

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Potencial Dendroclimático de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio
Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Por:

OTONIEL CORTÉS CORTÉS

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Potencial Dendroclimático de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio
Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Por:

OTONIEL CORTÉS CORTÉS

TESIS

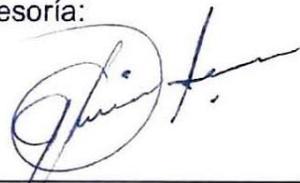
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

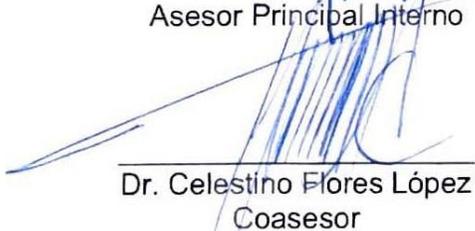
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo
Asesor Principal Interno



Dr. Julián Cerano Paredes
Asesor Principal Externo



Dr. Celestino Flores López
Coasesor



M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

DEDICATORIA

A mis padres

José Edén Cortés Vieyra y Celia Cortés Vieyra

Porque la firmeza de un Roble, la fuerza de un Huracán y el coraje de un Volcán se quedan cortos comparados con sus cualidades y aptitudes a la hora de tomar decisiones, actuar, defender lo que es suyo y luchar por lo que desean, las cuales me han servido de ejemplo y motivación personal para lograr mis metas, gracias porque sé que nunca faltará un plato en su mesa para mí, gracias padres por su apoyo constante e incondicional durante este tiempo y gracias por los consejos brindados, pero sobre todo gracias por sus constantes oraciones, porque a su lado camina Dios y la humildad y la unidad familiar que dan de ejemplo me han hecho crecer como persona.

A mis hermanos

Edén, Consuelo Amayrani y Orlando Cortés Cortés

Por ser parte de mis alegrías y recuerdos de infancia maravillosos los cuales me brindan motivación para superarme día con día, gracias hermanos por estar presentes siempre en las buenas y en las malas, aunque nuestras vidas tomen caminos separados el vínculo carnal que existe siempre nos permitirá regresar a casa en familia.

A mis abuelos

Pedro Cortés Munguía, Ignacia Vieyra Areola, y Crescenciano Cortés del Río

Doy gracias a dios por tenerlos a mi lado y aprender de sus sabios consejos y experiencias de vida que se transmiten de generación en generación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por la salud, unidad y prosperidad que le brindas a la familia y por permitirme seguir viviendo y lograr una más de mis metas.

A mi Alma Terra Mater. La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por formar parte de mis experiencias de vida inolvidables, y por los conocimientos adquiridos durante estos 5 años que estoy seguro me servirán en mi vida profesional, al Departamento forestal y sus profesores por tan buena labor formando profesionistas con carácter y hambre de triunfo.

A mis asesores.

Dr. Heriberto Eladio Cornejo Oviedo, por la paciencia, tiempo, esfuerzo y dedicación que puso como asesor de este trabajo y sobre todo por las excelentes enseñanzas compartidas durante el paso por la universidad.

Dr. Julián Cerano Paredes, por todo el apoyo, experiencias compartidas y la invaluable asesoría que permitieron llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Dr. Salvador Valencia Manzo y Dr. Celestino Flores López, por sus valiosas aportaciones en el contenido de este trabajo y por ser unos excelentes profesores que con dedicación y esfuerzo transmitieron sus conocimientos para mi formación académica.

A todo el personal del laboratorio de dendrocronología del INIFAP, CENID-RASPA, en especial a los M.C. Gerardo Esquivel y Rosalinda Cervantes, por su apoyo y compañía durante la etapa de laboratorio del presente trabajo.

A mis amigos y colegas de mi Alma Mater

Juan Manuel Cortés Rivas, Miguel Giménez, Emir del Villar, José de Jesús del Villar, Juan Carlos Zavala, Alexis Rafael Maldonado y Luis Miguel Toribio, por su amistad durante estos 5 años en la universidad, por el apoyo mutuo en las materias más difíciles, y por las aventuras y experiencias compartidas que se recordarán por siempre, en especial agradezco a mis amigos José Luis González, Edgar Guzmán y Liliana Sánchez por su valiosa amistad y apoyo moral en todo momento.

A mis amistades

Amigos de toda la vida y segundos hermanos, Eduardo Esquivel, Raúl Castro, Alejandro Rangel, Juan Carlos Rosiles y en especial a mi amigo Luis Enrique Montañez, gracias colegas por su amistad incondicional en los momentos más amargos y su apoyo moral para la realización de este trabajo.

A toda la familia Cortés.

Primos, tíos, sobrinos y parientes, doy gracias por formar parte de tan formidable y pacífica familia, en especial a mis primos José María Cortés y Homero Cortés por su apoyo durante la etapa de campo del presente estudio.

Al Ejido San Antonio Texas, por permitirme realizar el muestreo durante la etapa de campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	7
Hipótesis	7
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Descripción del área de estudio	8
Ubicación Geográfica	8
Hidrología.....	9
Geología.....	9
Edafología	9
Clima	9
Vegetación	10
Diseño de muestreo	11
Colecta de muestras	11
Procesamiento en laboratorio	12
Preparación de las muestras.....	12
Prefechado.....	13
Medición de los anillos	13
Análisis del fechado	14
Desarrollo de cronologías	15
Relación clima-crecimiento	15
Generación de modelos de regresión	16
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
Fechado	17
Desarrollo de la cronología estandarizada de ancho del anillo	18
Respuesta del crecimiento a la precipitación	19
Respuesta del crecimiento a la temperatura máxima	27
Respuesta del crecimiento a la temperatura mínima	33

IV. CONCLUSIONES.....	39
V. RECOMENDACIONES.....	40
VI. REFERENCIAS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Descripción de las fórmulas climáticas que ocurren en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.....	10
Tabla 2. Estaciones climatológicas cercanas al Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.....	15
Tabla 3. Correlación entre series (r), sensibilidad media (SM), autocorrelación de primer orden (1°) y proporción señal-ruido (SR) de cinco especies de coníferas estudiadas en cuatro trabajos previos y el presente realizado en el Ejido de San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.....	17
Tabla 4. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R ²) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión lineal simple entre la precipitación de primavera (marzo-mayo) y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., en el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero.	23
Tabla 5. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R ²) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión lineal simple entre la temperatura máxima promedio del periodo mayo-julio y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., en el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero.....	30
Tabla 6. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R ²) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión lineal simple entre la	

temperatura mínima promedio del periodo enero-marzo y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero..... 36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y distribución de los puntos de muestreo en el Ejido de San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.....	8
Figura 2. A Ejemplar de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., con características de un individuo longevo (corteza gruesa y retorcida). B proceso de medición correcta del diámetro con cinta diamétrica a la altura de 1.30 metros. C extracción de los núcleos de crecimiento con taladro de de Pressler. D viruta guardada en su popote debidamente identificada.....	12
Figura 3. A) Montado de las muestras en molduras de madera, B) acomodo especial con las traqueidas perpendiculares a los incrementos anuales, C) fechado cruzado donde se observa el patrón distintivo en las distintas muestras, el año 2009 característico de un anillo pequeño y el año 1996 característico de un anillo grande de izquierda a derecha respectivamente, y D) medición de muestras con Velmex conectado a una computadora.....	14
Figura 4. Cronología de anillo total de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., para el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero, del periodo de 1790 a 2017 (228 años), con un Spline de 10 años.....	18
Figura 5. Coeficientes de correlación entre la precipitación mensual (barras azul claro) y acumulada (barras amarillas del periodo de primavera) y el índice de ancho de anillo total, madera temprana y madera tardía	

en las tres cronologías (estándar, residual y arstan) para *P. montezumae* en el Ejido San Antonio Texas municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$)..... 20

Figura 6. Relación entre la precipitación acumulada de primavera (1962-1985) y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar de anillo total, madera temprana y madera tardía de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero. 22

Figura 7. Climograma generado para la región de estudio San Antonio Texas y Rio Frío, Coyuca de Catalán, Guerrero. 26

Figura 8. Coeficientes de correlación entre la temperatura máxima mensual (barras rojas) y promedio mensual (barras amarillas y rosas del periodo marzo-mayo y mayo-julio, respectivamente) con el índice de ancho de anillo total, madera temprana y madera tardía de las tres cronologías (estándar, residual y arstan) de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$). 28

Figura 9. Relación entre la temperatura máxima promedio (1962-2016) del periodo mayo-julio y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar de anillo total, madera temprana y madera tardía de *Pinus*

montezumae Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero..... 29

Figura 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura mínima mensual (barras azules) y promedio mensual (barras amarillas y grises del periodo enero-marzo y mayo-septiembre respectivamente) de las tres cronologías (estándar, residual y arstan) de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$)..... 34

Figura 11. Relación entre la temperatura mínima del periodo de enero-marzo y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar para anillo total y madera temprana, y entre la temperatura mínima del periodo de mayo-septiembre y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar para madera tardía de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero..... 35

RESUMEN

Pinus montezumae Lamb. se distribuye en gran parte de México, principalmente a lo largo de la Sierra Madre del Sur en el estado de Guerrero, por lo que constituye una importante fuente proxy para estudios de variabilidad climática, con base en esto, el objetivo de este estudio fue determinar el potencial que tiene *P. montezumae* para registrar la precipitación y las temperaturas mínima y máxima en sus incrementos anuales en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero. Se seleccionaron 34 árboles de los cuales se extrajeron 80 muestras con taladro de Pressler para ser analizadas mediante técnicas dendrocronológicas estándar. Se fechó el 75 % de las muestras. Con datos de las estaciones meteorológicas del cuadrante 12140 y 12054 de CONAGUA, se generó un promedio de precipitación mensual regional (1962- 1985) y un promedio de temperatura mínima y máxima (1962-2017), datos que se correlacionaron con los índices de ancho de anillo total, madera temprana y madera tardía. El programa COFECHA indicó una correlación entre series de $r=0.57$ ($p<0.01$) y una sensibilidad media de 0.31, lo que hace se considere a la especie sensible a registrar cambios ambientales. Se generaron tres cronologías (estándar, residual y arstan) de 228 años (1790-2017) de anillo total, madera temprana y madera tardía. El análisis de función de respuesta indica que; se puede reconstruir la precipitación de primavera ($r=0.66$, $p<0.01$) con base en el índice de anillo total, la temperatura máxima de mayo-julio ($r=0.35$, $p<0.01$) empleando el índice de madera tardía y la temperatura mínima de enero-marzo ($r=-0.27$, $p<0.05$) con el índice de anillo total y madera temprana. Los parámetros estadísticos dendrocronológicos indican que *P. montezumae*, en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero, constituye una buena fuente “proxy” para estudios de variabilidad climática.

Palabras Clave: Dendroclimatología, anillo de crecimiento, precipitación, temperatura.

I. INTRODUCCIÓN

De manera general la anatomía del tronco en plantas leñosas distingue una serie de capas o partes como: la médula, el duramen, la albura, el cambium, el floema y la corteza, cada parte tiene una función específica, algunas están compuestas por células inactivas que sirven de soporte estructural del tallo, otras sirven para el transporte de savia, azúcares, nutrientes, agua y como almacén de alimentos de reserva (Bidwell, 1979). La formación de nuevas células de crecimiento del tallo en coníferas tiene lugar en el cambium vascular, situado entre la corteza y la albura, éste es el responsable de formar durante la época de crecimiento lo que se conoce como anillos anuales de crecimiento (Hoadley, 1990).

Los tallos en coníferas presentan una serie de círculos dispuestos concéntricamente conocidos como anillos anuales o anillos de crecimiento, éstos son diferenciados a simple vista en una sección transversal y se caracterizan por presentar diferencias en su estructura y color (Hoadley 1990). De tal forma que se observan dos distintas bandas en un anillo anual, una color claro y otra color oscuro, éstas están compuestas por células de diferente tamaño, espesor y densidad denominadas y diferenciadas como madera temprana (células grandes con pared celular delgada color claro) y madera tardía (células de menor diámetro y pared celular gruesa color oscuro), respectivamente (León-Hernández y Espinoza-de Pernía, 2001).

En el contexto de que la unidad básica de la estructura de las plantas es la célula, la madera en árboles es una colección de varios tipos de células producidas por división en el cambium y para su formación influyen factores endógenos y exógenos (Mauseth, 1989; Hoadley, 1990). Con relación a los factores exógenos se tiene, la

precipitación, la temperatura y la cantidad de luz, entre otros; la variación en éstos durante el transcurso del año se refleja en el desarrollo de los anillos anuales, de tal manera que a inicios de la estación de crecimiento, generalmente en primavera para especies de clima templado, se genera la mayor parte del anillo (madera temprana) y a finales del periodo de crecimiento, generalmente en otoño-invierno, se termina de formar el resto del anillo de crecimiento (madera tardía) (León-Hernández y Espinoza-de Pernía, 2001).

Durante estos periodos se encuentran interactuando distintos procesos fisiológicos del árbol tales como fotosíntesis, transpiración, intercambio de gases entre la hoja y la atmósfera, asimilación de nutrientes, hormonas de crecimiento, entre otros, los cuales dependen de las condiciones ambientales presentes en el momento (principalmente temperatura y precipitación) y que son determinantes del crecimiento radial de los árboles (Leverenz, 1981a).

Dado que las condiciones de precipitación y temperatura del aire son variantes durante el transcurso de un año, el incremento de los anillos anuales se ve influenciado por esa variabilidad de condiciones; en consecuencia, es posible analizar y extraer información climática de los anillos anuales de los árboles mediante técnicas y métodos dendrocronológicos (Gutiérrez-Merino, 2009)

De esta manera, considerando a los árboles como un sensor capaz de registrar en sus anillos anuales de crecimiento todos los fenómenos que ocurren en el medio que los rodea, la dendrocronología se define como la ciencia que interpreta dichos fenómenos o registros ambientales a través del fechado de los anillos de crecimiento (Stokes y Smiley, 1968; Dendrocronología, 2002).

El principio fundamental de la dendrocronología es el fechado cruzado, para esto el árbol debe tener la capacidad de formar anillos anuales y su crecimiento debe estar limitado además de las condiciones locales del hábitat, por las condiciones climáticas comunes de toda una región, por lo tanto, todos los árboles en una región registrarán una misma variabilidad (Douglas, 1914; Fritts, 1976).

La rama de la dendrocronología que se encarga de estudiar la variabilidad del paleoclima se conoce como dendroclimatología, la cual trata de establecer la relación que existe en un determinado periodo entre el crecimiento anual de los anillos de los árboles y las variaciones climáticas (Cano-Sánchez, 1991). Es aquí donde aplica otro principio fundamental; el principio de la uniformidad el cual establece que los procesos físicos, biológicos y climáticos del presente, que influyen en el crecimiento de árboles deben haber estado en funcionamiento en el pasado (Fritts, 1976).

Para obtener la información climática requerida del ancho de los anillos de árboles para estudios del paleoclima, es necesario extraer los efectos de crecimiento no atribuidos al clima tales como disturbios por cambios de uso de suelo, incendios, ataque de insectos, la tendencia por la edad, la competencia, entre otros, esto mediante un modelo lineal (Cook y Kairiukstis, 1990); para aumentar la respuesta climática es necesario obtener muestras 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 interés por estudios dendrocronológicos en México ha aumentado en los últimos años, la riqueza biológica que posee el país permite tener un amplio campo de trabajo para desarrollar estudios dendrocronológicos, tanto de especies de climas

áridos y semiáridos, bosques templados, y tropicales, así como especies de hábitats riparios y montañosos de norte a sur (Villanueva-Díaz *et al.*, 2004).

De manera general se han encontrado diferencias en el periodo de respuesta climática al crecimiento de algunas especies en sitios ubicados al norte, centro y sur de México, encontrando que en el norte y algunas partes del centro el crecimiento responde a la precipitación del periodo invierno-primavera y a las temperaturas mínimas de invierno, mientras que más al sur de México se han encontrado respuestas sólo a la precipitación del periodo de primavera mientras que a la temperatura los resultados son variantes (Therrell, Stahle, Cleveland y Villanueva-Díaz, 2002).

Por ejemplo, Cerano-Paredes *et al.* (2009) quienes con el objetivo de analizar la variabilidad hidroclimática en el suroeste del estado de Chihuahua, desarrollaron una cronología de 350 años encontrando una respuesta significativa ($p < 0.05$) entre la precipitación de invierno-primavera y la cronología de madera temprana de *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Franco), con una correlación de $r = 0.74$. Para el sureste del estado de Coahuila, Constante-García, Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, Cornejo-Oviedo, y Valencia-Manzo (2009) encontraron una correlación altamente significativa ($p < 0.0001$) entre la precipitación de invierno-primavera y el índice de anillo total del orden de $r = 0.90$ en *Pinus cembroides* Zucc., de tal forma que lograron reconstruir la precipitación para 410 años.

En la Sierra Madre Occidental los estudios dendrocronológicos han arrojado resultados similares, tal es el caso de Chávez-Gándara *et al.* (2017) quienes analizaron la respuesta a la precipitación y a las temperaturas máximas y mínimas

de tres coníferas (*Pinus durangensis* Martínez, *Pinus cooperi* C.E. Blanco y *Pinus lumholtzii* Robins & Ferns) del estado de Durango, encontrando que los tres índices de crecimiento (anillo total, madera temprana y madera tardía) responden significativamente ($p < 0.05$) a la precipitación de enero-julio con una $r = 0.73$, $r = 0.72$ y $r = 0.67$ respectivamente, así mismo encontraron que la temperatura mínima del periodo de invierno influye de manera significativa ($p < 0.05$) en el crecimiento; mientras que las temperaturas máximas de los meses de marzo y abril presentan una respuesta negativa significativa ($p < 0.05$) ($r = -0.47$, y $r = -0.48$), respectivamente, con el índice de anillo total.

En contraste, algunos estudios realizados en el centro de México reportan resultados un poco distintos, señalan correlaciones significativas ($p < 0.05$) sólo con la precipitación durante el periodo de primavera, tal es el caso de Huante, Rincón y Swetnam, (1991) quienes determinaron que el periodo de precipitación que más influye en el crecimiento radial de *Abies religiosa* (Kunth Schltld. et Cham.) en la Sierra Chincua, Mich., es la de primavera (marzo-mayo), obteniendo una correlación de $r = 0.65$ con el índice de anillo total, y una respuesta negativa del crecimiento a las temperaturas máximas del periodo de otoño con $r = 0.71$. Así mismo para el Parque Nacional Pico de Tancítaro, Mich., Cerano-Paredes *et al.* (2014) reportaron respuestas negativas significativas ($p < 0.05$) en los meses de enero, febrero y abril entre la temperatura máxima y el crecimiento anual de *A. religiosa*, así como respuesta significativa ($p < 0.05$) entre la temperatura mínima de los meses de enero, febrero, abril y mayo ($r = 0.37$, 0.29 , 0.30 y 0.45 , respectivamente) y el crecimiento del anillo anual de la especie.

Para el sur de México los estudios realizados hasta la fecha son relativamente escasos y reportan resultados similares a la respuesta a la precipitación que se tiene en algunas partes del centro de México, López-Hernández *et al.* (2018) al analizar la respuesta del crecimiento a las variables climáticas desarrollaron una cronología de 91 años encontrando correlaciones significativas ($r=0.71$ $p<0.05$) con la lluvia acumulada durante el periodo de primavera y el índice de madera temprana de *Pinus oocarpa* Shiede, en Lagunas de Montebello, Chiapas.

El número de especies para las cuales se ha determinado su potencial dendrocronológico ha ido en aumento; sin embargo, falta un gran número de especies por analizar, por ejemplo, *P. montezumae* tiene una amplia distribución en México, desde las partes más altas de la Sierra Madre Oriental, pasando por el Eje Neo Volcánico Transversal, cubriendo un rango altitudinal de 1500 a 2800 msnm (Rzedowski, 2006).

La especie se distribuye desde Noreste a Sureste de México en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Zacatecas, Hidalgo, Jalisco, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, México, Michoacán, Guerrero, Morelos y Oaxaca (Martínez, 1992) y en algunos municipios de Chiapas, distribuyéndose en un rango altitudinal que va de 300 a 3000 msnm (Rzedowski, 2006; Fonseca, 2013).

Pese a su amplia distribución, no existe un estudio previo que haya analizado el potencial dendroclimático de sus crecimientos anuales. Esta especie dada su distribución geográfica, representa una alternativa para desarrollar una red de cronologías que permitan analizar la variabilidad climática a nivel local y regional.

Dado lo anterior, el presente trabajo de investigación plantea los objetivos e hipótesis que a continuación se describen.

Objetivos

Desarrollar una cronología de *Pinus. montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Determinar el potencial de *Pinus. montezumae* Lamb., para reconstruir la precipitación y las temperaturas máxima y mínima en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Hipótesis

La hipótesis nula propuesta es:

Ho: Los anillos anuales de *Pinus. montezumae* Lamb., no tienen potencial para reconstruir la precipitación y las temperaturas máxima y mínima en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

La hipótesis alterna propuesta es:

Ha: Los anillos anuales de *Pinus. montezumae* Lamb., tienen potencial para reconstruir la precipitación y las temperaturas máxima y mínima en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Descripción del área de estudio

Ubicación Geográfica

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la Sierra Madre del Sur que se extiende del noroeste al sureste de México, desde Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec (Rzedowski, 2006). El Ejido de San Antonio de las Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero, se localiza entre las coordenadas $17^{\circ} 39' 51.56''$ y $17^{\circ} 46' 44.36''$ de latitud norte y $100^{\circ} 51' 33.46''$ y $100^{\circ} 50' 34.34''$ de longitud oeste, a una altitud que oscila entre 1500 msnm en sus puntos más bajos y los 2800 msnm en la parte más alta (Figura 1).

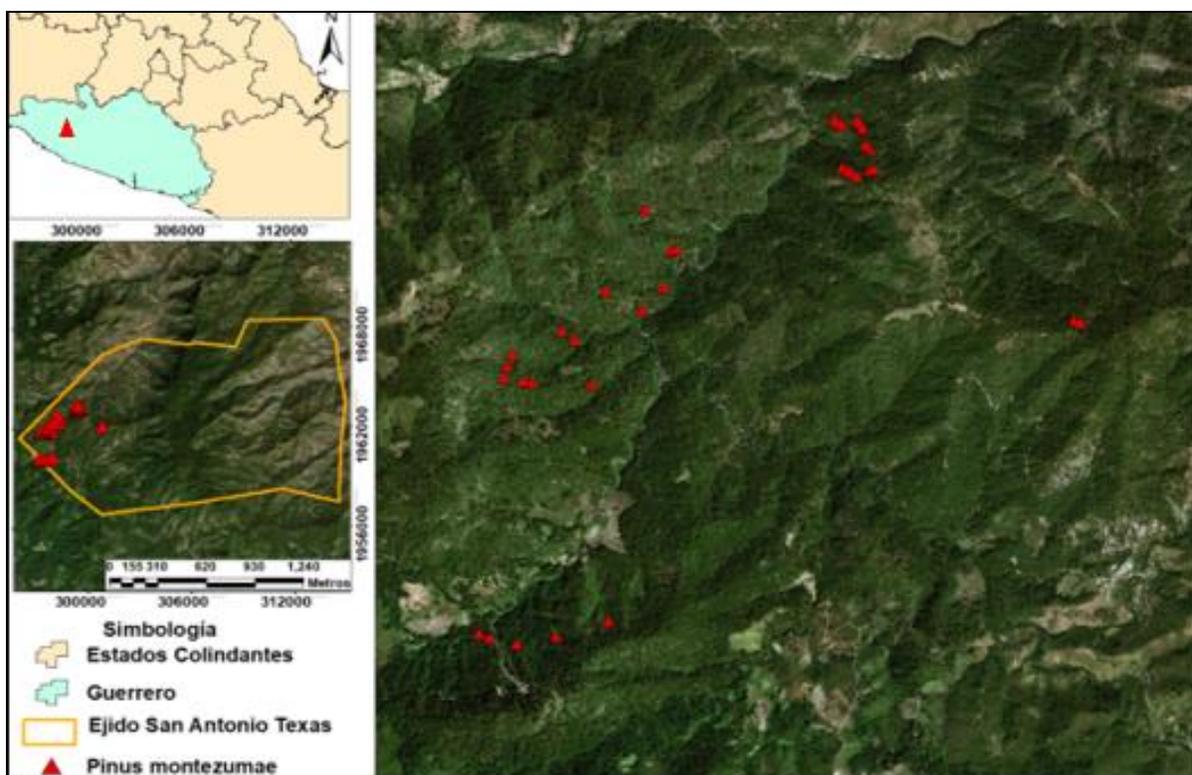


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y distribución de los puntos de muestreo en el Ejido de San Antonio de las Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Hidrología

La hidrología se conforma por la cuenca Río Balsas Sirándaro, dentro de la cual se encuentra la subcuenca Río Cuitzio, que en su conjunto forman parte de la red hidrográfica del Balsas con clave RH18 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] 2014a).

Geología

Las rocas son principalmente del tipo Ígnea extrusiva tipo Andesita Toba intermedia de la era del Cenozoico Paleógeno, constituyendo el 96.07% del total del área, seguido de roca Sedimentaria tipo Arenisca Conglomerado, de la era del Mesozoico Cretácico con un porcentaje de 3.90% y en menor proporción, se encuentra la roca Ígnea intrusiva tipo Diorita de la era del Cenozoico Terciario con un 0.027% (INEGI, 2003).

Edafología

Los tipos de suelo dominantes son principalmente Cambisol Crómico y Dístrico, así como Regosol Éutrico (INEGI, 2014b). Los cambisoles se caracterizan por presentar un horizonte B Cámbico, suelos con textura media, el pH contenido en el horizonte superior varía de 5 a 6.5 y aumenta con la profundidad hasta acercarse a la neutralidad, el contenido de materia orgánica puede variar del 3 al 5% (Fitz, 1980).

Clima

De acuerdo a la clasificación de los tipos de climas de Köppen modificado por García (2004) para México, los tipos de clima presentes en el ejido San Antonio Texas, se describen con las siguientes fórmulas climáticas; (A)C(w1), (A)C(w2), Aw1 y C(w2) (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las fórmulas climáticas que ocurren en el Ejido de San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Fórmula Climática	Descripción	Superficie (ha)
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2%.	4661.78
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C. Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55	10137.25
Aw1	Cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3; y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total anual.	1191.45
C(w2)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55; y porcentaje de lluvia invernal del 5 al 10.2% del total.	502.21

Fuente: (García, 2004)

Vegetación

En el área de estudio se registran bosques de pino-encino, bosques de encino-pino, pastizal inducido, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino y bosque de encino (INEGI, 2016). Existen manchones de bosque Mesófilo de montaña en la cuenca del Balsas y en la vertiente exterior de la Sierra Madre del Sur del estado de Guerrero (Rzedowski, 2006).

Diseño de muestreo

El muestreo empleado fue selectivo, se buscaron árboles en sitios con laderas rocosas o fuertes pendientes, de manera que las incidencias de precipitación fuesen un factor limitante para el crecimiento, además se colectaron muestras de árboles con características morfológicas indicadoras de alta longevidad como puntas secas, tallos con corteza gruesa y en forma de espiral (Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, Constante-García, Montes y Vázquez, 2009).

Colecta de muestras

Se seleccionaron 35 árboles vivos de *P. montezumae*, se extrajeron de dos a tres virutas (núcleos de crecimiento) por árbol, sumando un total de 80 muestras, las cuales fueron extraídas utilizando el taladro de Pressler, las muestras se obtuvieron lo más cercano al suelo con el fin de extraer el mayor número de crecimientos anuales y generar una cronología más extensa (Figura 2) (Villanueva *et al.*, 2009a). Una vez extraídas las virutas se colocaron en popotes con orificios para la circulación de aire, esto con el fin de evitar la formación de hongos por exceso de humedad, se colocó una etiqueta con cinta adhesiva de papel a cada popote con la clave del sitio (SAT), seguido del número de árbol, número de muestra, la especie a la que pertenece la muestra, diámetro y la fecha de colecta (ejemplo: SAT 01A *Pinus montezumae*, diámetro = 60, fecha: 25-06-18) (Figura 2). En un formato de campo se registró el diámetro a la altura del pecho, coordenadas, altura sobre el nivel del mar y observaciones generales como daños o condición fitosanitaria de cada árbol.



Figura 2. A Ejemplar de *Pinus. montezumae* Lamb., con características de un individuo longevo (corteza gruesa y retorcida). B proceso de medición correcta del diámetro con cinta diamétrica a la altura de 1.30 metros. C extracción de los núcleos de crecimiento con taladro de de Pressler. D viruta guardada en su popote debidamente identificada.

Procesamiento en laboratorio

Preparación de las muestras

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Dendrocronología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ubicado en Gómez Palacio, Dgo. Las virutas fueron montadas y adheridas a molduras de madera con pegamento, cuidando que la posición de las traqueidas fuese perpendicular a los incrementos anuales (Figura 3). Posteriormente, las virutas se lijaron y se pulieron con lijas a diferentes grados (120 a 1200) para facilitar la visibilidad de los crecimientos anuales bajo microscopio y facilitar su fechado.

Prefechado

Se contaron los anillos anuales de cada muestra, comenzando de la corteza hacia el centro, el primer anillo corresponde al año actual o al año de colecta de las muestras y el último anillo o anillo interno al primer año de vida del árbol, con esto se asignó un año específico más no definitivo a cada anillo de crecimiento. Se marcaron los anillos pertenecientes a una década con un punto, 50 años con dos puntos y 100 años con tres puntos, esto con el objetivo de facilitar el conteo y fechado (Gutierrez-Merino, 2009). Debido a que las muestras colectadas pertenecen todas a árboles vivos y se conoce el último año de crecimiento, no fue necesario crear gráficas de crecimiento (Skeleton Plots) para el fechado cruzado, únicamente se comparó visualmente anillo por anillo en varias muestras al mismo tiempo, identificando los patrones de crecimiento de años distintivos (anillos anchos y angostos) (Figura 3), comenzando con las muestras de menor edad y posteriormente las muestras de mayor edad (Stokes y Smiley, 1968).

Medición de los anillos

La medición de los anillos se realizó con un sistema de medición Velmex con platina de fase deslizante y una precisión de 0.001 mm, conectado a una computadora y con la ayuda de un microscopio con una retícula graduada para marcar con precisión el ancho de la madera temprana y de la madera tardía, así como el ancho total del anillo (Figura 3). La base de datos se registró con el uso del software Measure J2X.

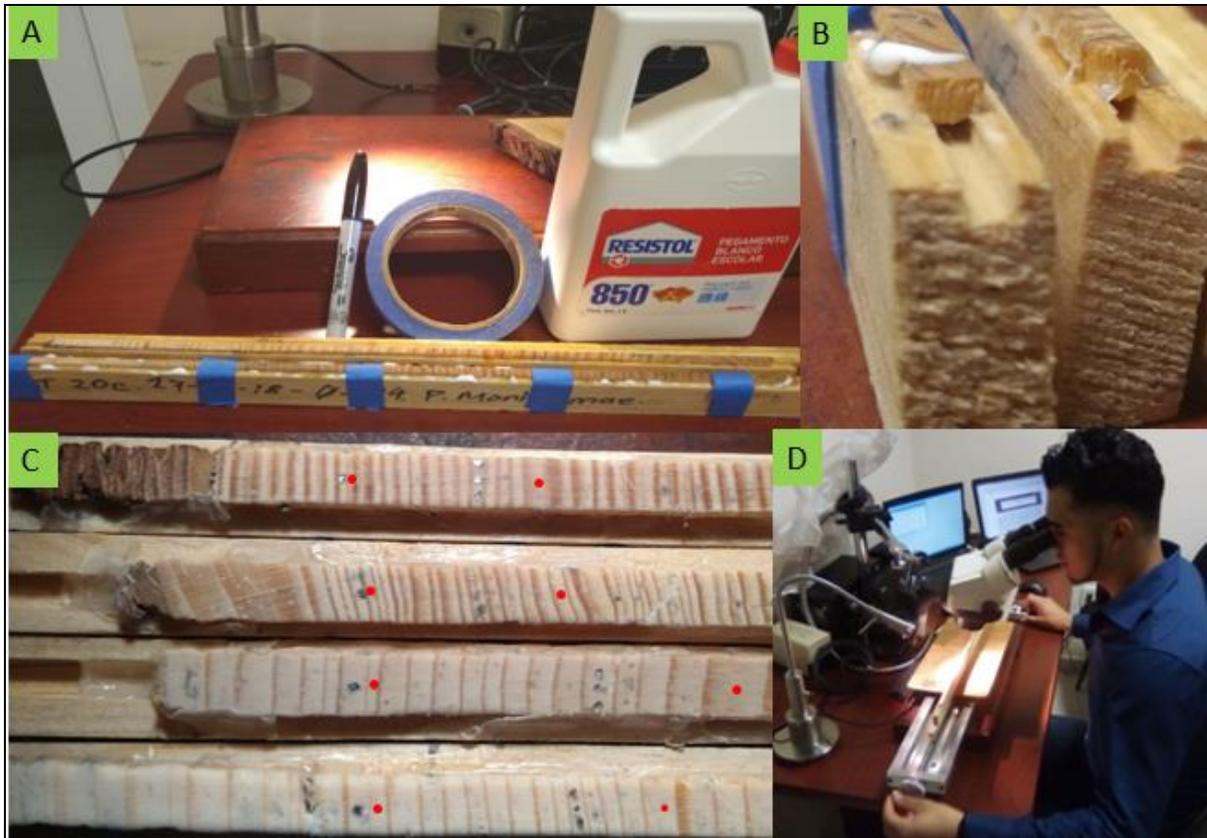


Figura 3. A) Montado de las muestras en molduras de madera, B) acomodo especial con las traqueidas perpendiculares a los incrementos anuales, C) fechado cruzado donde se observa el patrón distintivo en las distintas muestras, el año 2009 característico de un anillo pequeño y el año 1996 característico de un anillo grande de izquierda a derecha respectivamente, y D) medición de muestras con Velmex conectado a una computadora.

Análisis del fechado

Generadas las bases de datos de medición de ancho del anillo total, madera temprana y madera tardía, fueron sometidas por separado al programa COFECHA para corregir errores de prefchado, medición del ancho de los anillos o problemas de crecimiento de cada muestra. El programa COFECHA correlaciona las series cada 50 años con traslapes de 25 años, es decir, se asegura que las series tengan un alto grado de correlación positiva y asignar así la fecha definitiva de cada anillo de crecimiento (Grissino-Mayer, 2001; Holmes, 1983).

Desarrollo de cronologías

Una vez validado el fechado mediante el análisis estadístico del programa COFECHA, se corrió el software ARSTAN y se generaron tres cronologías (Estandar, Residual y Arstan), mediante el ajuste de curvas de crecimiento se estandarizaron las series y se eliminó el ruido por factores externos al clima como el efecto del crecimiento por la edad, daños por incendios, golpes o cualquier efecto biológico de crecimiento denominados como “ruido” (Cook, 1987; Gutiérrez-Merino, 2009).

Relación clima-crecimiento

Para determinar la relación entre la variabilidad climática y el crecimiento, se descargaron de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) los datos de clima (temperatura y precipitación) de cinco estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio (Tabla 2), Se realizaron pruebas estadísticas de correlación de Pearson entre el índice de ancho del anillo y los datos climáticos, esto con la finalidad de observar que variable climática (Precipitación, Temperatura máxima y Temperatura mínima) y qué periodo del año (mensual, bimensual, estacional o acumulado) influye más en el crecimiento de *P. montezumae*.

Tabla 2. Estaciones climatológicas más cercanas al Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

ID	Estación	Coordenadas		Altitud (msnm)	Periodo de datos disponibles
		Latitud: (N)	Longitud: (W)		
12140	San Antonio	17.723585°	-100.875003°	1870	1962-2016
12054	Rio Frío	17.822427°	-101.077011°	1590	1968-2017
12034	El Camalote	17.722596°	-101.211128°	500	1963-2017
12017	Santa Rita	17.972628°	-100.869265°	1380	1977-1996
12017	Casas Viejas	17.584573°	-101.006122°	500	1969-2017

De las cinco estaciones analizadas, las que más se relacionaron con las cronologías de ancho del anillo fueron las estaciones de San Antonio Texas y Rio Frío, de éstas dos estaciones se obtuvieron promedios regionales que comprenden el período de 1962-2017 para las temperaturas mínimas y máximas, mientras que para la precipitación se empleó solo el periodo de 1962-1985, esto debido a que de 1986 en adelante las correlaciones con el índice de anillo bajaron significativamente; con base en esta información se desarrollaron los análisis de función de respuesta entre las tres cronologías generadas por el Software ARSTAN y los datos climáticos disponibles para determinar con que versión dendrocronológica (estándar, residual o arstan) se obtienen mejores correlaciones.

Generación de modelos de regresión

Se corrieron modelos de regresión lineal simple tomando como variable independiente las cronologías y como variable dependiente las variables climáticas, utilizando el programa STATISTICA Kernel Release 5.5 (Stat Soft Inc, 2000), esto con el fin de conocer el potencial dendrocronológico de la especie para reconstruir variables climáticas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fechado

De un total de 80 muestras se logró fechar el 75% (60 muestras); el 25% restante (20 muestras) se descartó por presentar bajas correlaciones entre los patrones de crecimiento debido a la presencia de anillos falsos. Estudios realizados para otras especies de coníferas en el centro (Cerano-Paredes *et al.*, 2014; Villanueva-Díaz *et al.*, 2016) y el sur de México (López-Hernández *et al.*, 2018) reportan un porcentaje de muestras fechadas menor 59, 66 y 43%, respectivamente; considerando estos resultados el número de muestras que se logró fechar es alto.

Se determinó una correlación altamente significativa entre series ($r=0.57$, $p<0.01$), valor que supera al mínimo significativo ($r=0.3281$, $p<0.01$) establecido por COFECHA (Holmes, 1983). La sensibilidad media obtenida fue de 0.31 y una desviación estándar de 0.43, dichos valores estadísticos para fines dendrocronológicos se consideran adecuados y se encuentran dentro de los rangos generados para otras especies del centro y sur de México consideradas con buen potencial dendrocronológico (Tabla 3).

Tabla 3. Correlación entre series (r), sensibilidad media (SM), autocorrelación de primer orden (1°) y proporción señal-ruido (SR) de cinco especies de coníferas estudiadas en cuatro trabajos previos y el presente realizado en el Ejido de San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Especie	Autor	r	SM	1°	SR
<i>Abies religiosa</i>	Cerano-Paredes <i>et al.</i> (2014)	0.45			
<i>Juniperus monticola</i>	Villanueva-Díaz <i>et al.</i> (2016)	0.55	0.41	0.460	1.23
<i>Pinus oocarpa</i>	López-Hernández <i>et al.</i> (2018)	0.49	0.28		
<i>Pinus oocarpa</i>	Villanueva-Díaz <i>et al.</i> (2018)	0.50	0.32	0.102	6.96
<i>P. montezumae</i>	Estudio Actual	0.57	0.31	0.335	15.05

Desarrollo de la cronología estandarizada de ancho del anillo

Se generó una cronología que comprende una longitud de 228 años (1790-2017) (Figura 4), la serie presenta una desviación estándar de 0.285, autocorrelación de primer orden de 0.335 y una proporción señal-ruido de 15.052. Estudios realizados en sitios con condiciones climáticas similares al área de estudio o con especies que crecen en rangos altitudinales similares en el centro y sur de México, reportan estadísticos similares o superiores (Tabla 3).

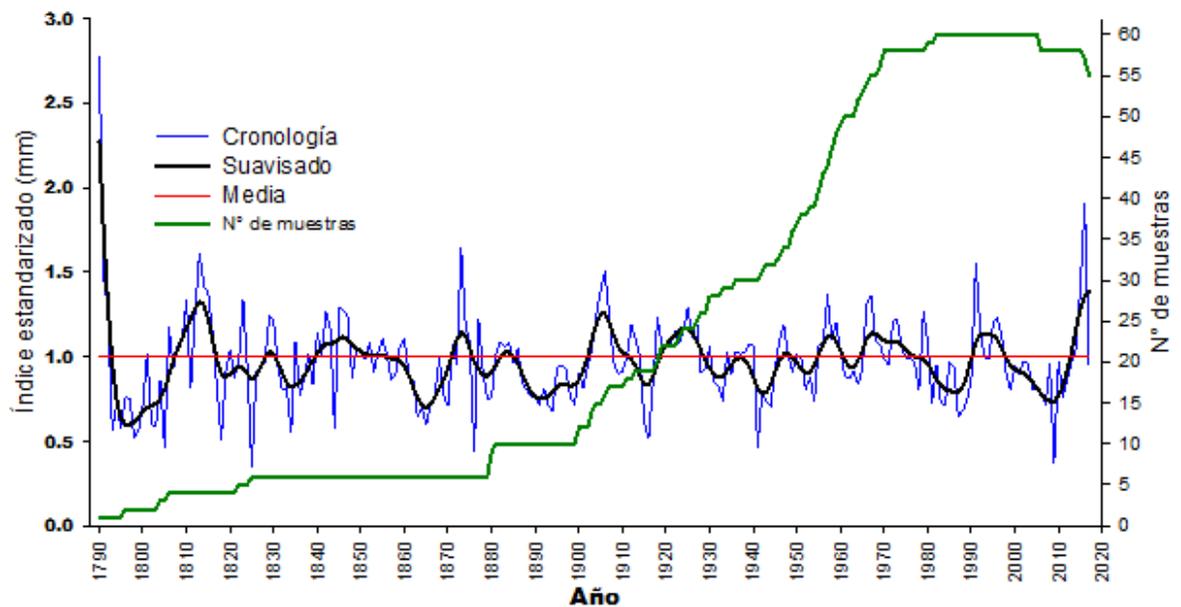


Figura 4. Cronología de anillo total de *Pinus. montezumae* Lamb., para el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero, del periodo de 1790 a 2017 (228 años), con un Spline de 10 años.

Para que una especie pueda considerarse con buen potencial dendrocronológico debe presentar alta intercorrelación entre series (en general para la mayoría de las cronologías los valores están entre 0.55 y 0.75), alta sensibilidad media (un valor de 0.65 se presenta en especies muy sensibles y un valor de hasta 0.15 en especies poco sensibles), alta desviación estándar (generalmente los valores de este parámetro oscilan entre 0.3 a 0.8), alta relación señal ruido y baja autocorrelación de

primer orden (valores de 0.3 a 0.5 se encuentran en especies con una alta sensibilidad) (Delgado, 2000; Constante-García, Villanueva-Díaz, Cerano-Paredes, y Estada-Ávalos, 2010). Con base en estos resultados se puede considerar a la especie con un adecuado potencial dendrocronológico para la reconstrucción de variables climáticas.

Respuesta del crecimiento a la precipitación

Al relacionar la precipitación y el índice de crecimiento se encontró que el índice de anillo total y madera temprana, presentan respuestas similares a la precipitación mensual, correlaciones positivas con los meses de enero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre y diciembre; y negativas para los meses de febrero, julio, agosto, octubre y noviembre para las cronologías, estándar y arstan (Figura 5). Se encontraron sólo correlaciones positivas y significativas ($p < 0.05$) para los meses de abril y mayo; y negativas significativas ($p < 0.05$) para los meses de febrero y noviembre con las cronologías estándar y arstan. En contraste, la correlación entre la precipitación y el índice de anillo total y de la madera temprana fue positiva y significativa ($p < 0.05$) para el mes de abril; y negativas significativas ($p < 0.05$) para los meses de febrero y noviembre con la cronología residual (Figura 5).

Para el caso del índice de madera tardía, se determinaron correlaciones positivas con las precipitaciones de los meses de enero, marzo a octubre y diciembre; los meses de mayo, junio y septiembre presentaron correlaciones significativas ($p < 0.05$); así mismo, se determinaron correlaciones negativas no significativas ($p < 0.05$) para los meses de febrero y noviembre de las cronologías estándar y arstan (Figura 5). La cronología residual registró correlaciones positivas entre el índice de madera

tardía y la precipitación de marzo a julio y septiembre, correlación positiva significativa ($p < 0.05$) con en el mes de mayo, y negativa significativa con el mes de noviembre (Figura 5).

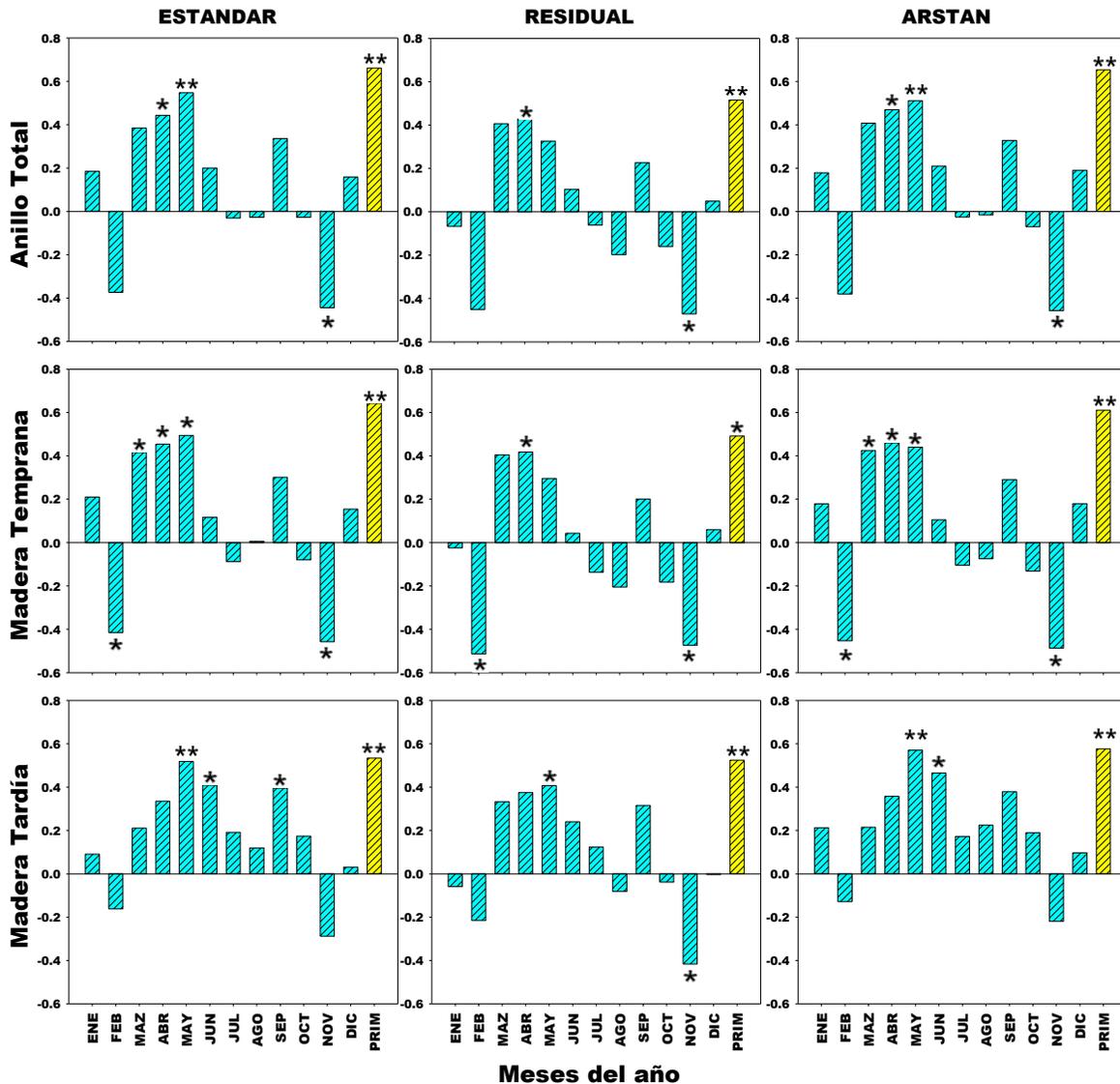


Figura 5. Coeficientes de correlación entre la precipitación mensual (barras azul claro) y acumulada (barras amarillas del periodo de primavera) y el índice de ancho de anillo total, madera temprana y madera tardía en las tres cronologías (estándar, residual y arstan) para *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$).

Referente a la precipitación acumulada, los resultados indican que las mejores correlaciones entre la precipitación y el índice de anillo, se obtuvieron al relacionar el periodo de primavera (marzo-mayo), registrando correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$) para las tres cronologías (estándar, residual y arstan) de anillo total, madera temprana y madera tardía (Figura 5).

El periodo de lluvia que más influye en el crecimiento radial de *P. montezumae* es la precipitación de primavera. La cronología estándar presenta correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$) de 0.54, 0.64 y 0.66 para madera tardía, madera temprana y anillo total, respectivamente (Figura 6; Tabla 4). La cronología estándar de anillo total explica la mayor variabilidad de la lluvia de primavera ($R^2 = 0.43$; $p < 0.01$).

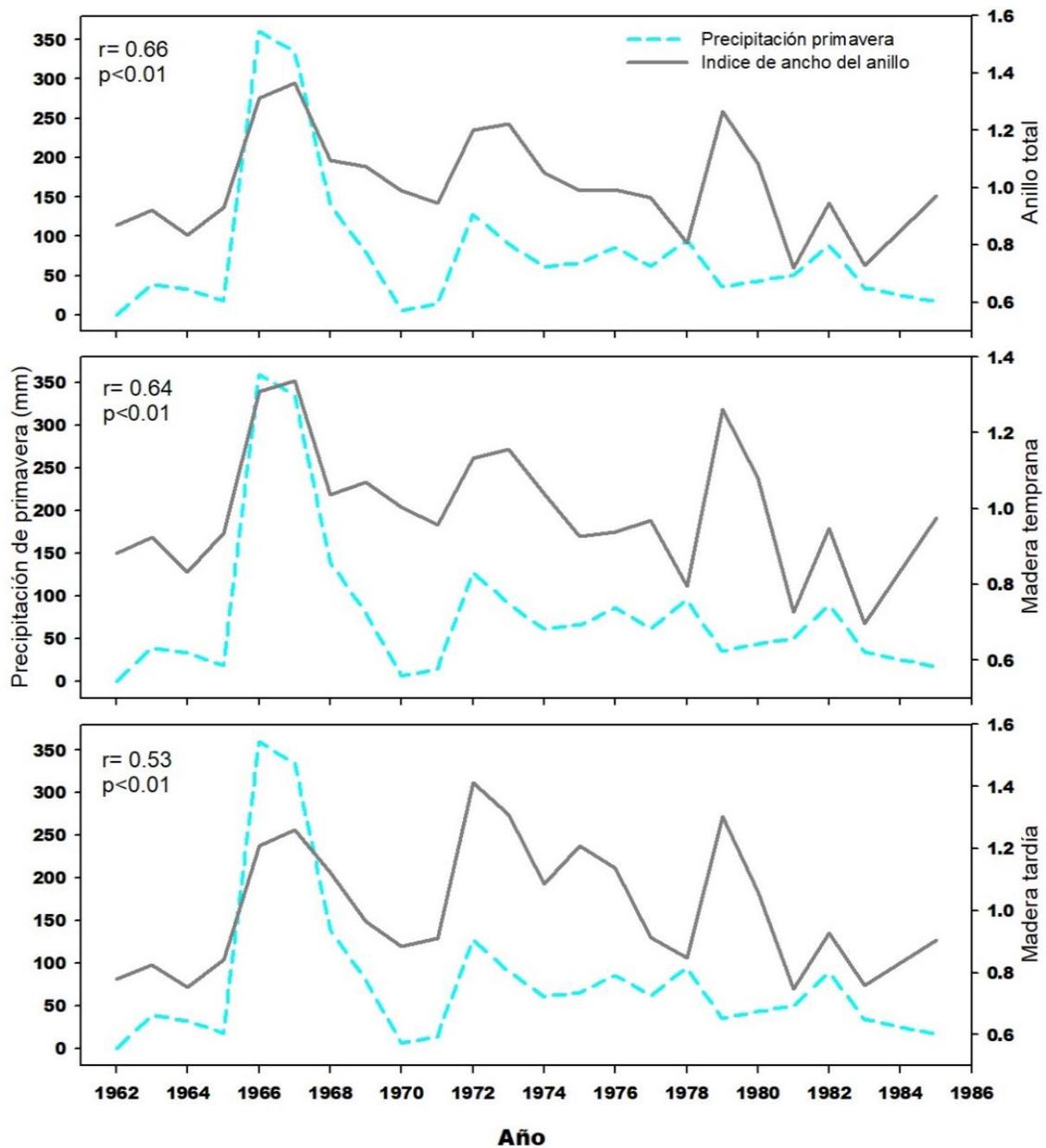


Figura 6. Relación entre la precipitación acumulada de primavera (1962-1985) y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar de anillo total, madera temprana y madera tardía de *Pinus. montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Tabla 4. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R²) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión entre la precipitación de primavera (marzo-mayo) y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Variable climática	Modelo	Parámetros estimados	r	R ²	p
Precipitación (mm) de primavera	Intercepto	-250.189	0.66	0.43	<0.005
	Anillo total	329.534			<0.000
	Intercepto	-251.266	0.64	0.41	<0.007
	Madera temprana	335.546			<0.000
	Intercepto	-151.110	0.53	0.29	<0.065
	Madera tardía	232.067			<0.006

El crecimiento radial de algunas coníferas en sitios del norte (Constante-García *et al.*, 2009; Villanueva-Díaz *et al.* 2009b; Cerano-Paredes *et al.*, 2009; Villanueva-Díaz *et al.*, 2014; Chávez-Gándara *et al.*, 2017) y en algunas partes del centro de México (Cerano-Paredes *et al.*, 2013; Cerano-Paredes *et al.*, 2014; Villanueva-Díaz *et al.*, 2018) responden a la precipitación acumulada del periodo invierno-primavera.

Algunas investigaciones reportan correlaciones significativas con la precipitación del periodo de primavera, Huante *et al.* (1991) determinaron que el periodo de precipitación que más influye en el crecimiento radial de *A. religiosa* es primavera (marzo-mayo), con una correlación de 0.65 (p<0.05).

Para el sur de México López-Hernández *et al.* (2018) encontraron correlaciones significativas entre el incremento radial en *P. oocarpa* y la lluvia acumulada del periodo de primavera en Lagunas de Montebello, Chiapas.

La diferencia de la respuesta a la precipitación entre especies del norte, centro y sur de México, se atribuye en parte al adelanto de las lluvias en el sur de México, que se

da a causa del Sistema de Monzones de América del Norte (NAMS, por sus siglas en inglés), que se caracterizan por lluvias intensas a partir desde mediados de mayo a lo largo de la costa occidental de México, avanzando hacia el suroeste de Estados Unidos hasta los meses de julio y agosto (Therrell *et al.*, 2002).

La cronología del índice de anillo total de *P. montzuma* explica el 43 % de la variabilidad de la precipitación del periodo de primavera (Figura 6; Tabla 4). Esto probablemente se debe al progresivo aumento del fotoperiodo que comienza a inicios de primavera, conforme pasan los meses las horas luz van aumentando y la actividad fotosintética de las acículas incrementa favoreciendo el crecimiento radial de madera temprana a medida que se alargan los días (León-Hernández y Espinoza-de Pernía, 2001).

Sin embargo, durante esta misma temporada las temperaturas máximas son elevadas, a medida que aumenta la temperatura aumenta el déficit de presión de vapor de agua (VPD) en las acículas, a una temperatura de 25°C el VPD alcanza los 2.0 KPa y sigue aumentando con el incremento de la temperatura, al aumentar estos parámetros, se reduce la conductancia estomática (salida de agua y entrada de CO₂ de los estomas) y la tasa de fotosíntesis neta es nula a partir de los 30°C y 3.0KPa de VPD (Leverenz, 1981a; Meinzer, 1982), y al haber poca humedad en el aire debido a las altas temperaturas y las bajas precipitaciones, el árbol cierra los estomas para evitar la pérdida de agua por transpiración (Barceló, Nicolás, Sabater y Sánchez, 2001) y durante este periodo la especie comienza a consumir los recursos acumulados del año anterior para formar la madera temprana.

A medida que comienza el periodo de lluvias a partir de junio y hasta septiembre, que representa el 75% de la precipitación total anual, las temperaturas máximas descienden (Figura 7), la humedad relativa presente permite la apertura estomática de la especie y comienza a incrementar la actividad fotosintética con el intercambio de agua de la hoja y dióxido de carbono de la atmósfera, dando paso a la acumulación de carbohidratos y hormonas de crecimiento como Auxinas, Giberelinas y Citocininas necesarias para el crecimiento que estarán almacenadas para su utilización durante el periodo de crecimiento (Bidwell, 1979).

Lo anterior sucede durante el periodo de verano (junio-septiembre) cuando el fotoperiodo incrementa y se ha formado la mayor parte del crecimiento anual (madera temprana), y comienza a formarse la madera tardía, esto se corrobora al encontrar correlación positiva significativa ($p < 0.05$) entre el índice de ancho de madera tardía y la precipitación del mes de septiembre (Figura 5).

Al comenzar el periodo de otoño-invierno, el fotoperiodo se reduce teniendo así menos horas luz durante el día y limitando la actividad fotosintética, lo cual provoca disminución del crecimiento, encontrando incluso correlaciones negativas significativas ($p < 0.05$) en el mes de noviembre; sin embargo, durante este periodo algunas coníferas acumulan fotosintatos que junto con humedad acumulada en el suelo se encontraran disponibles para el árbol a inicios de la estación de crecimiento (Fritts, 2001; Pallardy y Kozlowski, 2008).

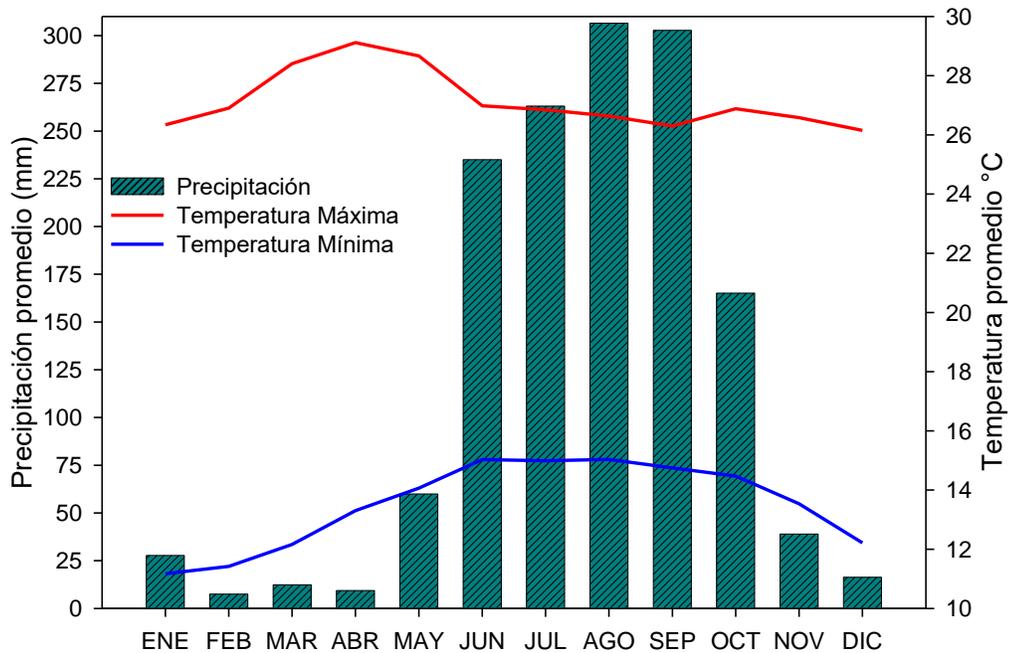


Figura 7. Climograma generado para la región de estudio San Antonio Texas y Río Frío, Coyuca de Catalán, Guerrero.

La baja correlación entre el índice de ancho del anillo y la precipitación acumulada durante el periodo verano-otoño, ha sido corroborada por estudios en otras especies del género *Pinus* (Cerano-Paredes *et al.*, 2011; Cerano-Paredes *et al.*, 2013; Chávez-Gándara *et al.*, 2017; López-Hernández *et al.*, 2018) esto generalmente se atribuye a las precipitaciones abundantes durante este periodo (Figura 7), que superan la tasa de infiltración causando saturación en las partículas del suelo y generando escurrimiento superficial, por lo tanto, dicha precipitación no se utiliza para el crecimiento del árbol (Fritts, 1976).

Respuesta del crecimiento a la temperatura máxima

El crecimiento radial de *P. montezumae* presenta una relación positiva con las temperaturas máximas de los meses de marzo a octubre y el mes de diciembre para las tres series de crecimiento (anillo total, madera temprana y madera tardía) (Figura 8). Se determinaron correlaciones significativas ($p < 0.05$) entre las temperaturas máximas de los meses de mayo y junio y el anillo total, madera temprana y madera tardía de las cronologías estándar y arstan, mientras que para la cronología residual solo el mes de mayo indica una correlación significativa ($p < 0.05$) con el anillo total, madera temprana y madera tardía. Se determinaron correlaciones negativas no significativas ($p > 0.05$) entre el índice de crecimiento de anillo total y madera temprana con la temperatura máxima de los meses de enero, febrero y noviembre para las tres cronologías, para la madera tardía, únicamente la cronología residual muestra este mismo comportamiento (Figura 8).

Con respecto a la temperatura máxima promedio, se observa que el crecimiento radial de *P. montezumae* responde positivamente ($p > 0.05$) al periodo de primavera, como sucede con la precipitación; sin embargo, las series de crecimiento de anillo total y madera temprana presentan correlaciones positivas significativas ($p < 0.05$) para el periodo de mayo-julio de las tres cronologías. Con respecto a la madera tardía, se observa una correlación altamente significativa ($p < 0.01$) con la temperatura máxima promedio mensual de las cronologías estándar y arstan (Figura 8). La temperatura máxima del período mayo-julio influye de manera significativa ($r = 0.35$, $p < 0.01$) en el crecimiento de la madera tardía de *P. montezumae* (Figura 9; Tabla 5).

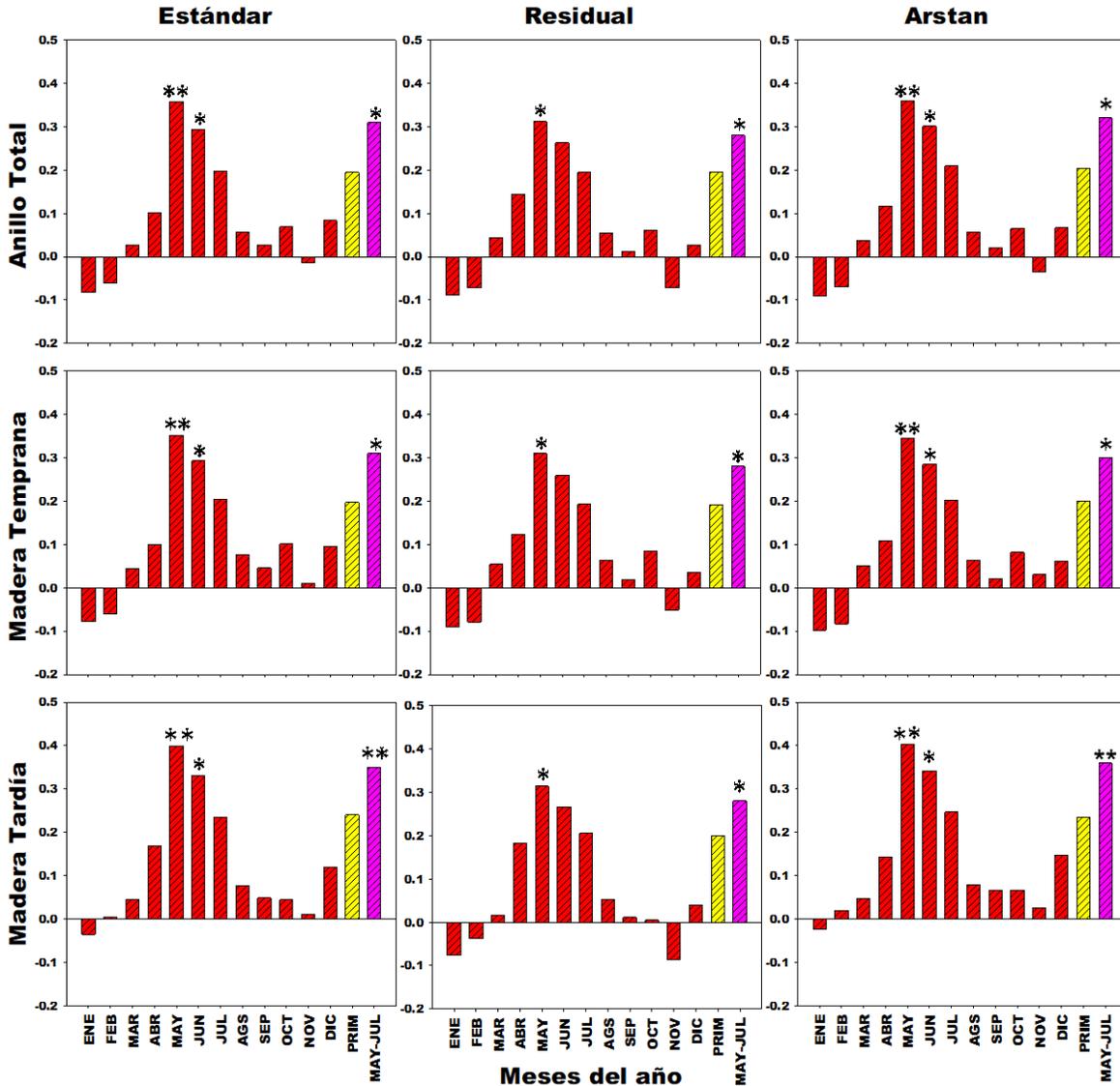


Figura 8. Coeficientes de correlación entre la temperatura máxima mensual (barras rojas) y promedio mensual (barras amarillas y rosas del periodo marzo-mayo y mayo-julio, respectivamente) con el índice de ancho de anillo total, madera temprana y madera tardía de las tres cronologías (estándar, residual y arstan) de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$).

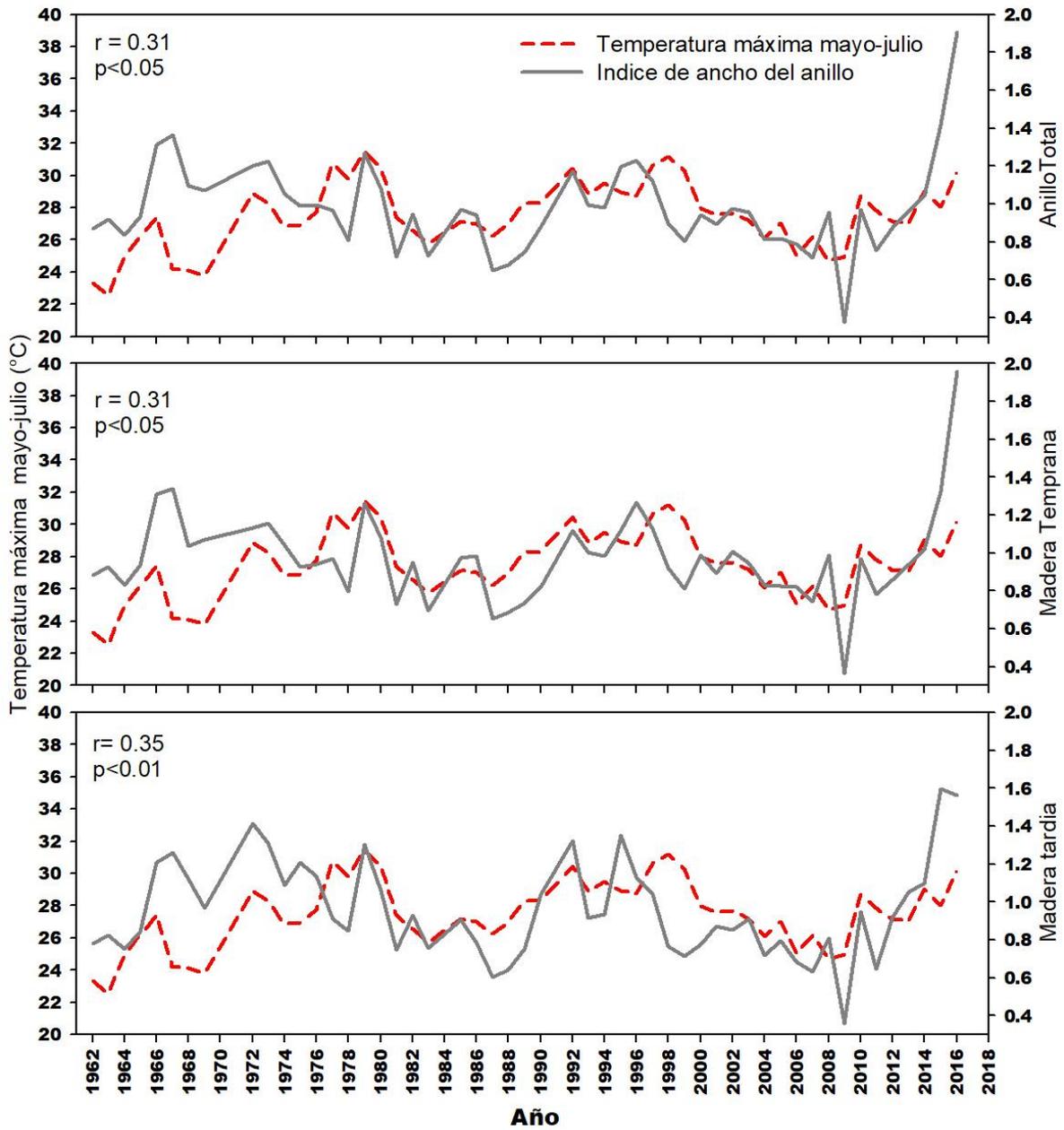


Figura 9. Relación entre la temperatura máxima promedio (1962-2016) del periodo mayo-julio y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar de anillo total, madera temprana y madera tardía de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Tabla 5. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R²) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión entre la temperatura máxima promedio del periodo mayo-julio y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Variable climática	Modelo	Parámetros estimados	r	R ²	p
Temperatura máxima (°C) mayo-julio	Intercepto	24.860	0.30	0.09	<0.000
	Anillo total	2.734			<0.027
	Intercepto	24.840	0.30	0.09	<0.000
	Madera temprana	2.769			<0.028
	Intercepto	24.752	0.35	0.12	<0.000
	Madera tardía	2.910			<0.010

Para la mayoría de las coníferas para las cuales se han realizado estudios de respuesta climática, se reportan correlaciones negativas entre la cronología y la temperatura máxima, es decir, que las temperaturas máximas tienen un efecto negativo en el crecimiento, a medida que se incrementan las temperaturas el crecimiento disminuye, generalmente esto se atribuye a que temperaturas mayores de 25°C ejercen una presión de vapor de agua (VPD) a nivel estomático de 2.0 kPa, provocando una disminución en la apertura del estoma, de manera que conforme aumenta la temperatura, aumenta el VPD hasta alcanzar los 3.0 kPa a 30°C, lo cual provoca que la fotosíntesis sea prácticamente nula, y con ello el intercambio de gases de la atmósfera y la hoja no se lleve a cabo (Leverenz, 1981b), además esto disminuye la producción de carbohidratos disponibles utilizados para el crecimiento (Kozlowski y Pallardy, 1997).

Chávez-Gándara *et al.* (2017) analizaron la respuesta climática de tres coníferas (*P. durangensis*, *P. cooperi* y *P. lumholtzii*) en el estado de Durango, donde las temperaturas máximas de los meses de marzo y abril presentan una respuesta

negativa significativa ($r = -0.47$, $r = -0.41$, y $r = -0.48$ $p < 0.05$) con el índice de anillo total. Para la Sierra Madre Oriental, también se reportan resultados similares, Gutiérrez-García y Ricker (2019) reportan relaciones negativas significativas ($r = -0.62$, $p < 0.01$) entre el crecimiento de anillo total y la temperatura máxima promedio del periodo diciembre-mayo para *Abies. vejarii* y *Pinus. hartwegii*, para *Pinus. strobiformis* y *Pinus. teocote*, valores de $r = -0.56$ y $r = -0.49$, respectivamente.

De igual manera, para el centro de México, en el estado de Michoacán, Huante *et al.* (1991) reportan correlaciones negativas ($r = -0.71$ $p < 0.01$) entre la temperatura máxima y el crecimiento anual de *A. religiosa* en el periodo de otoño. Cerano-Paredes *et al.* (2014) reportan correlaciones negativas para los meses de enero, febrero, abril y mayo ($r = -0.37$, -0.29 , -0.30 y -0.45 , $p < 0.05$, respectivamente) con el crecimiento anual de *A. religiosa*.

En el presente estudio, *P. montezumae* responde de manera opuesta a los estudios mencionados anteriormente, registra una respuesta diferente a lo que comúnmente se reporta para coníferas en México. Se observan correlaciones positivas con la temperatura máxima para casi todos los meses, siendo el periodo mayo-julio (finales de primavera y mediados de verano) el más importante, el cual explica el 12% de la variabilidad de temperatura máxima.

Una explicación a lo anterior podría ser atribuida a que el 40% (570 mm) de la precipitación media anual (1426 mm) ocurre en el periodo mayo-julio (Figura 7), por lo que las condiciones ambientales presentes tales como la humedad en el suelo y la humedad relativa se encuentran disponibles en cantidades adecuadas, de manera que no son una limitante para el crecimiento radial de la especie, de esta manera los

estomas de la hoja no se cierran aunque la temperatura sobrepase el umbral de tolerancia para el cierre de estomas, como sucede en el periodo de primavera, sino que éstos se encuentran abiertos realizando el intercambio de gases de la atmósfera y la acumulación de hormonas de crecimiento, de esta forma al haber suficiente humedad en el ambiente y en el suelo, además las temperaturas superiores a 25°C no generan estrés hídrico como sucede en otros sitios (Leverenz, 1981a).

Para el periodo mayo-julio ya se encuentra formada la mayor parte de la madera temprana, por lo que las condiciones ambientales y procesos fisiológicos de la especie influyen más en la formación de la madera tardía, esto se corrobora al determinar correlaciones positivas significativas ($r=0.35$, $p<0.01$) entre el índice de crecimiento de madera tardía y la temperatura máxima de mayo-julio (Figura 7).

La especie parece responder similar a lo reportado para el sur de México, en el estado de Chiapas, donde López-Hernández *et al.* (2018) encontraron correlaciones positivas entre la cronología de madera tardía de *P. oocarpa* y la temperatura máxima durante todo el año, siendo significativo ($p<0.05$) el periodo julio-enero. *P. montezumae* responde significativamente a la temperatura máxima y presenta potencial para generar un modelo de regresión que permita reconstruir la variabilidad de la temperatura máxima del periodo mayo-julio con base en la cronología estandar del índice de madera tardía (Tabla 5).

Respuesta del crecimiento a la temperatura mínima

Los índices de crecimiento de anillo total y madera temprana de *P. montezumae* muestran correlaciones negativas para todos los meses del año con la temperatura mínima mensual, con valores altamente significativos ($p < 0.01$), únicamente en el mes de marzo para las tres cronologías (Figura 10). La cronología residual presenta correlación positiva, no significativa entre el índice de crecimiento de anillo total y la temperatura mínima del mes de junio. Con relación al índice de crecimiento de madera tardía, para los meses de enero-abril se encontraron correlaciones negativas no significativas ($p > 0.05$) para las tres cronologías; sin embargo, los meses de mayo a diciembre indican correlaciones positivas.

Al correlacionar el índice de anillo total y madera temprana con la temperatura mínima mensual, se determinó una correlación significativa ($p < 0.05$) para el período enero-marzo de las cronologías estándar y residual (Figura 10). Las más altas correlaciones entre la temperatura mínima mensual y el índice de ancho del anillo se encontraron con la cronología estándar (Figura 11). El periodo enero-marzo presenta la mayor correlación negativa significativa ($r = -0.27$, $p < 0.05$) con el índice de anillo total y madera temprana (Tabla 6).

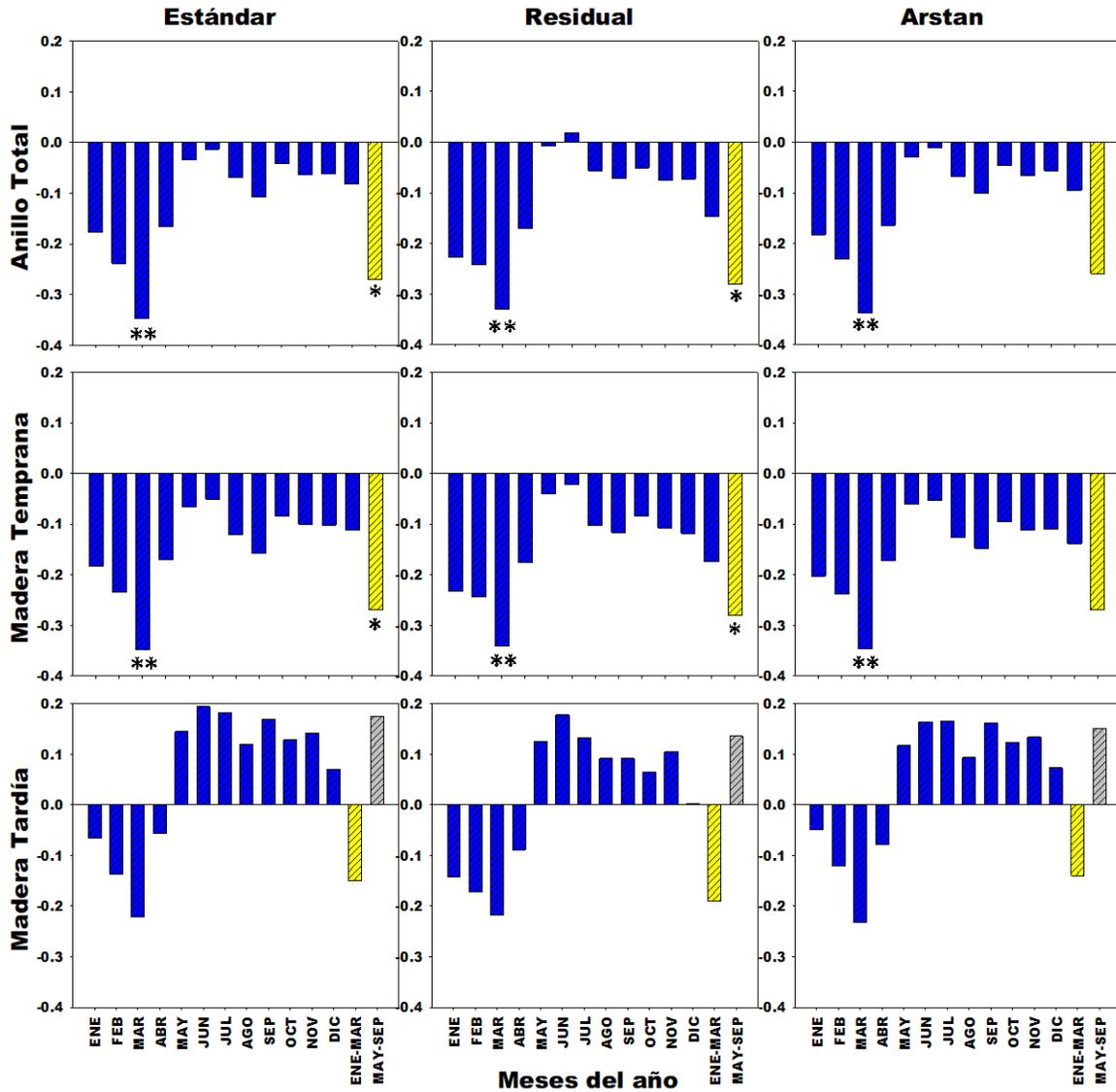


Figura 10. Coeficientes de correlación entre la temperatura mínima mensual (barras azules) y promedio mensual (barras amarillas y grises del periodo enero-marzo y mayo-septiembre respectivamente) de las tres cronologías (estándar, residual y arstan) de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero. (*) Representa los meses con correlaciones significativas ($p < 0.05$) y (**) los meses con correlaciones altamente significativas ($p < 0.01$).

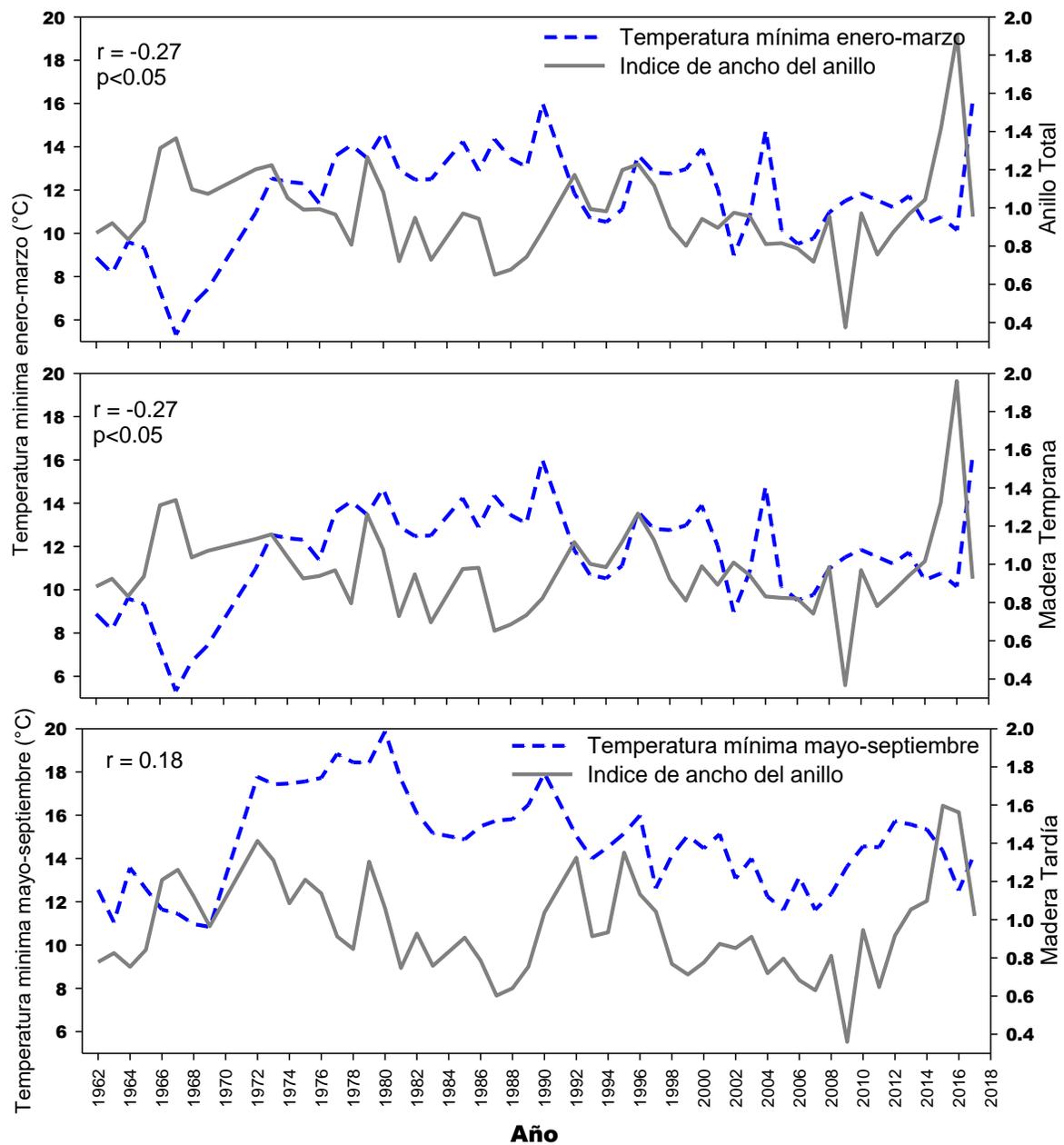


Figura 11. Relación entre la temperatura mínima del periodo de enero-marzo y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar para anillo total y madera temprana, y entre la temperatura mínima del periodo de mayo-septiembre y el índice de ancho del anillo de la cronología estándar para madera tardía de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Tabla 6. Coeficientes de regresión, sus valores estimados, coeficientes de correlación (r) y de determinación (R^2) y significancia de los valores estimados del modelo de regresión entre la temperatura mínima promedio del periodo enero-marzo y los índices de crecimiento, anillo total, madera temprana y madera tardía, de la cronología estándar de *Pinus montezumae* Lamb., en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Variable climática	Modelo	Parámetros estimados	r	R^2	p
Temperatura mínima (°C) enero-marzo	Intercepto	14.121	-0.27	-0.07	<0.000
	Anillo total	-2.597			<0.050
	Intercepto	14.155	-0.27	-0.07	<0.000
	Madera temprana	-2.652			<0.050
	Intercepto	12.864	-0.14	-0.02	<0.000
	Madera tardía	-1.340			<0.292

El crecimiento radial de *P. montezumae* responde contrario a lo reportado en otros estudios dendroclimáticos en México, la temperatura mínima se relaciona negativamente con las cronologías de madera temprana y anillo total, el periodo enero-marzo presenta una correlación significativa con estos crecimientos, es decir temperaturas bajas a inicios de la estación de crecimiento afectan la formación de madera temprana, cuando las temperaturas mínimas comienzan a subir a partir del mes de mayo (Figura 7), se observan correlaciones positivas con la madera tardía, especialmente en el periodo mayo-septiembre (Figura 10). Sin embargo, la baja significancia no permite considerar este periodo para reconstruir la temperatura mínima con la cronología de madera tardía (Tabla 7).

Respuestas opuestas entre el crecimiento de coníferas y las temperaturas mínimas han sido encontradas en numerosos estudios dendrocronológicos, tal es el caso de Cerano-Paredes, Rivera, Estrada, Trucios y Ríos-Saucedo (2012) quienes al analizar el potencial dendrocronológico de *P. cooperi* para la región oeste del estado de Durango, reportan correlaciones positivas significativas de $r = 0.75$ ($p < 0.01$) entre la temperatura invernal y la cronología de anillo total en los meses de noviembre-marzo; Chávez-Gándara *et al.* (2017) reportan correlaciones positivas significativas entre las cronologías de anillo total, madera temprana y madera tardía y la temperatura mínima de San Dimas, Durango, para el mes de enero con valores de correlación de $r = 0.54$ ($p < 0.01$), $r = 0.52$ ($p < 0.01$) y $r = 0.54$ ($p < 0.01$) de *P. duranguensis*, *P. cooperi* y *P. lumholtzii*, respectivamente.

Así mismo para sitios en el centro de México Huante *et al.* (1991), reportan una relación entre la temperatura mínima y el crecimiento anual de *A. religiosa* en los meses de enero y febrero con valores de $r = 0.52$ ($p < 0.05$) y $r = 0.47$ ($p < 0.05$), respectivamente. Para el estado de Michoacán, Cerano-Paredes *et al.* (2014) reportan resultados similares para la misma especie en el Pico de Tancítaro, con valores de $r = 0.37$ ($p < 0.01$) y $r = 0.29$ ($r < 0.05$) para los meses de enero y febrero, respectivamente. Para el sur de México se reportan correlaciones positivas significativas ($p < 0.05$) entre la temperatura mínima y el crecimiento de *P. oocarpa* para todos los meses en sitios del Ejido Ojo de Agua, La independencia, Chiapas (López-Hernández *et al.*, 2018).

La respuesta del crecimiento a las temperaturas mínimas se atribuye, principalmente, a que las temperaturas bajas propician una menor evaporación tanto del suelo como de las plantas, lo cual se traduce en agua disponible para emplearse al inicio de la estación de crecimiento (Cerano-Paredes *et al.*, 2011; Chávez-Gándara *et al.*, 2017).

La temperatura es uno de los principales factores ambientales que determinan el tipo de adaptación que requiere la planta para que la tasa de fotosíntesis se mantenga (Chaar, 2013), es así como algunas especies de *Pinus* reducen drásticamente su tasa fotosintética a temperaturas inferiores a 10°C, deteniéndose totalmente a temperaturas cercanas a 5°C (Day, Heckathron y DeLucia, 1991; Taiz y Zeiger, 1991). Un rango óptimo para la realización de la fotosíntesis de algunas coníferas se encuentra entre 15 y 25°C, disminuyendo gradualmente a ambos extremos (Meinzer, 1982; Smith y Hinckley, 1995). Por lo tanto, temperaturas bajas, aunque no sean extremas (Figura 7) a inicios de la estación de crecimiento afectan la formación de madera temprana de *P. montezumae* en el Ejido San Antonio Texas (Figura 10), contrario a lo que sucede en sitios en el norte y centro de México.

Lo anterior se corrobora al determinar correlaciones negativas ($r=-0.27$, $p<0.05$) entre el índice de crecimiento de madera temprana y anillo total con la temperatura mínima del periodo enero-marzo (Figura 10), esto indica que temperaturas por debajo de 12°C (Figura 7) disminuyen la tasa fotosintética y por consiguiente el incremento radial. En cuanto al índice de madera tardía y su correlación con la temperatura mínima, los valores de correlación pasan de ser negativas a positivas a partir del mes de mayo, pero son valores no significativos.

IV. CONCLUSIONES

Este estudio representa el primer trabajo con enfoque dendroclimático realizado para el estado de Guerrero y uno de los primeros para la especie *Pinus montezumae*, la cual, por su amplia distribución en México, constituye una buena alternativa para estudiar la variabilidad climática a diferentes latitudes y altitudes.

Se logró generar una cronología con una extensión de 228 años (1790 a 2017) con base en los crecimientos de *P. montezumae*, la serie presentó valores estadísticos dendrocronológicos que permiten rechazar la hipótesis nula de investigación que plantea que los anillos anuales de dicha especie no tienen potencial dendrocronológico para reconstruir la precipitación y las temperaturas máxima y mínima en el Ejido San Antonio Texas, Coyuca de Catalán, Guerrero.

Con base en lo anterior, la especie se considera con potencial dendrocronológico y mediante la sensibilidad de los anillos de crecimiento de *P. montezumae*, se pueden reconstruir las siguientes variables climáticas:

- La precipitación de primavera (marzo-mayo) con base en la cronología estándar de anillo total.
- La temperatura máxima del periodo mayo-julio con base en la cronología estándar de madera tardía.
- La temperatura mínima del periodo enero-marzo con base en la cronología estándar de anillo total y madera temprana.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda dar continuidad a los estudios dendrocronológicos con esta especie a lo largo de la Sierra Madre del Sur a diferentes latitudes y altitudes, con el objetivo de integrar una red de cronologías que permita un análisis espacial más completo de la variabilidad climática.

Algunas recomendaciones particulares para el desarrollo de futuras cronologías con *P. montezumae* son:

- Durante el muestreo considerar la colecta de muestras de árboles muertos para extender la cronología.
- Utilizar taladros de Pressler de diámetro de 12 mm para la colecta de muestras o virutas, coleccionar rodajas para tener un radio más ancho de análisis que permita observar con más detalle anillos falsos que suelen ser comunes en la especie.
- Analizar y calibrar a detalle los datos de las estaciones meteorológicas de la región, ya que pueden estar presentes datos incoherentes que alteren los resultados o bien en muchos casos la falta de datos en ciertos años.
- Aumentar el tamaño de muestra en campo porque esto garantiza mejores estadísticos en la cronología.

VI. REFERENCIAS

- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., & Sánchez, R. (2001). *Fisiología vegetal*. Madrid, España: Ediciones Pirámide.
- Bidwell, R. G. S. (1979). *Fisiología vegetal*. (A. G. T. Editor. S.A.) (Primera edición en español). México, D. F.
- Cano Sánchez, J. (1991). Dendroclimatología. Calendario Meteorológico 1992. Instituto Nacional de Meteorología. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11765/907>
- Cerano-Paredes, J., Rivera, G. M., Estrada, A. J., Trucios, C. R., & Ríos, J. C. (2012). Análisis dendrocronológico de *Pinus cooperi* en Durango, México. *Agrofaz*, 12(3), 81-88.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, D., Cornejo-Oviedo, H. E., Sánchez-Cohen, I., & Constante-García, V. (2011). Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(4), 33–46.
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Vázquez-Selem, L., Trucios-Caciano, R., & Guerra-De la Cruz, V. (2014). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera para el Parque Nacional Pico de Tancitaro , Michoacán. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 83, 41–54. <https://doi.org/10.14350/rig.35190>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Fulé, Z. P., Arreola-Ávila, J. G., Sánchez, C. I., & Valdez-Cepeda, D. R. (2009). Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera Bosques*, 15(2), 27–44.
- Cerano-Paredes, J., Méndez-Gonzales, J., Amaro-Sanchez, A., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., & Rubio-Camacho, E. A. (2013). Reconstrucción de precipitación invierno-primavera con anillos anuales de *Pinus douglasiana* en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XIX(3), 413–423. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.02.007>
- Chaar, J. (2013). Resistencia a heladas en plantas frutales. *Avances En Investlgación Agropecuaria.*, 17(3), 109–121.
- Chávez-Gándara, M. P., Cerano-Paredes, J., Nájera-Luna, J. A., Pereda-Breceda, V., Esquivel-Arriaga, G., Cervantes-Martínez, R., & 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. *Bosque*, 38(2), 387–399. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200016>
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Cornejo-Oviedo, E. H., & Valencia-Manzo, S. (2009). Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Y Reconstrucción de Precipitación, estacional para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal En México*, 34(106), 17–39.

- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., & Estrada Ávalos, J. (2010). Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. *Folleto Técnico No.19 INIFAP, CENID-RASPA*. Durango, Mexico.
- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of endrochronology. Applications in the environmental Sciences*. Boston, Massachusetts.
- Cook, Edward R. (1987). The Decomposition of Tree-Ring Series for Environmental Studies. *Tree-Ring Bulletin Copyright*, 47, 37–59.
- Day, T. A., Heckathorn, S. A., & DeLucia, E.H (1991). Limitations of Photosynthesis in *Pinus taeda* L. (Loblolly pine) at low soil temperatures. *Plant physiol.* 96:1246-1254.
- Delgado, C. S. (2000). Aplicaciones estadísticas en análisis dendrocronológicos. En F. A. Roig (Compilador). *Dendrocronología en América Latina*, (pp.79-102). Mendoza, Argentina: EDIUNC.
- Dendrocronología. (2002). Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Austral de Chile. Recuperado de : <http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html>
- Douglas, A. E. (1914). A Method of Estimating Rrainfall by the Growth of Trees. *American Geographical Society*, 46(5), 321–335.
- Fonseca, R. M. (2013). Flora de guerrero, Pinaceae. In N. D. Pérez & R. M. Fonseca (1st ed.). México: UNAM, Facultad de Ciencias.
- Fitz, P. E. (1980). Suelos, su Formación, Clasificación y Distribución. (1ra ed.). México
- Fritss, H. C. (1976). *Tree-rings and Climate*. New york, Estados Unidos: Academic Press,
- Fritts, H.C. (2001). *Tree Rings and Climate*. New Jersey: Blackburn Press, Caldwell
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. (5ta ed.) México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grissino-Mayer, H. D. (2001). Evaluating crossdating accuracy : a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), 205–221.
- Gutiérrez-García, G., & Ricker, M. (2019). Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2676>
- Gutiérrez-Merino, E. (2009). *La dendrocronología: métodos y aplicaciones*. En “*Arqueología nautica mediterrània*“. X. Nieto i M.A. Cau (eds.). *Generalitat de Catalunya*. pp309-322.

- Hoadley, R. B. (1990). *Identifying Wood. Accurate results with simple tools*. (1ra ed.). New Berlin, Wisconsin.
- Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43(1), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.01.004>
- Huante, P., Rincon, E., & Swetnam, T. W. (1991). Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan , Mexico. *Tree-Ring Research*, 51, 16–28.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2003). *Conjunto de Datos Geológicos Vectoriales E1407. Escala 1:250,000. Serie I. Aguascalientes Ags. México: INEGI.*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2014a). *Conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional). edición: 2. Aguascalientes Ags. México: INEGI.*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2014b). *Red hidrográfica, subcuencas hidrográficas de México, escala: 1:50000. edición: 2. México: INEGI.*
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2016). *Conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, escala 1:250000, serie VI (conjunto nacional). edición: 1. Aguascalientes Ags. México: INEGI.*
- Kozlowski, T. T. & Pallardy, S. G. (1997). *Growth control in woody plants*. San Diego: Academic Press
- León-Hernández, W. J., & Espinoza-de Pernía, N. (2001). *Anatomía de la madera*. (1st ed.). Mérida Venezuela: Universidad de los Andes.
- Leverenz, J. W. (1981a). Photosynthesis and transpiration in large forest-grown Douglas-fir : diurnal variation. *Canadian Journal of Botanic*, 59(3), 349–356.
- Leverenz, J. W. (1981b). Photosynthesis and transpiration in large forest-grown Douglas-fir : interactions with apical control. *Canadian Journal of Botanic*, 59(3), 2568-2576.
- López-Hernández, M. I., Cerano-Paredes, J., Valencia-Manzo, S., Cornejo-Oviedo, E., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., & Esquivel-Arriaga, F. (2018). Respuesta del crecimiento de *Pinus oocarpa* a variables climáticas en Chiapas , México. *Biología Tropical*, 66(4), 1580–1596.
- Mauseth, J. (1989). *Plant Anatomy*. The Benjamin/Cummings Pub. Co. California.
- Máximino, Martínez. (1992). *Los Pinos Mexicanos*. (3ra Edición) Ediciones Botas. México.
- Meinzer, F.C (1982). The effect of vapor pressure on stomatal control of gas exchange in Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*) saplings. *Oecologia*, 54(2). 236-242

- Pallardy, S. G., & Kolowski, T. T. (2008). *Physiology of woody plants*. (3ra ed.). Boston: Elsevier.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. (1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Smith, W. K., & Hinckley, T. M. (1995). *Resource Physiology of Conifers, Acquisition, Allocation, and Utilization*. London: Academic Press.
- Stat Soft Inc. (2000). STATISTICA Software, Kernel Release version 5.5 A. 1984-2000. Tulsa, Oklahoma, USA.
- Stokes, M. A. & Smiley, T.L. (1968). *An introduction to the tree-ring dating*. Tucson, Arizona USA: The University of Arizona Press.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (1991). *Plant Physiology*. Redwood City, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Therrell, M. D., Stahle, D. W., Cleaveland, M. K., & Villanueva-Díaz, J. (2002). Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 107(14), 1–8. <https://doi.org/10.1029/2001JD000851>
- Villanueva-Días, J., Cerano-Paredes, J., Stahle, W. D., Matthew, D. T., Cleaveland, M. K., & Sánchez, C. I. (2004). Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. *Folleto Técnico No.2 INIFAP, CENID-RASPA*, 2, 48.
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Rosales-Mata, S., Arrocena-López, J. C., Stahle, D. W., Ruiz-Corral, J. A., & Martínez-Sifuentes, A. R. (2014). Variabilidad hidroclimática reconstruida con anillos de árboles para la cuenca alta del Río Mezquital, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 1897–1912.
- Villanueva-Días, J., Cerano-Paredes, J., Constante-García, V., Montes, G. L., & Vázquez, L. (2009a). Muestreo Dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, CENID-RASPA. Folleto Técnico 13.
- Villanueva-Díaz, J., Fulé, P. Z., Cerano-Paredes, J., Estrada, J. Á., & Sánchez-Cohen, I. (2009b). Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Ciencia Forestal En México*, 34(106), 39–71.
- Villanueva-Díaz, J., Rubio-Camacho, E. A., Chávez-Durán, Á. A., Zavala-Aguirre, J. L., Cerano-Paredes, J., & Martínez-Sifuentes, A. R. (2018). Respuesta climática de *Pinus oocarpa* Schiede Ex Schetol en el Bosque La Primavera, Jalisco. *Madera y Bosques*, 24(1), 1–14. doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411464>

Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el Monte Tiáloc, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(2), 175–185.