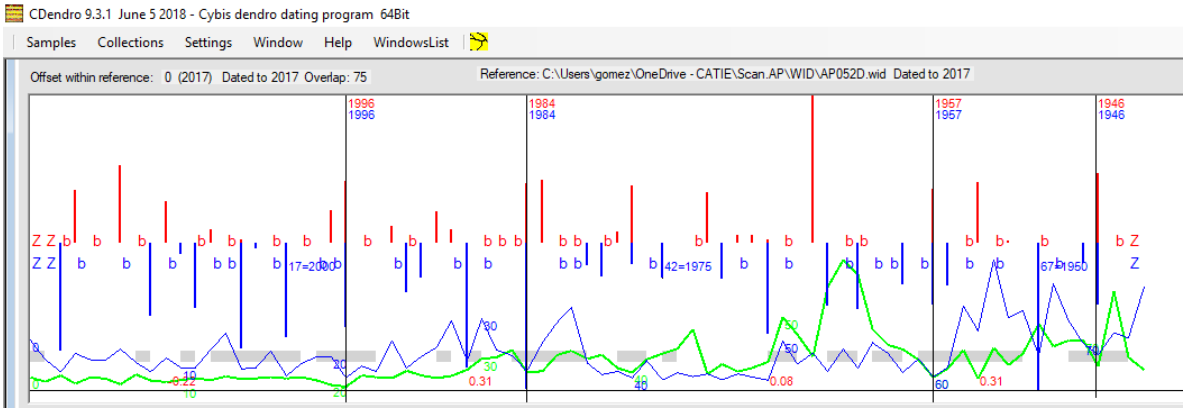

Figura 16.- *Skeleton plot* de las muestras AP052D y AP578A. En ella se verifica el patrón de crecimiento entre dos núcleos de la especie, en este caso entre dos árboles.

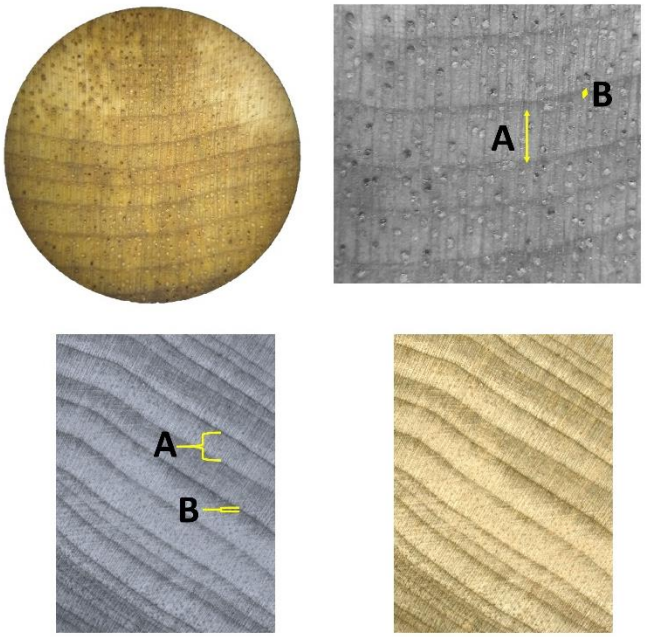

Figura 17.- Distinción visual de madera temprana [A] y madera tardía [B] en *Annona papilionella.*

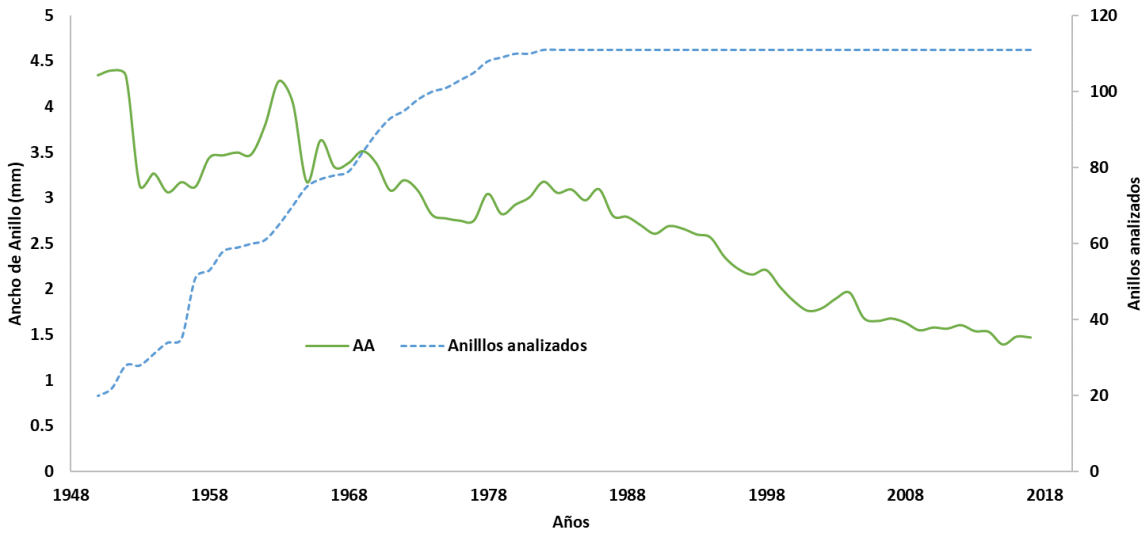

Figura 18.- Tendencia en el tiempo del crecimiento de *Annona papilionella* (línea continua, representa el ancho de anillo par esos años) y el número de anillos medidos para la obtención del crecimiento de la especie (línea interrumpida)

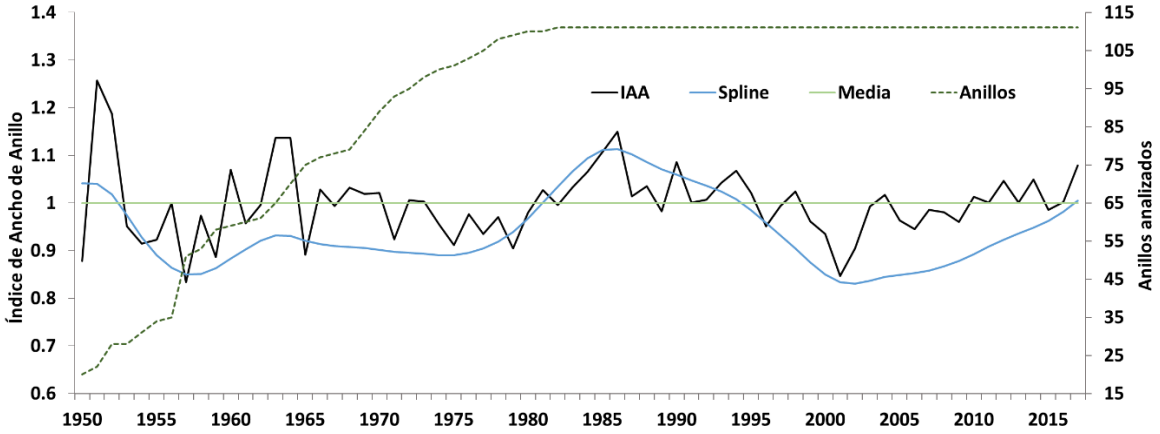

Figura 19.-Índice de ancho de anillo [IAA, línea continua] de *A. papilionella*, en el cual se elimina las tendencias biológicas y geométricas para maximizar la señal climática. La línea azul es el suavizado cubico del IAA. La línea interrumpida representa la cantidad de anillos que se estandarizaron para obtener el IAA de ese año.

5.2 Relación climática del IAA

La verificación de las relaciones climáticas que influyen en el IAA de *A. papilionella*, se realizó con una selección de modelo a través de la técnica *Stepwise*. De un total de 145 regresoras, la técnica retuvo ocho (Cuadro 3). El modelo resultante arrojó un R^2 de 0.84 y un R^2 ajustado de 0.77.

Cuadro 3.- Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para el modelo ajustado entre IAA de *A. papilionella* y las variables climáticas de la estación del CATIE y de los valores del Índice de Oceánico del Niño. Est: Valor estimado. E.E. Error estándar. LI: Límite inferior. LS: Límite superior. T: Valor VIF: Factor de inflación de la varianza.

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
constante	-0.14	0.37	-0.91	0.63	-0.38	0.7052		
Tmin3	0.07	0.02	0.04	0.11	4.45	0.0003	26.81	1.53
Mar.P	2.90E-04	7.40E-05	1.40E-04	4.50E-04	3.93	0.001	22.43	1.24
Tmin4	0.06	0.02	0.03	0.09	3.9	0.001	22.22	1.28
PPmed_3	-1.10E-04	2.80E-05	-1.70E-04	-5.30E-05	-3.97	0.0009	22.8	1.83
Mar.Tmin	-0.04	0.01	-0.06	-0.01	-3.33	0.0037	18.11	2.68
JFM	0.03	0.01	0.01	0.05	2.96	0.0085	15.74	3.76
AMJ	-0.02	0.01	-0.05	4.40E-03	-1.73	0.1011	9.99	2.13
Tmax3	-0.01	0.01	-0.03	3.60E-03	-1.69	0.1092	9.84	2.2
Error cuadrático medio: 0.000742								

IAA = -0.14 + 0.07 [Tmin3]+ 0.00029 [Mar.P]+ 0.06 [Tmin4]-0.1 [PPmed_3]-0.04 [Mar.Tmin]+0.03[JFM]-0.02[AMJ]-0.01 [Tmax3]

El IAA no responde a la temperatura promedio del año actual; pero ésta es explicada con una influencia positiva por los valores de la temperatura promedio mínima de tres años previos [Tmin3] y la temperatura promedio cuatro años previos [Tmin4], a su vez existe una relación negativa con la temperatura promedio máxima de tres años previos [Tmas3], esto sugiere una relación ecológica y dendroclimática importante que acorde a los trabajos Fritts (1976), Constante et al. (2009, 2010) y Chávez et al. (2017) *A. papilionella* se catalogaría como una especie poco sensible con la temperatura del año actual.

La precipitación del mes de marzo [Mar.P] para la predicción del IAA, expresa una relación positiva, su particularidad radica en que es el mes que presenta la menor precipitación [91.1 mm], pero los datos de evaporación [111.2 mm] son superiores a la precipitación, con ese déficit anormal de precipitación se puede definir que ese mes existe una sequía meteorológica (IPCC 2013), lo cual afirma los planteamientos de Worbes (1999), Schöngart et al. (2002), Zweifel et al. (2006) y Eilmann et al. (2009), que la precipitación influye en el crecimiento anual de los anillos.

La inclusión de la temperatura mínima de marzo [Mar.Tmin] con influencia negativa en el modelo, concuerda con la investigación de Clark et al. (2003) en donde se observó la influencia negativa en el crecimiento diamétrico de seis especies por efecto del aumento del promedio de la temperatura mínima, en ese sentido Clark et al. (2010) propone que el aumento de la respiración el aumento del promedio de la temperatura promedio mínima nocturna influye negativamente en crecimiento arbóreo

La particularidad del mes de marzo en la predicción del IAA de *A. papilionella*, sugiere la aceptación de la influencia de los regímenes climáticos en los umbrales fisiológicos de tolerancia de temperatura y precipitación, mismos que podrían dar cabida a un escenario de desincronización biológica, tales como el adelanto en la floración (Galindo et al. (2004) y cambios fisiológicos en la asignación de biomasa de los follajes a los tallos (Delucia et al. 2000).

El valor del Índice Oceánico del Niño en JFM mantiene una influencia positiva y una influencia negativa en el valor AMJ; su sola inclusión en el modelo de regresión múltiple para la explicación del IAA, apunta a la existencia de una teleconexión climática (IPCC 2013). En ese sentido, la influencia de teleconexiones climáticas en estudios dendroclimáticos se evidencian con resultados como los de Lucas et al. (2018), donde reporta que el crecimiento diamétrico de *Scutia buxifolia* mantiene una influencia positiva en la fase de El Niño y una influencia negativa en la fase de La Niña; en esa misma línea Fortes et al. (2018) refieren que las anomalías en la temperatura superficial del mar en la región El Niño 1+2 se reflejaron en la disminución del incremento diamétrico de *Vochysia divergens*.

5.3 Relaciones dendroclimáticas

Los cambios temporales de las relaciones dendroclimáticas analizadas con DENDROCLIM2002 mostraron que las temperaturas mensuales en los meses de marzo, mayo, junio y julio mantienen una relación negativa con el IAA [Figura 20], los valores de precipitación de noviembre presentan una correlación negativa con el IAA. Así mismo DENDROCLIM2002 confirma la influencia positiva de la precipitación del mes de marzo [Figura 21].

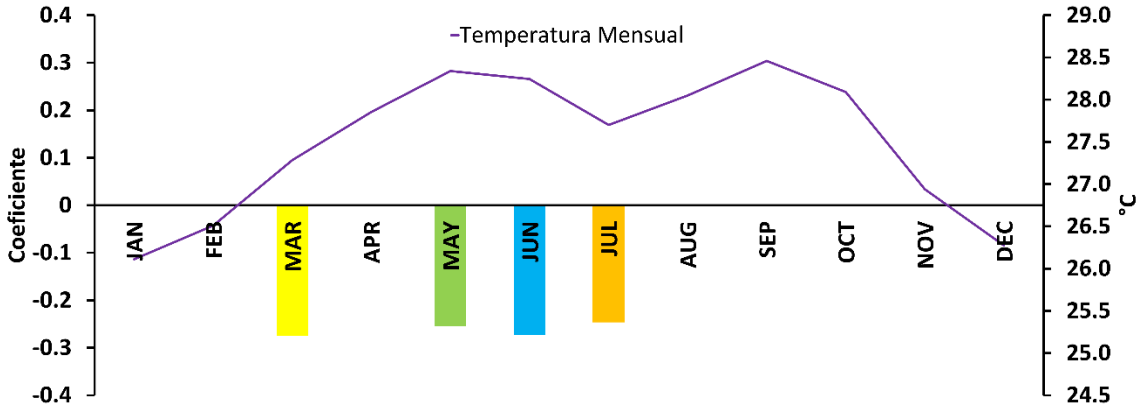

Figura 20.-Análisis de correlación del IAA con los promedios mensuales de temperatura registradas en la estación meteorológica del CATIE. Las barras muestran las correlaciones y la línea morada el comportamiento de la temperatura a lo largo del año.

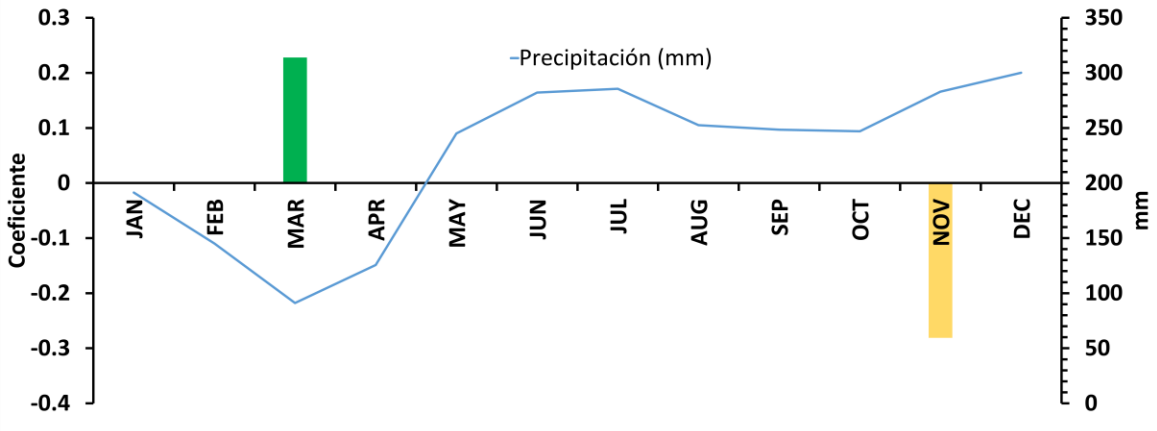

Figura 21.- Análisis de correlación del IAA con la precipitación registrada en la estación meteorológica del CATIE. Las barras muestran las correlaciones y la línea azul el comportamiento de la precipitación a lo largo del año.

Acorde a los resultados de teleconexión del IAA con el ONI, el software DENCROCLIM2002 mostró correlaciones positivas en las relaciones dendroclimáticas con los valores FMA-MAM-AMJ-MJJ-JJA durante el periodo de 1951 a 1968, esto al usar el análisis *Backward* [Figura 22]. Con el análisis *Forward* [Figura 23], el IAA mostro correlaciones positivas con los valores JJA-JAS-ASO-SON en el periodo de 2000-2017, el análisis *Moving* se muestra correlaciones positivas en los valores de DJF-NDJ-OND-SON-ASO-JAS-JJA-MJJ- FMA-JFM [Figura 24].

Figura 22.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos evolutivos hacia atrás para el periodo de 1951-1968. El cual muestra correlaciones positivas.

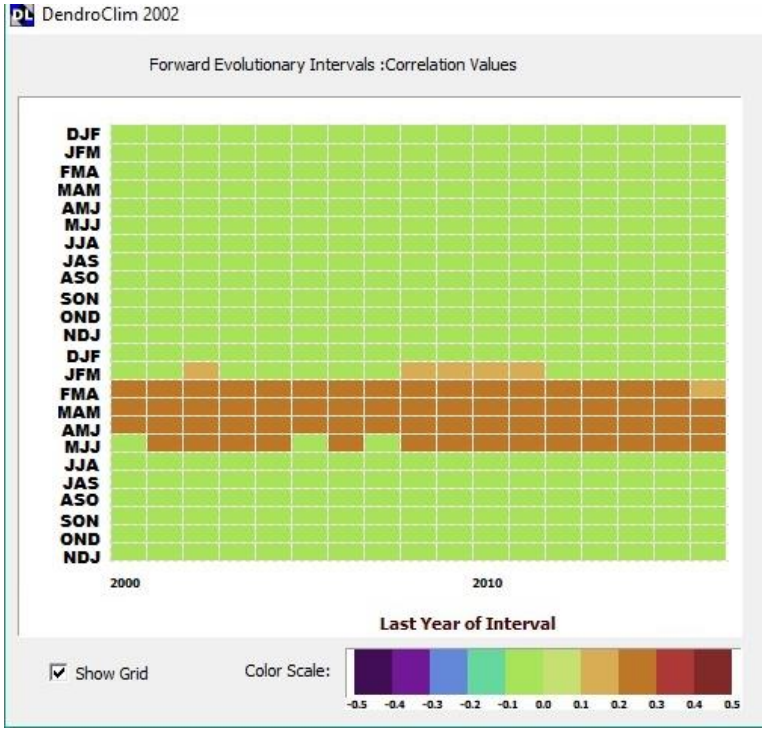

Figura 23.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos evolutivos hacia adelante para el periodo de 2000-2017. El cual muestra correlaciones positivas.

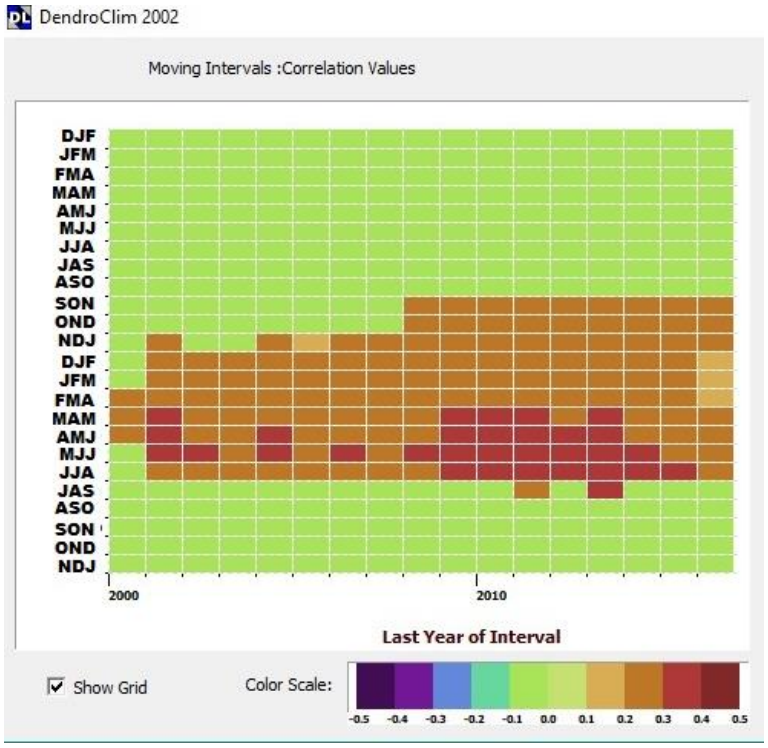

Figura 24.- Correlaciones del índice ONI usando intervalos móviles para el periodo de 2000-2017. El cual muestra correlaciones positivas.

Estos cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas requieren de más estudios. Sin embargo, la investigación Schwartz et al. (2013) evidencia su aplicabilidad para el estudio de los bosques.

6. CONCLUSIONES

La especie *Annona papilionella* tiene la capacidad de formar anillos de crecimiento anual, y esta se distingue visualmente con la presencia de madera temprana y madera tardía.

A pesar de la inexistencia de una estación seca en Turrialba, en el mes de marzo se presenta una sequía meteorológica que influye positivamente en la formación de los anillos de crecimiento anual de *A. papilionella*.

La variación interanual del IAA de *A. papilionella* es explicada por factores climáticos puntuales como la temperatura mínima y la precipitación del mes de marzo.

La influencia positiva y negativa de los valores JFM y AMJ del ONI con el Índice de Ancho de Anillo, apuntan a la existencia de una teleconexión climática, y esta se confirma con las correlaciones positivas obtenidas con DENDROCLIM2002.

Los cambios temporales en las relaciones dendroclimáticas de *A. papilionella* obtenidas con DENDROCLIM2002 muestran correlaciones negativas con las temperaturas promedio mensuales de marzo, mayo, junio y julio. Respecto de la precipitación el mes de noviembre presenta una correlación negativa. No obstante, se confirmó la correlación positiva de la precipitación del mes de marzo con el IAA.

7. LITERATURA CITADA

Amoroso, M; Suárez, M. 2015. La aplicación del análisis de los anillos de crecimiento a interrogantes ecológicos: Un breve repaso de la Dendroecología en Hispanoamérica. (en línea). AEET-Asociación Española de Ecología Terrestre 24(2):6. Consultado 7 may 2018. Disponible en https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/1105/892.

Avila Flores, DY; González Tagle, MA; Jiménez Pérez, J; Aguirre Calderon, O; Treviño Garza, EJ; Vargas Larreta, B. 2014. Dendrocronopirología: análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales. (en línea). Revista mexicana de ciencias forestales 5(21):136-147. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000100010.

Banks, JCG; Heinrich, I. 2006. Tree-Ring Anomalies in Toona Ciliata. (en línea). IAWA Journal 27(2):213-231. Consultado 4 oct. 2018. Disponible en http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/22941932-90000150.

Barnston, AG; Chelliah, M; Goldenberg, SB. 1997. Documentation of a highly enso-related sst region in the equatorial pacific: Research note. (en línea). Atmosphere - Ocean 35(3):367-

383. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.5762&rep=rep1&type=pdf

Berger, A; Mesinger, F; Sijacki, D. 2012. Climate change: Inferences from paleoclimate and regional aspects. 1-244 p.

Bernal-salazar, S. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en Abies religiosa. Madera y Bosques 6(1):73-86.

Biondi, F. 1993. Climatic signals in tree rings of Fagus sylvatica L. from the central Apennines, Italy. Acta Oecologica 14(1):57-71.

Biondi, F. 1997. Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. (en línea). Dendroclimatología 15:139-150. Consultado 18 sep. 2018. Disponible en https://www.academia.edu/2896957/Evolutionary_and_moving_response_functions_in_dendroclimatology.

Biondi. 2000. Are climate-tree growth relationships changing in North-Central Idaho, U.S.A.? (en línea). Arctic, Antarctic, and Alpine Research 32(2):111-116. Disponible en http://www.jstor.org/stable/1552442.

Biondi, F; Perkins, DL; Cayan, DR; Hughes, MK. 1999. July temperature during the second millennium reconstructed from Idaho tree rings. Geophysical Research Letters 26(10):1445-1448.

Biondi, F; Waikul, K. 2004. DENDROCLIM2002: A C+ + program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. (en línea). Computers & Geosciences 30:303-311. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en http://unr.edu/homepage/fbiondi.

Bjerknes, J. 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. (en línea). Tellus 18(4):820-829. Disponible en https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3402/tellusa.v18i4.9712

Blasing, TJ; Solomon, AM;; Duvick, DN. 1984. Response Functions Revisited. (en línea). Tree-Ring Bulletin 44:1-15. Consultado 30 ago. 2019. Disponible en http://hdl.handle.net/10150/261260.

Bradley, RS. 1999. Paleoclimatology : reconstructing climates of the quaternary. (en línea). 2 Ed. ed. s.l., Academic Press. 614 p. Consultado 30 ago. 2018. Disponible en http://b-ok.xyz/book/926106/25ddbc.

Briceño-J, A.; Rangel-Cha, J.; Bogino, S. 2018. Anatomía y anualidad de los anillos de crecimiento de tres especies del bosque seco tropical del Caribe de Colombia. (en línea). Polibotánica 46:169-178. Consultado 19 ago. 2019. Disponible en http:www.polibotanica.mx.

Brienen, RJW; Zuidema, PA. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: A test for six species using tree ring analysis. (en línea). Oecologia 146(1):1-12. Consultado 13 may 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/7731501_Relating_tree_growth_to_rainfall_in_Bolivian_rain_forest.

Briffa, KR; Cook, ER. 1990. Methods of response function analysis. In E.R. Cook, L. Kairiukstis

(ed.). Methods of Dendrochronology. The Netherlands. p.165-178.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2015. Cambio Climático en Centroamérica: impactos potenciales y opciones de política pública. (en línea). 1 ed. 178 p. Disponible en https://www.cepal.org/es/publicaciones/39149-cambio-climático-Centroamérica-impactos-potenciales-opciones-política-pública.

Cerano Paredes, J; Villanueva Díaz, J; Cervantes Martínez, R; Fulé, P; Yocom, L; Esquivel-Arriaga, G; Jardel-Peláez, E. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. (en línea). Bosque 36(1):27-39. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

Chapman, CA; Valenta, K; Bonnel, TR; Brown, KA; Chapman, LJ. 2018. Solar radiation and ENSO predict fruiting phenology patterns in a 15-year record from Kibale National Park, Uganda. Biotropica 50(3):384-395.

Chávez-Gándara, MP; Cerano-Paredes, J; Nájera-Luna, JA; Pereda-Breceda, V; Esquivel-Arriaga, G; Cervantes-Martínez, R; Cambrón-Sandoval, VH; Cruz-Cobos, F; Corral-Rivas, S. 2017. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera con base en anillos de crecimiento de árboles para la región de San Dimas, Durango, México. (en línea). Bosque 38(2):387-399. Consultado 30 ago. 2018. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v38n2/art16.pdf.

Clark, DA; Piper, SC; Keeling, CD; Clark, DB. 2003. Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 100(10):5852-5857.

Clark, DB; Clark, DA; Oberbauer, SF. 2010. Annual wood production in a tropical rain forest in NE Costa Rica linked to climatic variation but not to increasing CO2. Global Change Biology 16(2):747-759.

Constante García, V; Villanueva Diaz, J; Cerano Paredes, J; Estrada Ávalos, J. 2009. Medición y calidad de fechado en anillos de árboles. 1 ed. ed. José Antonio Cueto Wong, Miguel A Velásquez Valle, Juan Estrada Avalo, Miguel Rivera González (ed.). Gómez Palacio, Durango, México, INIFAP Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 1-48 p.

Constante García, V; Villanueva Díaz, J; Cerano Paredes, J; Estrada Ávalos, J. 2010. Paraémetros para definir el potencial dendrocronológico. 1 ed. José A Cueto Wong, Miguel Velásquez Valle, Juan Estrada Avalos, Miguel Rivera González (ed.). Gómez Palacio, Durango, México, INIFAP Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 40 p.

Cook, ER; Holmes, RL. 1999. ARSTAN. Arizona USA. 1-81 p.

Cook, ER; Seager, R; Cane, MA; Stahle, DW. 2007. North American drought: Reconstructions, causes, and consequences. (en línea). Earth-Science Reviews 81(1-2):93-134. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825206001784.

Corrales, L. 2010. Cuarto informe de Estado de la Región: Informe final Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. (en línea). 55 p. Consultado 20 sep. 2018. Disponible en https://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/otras_publicaciones/Pobreza ruralCA/Informes/Informe Regional CAMBIO CLIMATICO.pdf.

Cropper, JP. 1985. Tree-ring response functions. An Evaluation by means of simulations (Dendrochronology ridge regression, multucollinearity). (en línea). The University of Arizona. s.p. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en https://repository.arizona.edu/handle/10150/187946.

Dang, H; Jiang, M; Zhang, Y; Dang, G; Zhang, Q. 2008. Dendroecological study of a subalpine fir (Abies fargesii) forest in the Qinling Mountains, China. (en línea). In Forest Ecology. Dordrecht, Springer Netherlands. p.67-75. Consultado 5 sep. 2018. Disponible en http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-2795-5_6.

Delucia, EH; Maherali, H; Carey, E V. 2000. Climate-driven changes in biomass allocation in pines. (en línea). Global Change Biology 6(5):587-593. Consultado 11 sep. 2019. Disponible en http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2486.2000.00338.x.

Devall, MS; Parresoll, BR; Wright, SJ. 1995. Dendroeclogical analysis of Cordia alliodora, Pseudobombax septenatum and Annoda spraguei in Central Panama. IAWA Journal 16(4.

Díaz Ramírez, B; Villanueva Díaz, J; Cerano Paredes, J. 2016. Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro. Madera Bosques 22(1):111-123.

Dixon, PM. 2001. Bootstrap resampling. In A.H. El-Shaarawi, W.W. Piegorsch (ed.). The Encyclopedia of Environmetrics. New York. p.9.

Domínguez, J. 2016. Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia. (en línea). Ciencias del Agua 7(5):77-93. Consultado 2 oct. 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00077.pdf.

Dussart, E; Medina, A; Bogino, S. 2015. Dendroecología en la pampa Argentina: investigaciones actuales, pasadas y futuros desafíos. (en línea). Ecosistemas 24(2):51-59. Consultado 7 may 2018. Disponible en http://www.redalyc.org/pdf/540/54041132008.pdf.

Efron, B. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. (en línea). The Annals of Statistics 7(1):1-26. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://projecteuclid.org/euclid.aos/1176344552.

Efron, B; Tibshirani, R. 1986. Bootstrap Methods for Standard Errors, Confidence Intervals, and Other Measures of Statistical Accuracy. (en línea). Statistical Science 1(1):54-75. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://projecteuclid.org/euclid.ss/1177013815.

Eilmann, B; Zweifel, R; Buchmann, N; Fonti, P; Rigling, A. 2009. Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. (en línea). Tree Physiology 29:1011-1020. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en https://watermark.silverchair.com/tpp035.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAnYwggJyBgkqhkiG9w0BBwagggJjMIICXwIBADCCAlgGCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMOfX7zg-61T-

rgoluAgEQgIICKaod0QVCBj2JpfLObJhe-Jng0EKaa0VwHgFtlU567XgZMPLQ.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations); ECHO (European Commission's Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations); ACH (Acción contra el Hambre España). 2012. Tomo I: Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano. (en línea). 92 p. Consultado 20 sep. 2018. Disponible en https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf

Finegan, B. 1992. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. Forest Ecology and Management 47(1-4):295-321.

Forero, EL; Hernández, YT; Zafra, CA. 2014. Percepción latinoamericana de cambio climático: metodologías, herramientas y estrategias de adaptación en comunidades locales. Una revisión. (en línea). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 17(1):73-85. Consultado 13 may 2018. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Fortes, CF; Nunes-da-Cunha, C; Rosa, SA; Paixão, E; Junk, WJ; Schöngart, J. 2018. Dendrochronological records of a pioneer tree species containing ENSO signal in the Pantanal, Brazil. (en línea). Revista Brasileira de Botanica 41(1):167-174. Consultado 11 sep. 2019. Disponible en http://link.springer.com/10.1007/s40415-017-0434-8

Fritts, HC. 1976. Tree Rings and Climate. 571 p.

Fritts, HC; Blasing, TJ; Hayden, BP; Kutzbach, JE; Fritts, HC; Blasing, TJ; Hayden, BP; Kutzbach, JE. 1971. Multivariate Techniques for Specifying Tree-Growth and Climate Relationships and for Reconstructing Anomalies in Paleoclimate. (en línea). Journal of Applied Meteorology 10(5):845-864. Consultado 30 ago. 2019. Disponible en http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450%281971%29010%3C0845%3AMTFSTG%3E2.0.CO%3B2.

Galindo, L; Flores Rodríguez, L; Santos Calpe, R; Camacho Cruz, A; Lorente Alvarez, I; Navarro Luna, J; Gamo, D; Gómez, J. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente 13(1):14.

Gholami, V; Chau, KW; Fadaee, F; Torkaman, J; Ghaffari, A. 2015. Modeling of groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers. (en línea). Journal of Hydrology 529:1060-1069. Consultado 30 ago. 2018. Disponible en http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.028.

Gil-Abreu, SN. 2014. Bootstrap en poblaciones finitas. (en línea). 1 ed. Granada; España, Universidad de Granada. 75 p. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://masteres.ugr.es/moea/pages/curso201314/tfm1314/tfm_samuel_gil_abreu/!.

Giraldo Jiménez, JA. 2011. Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales. (en línea). Colombia Forestal 14(1):97-111. Consultado 7 may 2018. Disponible en http://www.redalyc.org/pdf/4239/423939614009.pdf.

Granados-Ramírez, R; Sarabia-Rodríguez, A. 2010. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas 4(3):435-446.

Consultado 13 may 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000300008.

Grau, HR; Easdale, TA; Paolini, L. 2003. Subtropical dendroecology—dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. (en línea). Forest Ecology and Management 177(1-3):131-143. Consultado 17 may 2018. Disponible en https://www-sciencedirect-com.etechconricyt.idm.oclc.org/science/article/pii/S037811270200316X.

Grissino-Mayer, H. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. Knoxville, Tennesse. 17 p.

Guariguata, MR. 2000. Seed and Seedling Ecology of Tree Species in Neotropical Secondary Forests: Management Implications. (en línea). Ecological Applications 10(1):145. Consultado 15 sep. 2019. Disponible en http://www.jstor.org/stable/2640992?origin=crossref.

Guiot, J. 1990. Methods of calibration. In E.R. Cook, L Kairiukstis (ed.). Methods of Dendrochronology. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, s.e. p.165-168.

Gutiérrez, E. 2009. La dendrocronología : métodos y aplicaciones. (en línea). Arqueilogía nautica Mediterránia 6:309-322. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/228769173/download.

Heinrich, I; Weidner, K; Helle, G; Vos, H; Lindesay, J; Banks, JCG. 2009. Interdecadal modulation of the relationship between ENSO, IPO and precipitation: insights from tree rings in Australia. (en línea). Climate Dynamics 33(1):63-73. Consultado 4 oct. 2018. Disponible en http://ruby.fgcu.edu/courses/twimberley/EnviroPhilo/ENSOIPO.pdf.

Huang, B; Thorne, PW; Banzon, VF; Boyer, T; Chepurin, G; Lawrimore, JH; Menne, MJ; Smith, TM; Vose, RS; Zhang, HM. 2017. Extended reconstructed Sea surface temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. (en línea). Journal of Climate 30(20):8179-8205. Consultado 25 ago. 2019. Disponible en www.ametsoc.org/PUBSReuseLicenses.

Hughes, M; Swetnam, T; Diaz, H.. 2011. Dendroclimatology. (en línea). 11 ed. Malcolm K. Hughes, Thomas W. Swetnam, Henry F. Diaz (ed.). Dordrecht, Springer Netherlands. 365 p. Consultado 14 may 2018. Disponible en https://link-springer-com.etechconricyt.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-1-4020-5725-0.pdf.

Imbach, P; Beardsley, M; Bouroncle, C; Medellin, C; Läderach, P; Hidalgo, H; Alfaro, E; Van Etten, J; Allan, R; Hemming, D; Stone, R; Hannah, L; Donatti, CI. 2017. Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. (en línea). Climate Change 141:1-12. Consultado 21 sep. 2018. Disponible en https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10584-017-1920-5.pdf.

Imbach, P; Fung, E; Lee Hannah; Navarro-Racinesa, C; Roubik, D; Rickettse, T; Harvey, C; Donatti, C; Läderach, P; Locatelli, B; Roehrdanz, P. 2017. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. (en línea). PNAS 114(39):5. Consultado 20 sep. 2018. Disponible en http://www.pnas.org/content/pnas/114/39/10438.full.pdf.

Imbach, P; Molina, L; Locatelli, B; Roupsard, O; Mahé, G; Neilson, R; Corrales, L; Scholze, M;

Ciais, P. 2012. Equilibrium States of Vegetation and Terrestrial Water Cycle of Mesoamerica under Climate Change Scenarios. (en línea). Journal of Hydrometeorology 13:665-680. Consultado 20 sep. 2018. Disponible en www.sica.int/.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1995. Climate Change 1995. (en línea).588 p. Disponible en https://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Cambio climático 2001: Informe de síntesis / Impactos, adaptación y vulnerabilidad. (en línea). Cambio Climático 2001: Informe de síntesis :3-92. Consultado 10 abr. 2018. Disponible en https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Cambio climático 2013. Bases físicas.Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (en línea). I ed. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, s.e. 27 p. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. CLIMATE CHANGE 2013: The Physical Science Basis, Part of the Fifth Assesment Report (AR5). (en línea). 1 ed. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., Cambridge University Press. 33 p. Consultado 19 sep. 2018. Disponible en www.climatechange2013.org.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Para responsables de políticas. (en línea). Ginebra, Suiza, s.e. s.p. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en www.ipcc.ch.

Kaennel, M; Schweingruber, F. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology: Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, ltalian, Portuguese and Russian. (en línea). Snow Landscape Research WSL/FNP Birmensdorf Swiss Federal Institute for Forest (ed.). s.l., s.e. 467 p. Consultado 21 ago. 2018. Disponible en https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A10485/datastream/PDF/view.

Layme-Huaman, ET; Ferrero, ME; Palacios-Lazaro, KS; Requena-Rojas, EJ. 2018. Cedrela nebulosa: A novel species for dendroclimatological studies in the montane tropics of South America. (en línea). Dendrochronologia 50:105-112. Consultado 30 sep. 2018. Disponible en https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1125786517301881.

Ledesma, R. 2008. Introduccción al Bootstrap: Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación. (en línea). Tutorials in Quantitative Methods for Psychology 4(2):51-60. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://www.tqmp.org/RegularArticles/vol04-2/p051.

Lipper, L; Thornton, P; Campbek, BM; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; Caron, P; Cattaneo, A; Garrity, D; Henry, K; Hottle, R; Jackson, L; Jarvis, A; Kossam, F; Mann, W; McCarthy, N; Meybeck, A; Neufeldt, H; Remington, T; Thi Sen, P; Sessa, R; Shula, R; Tibu, A; Torquebiau, E. 2014. Climate-smart agriculture for food security. nature climate change 4:1068-1072.

Lucas, C; Puchi, P; Profumo, L; Ferreira, A; Muñoz, A. 2018. Effect of climate on tree growth in the Pampa biome of Southeastern South America: First tree-ring chronologies from Uruguay.

(en línea). Dendrochronologia 52:113-122. Consultado 11 sep. 2019. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786518300249.

Marcati, CR; Oliveira, JS; Machado, SR. 2006. Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. (en línea). Biota Neotropica 6(3):0-0. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032006000300001&lng=en&tlng=en.

Morrison, DF. 1983. Applied Linear Statistical Methods. :562.

Morzukh, BJ; Ruark, GA. 1991. Principal components regression to mitigate the effects of multicollinearity. Forest Science 37:191-199.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2018. El Nino/Southern Oscillation (ENSO). (En línea, sitio web). Consultado 21 sep. 2018. Disponible en https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/enso-tech.php.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2018. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) v5. (En línea, sitio web). Disponible en https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v5.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2019. NOAA's Climate Prediction Center. (En línea, sitio web). Consultado 25 ago. 2019. Disponible en https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php (Cold & Warm Episodes by Season,).

Piotto, D. 2007. Growth of native tree species planted in open pasture, young secondary forest and mature forest in humid tropical Costa Rica. (en línea). Journal of Tropical Forest Science 19:90-102. Consultado 15 sep. 2019. Disponible en https://search.proquest.com/naturalscience/docview/236165166/fulltextPDF/50023CB5D1954536PQ/1?accountid=189622.

Pumijumnong, N; Buajan, S. 2013. Seasonal cambial activity of five tropical tree species in central Thailand. (en línea). Trees 27:409-417. Consultado 29 sep. 2018. Disponible en https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00468-012-0794-4.pdf.

Pumijumnong, N; Wanyaphet, T. 2006. Seasonal cambial activity and tree-ring formation of Pinus merkusii and Pinus kesiya in Northern Thailand in dependence on climate. Forest Ecology and Management 226(1-3):279-289.

Rainer, H. 2007. Monographic studies in the genus Annona L . (Annonaceae): Inclusion of the genus Rollinia A . S T . -H IL . (en línea). Ann. Naturhist. Mus. Wien 108 B(Fries 1959):191-206. Consultado 15 sep. 2019. Disponible en https://www.zobodat.at/pdf/ANNA_108B_0191-0205.pdf.

Rasmusson, EM; Carpenter, TH. 1982. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. (en línea). Monthly Weather Review 110(5):354-384. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0493%281982%29110%3C0354%3AVITSST%3E2.0.CO%3B2.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F; M.G., B; L., G; M., T; Robledo, CW. 2018. InfoStat versión 2018. (en línea). Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. s.p. Disponible en http://www.infostat.com.ar.

Roig, F; Villanueva Díaz, J; Jiménez Osornio, J; Hayden, W; Barajas Morales, J; Luckman, B. 2012. Anatomía de maderas en comunidades rurales de Yucatán. s.l., s.e. 242 p.

Rozendaal, DMA; Zuidema, PA. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. (en línea). Trees 25(1):3-16. Consultado 23 may 2018. Disponible en http://link.springer.com/10.1007/s00468-010-0480-3.

Schöngart, J; Piedade, MTF; Ludwigshausen, S; Horna, V; Worbes, M. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. (en línea). Journal of Tropical Ecology 18(4):581-597. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0266467402002389/type/journal_article.

Schwartz, MW; Dolanc, CR; Gao, H; Strauss, SY; Schwartz, AC; Williams, JN; Tang, Y. 2013. Forest structure, stand composition, and climate-growth response in montane forests of Jiuzhaigou National Nature Reserve, China. (en línea). PloS one 8(8):e71559. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23951188.

Schweingruber, FH. 1988. Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. Kluwer Academic Publishers. 276 p.

Sheppard, PR. 2010. Dendroclimatology: extracting climate from trees. (en línea). 1:343-352. Consultado 14 may 2018. Disponible en http://www.ltrr.arizona.edu/~sheppard/Raul/DendroclimatologyReview.pdf.

Stahle, DW; Cook, ER; Burnette, DJ; Villanueva, J; Cerano, J; Burns, JN; Griffin, D; Cook, BI; Acuña, R; Torbenson, MCA; Sjezner, P; Howard, IM. 2016. The Mexican Drought Atlas: Tree-ring reconstructions of the soil moisture balance during the late pre-Hispanic, colonial, and modern eras. (en línea). s.l., Pergamon. 34-60 p. Consultado 24 ago. 2018. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379116302244.

Stahle, DW; Mushove, PT; Cleaveland, MK; Roig, F; Haynes, GA. 1999. Management implications of annual growth rings in Pterocarpus angolensis from Zimbabwe. Forest Ecology and Management 124(2-3):217-229.

Stoffel, M; Bollschweiler, M; Butler, D; Luckman, B. 2010. Tree Rings and Natural Hazards A State-of-the-Art. (en línea). s.l., Springer. 486 p. Consultado 14 may 2018. Disponible en https://link-springer-com.etechconricyt.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-90-481-8736-2.pdf.

Studhalter, RA. 1956. Early History of Crossdating. (en línea). Tree-Ring Bulletin 21:31-35. Consultado 24 may 2018. Disponible en http://hdl.handle.net/10150/259045

Van der Valk, A. 2009. Forest Ecology. (en línea). A. G. Van der Valk (ed.). Dordrecht, Springer Netherlands. 358 p. Disponible en http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=1J4Gq3SBYMgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Forest+Ecology+Recent+Advances+in+Plant+Ecology&ots=x

vpi1GLERo&sig=_pkgif1lKUsq3WXkH8O2o2nZwLk%5Cnhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=1J4Gq3SBYMgC&.

Villalba, R; Veblen, TT; Ogden, J. 1994. Climatic Influences on the Growth of Subalpine Trees in the Colorado Front Range. (en línea). Ecology 75(5):1450-1462. Consultado 2 sep. 2019. Disponible en http://doi.wiley.com/10.2307/1937468.

Villalba, R; Villagra, P.; Boninsegna, J.; Morales, M.; Moyano, V. 2000. Dendroecología y dendroclimatología con especies del género Prosopis en Argentina. (en línea). MULTEQUINA 9(2):1-18. Consultado 7 may 2018. Disponible en https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/multequina/indice/pdf/09_02/9_2_1.pdf.

Villanueva Díaz, J; Cerano Paredes, J; Stahle, D; Constante García, V; Estrada Avalos, J. 2010. Estandarización y Desarrollo de Series Dendrocronológicas en México. 1 ed. Jose Antonio Cueto Wong, MIguel Velasquez Valle, Juan Estrada Ávalos, Rivera González MIguel (ed.). Gómez Palacio, Durango, México, s.e. 64 p.

Villanueva Díaz, J; Fulé, P; Cerano Paredes, J; Estrada Ávalos, J; Sánchez Cohen, I. 1989. Reconstrucción de la precipitación estacional para el Barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de Pseudotsuga menziesii (Mirb.). (en línea). Ciencia forestal en México 34(105):37-69. Consultado 14 may 2018. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000100003.

Wolter, K. 1989. Modes of Tropical Circulation, Southern Oscillation, and Sahel Rainfall Anomalies. (en línea). Journal of Climate 2(2):149-172. Consultado 3 oct. 2018. Disponible en http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%281989%29002%3C0149%3AMOTCSO%3E2.0.CO%3B2.

Wolter, K; Timlin, MS. 2011. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). International Journal of Climatology 31(7):1074-1087.

Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. Journal of Ecology 87(3):391-403.

Worbes, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. (en línea). Dendrochronologia 20(1-2):217-231. Consultado 29 sep. 2018. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786504700181.

Worster, DH. 2008. Transformaciones de la Tierra. (en línea). 1 ed. Guillermo Castro (ed.). Montevideo, Uruguay, Centro Latino Americano de Ecología Social. 216 p. Consultado 20 sep. 2018. Disponible en http://ambiental.net/wp-content/uploads/2015/12/WorsterTransformacionesTierra.pdf.

Zamora, N. 2006. Annonaceae. (en línea). s.l., s.e. 20 p. Consultado 15 sep. 2019. Disponible en https://sura.ots.ac.cr/local/florula4/families/ANNONACEAE.pdf.

Zang, C; Biondi, F. 2013. Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. (en línea). Dendrochronologia 31(1):68-74. Consultado 23 ago.

2018. Disponible en http://www.sciencedirect.com.conricyt.remotexs.co/science/article/pii/S112578651200058.

Zweifel, R; Zimmermann, L; Zeugin, F; Newbery, DM. 2006. Intra-annual radial growth and water relations of trees: implications towards a growth mechanism. (en línea). Journal of Experimental Botany 57(6):1445-1459. Consultado 10 sep. 2019. Disponible en http://academic.oup.com/jxb/article/57/6/1445/516727/Intraannual-radial-growth-and-water-relations-of.