

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Potencial Dendrocronológico de *Pinus oocarpa* Schiede en el Noroeste
de las Lagunas de Montebello, Chiapas

Por:

MARÍA ISABEL LÓPEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Potencial Dendrocronológico de *Pinus oocarpa* Schiede en el Noroeste
de las Lagunas de Montebello, Chiapas

Por:

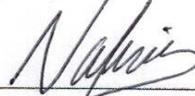
MARÍA ISABEL LÓPEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

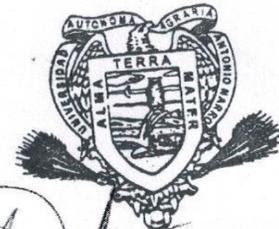
INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:



M.C. Salvador Valencia Manzo

Asesor Principal



DEPARTAMENTO FORESTAL



Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Coasesor



M.C. Julián Cerano Paredes

Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2017

DEDICATORIA

A mi madre:

Esperanza Hernández Suchiapa

A ti por darme la vida, gracias mamá, por todo tu esfuerzo y apoyo incondicional que has hecho para sacarme adelante, por darme consejos y enseñarme a ser una persona humilde y de respeto. Por estar conmigo en todo momento sin importar cuán fuerte fueran los vientos y las tempestades. Gracias por haberme enseñado a fijar bien mis pasos, por el amor y sabios consejos que me inspiraron en mi carrera profesional. Gracias mamá por estar conmigo durante toda esta etapa de mi vida, te amo.

A mis hermanos:

Martha y Cristian Antonio López Hernández

Por ser parte esencial en mi vida, ustedes han sido el motivo principal de querer ser una persona de bien en la vida, estoy agradecida eternamente por sus apoyos y motivarme para seguir caminando hacia la cima del éxito, gracias por haberme acompañado durante toda mi formación como profesionista y quiero que sientan que el éxito logrado igual es de ustedes, estoy agradecida por tenerlos como mis hermanos los quiero y los amo.

A mi sobrina y primas:

Renata Nazareth García López, María Valeria y Jimena Alejandra Hernández Ayala

Por haber llenado de alegría mi vida, con la enorme chispa de carisma que tienen.

A mis tíos:

Erminio Hernández y Yaritza Ayala

Por su apoyo, consejos y motivación para mi desarrollo profesional, gracias por estar en esta etapa de mi vida, los quiero.

Patrocinio Hernández Suchiapa (†)

Por ser una persona especial en mi vida, a pesar de la distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir, me enseñaste a luchar por conseguir nuestros sueños.

A mis abuelitos:

Nicolasa Suchiapa Tóala y Alejandro Hernández Nango

Por sus cariños y apoyo durante los momentos difíciles y alegres de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, conocimiento, bendiciones, salud, amor, esperanza y permitirme culminar esta meta importante en mi vida.

A mi "*Alma Terra Mater*" La UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, y en particular al Departamento Forestal por haberme permitido realizar mis estudios y darme la oportunidad de formarme profesionalmente como Ing. Forestal.

En especial a mis asesores del presente trabajo, M.C. Julián Cerano Paredes, M.C. Salvador Valencia Manzo y Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, con respeto, admiración y por darme la oportunidad de haber trabajado junto a ustedes; les agradezco haberme brindado sus invaluable asesoría, el valioso apoyo, dedicación, consejos, sugerencias y el tiempo dedicado para la elaboración del estudio, sin duda alguna los mejores asesores.

A la M.C. Rosalinda Cervantes por ayudarme en el trabajo de laboratorio, por ser tan amable, por sus enseñanzas y aconsejarme siempre, por su amistad, gracias.

Al Ing. Jil Cabrera por su amistad, su apoyo y confianza brindada durante este trayecto de mi carrera profesional.

A COFORS y ASIRMI: Al Ing. Roberto del Carmen García Cancino e Ing. Eunice Morales Morales, por haberme permitido realizar mis prácticas profesionales, por el apoyo y consejos que me brindaron para mi formación y facilitarme establecer las relaciones con el Ejido Ojo de Agua para realizar el trabajo de campo de esta esta investigación.

Al Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, por haberme permitido obtener los datos del presente trabajo.

Al Comisariado Sr. Gerardo López García, al Sr. José Luis Hernández Vázquez, Sr. Adolfo Cruz Pérez, Sr. Valdemar Guillen Ortega, Ing. Maynor Morales Roblero y Lic. Mayceli López Morales; por haberme acompañado y apoyado en el trabajo de campo.

Al Sr. José Luis H. y a su apreciable esposa Sra. Virginia Espinoza García y familia, por haberme recibido en su hogar.

A la Sra. Martha Olivia Bustamante Sapien por ser una persona especial, por cuidar de mí y haberme recibido en su hogar durante la estancia del trabajo en laboratorio.

A mis amigos y compañeros, Maynor Morales, José T. García, Karina Pablo, Nemías García, María del S. Méndez, L. Obeymar Ortiz (†), Abel López, José Oscar López, Yenifer Escobar y Jorge Santiz, gracias por ser parte en mi vida durante tanto tiempo, todos los recuerdos son incomparables, las alegrías, tristezas y enojos. Le doy gracias a Dios por haberlos conocidos, siempre los recordaré.

A Jesús Ángel López Sánchez, por ser una persona especial en mi vida, por acompañarme en todos los momentos, durante mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos e hipótesis	4
2 MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1 Descripción del área de estudio	5
2.1.1 Localización	5
2.1.2 Hidrología.....	5
2.1.3 Geología	6
2.1.4 Edafología.....	6
2.1.5 Clima.....	6
2.1.6 Vegetación	7
2.2 Trabajo de campo	7
2.2.1 Diseño de muestreo	7
2.2.2 Colecta y extracción de muestras	7
2.3. Etapa de laboratorio	9
2.3.1 Análisis dendrocronológico	9
2.4 Análisis estadístico.....	12
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
3.1 Anillos falsos en <i>P. oocarpa</i>	13
3.2 Respuesta del crecimiento de <i>P. oocarpa</i> a la precipitación	14
3.3 Respuesta del crecimiento de <i>P. oocarpa</i> a la temperatura mínima y temperatura máxima	19
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
5 LITERATURA CITADA	28

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas empleadas para el análisis dendroclimatológico de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede, en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.	12
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.....	5
Figura 2. Extracción de núcleos de crecimiento de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede, en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, empleando el taladro de Pressler. A la izquierda, toma de muestra y a la derecha, extracción de la viruta.....	8
Figura 3. Muestras de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el proceso de ligado que permitirán una mejor observación de los anillos de crecimiento en el microscopio.....	9
Figura 4. Presencia de anillos falsos en la mayoría de los años de crecimiento de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. El menor número de muestras con anillos falsos al inicio del gráfico, obedece al tamaño de muestra y no a que un menor número de muestras registren la formación de anillos falsos.	13
Figura 5. Corte transversal que muestra las características anatómicas de anillo falso, en diversos años de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.	15
Figura 6. Coeficiente de correlación entre la precipitación mensual (A) y acumulada (B) para el período 1961 a 2004 con el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($p < 0.05$).....	17
Figura 7. Relación entre la precipitación estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.	18

Figura 8. Coeficiente de correlación entre la temperatura mínima mensual (A) y promedio (B) (De 1961 a 2004) contra el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($P < 0.05$).	21
Figura 9. Coeficiente de correlación entre la temperatura máxima mensual (A) y promedio (B) (De 1961 a 2004) contra el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($P < 0.05$).	22
Figura 10. Relación entre la temperatura mínima estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.	24
Figura 11. Relación entre la temperatura máxima estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.	25

RESUMEN

En México, los estudios dendrocronológicos se han concentrado en coníferas de clima templado del norte y centro y son muy pocos los estudios realizados en el sur del país. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue analizar el potencial dendrocronológico de *Pinus oocarpa* Schiede para reconstruir variables climáticas en el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas. En la región de estudio se muestrearon tres áreas, se utilizó el muestreo selectivo, se eligieron los árboles de *P. oocarpa* más longevos y libres de daños mecánicos, plagas y enfermedades. Se colectaron 70 muestras con taladro de Pressler correspondientes a 34 árboles. Las muestras se prepararon en el Laboratorio de Dendrocronología del CENID-RASPA, INIFAP, Gómez Palacio, Durango. Las muestras fueron fechadas mediante técnicas dendrocronológicas estándar. Se desarrolló una cronología regional de 91 años. Se utilizaron datos climáticos de cuatro estaciones (Comitán, Margaritas, Santa Elena y Tziscaco, Chis). Se generó un promedio mensual regional (1961-2004) tanto de precipitación como de temperatura. Se correlacionó el índice de ancho de anillo (anillo total, madera temprana y tardía) con la precipitación y temperaturas máxima y mínima promedio mensual. La especie presenta alto porcentaje de anillos falsos (8% - 60%), no obstante fue posible el fechado exacto de cada uno de los crecimientos anuales. El análisis de verificación de calidad de fechado indicó una correlación entre series de 0.494. Se determinó que los crecimientos anuales de *P. oocarpa*, responde significativamente ($P < 0.05$) a la precipitación y temperatura, dichos crecimientos presentan potencial para reconstruir la variabilidad de la precipitación y temperatura mínima de primavera (marzo-mayo), para el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas.

Palabras claves: *Pinus oocarpa*, anillos de crecimiento, potencial dendrocronológico, precipitación, temperatura, anillos falsos.

1 INTRODUCCIÓN

Los registros proxy son indicadores y sistemas naturales que dependen del clima, que estuvieron presentes en el pasado y aún existen, por lo que permiten derivar información paleoclimática, dado que contienen una señal climática, la cual puede ser débil o contener ruido. Existen diversos tipos de archivos de registros proxy, entre los más importantes se encuentran los sedimentos y suelos, hielo, corales, archivos históricos, análisis de polen y anillos de crecimiento de árboles (Bradley, 1999).

En el caso de los registros proxy de los anillos de árboles, la disciplina que se encarga de interpretar dichos registros, se conoce como dendrocronología (Benito, 2014), que se define como el estudio de los anillos de crecimiento de los árboles para fechar eventos pasados (Stokes y Smiley, 1996). Si se considera a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea, la dendrocronología no es otra cosa que la ciencia que interpreta, o “lee” ese registro ambiental (Dendrocronología, 2002).

Mediante la dendrocronología se desarrollan series de tiempo de anillos de árboles que se fechan y estandarizan, llamadas cronologías de anillos de árboles (Fritts, 1976). Las cronologías de anillos de árboles dan a conocer las complejas condiciones climáticas ambientales a las que fue expuesto el árbol. Aunque estas condiciones también incluyen efectos no climáticos, tales como disturbios por cambios de uso del suelo, incendios y ataque de insectos (Cook, 1987). Una mejor respuesta climática, se puede obtener de árboles que han sido sujetos al mínimo disturbio y ubicados en sitios donde la humedad del suelo es el factor que limita su crecimiento (Fritts, 1976).

El aspecto más importante de la cronología de los anillos de los árboles, es proporcionar un registro del clima pasado de una región, en la mayoría de los casos más extenso que los registros instrumentales. Esto es posible por la influencia que tiene el clima sobre el grosor del anillo anual que es un buen índice de las precipitaciones estacionales. Por lo que el registro del clima pasado queda grabado en la estructura de los anillos anuales (Morey, 1977).

Esta disciplina se basa en el crecimiento radial de las especies leñosas que dependen de las condiciones ambientales anuales, determinadas por las estaciones del año, en las regiones templadas donde existe una estación marcada de crecimiento, los árboles generalmente producen un anillo anual de crecimiento que registran las condiciones climáticas de ese año. Es posible lograr fechar años individuales con seguridad y obtener un registro continuo (Fritts, 1976). Así por ejemplo, para el norte de México, se han logrado realizar cronologías con una extensión de 410 años para el Sureste de Coahuila con *Pinus cembroides* Zucc. (Constante *et al.*, 2009), en el Noroeste de Chihuahua, en Mesa de las Guacamayas, con *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco se realizó una cronología de 409 años (Villanueva *et al.*, 2015), para el Suroeste de Chihuahua, en la reserva “Cerro El Mohinora”, se desarrolló una cronología de 350 años con base en *Pseudotsuga menziesii* (Cerano *et al.*, 2009), para *Pinus durangensis* Martínez, en la cuenca alta de la región hidrológica Presidio San Pedro entre los estados de Sinaloa y Nayarit, se desarrolló una cronología que comprende de 1780 a 2012 (232 años) (Díaz-Ramírez *et al.*, 2016), con base en *Pinus cooperi* Blanco en Durango, se desarrollaron dos cronologías regionales, una para la parte baja que comprende los últimos 194 años (1817-2010) y otra para la parte alta de una longitud de 104 años (Cerano *et al.*, 2012).

En algunas especies de coníferas los anillos de crecimiento no se originan necesariamente todos los años, en particular las de los subtrópicos, estas especies pueden producir varios anillos cada año en respuesta a suspensiones temporales del crecimiento, alternados con la reanudación temporal de este fenómeno. Las coníferas pueden presentar anillos falsos, los que no necesariamente se extienden alrededor del tronco en su totalidad. Los anillos falsos se producen como resultado de condiciones hormonales adversas, déficit hídrico, limitación en carbohidratos, como consecuencia el crecimiento radial es interrumpido (Larson, 1962; Esaú, 1965). En las coníferas el incremento anual del xilema puede contener dos anillos de crecimiento. El segundo anillo se describe como un falso anillo anual (Esaú, 1965). En referencia a especies estudiadas en clima templado existe baja o nula presencia de anillos falsos, Santillán-Hernández *et al.* (2010) determinaron el potencial de *Pinus pincheana* Gordon, para diez poblaciones en la Sierra Madre Oriental, reportando que tres poblaciones, ubicadas en el centro de México,

registran problemas de anillos falsos entre el 2% y el 12%. En el caso de coníferas tropicales, la frecuencia de anillos falsos aumenta, Szejner (2011) encontró en *Pinus oocarpa* Schiede en Guatemala, presenta en promedio un 26% de anillos falsos.

El crecimiento de los anillos de los árboles en regiones tropicales es casi continuo, lo que hace que exista dificultad en distinguir los anillos anuales de crecimiento, incluso en coníferas, donde es frecuente la presencia de anillos falsos, esta es una limitante para que en estas regiones existen pocos estudios dendrocronológicos (Hastenrath, 1963; Johnson, 1980; Szejner *et al.*, 2013).

Aunque las investigaciones dendrocronológicas en el trópico se remontan a más de 100 años (Worbes, 2002), algunos científicos dudan de la capacidad de los árboles tropicales para formar anillos de crecimiento anuales (Turner, 2004). En 1870, se realizó el primer estudio dendrocronológico en el trópico, estudiando el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* Lf.) en el cual se determinó los ciclos de corta con base en los anillos; de este modo, se estableció un sistema silvícola sostenible (Worbes, 2002). Posteriormente, se estudió en América tropical *Cordia alliodora* (Ruíz y Pav.) Oken, (Tschinkel, 1966), quien supuso acertadamente que los anillos eran anuales.

Recientemente se han realizado estudios dendrocronológicos con el género *Pinus*. Johnson (1980) estudió *P. oocarpa* para Honduras encontrando anillos falsos, y particularmente para extender la red de cronologías de anillos de los árboles en el género *Pinus* para el trópico, Szejner *et al.* (2011) estudiaron *P. oocarpa*, analizando la anatomía del anillo y factores que influyen en el crecimiento, para extender el conocimiento del clima pasado en el Este de Guatemala.

Para México y Centroamérica, se reportan 47 especies de *Pinus* (Perry *et al.*, 1998), lo que indica, que existen muchas especies por explorar y determinar su potencial, para estudios dendroclimáticos. Hastenrath (1963), Johnson (1980) y Szejner *et al.* (2011), han realizado estudios analizando los crecimientos de *P. oocarpa* en Centroamérica, aunque reportan que la especie presenta alta frecuencia de anillos falsos, esto relacionado

con el verano o canícula, concluyen que la especie presenta potencial para estudios dendroclimáticos.

En México, *P. oocarpa* registra una distribución desde el norte hasta el sur del país (Martínez, 1992). A pesar de su amplia distribución, no existe ninguna referencia de esta especie en estudios dendroclimáticos, *P. oocarpa* puede representar una alternativa para reconstruir información climática en zonas del país donde se carece de datos instrumentales, por tal motivo, la presente investigación busca analizar el potencial dendrocronológico de esta especie en una región del sureste de Chiapas.

1.1 Objetivos e hipótesis

Los objetivos propuestos del presente estudio fueron:

- Fechar los anillos anuales de *Pinus oocarpa* y desarrollar una cronología para el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas.
- Determinar el potencial dendrocronológico de *P. oocarpa* para reconstruir variables climáticas en el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas.

Las hipótesis, nula y alterna, propuestas fueron:

Ho: Los crecimientos anuales de *P. oocarpa* no tienen potencial para reconstruir variables climáticas, en el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas.

Ha: Los crecimientos anuales de *P. oocarpa* tienen potencial para reconstruir variables climáticas, en el noroeste de las Lagunas de Montebello, Chiapas.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

2.1.1 Localización

El área de estudio se localiza en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, entre los paralelos 16° 09´ 24” latitud Norte y 91° 45´29” Oeste, a una altitud de 1527 msnm (INEGI-CONAGUA, 2007) (Figura 1).

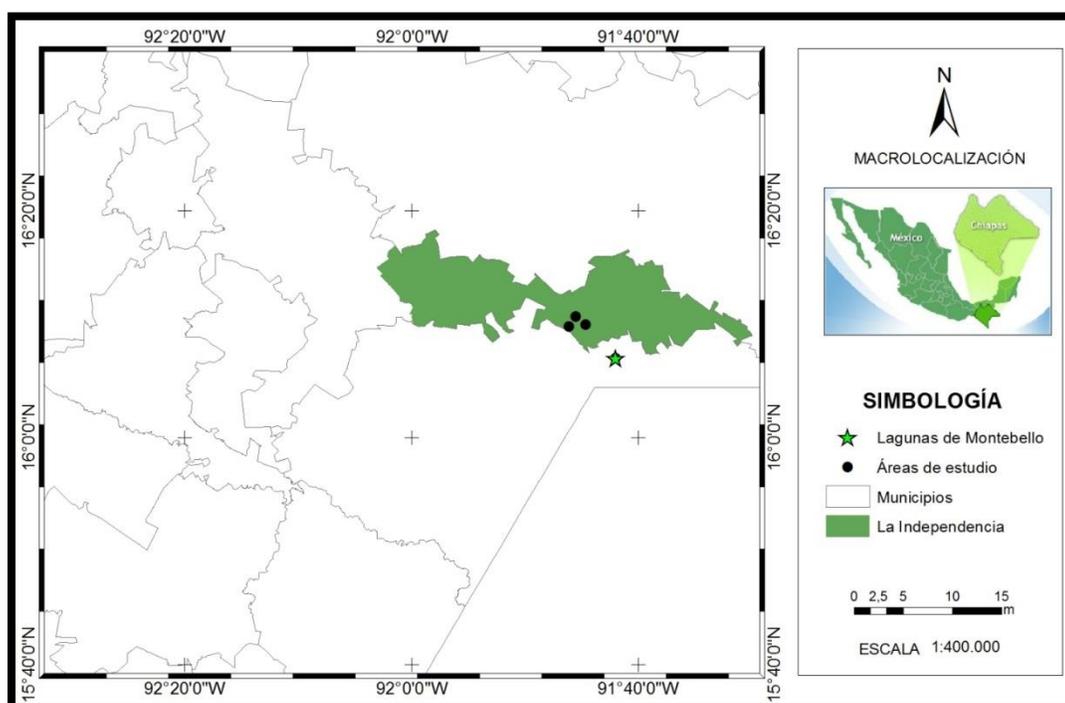


Figura 1. Ubicación geográfica de las áreas de muestreo de *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.

2.1.2 Hidrología

De acuerdo a la carta hidrológica en la escala de 1:250,000 (CNA, 2012), la región hidrológica que conforma el área de estudio es Grijalva-Usumacinta, que conforma la cuenca hidrológica Río Lacantún, la conforma la subcuenca Río Comitán y Santo

Domingo. Sus corrientes permanentes y/o intermitentes en la superficie del Ejido no se localizan corrientes permanentes, salvo aquellas que a causa del temporal de lluvias se forman de manera momentánea y desaparecen después de terminar el periodo de lluvia. El agua que se utiliza en abrevaderos para vacas y caballos se obtiene en su mayoría de jagüeyes y lagunas.

2.1.3 Geología

En el área de estudio el origen de las rocas es sedimentario (INEGI, 2005). Caracterizado por la acumulación de sedimentos, que son sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales más o menos consolidados, formándose a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares y en las desembocaduras de los ríos (Foronda, 2015).

2.1.4 Edafología

Con base en la clasificación de la carta edafología escala 1:250,000 de INEGI, para el estado de Chiapas, el tipo de suelo que presenta el área en estudio es litosol, que se caracteriza por su profundidad menor de 10 cm, limitado por la presencia de roca, tepetate o caliche endurecido (INEGI, 2007). Los suelos profundos en los llanos es lo contrario de las partes rocosas; alcanzan una profundidad de hasta 120 cm. En cobertura de materia orgánica en áreas boscosas más densas existe un espesor hasta de 25 cm de materia orgánica. En los procesos erosivos en algunas áreas, éstos son ligeramente perceptibles sobre todo en aquellas desprovistas de vegetación; en temporada de lluvias se llegan a formar escorrentías hídricas de manera efímera en algunas áreas de cultivo en las cuales se aprecia erosión en poca escala de tipo laminar especialmente en zonas con pendientes pronunciadas (INEGI, 2012).

2.1.5 Clima

De acuerdo a las características de precipitación y temperatura en la región, predomina un clima C(m)(f) que se describe como templado subhúmedo, con base en los datos

promedio de las estaciones más cercanas al área de estudio (Comitán, Margaritas, Santa Elena, Tziscaco), que comprenden el período de 1961-2004, la temperatura media anual se registra entre 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío entre 5°C y 18°C. Presenta una precipitación en el mes más seco menor de 40 mm y la precipitación anual es de 1500 mm (García, 1998).

2.1.6 Vegetación

El tipo de vegetación que presenta el Ejido Ojo de Agua es vegetación secundaria arbustiva de bosque pino-encino, bosque mesófilo de montaña y bosque de pino. En la Sierra Madre del Sur presenta *P. oocarpa* es la especie más frecuente, pues la mayor parte de los pinares de esa zona se encuentran a menos de 2200 m de altitud, alternando y mezclándose con los bosques de encino y en colindancia con diferentes asociaciones del bosque mesófilo de montaña. Miranda menciona que para el noroeste de Chiapas los extensos pinares se desarrollan sobre grandes y casi deshabitadas superficies de terrenos calizos que circundan por el sur y por el oeste la llamada Selva Lacandona (Rzedowski, 1978).

2.2 Trabajo de campo

2.2.1 Diseño de muestreo

El muestreo que se utilizó en las tres áreas de estudio fue un muestreo selectivo. Se seleccionaron 34 árboles de los más longevos y libres de daños mecánicos, plagas y enfermedades.

2.2.2 Colecta y extracción de muestras

La colecta y extracción de muestras se realizó en los meses de septiembre y noviembre de 2016. A cada árbol seleccionado se le extrajeron de dos a tres virutas (núcleos de

crecimiento) a 1.30 m sobre el nivel del suelo (Figura 2). Las virutas se extrajeron en diferentes posiciones cardinales de los árboles dado que el tallo de la especie no presenta un crecimiento concéntrico y en consecuencia el ancho del anillo no es igual en todos los lados del árbol (Klepac, 1983), las muestras se extrajeron con el apoyo de taladros de Pressler de diferentes dimensiones y diámetro de 5 mm.



Figura 2. Extracción de núcleos de crecimiento de *Pinus oocarpa* Schiede, en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, empleando el taladro de Pressler. A la izquierda, toma de muestra y a la derecha, extracción de la viruta.

Para la extracción de la muestra, la barrena o taladro se coloca en el árbol en un ángulo de 90°, después se gira en sentido de las manecillas del reloj hasta la médula (centro del árbol), se inserta la bayoneta o cuchara, después se gira en sentido contrario a las manecillas del reloj para romper el núcleo del centro del árbol, finalmente, se extrae la muestra, al sacar la bayoneta. Colectar un radio en dos direcciones del mismo árbol permite determinar el incremento con más exactitud (Klepac, 1983).

Una vez obtenidas cada una de las muestras, éstas se colocaron en popotes con orificios previamente hechos, para permitir que la muestra tuviera ventilación, propiciar un secado uniforme y evitar torceduras o deformaciones. Así mismo, cada muestra fue debidamente etiquetada con la identificación del árbol: OA (nombre del ejido), 01 (número de árbol), A, B, C (virutas extraídas), A1 (número de área), especie y fecha de colecta. Además se utilizó un formato donde se registró información como: coordenadas geográficas del árbol

utilizando un GPS, estado (sano o enfermo), número de virutas extraídas, exposición utilizando una brújula Silva y la altitud (msnm) empleando un GPS.

2.3. Etapa de laboratorio

Las muestras se prepararon para su análisis en el Laboratorio de Dendrocronología del CENID-RASPA, INIFAP, Gómez Palacio, Durango. Las muestras fueron montadas en una base de madera, cuidando que las traqueidas estuvieran en posición vertical para tener una mejor apreciación de los anillos de crecimiento. Cada muestra se pegó con pegamento y se ajustó a la moldura con cinta adhesiva. Posteriormente, se procedió a realizar un lijado para resaltar las estructuras de crecimiento, utilizando lijas de las más gruesas (grano de 120) a las más finas (grano de 1,200) (Figura 3).



Figura 3. Muestras de *Pinus oocarpa* Schiede en el proceso de lijado que permitirán una mejor observación de los anillos de crecimiento en el microscopio.

2.3.1 Análisis dendrocronológico

- Pre – fechado de crecimientos anuales

Se realizó el conteo de anillos en todas las muestras obtenidas para determinar la edad aproximada de cada árbol utilizando un estereomicroscopio. El pre-fechado fue realizado mediante la técnica de Skeleton plots (gráficos de crecimiento). Esta técnica consiste en graficar en papel milimétrico los crecimientos anuales mediante líneas verticales, resaltando los anillos más delgados y los de mayor incremento, lo que permite comparar

los patrones de crecimiento de muchas muestras a la vez y detectar posibles problemas de anillos perdidos y falsos (Stokes y Smiley, 1996).

- Anillos falsos

Las muestras de *P. oocarpa*, presentaron alto porcentaje de anillos dobles o falsos, para distinguir estos anillos, se siguieron las consideraciones de Stokes y Smiley (1996), entre los puntos más importantes son:

1. Frecuentemente, la madera tardía última en formarse en un anillo falso, no se delinea claramente o no presenta un cambio abrupto con la madera temprana, la madera tardía se mezcla con la madera temprana de color claro. Esta combinación gradual, es el contraste con el cambio abrupto de la madera tardía y la madera temprana en anillos normales, esta es la mejor característica para distinguir anillos falsos.
2. Si una sección transversal está disponible, un anillo que presente este problema puede seguirse alrededor de la circunferencia entera. Si la madera tardía es de circunferencia discontinua, es un anillo falso.
3. En muestras con conductos de resina, comúnmente, se puede observar que la madera tardía falsa termina en un conducto, que lo parte en dos, mientras la verdadera madera tardía rodea el conducto y lo incorpora en el anillo anual.

- Medición de los anillos anuales

Realizado el pre-fechado, se midió el crecimiento total anual, longitud de madera temprana y de madera tardía de todas las muestras, empleando un sistema de medición Velmex con platina de fase deslizante y una precisión de 0.001 mm, conectado a una computadora. Para una mejor apreciación de los anillos de crecimiento se apoya de un estereoscopio con una retícula graduada que permite marcar el límite del anillo. Las bases de datos de medición generada se guardaron en la computadora utilizando el software Measure J2X.

- Obtención de cronologías

Generadas las bases de datos de medición de ancho de anillo, los archivos de los tres sitios de trabajo se ingresaron al programa COFECHA, para verificar la calidad de fechado y medición (Holmes, 1983). El programa analiza estadísticamente el fechado de cada serie

correlacionando sucesivamente segmentos de 50 años con traslapes de 25 años, compara cada serie individual con todas las muestras y con la serie promedio, con base en este procedimiento se identifican errores de anillos ausentes y falsos.

Una vez verificada la calidad del fechado y la medición con el programa COFECHA, se procedió a utilizar el programa ARSTAN para generar cronologías a partir de las series de ancho de anillo (anillo total, madera temprana y madera tardía). Mediante dicho programa se estandariza cada serie individual, removiendo la varianza debido a factores biológicos, como competencia y liberación, y geométricos (el área de fuste se incrementa con la edad y el crecimiento anual tiende a disminuir al distribuirse en una mayor superficie) no relacionadas con el clima (Cook, 1987). El programa ARSTAN maximiza la varianza debida a factores ambientales que afecten a la población en conjunto (factores climáticos y atmosféricos). Con el programa ARSTAN se generaron tres cronologías. Para cada serie individual se obtuvo un índice de crecimiento para cada año, al dividir el valor del ancho del anillo (madera temprana y madera tardía) entre el valor correspondiente en la curva; finalmente, se promediaron los índices anuales de las series individuales para producir la cronología correspondiente. Para el caso del presente estudio se empleó la versión estándar, el cual conserva las variaciones de periodos largos.

- Obtención de datos climáticos por medio del programa ERICII

La información meteorológica para la calibración entre lo observado y lo generado fue extraída del programa ERICII (Extractor Rápido de Información Climática) del Servicio Meteorológico Nacional (IMTA, 2009). Se seleccionaron 18 estaciones meteorológicas cercanas al área en estudio. Los datos mensuales de precipitación y temperaturas (mínima y máxima) se correlacionaron con el índice de ancho de anillo, y con esto determinar las estaciones que presentaron la mejor correlación con los datos, las cuales fueron: Comitán, Margaritas, Santa Elena y Tziscaco, Chis. Mientras que las estaciones seleccionadas para temperatura fueron: Comitán y Santa Elena, Chis. Se generó un promedio mensual regional tanto de precipitación como de temperaturas. Las estaciones seleccionadas aportan información para el periodo de 1961-2004 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas empleadas para el análisis dendroclimatológico de *Pinus oocarpa* Schiede, en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.

Estaciones climáticas		Longitud	Latitud	Altitud	Periodo de
Lugar	Municipio	(Oeste)	(Norte)	(msnm)	datos
Comitán	Comitán	92.117	16.25	1596	1961-2004
Margaritas	Margaritas	91.975	16.311	1512	1962-2004
Santa Elena	Las Margaritas	91.967	16.317	560	1966-1990
Tziscaco	Trinitaria	91.633	16.1	1475	1977-1996

2.4 Análisis estadístico

En Excel se realizaron análisis de correlación simple entre el índice de ancho de anillo (cronología estándar), la madera temprana y la madera tardía contra el promedio de precipitación y promedio de temperatura mensual máxima y mínima. Se definió primeramente los meses con mayor correlación y posteriormente el periodo estacional que más influye en el crecimiento. Así mismo, estos análisis de correlación se verificaron y validaron estadísticamente, utilizando el programa STATISTICA Kernel Reléase 5.5 (Stat Soft Inc., 2000).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Anillos falsos en *P. oocarpa*

De un total de 70 muestras de 34 árboles de *P. oocarpa*, se logró fechar 30 muestras de 22 árboles. El 57% de las muestras no se logró fechar porque presentaron alto porcentaje de anillos falsos, cuyo crecimiento está influenciado por las condiciones climáticas del lugar (precipitación, temperatura, competencia, liberaciones, entre otros). El éxito en el fechado de las muestras depende de las condiciones del sitio donde crecen los árboles y esto puede propiciar que el fechado de muestras varíe de un 43% a un 90% (Villalba 1990; Lara y Villalba 1993; Neira 1995). Las 30 muestras fechadas se analizaron para determinar la presencia de anillos falsos en cada año, determinando que el año 1991 presenta el mayor porcentaje (57%) de muestras con anillos falsos (Figura 4).

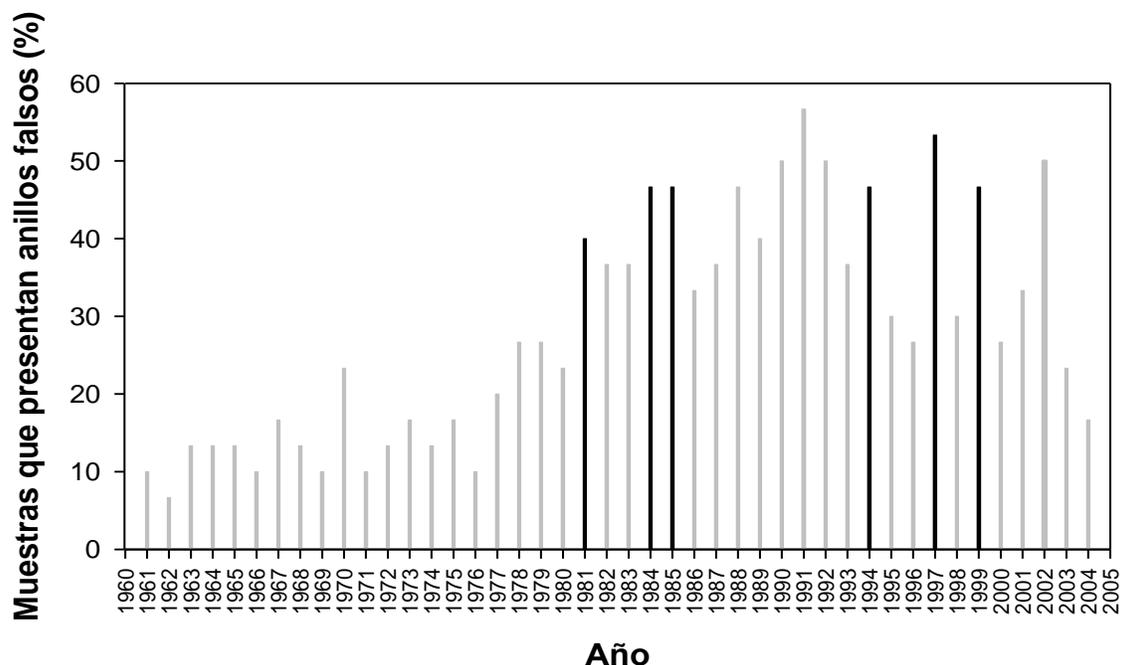


Figura 4. Presencia de anillos falsos en la mayoría de los años de crecimiento de *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. El menor número de muestras con anillos falsos al inicio del gráfico, obedece al tamaño de muestra y no a que un menor número de muestras registren la formación de anillos falsos.

El programa COFECHA considera indirectamente la posibilidad de anillos falsos mediante la falta de correlación o desfase de las series entre muestras independientes, y éste fue el caso en *P. oocarpa* que se estudia. Ocasionalmente se observaron posibles bandas oscuras en un anillo anual, anatómicamente se mostraron como las bandas tenues que caracterizan a un anillo falso (Figura 5).

La mayoría de las muestras mostró anillos falsos en cada año de crecimiento, por ejemplo en 1981, 1984, 1985, 1997 y 1999 (Figura 5), que son ejemplos de la existencia del patrón típico que se muestra en todos los años que transcurren para el crecimiento de *P. oocarpa*, mientras que en 1994 (Figura 5) representa el patrón atípico que no es algo normal en la especie.

Otros estudios mencionan que la baja o nula frecuencia de anillos falsos, se debe a que la estacionalidad es marcada; la precipitación, normalmente, es un factor limitante; sin embargo, para altas elevaciones no representa un factor limitante, por lo que difícilmente se forman bandas falsas de crecimiento, un ejemplo de ello es *Juniperus monticola* que presenta baja frecuencia de anillos falsos (Villanueva- Díaz *et al.*, 2016). En contraste, en el sur de México las estaciones no son tan marcadas como en el centro y norte de México, y esto puede influir en la formación de anillos falsos en *P. oocarpa*. Aunado a la continuidad de la estación del crecimiento en el Sur de México, al parecer la baja precipitación y elevadas temperaturas influyen en el crecimiento radial produciendo un falso anillo.

3.2 Respuesta del crecimiento de *P. oocarpa* a la precipitación

Los resultados de COFECHA indicaron una correlación significativa entre series ($r = 0.494$; $p < 0.01$). Dado que el programa COFECHA establece para el exacto fechado y calidad de respuesta climática como mínima correlación significativa entre series de $r = 0.3281$ ($p < 0.01$) (Holmes, 1983).

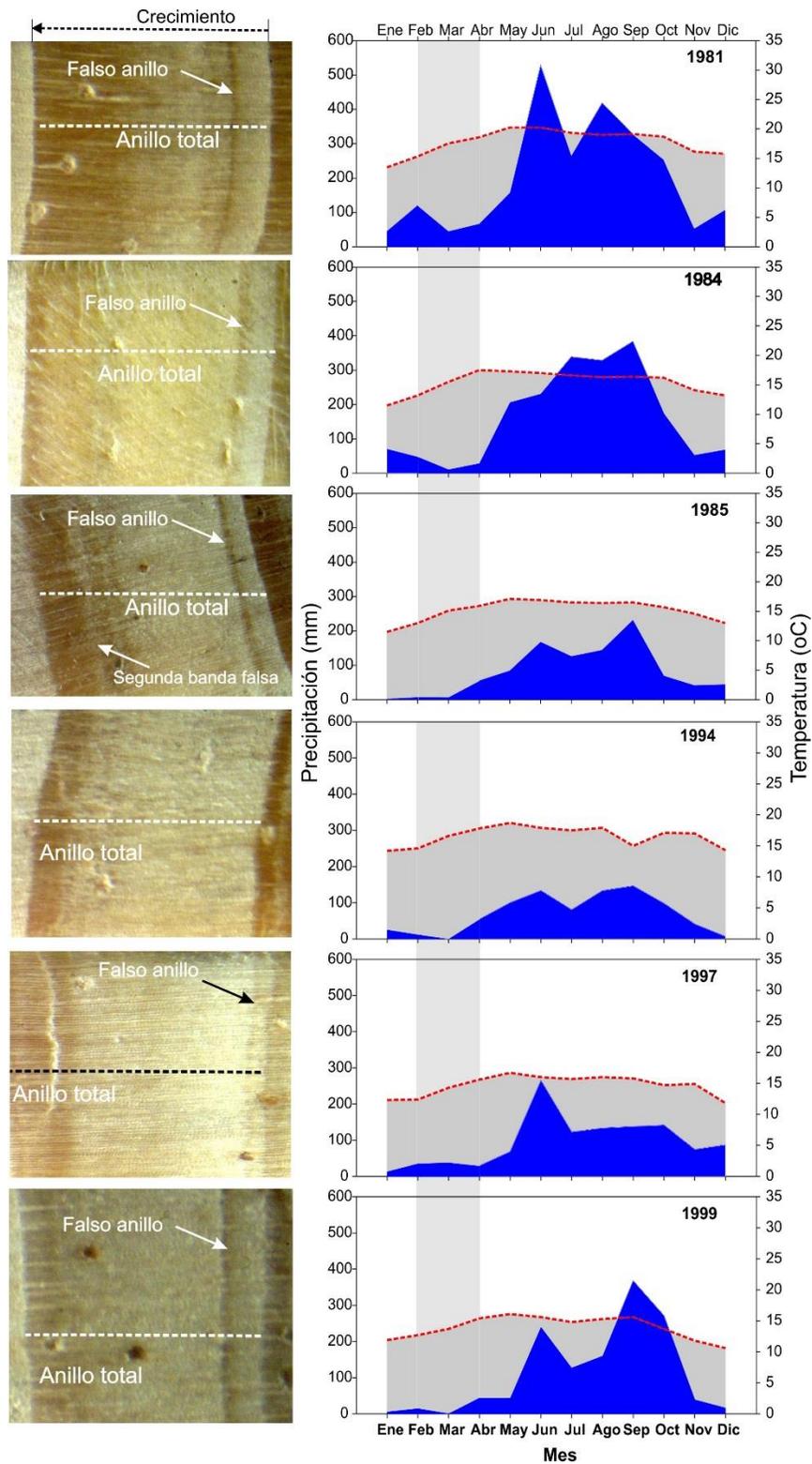


Figura 5. Corte transversal que muestra las características anatómicas de anillo falso, en diversos años de *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas

Los análisis de correlación entre la cronología y los datos climáticos de la precipitación regional de las estaciones meteorológicas Comitán, Margaritas, Santa Elena y Tzisco, que comprenden un periodo de 1961-2004, indican que la precipitación promedio mensual presenta correlaciones positivas con el anillo total, madera temprana y madera tardía, excepto por el mes de julio para la madera tardía que presenta una correlación negativa ($r = -0.0071$) (Figura 6A).

Los meses de abril, mayo, junio, noviembre y diciembre, registran correlaciones significativas ($P < 0.05$) con la madera temprana y con anillo total de *P. oocarpa*, para el caso de la madera tardía los meses de abril, mayo y diciembre presentan correlaciones significativas ($P < 0.05$; Figura 6A).

Al considerar la precipitación acumulada se observan correlaciones significativas ($p < 0.05$) de anillo total, madera temprana y madera tardía, con la precipitación acumulada enero-abril, enero-mayo y enero-junio. La mayor correlación se observa con el período enero-mayo para las tres variables. La madera temprana registra la más alta correlación con la lluvia estacional enero-mayo (Figura 6B).

Sin embargo, al relacionar el periodo de lluvia estacional marzo-mayo con el índice de anillo para el periodo común (1961-2004) se observó una relación significativa ($P < 0.05$) mayor para anillo total, madera temprana y madera tardía, con valores de 0.70, 0.71 y 0.53, respectivamente (Figura 7), valores de correlación superiores a los observados para el período enero-mayo, lo que indica potencial para generar un modelo de regresión y reconstruir la variabilidad de la precipitación de primavera para la longitud total de la cronología, que fue de 91 años.

La especie de *P. oocarpa* en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, muestra una clara evidencia de la influencia de las condiciones climáticas del período de primavera en el crecimiento, esto a pesar que la especie registra un alto porcentaje de anillos falsos. Hastenrath (1963) reportó el primer estudio de anillos en *P. oocarpa* en Centroamérica, en El Salvador, en la búsqueda de relacionar la variabilidad de las lluvias y el crecimiento,

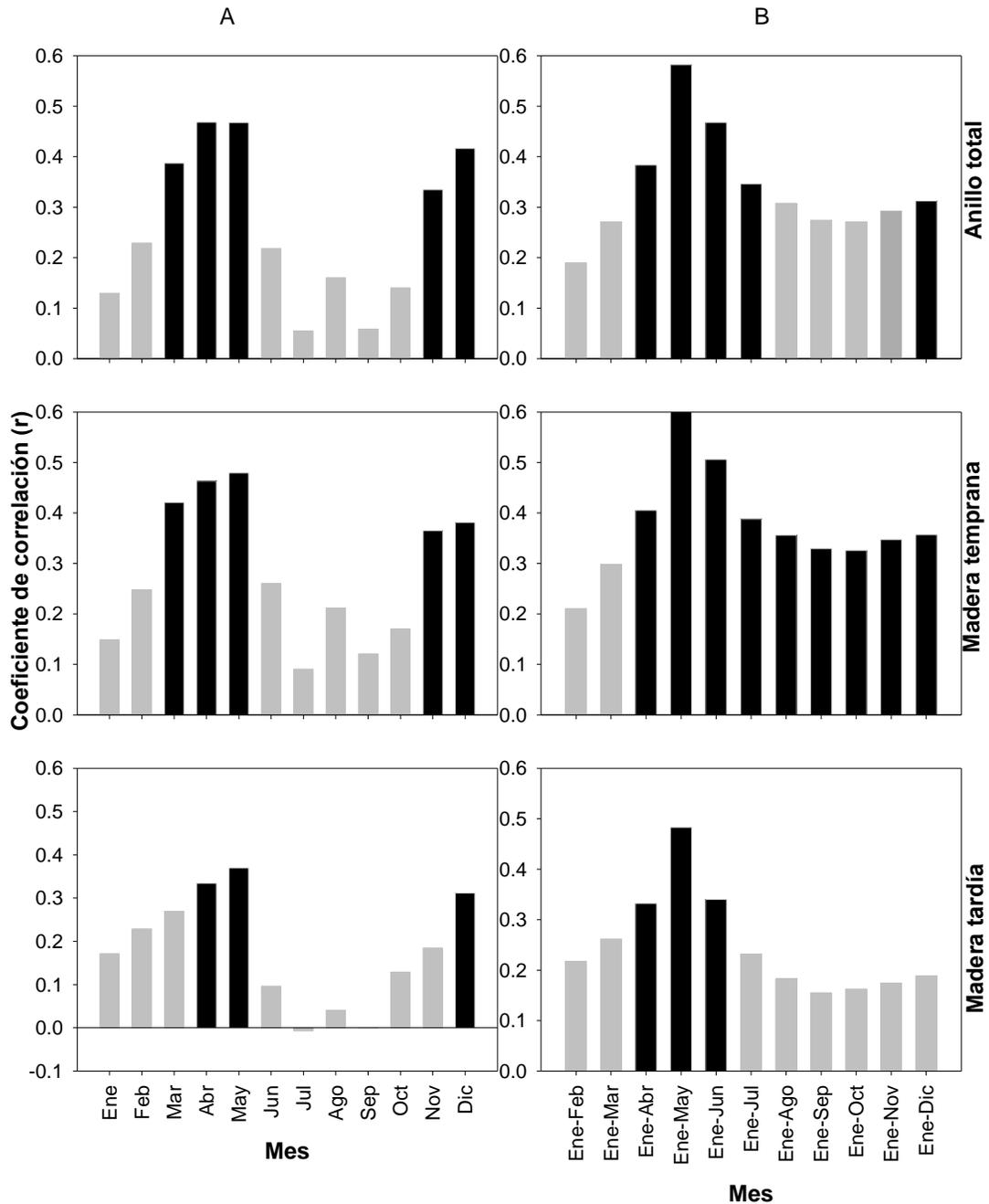


Figura 6. Coeficiente de correlación entre la precipitación mensual (A) y acumulada (B) para el período 1961 a 2004 con el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($p < 0.05$).

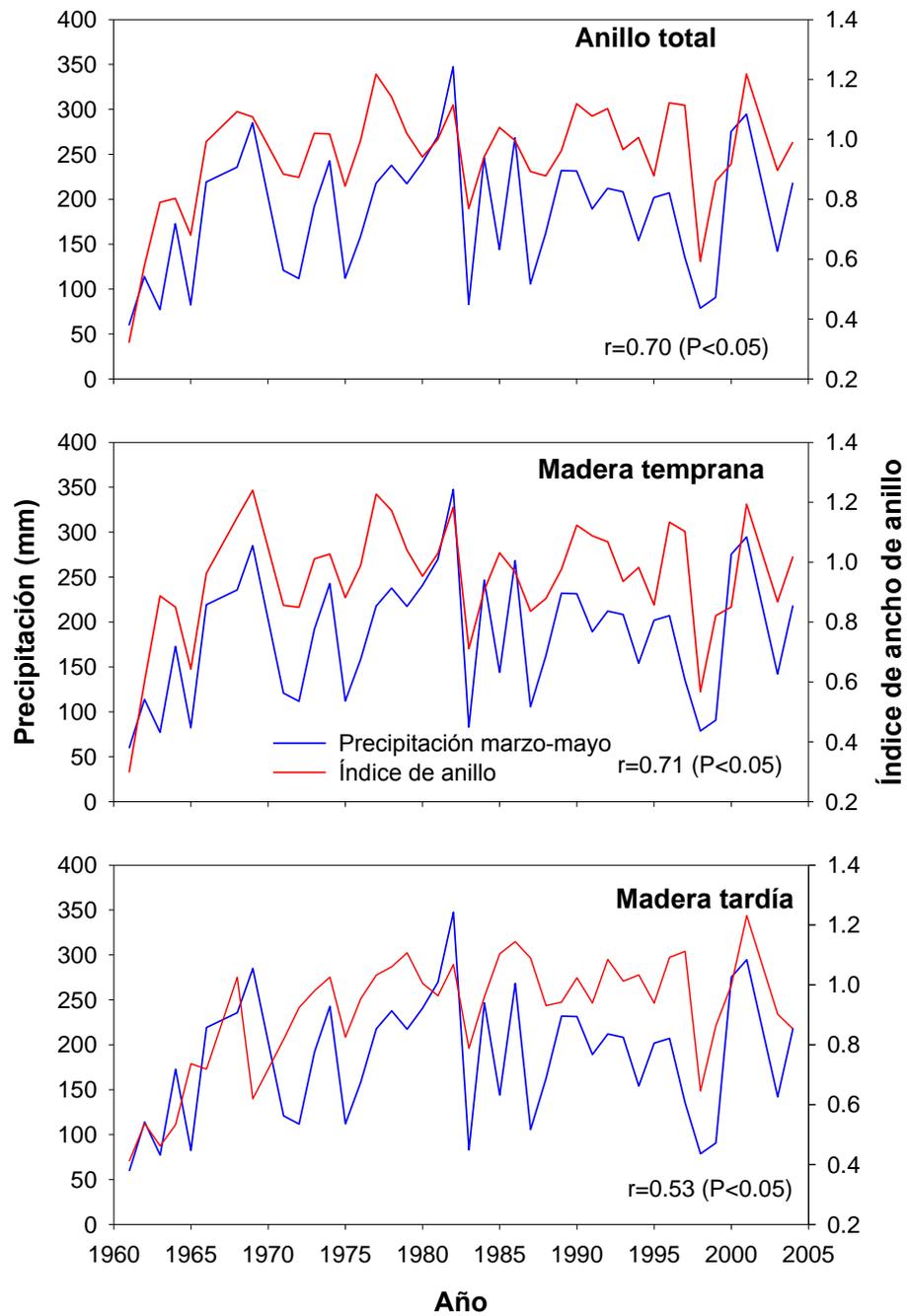


Figura 7. Relación entre la precipitación estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.

encontró patrones entre la variabilidad de la lluvia y el crecimiento, así mismo, también detectó varios anillos falsos. Posteriormente, Johnson (1980) con la misma especie realizó el estudio de anillos de árboles en Copan, Honduras, el objetivo de ese estudio fue analizar la anatomía del anillo anual de los árboles para entender los factores ambientales que influyen en el crecimiento de los árboles. Szejner *et al.* (2011) al relacionar el crecimiento de *P. oocarpa* del Este de Guatemala, con la precipitación, reportan que esta especie responde al periodo mayo-junio (primavera-verano) de manera significativa ($P < 0.001$). *P. oocarpa* presenta potencial para desarrollar estudios dendrocronológicos y es posible reconstruir la variabilidad de la lluvia de primavera, esto aun considerando que la especie presenta problemas de anillos falsos y período de supresión

A diferencia de la respuesta del crecimiento de *P. oocarpa* en el sur de México y Centroamérica, las coníferas en el norte y centro de México, responden a la lluvia estacional invierno-primavera, esto ha sido corroborado por diversos estudios. Santillán-Hernández *et al.* (2010) mencionan que la información obtenida de las poblaciones de *Pinus pinceana* de la región centro-norte de México, muestran alto potencial para estudios dendrocronológicos, una respuesta significativa ($P < 0.05$) para la reconstrucción de la precipitación estacional de invierno-primavera. Otro estudio fundamentado en los crecimientos de *Abies religiosa* en el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán, reportan que el periodo invierno-primavera influye de manera significativa en el crecimiento de la especie (Cerano *et al.*, 2014). Estos dos estudios coinciden con Díaz-Ramírez *et al.* (2016) quienes analizaron los crecimientos de *Pinus durangensis* encontrando que tiene alto potencial dendrocronológico y que sus crecimientos responden al periodo de lluvia estacional acumulada enero-agosto de manera significativa ($P < 0.01$).

3.3 Respuesta del crecimiento de *P. oocarpa* a la temperatura mínima y temperatura máxima

Los análisis de correlación entre la cronología y los datos climáticos de temperatura mínima y temperatura máxima de las estaciones meteorológicas de Comitán y Santa Elena correspondiente al periodo de 1961-2004.

Los análisis indicaron que la temperatura mínima mensual presenta correlaciones positivas en anillo total, madera temprana y madera tardía (Figura 8A). La temperatura mínima registra correlaciones significativas ($P < 0.05$) para todos los meses con anillo total y madera temprana, mientras que la madera tardía presenta correlación significativas ($P < 0.05$) solo en seis meses (febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre) (Figura 8A).

Al considerar la temperatura mínima promedio, se determinó que todos los meses (enero-diciembre) presentan correlaciones significativas ($P < 0.05$), para anillo total, madera temprana y madera tardía (Figura 8B). Sin embargo el periodo de temperatura mínima promedio marzo-mayo es el que influye de manera significativa ($P < 0.05$) en el crecimiento de *P. oocarpa* (Figura 8B).

La temperatura mínima se ubica en un rango que permite la actividad fotosintética, ya que temperaturas cercanas a 5 °C o por debajo de ésta, propician que los estomas se cierran interrumpiendo el intercambio de gases (Barceló *et al.*, 2001).

La especie de *P. oocarpa* en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, muestra una clara evidencia de la influencia de la temperatura mínima del período de primavera en el crecimiento. Mientras que en el caso de la temperatura máxima mensual ésta no responde significativamente ($P < 0.05$) al mismo periodo (Figura 9A).

La correlación significativa entre la temperatura máxima y el anillo total, madera temprana y tardía se presenta de manera consistente en los meses julio, septiembre y octubre, excepto por agosto. Cabe señalar que las correlaciones entre la temperatura máxima con el anillo total y madera temprana para los meses de enero a mayo no fueron significativas, por el contrario, para algunos meses fueron negativas. En contraste, la correlación entre la temperatura máxima y la madera tardía en los meses de enero-marzo fueron significativas, e incluso las más altas correlaciones se encontraron en noviembre y diciembre.

Estas altas correlaciones significativas de noviembre, diciembre, enero y marzo con la madera tardía pueden explicar la producción de un anillo falso, ya que ni el anillo total y ni

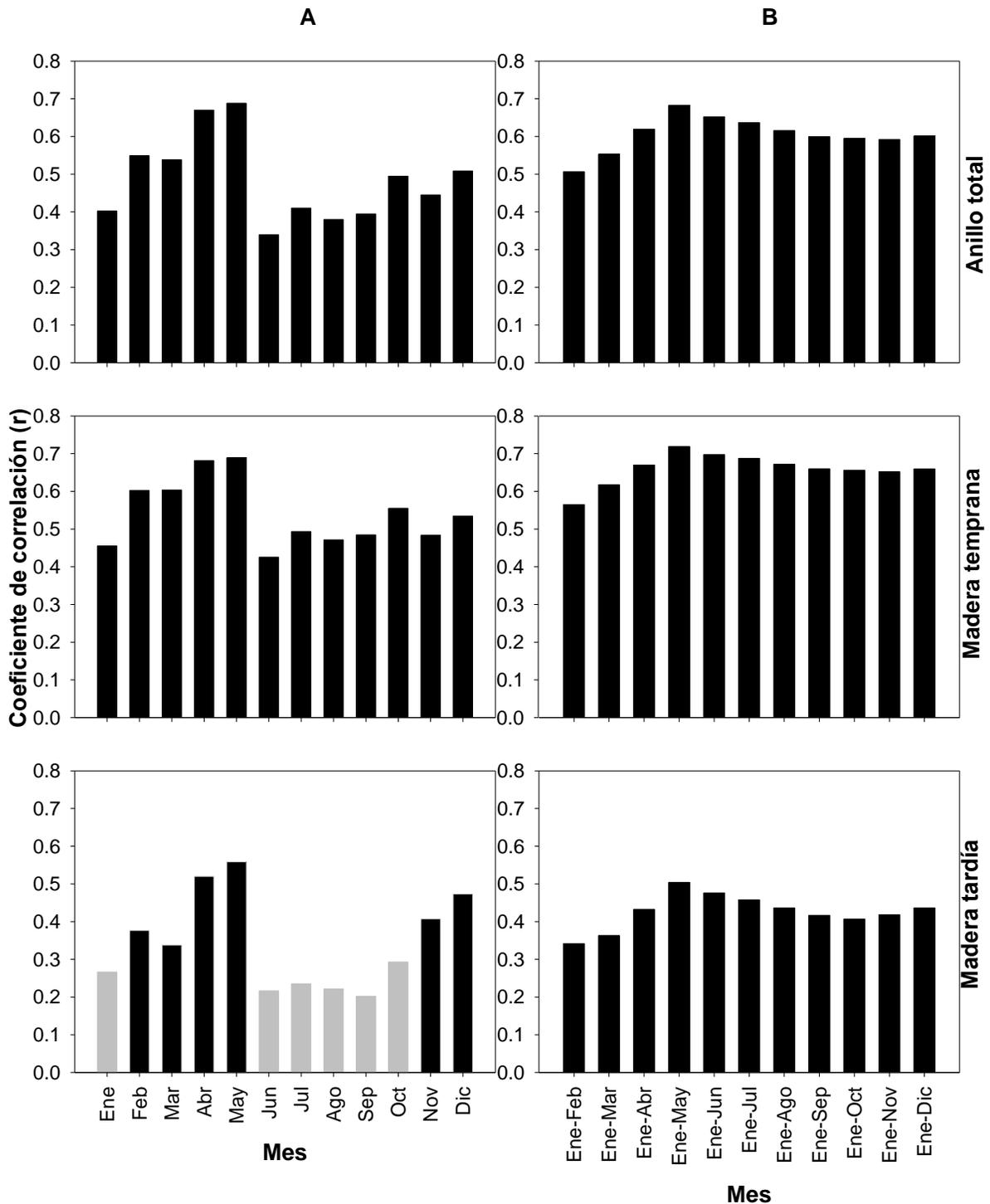


Figura 8. Coeficiente de correlación entre la temperatura mínima mensual (A) y promedio (B) (De 1961 a 2004) contra el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($P < 0.05$).

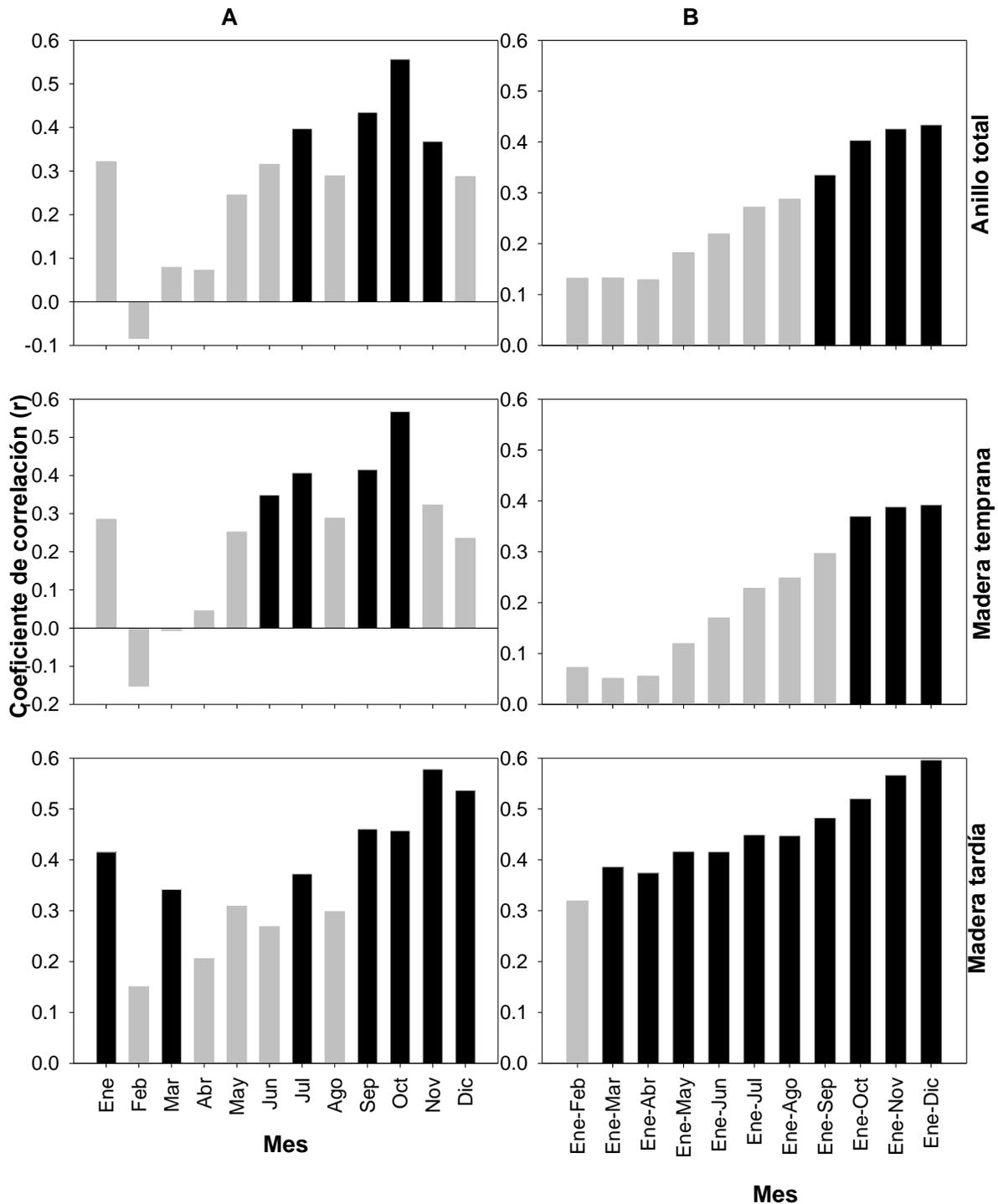


Figura 9. Coeficiente de correlación entre la temperatura máxima mensual (A) y promedio (B) (De 1961 a 2004) contra el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas. Las barras de color negro representa una correlación significativa ($P < 0.05$).

la madera temprana tienen los valores de correlación alta y significativa que tiene la madera tardía en esos meses. Elevadas temperaturas por arriba de los 25 °C, producen una fuerte presión al nivel de los estomas, el déficit de presión de vapor se incrementa, hasta por arriba de los 2.0 kPa provocando el cierre de estomas y limitando el intercambio de gases y el crecimiento radial (Barceló *et al.*, 2001). Provocando la acumulación de carbohidratos en las paredes de las células aumentando su espesor (Bidwell, 1979; Giménez *et al.*, 2014)

Al correlacionar la temperatura máxima promedio con el anillo total y madera temprana, se encontró una relación significativa ($P < 0.05$) con el periodo enero-octubre, enero-noviembre y enero-diciembre, mientras que la madera tardía promedio responde al periodo enero-marzo hasta enero-diciembre (Figura 9B).

La baja correlación del crecimiento temprano con la temperatura máxima, significa que, a una mayor temperatura al inicio de la estación de crecimiento habrá menor incremento en el crecimiento del anillo de *P. oocarpa*, caso contrario a la respuesta con la temperatura mínima.

Al relacionar los meses de temperatura mínima enero-diciembre (1961-2004) con el índice de anillo, se observó una relación significativa ($P < 0.05$) mayor con el periodo marzo-mayo para anillo total, madera temprana y madera tardía, 0.70, 0.73 y 0.53, respectivamente (Figura 10), lo que indican potencial para generar un modelo de regresión y reconstruir la variabilidad de la temperatura mínima de primavera para la longitud total de la cronología de 91 años. Sin embargo, es importante destacar que la más alta correlación se obtuvo con la cronología de madera temprana, por lo tanto, es la cronología a considerar como variable independiente para desarrollar el modelo de regresión.

Al relacionar el mismo periodo de marzo-mayo (1961-2004) de temperatura máxima con la cronología de anillo total, madera temprana y madera tardía, se observó una relación menor que con temperatura mínima pero significativa ($P < 0.05$) 0.18, 0.13 y 0.39, respectivamente (Figura 11). Lo que indican que la temperatura mínima es la que influye en el crecimiento de *P. oocarpa*.

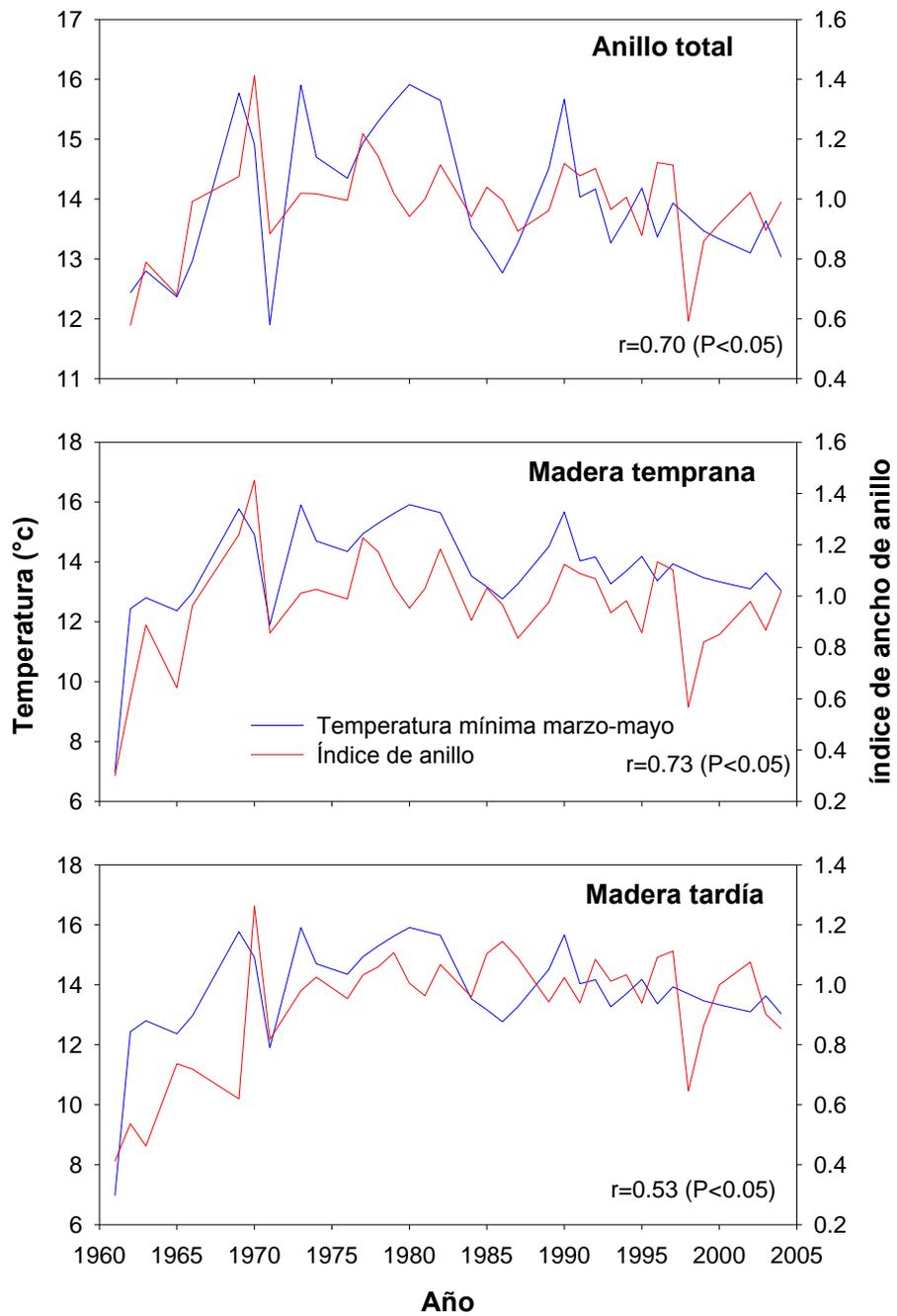


Figura 10. Relación entre la temperatura mínima estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.

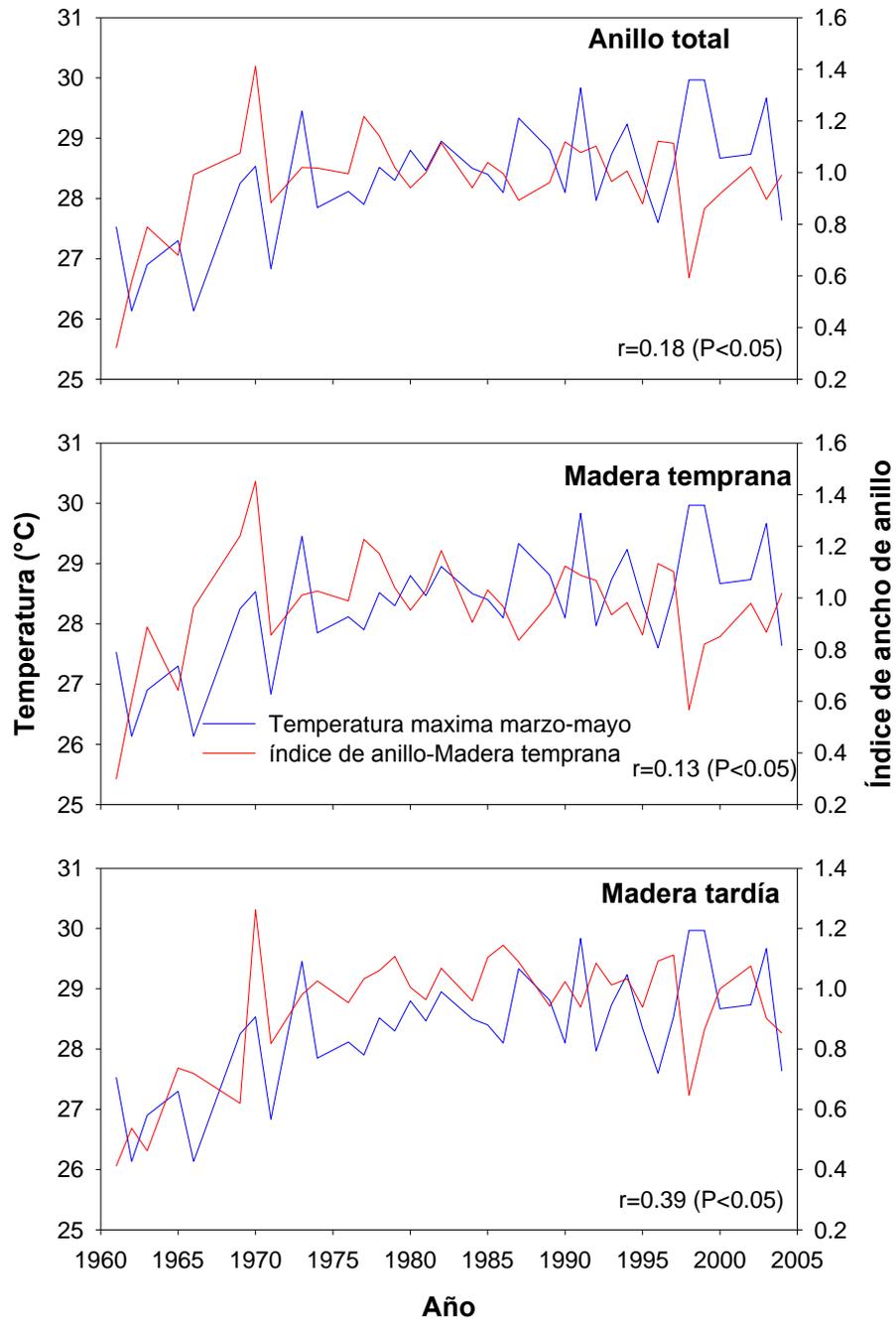


Figura 11. Relación entre la temperatura máxima estacional marzo-mayo y el índice de anillo total, madera temprana y madera tardía para *Pinus oocarpa* Schiede en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.

La respuesta del crecimiento a la temperatura mínima y menor relación del crecimiento ante condiciones de mayor temperatura, ha sido corroborada por diversos estudios. Huante *et al.* (1991) reportan una correlación significativa del crecimiento anual de *Abies religiosa* con la temperatura media y mínima de los meses de enero y febrero. Cerano *et al.* (2014) encontraron una relación significativa ($P < 0.05$) de la temperatura media y mínima de los meses de enero y febrero, en el crecimiento anual de *Abies religiosa*. Así mismo, la temperatura media y mínima del mes de mayo influyó de forma altamente significativa ($p < 0.01$) en el crecimiento anual. Cerano *et al.* (2011) analizaron los crecimientos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb (Franco), reportando que la temperatura mínima aunque no influyó de manera significativa en el crecimiento ($P > 0.05$), para los meses de abril y julio, se estimaron correlaciones positivas con la madera temprana; en la madera tardía incidió positivamente para los meses de marzo, abril, junio y julio. Entre los estudios más recientes, Marlés *et al.* (2015) observaron en *Pinus pseudostrobus* que la correlación del crecimiento con la temperatura máxima es negativa, es decir, a mayor temperatura menos crecimiento, así que el crecimiento se relaciona negativa y significativamente con las temperaturas del año previo del mes de agosto. Para *Pinus devoniana*, también hay una relación negativa y significativa del crecimiento radial con el aumento de temperatura máxima en los meses de julio y agosto del año previo. Villanueva-Díaz *et al.* (2016) indican que *Juniperus monticola*, es viable para estudios dendrocronológicos, los anillos de esta especie son anuales, sensibles a la variabilidad climática y responden a la temperatura media anual.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el estudio, potencial dendrocronológico de *Pinus oocarpa*, en el Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas, se concluye que:

- *Pinus oocarpa* presenta alta frecuencia (8%-60%) de anillos falsos, sin embargo, contar con varias muestras por árbol y una gran cantidad de árboles, permitió un perfecto fechado.
- Las series de *Pinus oocarpa* tienen potencial para ser consideradas proxy de la variabilidad climática del Ejido Ojo de Agua, La Independencia, Chiapas.
- Las cronologías de madera temprana, tardía y anillo total de *Pinus oocarpa*, respondieron significativamente al periodo de precipitación de primavera (marzo-mayo).
- Las cronologías de madera temprana y anillo total de *Pinus oocarpa*, respondieron significativamente al periodo de temperatura mínima de primavera (marzo-mayo).
- *Pinus oocarpa* responde significativamente a temperatura máxima en madera tardía para los meses septiembre-diciembre.

Pinus oocarpa constituye una alternativa importante para generar información paleoclimática, para el sur de México, por lo que se recomienda:

- Realizar estudios climáticos más detallados a nivel regional de la influencia de precipitación y temperatura mínima en primavera con base en los crecimientos de esta especie.
- Hacer muestreos que comprendan un mayor número de muestras e integrar árboles más longevos, que permitan reconstruir la precipitación y la temperatura en un periodo de tiempo más extenso.
- Generar una red de cronologías de anillos de árboles para el sur de México, que incluya otras especies sensibles a variables climáticas.

5 LITERATURA CITADA

- Barceló C., J., G. Nicolás R., B. Sabater G. y R. Sánchez T. 2001. Fisiología vegetal. Ediciones pirámide. Madrid. 566 p.
- Benito F., G. 2014. Archivos climáticos y paleohidrológicos. Introducción a datos proxy y su análisis. CSIC- Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid, España. 91 p.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. AGT Editor. México. 784 p.
- Bradley, R. S. 1999. Paleoclimatology. Reconstructin climates of the Quaternary. Second Edition. Academic Press. USA. 613 p.
- Cerano P., J., J. Villanueva D., P.Z. Fulé., J. G. Arreola A., I. Sánchez C. y R. D. Valdez C. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. Madera y Bosques 15(2):27–44.
- Cerano P., J., J. Villanueva D., R. Cervantes M., L. Vázquez S., R. Trucios C. y V. Guerra de la C. 2014. Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. Investigaciones Geográficas 83:41-54.
- Cerano P., J., J. Villanueva D., R.D. Valdez C., E.H. Cornejo O., I. Sánchez C. y V. Constante G. 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(4):31-45.
- Cerano P., J., M. Rivera G., J. Estrada A., R. Trucios C. y J. C. Ríos S. 2012. Análisis dendrocronológico de *Pinus cooperi* en Durango, México. Recursos Forestales-Agrofaz 12(3):81-88.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Carta hidrológica de Chiapas. Escala 1:25000.
- Constante G., V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. H. Cornejo O. y S. Valencia Manzo. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. Revista Ciencia Forestal en México 34:106.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bulletin. 47:37-59.
- Dendrocronología 2002. Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Austral de Chile. Consultado en internet en

- <http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html> (Fecha de consulta: 21 de abril de 2017).
- Díaz-Ramírez, B., J. Villanueva-Díaz. y J. Cerano-Paredes. 2016. Reconstrucción de la precipitación estacional con anillos de crecimiento para la región hidrológica Presidio-San Pedro. *Madera y Bosques* 22(1):111-123.
- Esau, K. 1965. *Anatomía Vegetal*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 640 p.
- Foronda S., L. 2015. *Geología. Rocas sedimentarias y sus propiedades*. Consultado en internet en <https://prezi.com> (Fecha de consulta: 6 de mayo de 2017)
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic Press, London - New York – San Francisco. 566 p.
- García, E. 1998. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. Serie de Libros N°.6. México. 98 p.
- Giménez, A. M., J. G Moglia., P. Hernández y R. Gerez. 2014. *Anatomía de la madera*. Segunda edición. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. Argentina. 83 p.
- Hastenrath, S. 1963. Dendrochronologie en El Salvador. *Meteorologische Rundschau* 16: 110-113
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Buletin* 43:69-78.
- Huante, P., E. Rincón y T. W. Swetnam. 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacán, México. *Tree-Ring Bulletin* 51:15-27.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, MX). 2009. *Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC), Software*, Jiutepec, Morelos, México.
- INEGI. 2005. *Marco estadístico municipal. Datos Geográficos de la Carta Geológica, 1:250000, serie I. La Independencia, Chiapas*.
- INEGI. 2007. *Carta edafológica de Chiapas. Escala 1:250000*.
- INEGI. 2012. *Guía para la interpretación de cartografía edafológica. Unidades y subunidades de suelo*. Consultado en internet en www.inegi.org.mx (Fecha de consulta 29 de abril de 2017). 14 p.
- INEGI-CONAGUA. 2007. *Prontuario de la información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. La Independencia, Chiapas*. Consultado en internet en

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras.pdf> (Fecha de consulta 17 de marzo de 2017)

- Johnson, W. C. 1980. Muestreo dendrocronológico de *Pinus oocarpa* cerca de Copán, Honduras: una nota preliminar. *Biotrópica* 12:315-316.
- Keplac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Métodos para determinar el incremento y la producción. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 297 p.
- Lara, A. y R. Villalba. 1993. A 3,620-year temperature reconstruction from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260:1104-1106.
- Larson, P. R. 1962. Auxin gradients and the regulation of cambial activity. In: T. T. Kozlowski. *Tree Growth*. Ronald Press. New York, USA. Pp. 97-117.
- Marlés M., J., T. Valor I., B. Claramunt L., D. R. Pérez S., R. Maneja Z., S. Sánchez M. y M. Boada J. 2015. Análisis dendroclimático de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán), Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. *Investigaciones Geográficas* 88:19-32.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Tercera edición. Editorial Botas. México. 361 p.
- Morey, P. P. 1977. Como crecen los árboles. Ediciones Omega. Segunda edición en español. Barcelona, España. 64 p
- Neira, E. P. 1995. Desarrollo de cronologías para alerce (*Fitzroya cupressoides*) en las Cordilleras de la Costa y de los Andes. Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 196 p.
- Perry, J. P. Jr., A. Graham y M. D. Richardson. 1998. The history of pines in México and Central America. In: M. D. Richardson (ed). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. Pp.137-149.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- Santillán- Hernández, M., E. H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, S. Valencia-Manzo y M. A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16:17-30.
- Stat Soft Inc. 2000. *STATISTICA Software, Kernel Release version 5.5 A. 1984-2000*. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stokes, M. A. y T. L. Smiley. 1996. *An introduction to the tree-ring dating*. The University of Arizona Press. USA. 73.

- Szejner S., P. 2011. Tropical dendrochronology: exploring tree-rings of *Pinus oocarpa* in Eastern Guatemala. Tesis de maestría. Universidad de Gotinga, Europa, Facultad de Ciencias Forestales y de Ecología Forestal. Europa. 61 p.
- Szenjner, P., J. Villanueva, J. Cerano y M. Wordes. 2013. False rings of *Pinus oocarpa* and their relations with climate events in Eastern Guatemala. Second American Dendrochronology Conference. Consultado en internet en <https://ameridendro.ltrr.arizona.edu/oster> (Fecha de consulta: 24 de abril, 2017).
- Tschinkel, H. M. 1966. Annual growth rings in *Cordia alliodora*. Turrialba 16:73-80.
- Turner, I. M. 2004. The Ecology of trees in the tropical rain forest. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 298 p.
- Villalba, R. 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1,000 years as inferred from tree-ring records. Quaternary Research 34:346-360.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., P. Z. Fulé, C. Cortés M., L. Vázquez S., L. L. Yocom y J. A. Ruiz-Corral. 2015. Cuatro siglos de variabilidad hidroclimática en el noroeste de Chihuahua, México, reconstruida con anillos de árboles. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. 87:141-153.
- Villanueva-Díaz, J., L. Vazquez-Selem, A. Gómez-Guerrero, J. Cerano-Paredes, N. A. Aguilar-González y O. Franco-Ramos. 2016. Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el Monte Tláloc, México. Revista Fitotecnia Mexicana 39(2):175-185.
- Worbes, M. 2002. One hundred of tree-ring research in the tropics - a brief history and outlook to future challenges. Dendrochronologia 20:217-231.