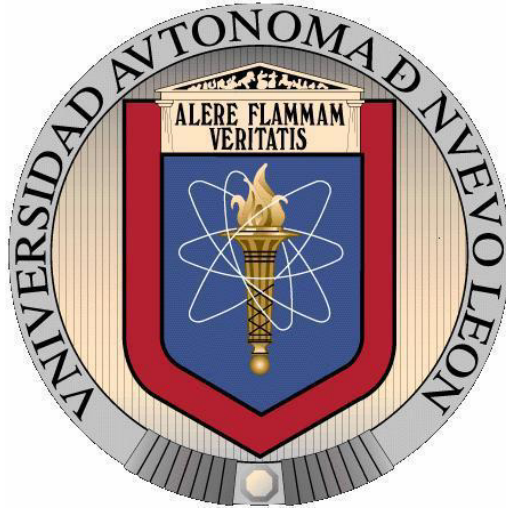


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DENDROCRONOLÓGICAS EN *Pinus pseudostrobus* Lindl. Y *Quercus canbyi* Trel. PARA ANALIZAR LA INFLUENCIA CLIMÁTICA Y EL CAMBIO DE USO DE SUELO”

PRESENTA

ING. VICENTA CONSTANTE GARCÍA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

DICIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



TESIS

“APLICACIÓN DE TÉCNICAS DENDROCRONOLÓGICAS EN *Pinus pseudostrobus* Lindl. Y *Quercus canbyi* Trel. PARA ANALIZAR LA INFLUENCIA CLIMÁTICA Y EL CAMBIO DE USO DE SUELO”

PRESENTA

ING. VICENTA CONSTANTE GARCÍA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DENDROCRONOLÓGICAS EN *Pinus pseudostrobus* Lindl. Y *Quercus canbyi* Trel. PARA ANALIZAR LA INFLUENCIA CLIMÁTICA Y EL CAMBIO DE USO DE SUELO

TESIS DE MAESTRÍA
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

Por:
ING. VICENTA CONSTANTE GARCÍA

COMITÉ DE TESIS



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Director


Dr. Javier Jiménez Pérez
Asesor
Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Asesor
Dr. José Villanueva Díaz
Asesor externo

DECLARATORIA

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Maestría en Ciencias Forestales. Donde se utilizó información de otros autores, a los cuales se les otorga los créditos correspondientes.



Ing. Vicenta Constante García

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi pequeño compañero,
mi hijo:

Luis Gerardo Carbajal Constante

A mi Señora Madre y a mi Señor Padre:

Julia y Manuel

A mi hermana *Jesu*

Así como a la alegría de entender la naturaleza a través de sus distintas formas de hablar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT), por el financiamiento para la realización del presente trabajo.

De igual forma, agradezco al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo dado a la realización de mis estudios de Posgrado.

Gracias a la Facultad de Ciencias Forestales, por brindarme conocimiento a través de todos los maestros, especialmente a Dr. Artemio Carrillo y Dr. José A. Guevara.

Agradezco la asesoría y disponibilidad para la realización del presente trabajo, dada por el Dr. Marco Aurelio González Tagle, espero continuemos trabajando en este tema tan apasionante como lo es la Dendrocronología.

Agradezco también a mis asesores, muchas gracias por el conocimiento compartido y su apoyo Dr. Javier Jiménez, Dr. Oscar Aguirre Calderón.

Agradezco también a mi maestro de siempre, Dr. José Villanueva Díaz, gracias por su apoyo en la redacción y guía del presente trabajo, gracias por incluirme en el mundo de la Dendrocronología y formar parte de ésta aventura entre anillos de los árboles.

Gracias al Dr. Ignacio García, dendrocronólogo de encinos, así como al Dr. Vicente Rozas y la Dra. Milagros Rodríguez Catón, por el apoyo en el aborde del estudio, muchas gracias.

Gracias a una persona que me enseñó el lenguaje de los árboles, que quizá sin ello no hubiera sido posible saber que dicen, gracias querido amigo M.C. Julián Cerano Paredes, así como su compañera de vida, M.C. Rosalinda Cervantes, gracias por su amistad.

Agradezco a la vida por mostrarme de la mejor manera su bondad a través de personas que llegan a ser amigos-hermanos, agradezco a la vida por darme la más dura y sincera amiga, Griselda Rodríguez González, gracias por estar conmigo en campo, en el laboratorio y hasta en la corrección del documento.

De igual forma agradezco al apoyo dado por la Dra. María Magdalena Salinas en la identificación de especies, gracias por tu pasión y humildad para conmigo, querida Mané.

En general, agradezco el haber convivido con mis compañeras-amigas de gran porte como son Inés Yáñez, Diana Pinzón, Mariana Contreras, Mané Salinas, Cinthia Geraldinne, Dinorah, Griselda Rodríguez y por supuesto mi pequeña gran amiga Brianda Soto, las quiero mucho chicas, a seguir esta aventura llamada vida, donde tuve la fortuna de convivir y aprender de cada una de ustedes.

Mi agradecimiento a un jovencito que siempre estuvo disponible en el trabajo de campo Jeff y su novia Haide, gracias por el apoyo y disposición en todo momento.

Gracias a mi amiga del Perú, Dendrocronóloga apasionada Gaby Inga, mi gratitud por las tantas consultas, pero sobre todo gracias por compartir conmigo la alegría de leer las historias que cuentan los árboles.

Gracias a toda aquella gente que contribuyó en el aprendizaje académico, como de la misma vida: Chino Durán no te me olvidas, Luis Carbajal gracias por continuar por ahí, compañeras de laboratorio, Faty, Emily y en especial un chico callado y guapo Aldo, gracias por el apoyo en las imágenes.

Gracias a mi familia, especialmente a mi hermana Jesu, por ser siempre mi ejemplo y segunda madre, te amo hermana. También agradezco a mi padre Sr. Manuel Constante Gloria y mi madre Sra. Julia García Badillo, que me dieron no sólo la vida, sino la libertad de elegir lo que soy, porque no hay mejor herencia que la libertad de volar. Gracias madre por la mirada de amor que siempre me diste en cada decisión, gracias padre por ese respeto tuyo envuelto en un silencio cuando mis acciones no eran del todo de tu agrado. Tengo 11 hermanos, por ello 11 gracias, porque en cada uno encontré siempre un apoyo, Angélica gracias por compartir conmigo ese pasado que hoy me define, ahora entiendo por qué tuvieron que ser así algunas cosas, me hicieron ser como soy y eso me gusta. Fely, mi niña espero siempre ser lo que esperas de una hermana, lucho por eso. Panchi eres de acero, te admiro hermana cuídate.

Y finalmente pero en primer lugar, gracias al amor (BADLR), gracias porque al final del día caigo en la hermosa razón de amar y ser amada.

Índice de Contenido

CAPÍTULO I. ANÁLISIS DENDROCLIMÁTICO EN <i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl. y <i>Quercus canbyi</i> Trel.	1
1.0 RESUMEN	2
1.1 ABSTRACT	3
1.2 INTRODUCCIÓN	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	7
1.4 OBJETIVOS	9
Objetivos específicos	9
Hipótesis.....	10
1.5 ANTECEDENTES	11
La Dendrocronología en México.....	11
La Oscilación Decadal del Pacífico y el fenómeno de El Niño.....	12
Importancia y generalidades del <i>P. pseudostrabus</i> en México	13
Importancia del género <i>Quercus</i> y particularidades del <i>Q. canbyi</i>	15
1.6 MATERIALES Y MÉTODOS	18
Ubicación y descripción del área de estudio	18
Trabajo de campo.....	19
Tipo de muestreo y obtención de muestras.....	19
Trabajo de Laboratorio	21
Preparación de las muestras obtenidas en campo.....	21
Anillos del <i>P. pseudostrabus</i> y <i>Q. canbyi</i>	22
Sincronía de anillos de <i>P. pseudostrabus</i> y <i>Q. canbyi</i>	24
Medición y datado en <i>P. pseudostrabus</i> y <i>Q. canbyi</i>	25
Generación de las cronologías y evaluación.....	27
Estandarización y generación de cronologías.....	27
Criterios de evaluación de las cronologías de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	32
Función de respuesta o relación clima-crecimiento en <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	35
Reconstrucción climática en crecimientos de <i>P. pseudostrabus</i>	37
Generación del modelo climático y verificación estadística.....	37
Verificación del modelo a través del programa VERIFY.....	37
Verificación de la precipitación reconstruida	38
Asociación de parámetros dendrocronológicos con ENOS y PDO.....	39
1.7 RESULTADOS	40
Análisis del programa COFECHA y ARSTAN	40

Potencial dendrocronológico de <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	41
Relación clima-crecimiento de la especie <i>Q. canbyi</i>	42
Relación clima-crecimiento de <i>P. pseudostrabus</i>	43
Reconstrucción del clima en <i>P. pseudostrabus</i>.....	43
Reconstrucción climática y detección de periodos secos.....	46
Asociación de la precipitación reconstruida y la precipitación para todo México	47
Validación de años secos y húmedos con Altas de Sequía	48
Asociación entre la madera temprana del pino y PDO-ENOS	48
1. 8 DISCUSIÓN	50
Evaluación de cronologías y respuesta climática de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	50
Evaluación de las cronologías del pino y el encino.....	50
Respuesta climática del <i>Quercus</i> y <i>Pinus</i>	52
Reconstrucción climática del <i>P. pseudostrabus</i>.....	53
Reconstrucción climática y datos históricos.....	53
Asociación entre la madera temprana del pino, ENOS y PDO.....	54
1.9 CONCLUSIONES	56
1.10 RECOMENDACIONES	57
1.11 BIBLIOGRAFÍA	58
CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE LOS CRECIMIENTOS DE <i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	74
2.0 RESUMEN	75
2.1 ABSTRACT.....	76
2.2 INTRODUCCIÓN	77
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	79
2.4 OBJETIVO	80
Objetivos específicos	80
Hipótesis.....	80
2.5 ANTECEDENTES	81
Efecto de la sequía y la densidad de arbolado	81
Vulnerabilidad de los bosques y cambio climático.....	82
2.6 MATERIALES Y MÉTODOS.....	84
Ubicación, descripción y antecedentes del área de estudio	84
Trabajo de campo.....	85

Recorridos y definición de área de resguardo y control.....	85
Establecimiento de parcelas para la información complementaria	86
Variables dasométricas	88
Trabajo de Laboratorio	89
Lijado y pulido de muestras.....	89
Datado de las muestras para análisis de crecimientos.....	89
Metodología de análisis de crecimientos de <i>P. pseudostrabus</i>	90
Obtención del Incremento en Área Basal (BAI).....	90
Determinación del Porcentaje de Cambio en el Crecimiento	91
Relación entre el clima y el BAI del área de resguardo y control	94
Metodología para el análisis de la información complementaria.....	94
Listado florístico	94
Determinación del número de individuos por hectárea	95
Estimación de la edad de los árboles y densidad	95
Metodología para los análisis estadísticos.....	96
2.7 RESULTADOS.....	97
Análisis de los crecimientos de <i>Pinus pseudostrabus</i>.....	97
Resultados del Programa COFECHA	97
Comparación de cronologías BAI en área control y resguardo	98
Comparación del Porcentaje de Cambio en el Crecimiento.....	99
Información complementaria.....	102
Florística	102
Comportamiento de diámetros del total de las especies.....	102
Comportamiento de diámetros del <i>Pinus pseudostrabus</i>	104
Relación Diámetro-Edad del <i>Pinus pseudostrabus</i>	104
Resultados Estadísticos.....	105
Diámetros para el total de las especies presentes por área	105
Diámetro de <i>Pinus pseudostrabus</i>	106
Incremento en Área Basimétrica del <i>Pinus pseudostrabus</i>	107
2.8 DISCUSIÓN	109
Análisis de la Información complementaria	109
Datado de las muestras	110
Análisis sobre los crecimientos de <i>Pinus pseudostrabus</i>.....	111
2.9 CONCLUSIÓN	113
2.10 RECOMENDACIONES	114
2.11 BIBLIOGRAFÍA	115

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio</i>	19
<i>Figura 2. Prototipo de árboles muestreados para el Q. canbyi</i>	20
<i>Figura 3. Prototipo de árboles muestreados para el P. pseudostrabus</i>	20
<i>Figura 4. Procesamiento de muestras de Pinus pseudostrabus</i>	21
<i>Figura 5. Anillos anuales de Q. robur Gricar et al. (2013)</i>	22
<i>Figura 6. Anillos anuales de Pinus sp. Stokes y Smilley (1996)</i>	22
<i>Figura 7. Anillos vistos a través de cortes realizado con micrómetro</i>	23
<i>Figura 8. Figura 9. Anillos lijados extraídos con motosierra y taladro</i>	23
<i>Figura 9. Sincronía entre los anillos de P. pseudostrabus</i>	24
<i>Figura 10. Sincronía entre anillos del pino y encino</i>	25
<i>Figura 11. Definición de los límites de madera temprana, tardía y anillo total en P. pseudostrabus y Q. canbyi</i>	26
<i>Figura 12. Ejemplo de estandarización de la serie BOE01A</i>	30
<i>Figura 13. Elementos dentro de una gráfica que representa los componentes de una cronología</i>	31
<i>Figura 14. Fundamento estadístico de la verificación</i>	38
<i>Figura 15. Curvas aplicadas a las series fechadas y medidas para la cronología de pino. La línea roja representa la media de la cronología</i>	40
<i>Figura 16. Asociación entre las cronologías de P. pseudostrabus y Q. canbyi</i>	41
<i>Figura 17. Asociación entre la precipitación de la estación meteorológica Iturbide, Nuevo León y el índice de ancho de anillo de madera tardía para la especie Q. canbyi</i>	42
<i>Figura 18. Periodo de mayor correlación entre la cronología de madera temprana y los datos de precipitación acumulada enero-julio</i>	43
<i>Figura 19. Relación entre la cronología de madera temprana y la precipitación acumulada (enero-julio) con los datos climáticos de la estación Iturbide, período 1960-2009</i>	44
<i>Figura 20. Cronología estándar de madera temprana del P. pseudostrabus (línea negra) y la precipitación acumulada Enero-Julio del período 1960-2009 (línea punteada)</i>	44
<i>Figura 21. Calibración del año 1985 al 2009 y verificación del modelo de 1960 al 1984</i>	46
<i>Figura 22. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada enero - julio, del período 1864-2013 para el área de Iturbide Nuevo León. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada sólida</i>	46
<i>Figura 23. Correlación entre la precipitación reconstruida y la precipitación promedio enero – julio para todo México. (1955-2013)</i>	47
<i>Figura 24. Grado de significancia entre la precipitación reconstruida y la precipitación promedio enero – julio para todo México</i>	47
<i>Figura 25. Años secos y húmedos extremos arrojados en el Atlas de Sequía para México. El color amarillo a rojo indica sequías fuertes; el color azul años indican años húmedos</i>	48
<i>Figura 26. Determinación del período de influencia entre los índices de P. pseudostrabus e índices de la PDO y ENOS</i>	49
<i>Figura 27. Crecimiento de 9 anillos en diferentes niveles de densidad Gadow et al. (2001)</i>	82
<i>Figura 28. Ubicación del área de estudio y localización de las parcelas</i>	84

<i>Figura 30. Parcela circular de 1000 m² establecida para cada área de estudio (resguardo y control).</i>	89
<i>Figura 31. Ejemplos de problemas de supresión y liberación en un núcleo de crecimiento.</i>	91
<i>Figura 32a Número de muestras Área Control”</i>	97
<i>Figura 33. Asociación entre las cronologías de BAI del área de resguardo y control, respectivamente</i>	98
<i>Figura 34. Asociación entre las cronología BAI y la cronología desarrollada con fines de reconstrucción climática.</i>	99
<i>Figura 35. Comparación de los crecimientos entre el área de resguardo y de control.</i>	99
<i>Figura 36. Porcentaje de Cambio del Crecimiento área Control</i>	101
<i>Figura 37. Porcentaje de Cambio del Crecimiento área resguardo.</i>	101
<i>Figura 38a y b. Asociación entre los datos climaticos y el BAI del área Control</i>	102
<i>Figura 39. Porcentaje de las especies presentes, número de individuos y categorías diamétricas en el área control y resguardo, respectivamente. C.D = Categoría Diamétrica.</i>	103
<i>Figura 40. Distribución de clases diamétricas y promedio de edad del arbolado de P. pseudostrabus en el área control y resguardo. C.D= Categoría diamétrica.</i>	105
<i>Figura 41. Diferencia de diámetros del total de las especies presentes en los sitios control y resguardo</i>	106
<i>Figura 42. Diferencia en diámetros de Pinus pseudostrabus para el área control y resguardo.</i> 106	
<i>Figura 43. Diferencia del BAI en todo el periodo total de la cronología (1900- 2014).</i>	107
<i>Figura 44. Diferencia del BAI antes (1955-1984) y después (1985-2014) del reguardo.</i>	108

Índice de Cuadros

<i>Cuadro 1. Valores obtenidos de acuerdo a criterios dendroclimáticos para determinar el potencial dendrocronológico de P. pseudostrobus Lindl.</i>	41
<i>Cuadro 2. Valores obtenidos de acuerdo a criterios dendroclimáticas para determinar potencial dendrocronológico de la especie Q. canbyi Trel.</i>	42
<i>Cuadro 3. Coeficientes del modelo climático</i>	45
<i>Cuadro 4. Pruebas para la calibración y la verificación del modelo</i>	45

CAPÍTULO I. ANÁLISIS DENDROCLIMÁTICO EN *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Quercus canbyi* Trel.



1.0 RESUMEN

El presente estudio se realizó en el municipio de Iturbide, Nuevo León, con el objetivo de evaluar el potencial dendroclimático de las especies *P. pseudostrobus* Lindl. (Pino) y *Q. canbyi* Trel. (Encino). Las cronologías realizadas para el pino y el encino, presentan una correlación entre series de 0.702, 0.62, una sensibilidad media de 0.408, 0.478 y una autocorrelación de primer orden de 0.729 y 0.126, respectivamente; el análisis climático indica que las dos especies tiene una respuesta significativa a la precipitación estacional de enero-julio, con una influencia sobre el crecimiento de la madera tardía del encino y en la madera temprana del pino.

1.1 ABSTRACT

The present research was carried out in Iturbide, Nuevo León. We aimed to assess the dendrochronological potential of *P. pseudostrobus* Lindl. (pine) and *Q. canbyi* Trel. (oak). The ring-width chronologies of the two species exhibited a series intercorrelation of 0.702 and 0.602, mean sensitivity of 0.408 and 0.478 and first-order autocorrelation of 0.729 and 0.126, respectively. The climate analysis indicated that both species have a significant response to the seasonal January-June precipitation, influencing the latewood and earlywood of the pine and oak species, respectively.

1.2 INTRODUCCIÓN

El cambio climático global tendrá un impacto en los ciclos de todos los sistemas de la tierra. Los impactos negativos de estos cambios en la sociedad, han provocado que las instituciones de gobiernos a nivel mundial se interesen en el tema, en el entendido, de que la información acerca de su comportamiento es necesaria ante una sociedad, cuya vulnerabilidad depende de decisiones adecuadas basadas en la investigación científica (IPCC, 2007).

En forma general, se sabe que el clima depende de varios factores que interactúan de forma compleja entre el mar y los continentes a diversas escalas de tiempo y espacio, por lo que, el estudio de las oscilaciones atmosféricas o teleconexiones que impactan grandes y apartadas regiones del planeta, son de gran ayuda para entender a nivel espacial y temporal el comportamiento del clima global (Ruiz, 2008).

No obstante, uno de los principales problemas al estudiar el clima es la base de datos instrumentales con periodos cortos de tiempo, cuando naturalmente un mejor conocimiento del clima se fundamenta en periodos más extensos de tiempo, donde la variabilidad climática se puede apreciar de mejor manera (Franklin *et al.*, 1990; Carpenter, 1998). Ante esto, la utilización de datos “*proxy*” o estimativos naturales de la variabilidad climática, hablando específicamente de anillos de árboles, han resultado ser de gran utilidad para el estudio del comportamiento espacio-temporal de fenómenos atmosféricos (Stahle *et al.*, 2011).

Así, en México, los estudios dendrocronológicos surgen ante la necesidad de entender el comportamiento de variables climáticas y fenómenos atmosféricos, dentro de un país, que refleja a través de su diversidad una gran amplitud climática (Villanueva *et al.*, 2004).

En términos generales, el clima de México está regido por El Monzón, el cual aunado con la Zona Inter-Tropical de Convergencia definen un régimen de lluvias de tipo monzónico, caracterizado por abundantes lluvias en el verano y escasas en el invierno, en donde, las principales teleconexiones que influyen en este régimen monzónico son ENOS y PDO, cuya intensidad y expresión varía de una región a otra (Magaña *et al.*, 2003; Pavia y Reyes, 2006). Por lo que la definición de la influencia de ambos se vuelve de particular interés, dado que estudios al respecto, indican que eventos extremos de gran magnitud como el del año 1998, podrían ocurrir, si ambos fenómenos coinciden en sus respectivas fases (Gershunov y Barnett, 1998) o bien, la interacción entre ambas, sean la posible causa de sequías prolongadas, por lo que la definición de las regiones en donde impactan cada uno de estos fenómenos, se vuelve necesario determinar (Villanueva *et al.*, 2008).

De acuerdo con Magaña *et al.* (1997) para llevar a cabo un buen análisis del clima, es preciso conocer de la interacción atmósfera-océano-orografía y suelo, poniendo de manifiesto, que el estudio del clima en México es todo un reto, ya que su ubicación geográfica, le permite presentar climas que van desde los cálidos hasta los fríos, con una alta variación topográfica, presencia de mares y diferentes usos del suelo.

Éstas peculiaridades específicas debidas a la ubicación, se traducen en una alta diversidad, que de alguna manera representa una ventaja, tomando en cuenta el material dendrocronológico disponible para su análisis climático; un ejemplo de ello es la diversidad que presenta el género *Pinus*, del cual México cuenta con el 50% de las especies presentes en todo el mundo y cuyo potencial dendroclimático ha sido reportado por varios autores (Gutiérrez, 2004; Villanueva *et al.*, 2011; Santillán, 2008). No obstante, en la búsqueda de otros géneros como el *Quercus*, el panorama se amplía aún más, dado que de 500 especies que hay en todo el mundo, de 130 a 150, se encuentran presentes en México (Romero *et*

al., 2002; Luna *et al.*, 2003), en donde su potencial dendrocronológico y respuesta climática aún no han sido del todo estudiados.

Para el Noreste de México, la mayoría de los estudio dendroclimáticos se han concentrado en los extremos de la Sierra Madre Oriental, utilizando especies representativas de cada porción; un ejemplo de ello son los estudios realizados con *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus hartwegii* en las partes altas de este sistema montañoso (Cerano *et al.*, 2011ab; Villanueva *et al.*, 2015) así como *Pinus cembroides*, especie típica de partes bajas (Villanueva *et al.*, 2009a), estando sin estudios la parte media de la sierra, donde los bosques de pino-encino se separan del matorral tamaulipeco y el clima se divide entre un cálido sub-húmedo y el templado.

Del mismo modo, la mayoría de los estudios dendrocronológicos se han realizado con gimnospermas, que aunque sus crecimientos presentan una amplia sensibilidad al clima; la utilización de las angiospermas, constituye todo un potencial por descubrir, dado que el uso de muchos de sus géneros, caso específico el *Quercus*, ha sido exitosamente utilizado para el entendimiento de climas complejos de tipo mediterráneo (Pérez *et al.*, 1995; Rozas 2001 y 2004).

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo se llevó a cabo en la parte noreste de México, sobre la Sierra Madre Oriental principal fuente de agua para la ciudad de Monterrey, una de las ciudades más pobladas de México y cuya demanda de agua es cada vez mayor, un ejemplo de ello es la serie de presas construidas a través del tiempo como La Boca en 1956, Cerro Prieto en 1984 y El cuchillo en 1999. Un problema adicional de esta metrópoli es que se ubica en una zona donde la intensidad, duración y el área afectada por las sequías va en aumento (CONAGUA, 2014).

No obstante, estudios en el norte de México indican que las precipitaciones de invierno primavera esta influidas por el ENOS, las cuales denotan sequías cíclicas cada 50 a 100 años (Cerano *et al.*, 2011b), considerándose uno de los principales fenómenos climáticos que han llegado a tener un impacto a nivel demográfico en México (Florescano, 1995; Acuña Soto *et al.*, 2002), pues tan sólo en el periodo de 1980 a 2003, los daños económicos directos fueron de 479 millones de dólares (Manson *et al.*, 2009); sin dejar de mencionar los impactos en la agricultura de temporal, que depende de las lluvias, y en las que se sustenta mucho de la producción de granos básicos (Conde *et al.*, 2004).

Por lo que se vuelve necesario conocer las tendencias en la frecuencia de sequías, las cuales posiblemente tengan la influencia de fenómenos atmosféricos. La información derivada de estos estudios es de relevancia para una adecuada planeación de los recursos hídricos producidos en este sistema montañoso.

En el presente estudio, se aporta información de interés para el diseño de programas de mitigación del impacto del cambio climático, dado que se reconstruye un siglo y medio de precipitación fundamentado en los crecimientos de *P. pseudostrobus*, donde se denotan tendencias climáticas y asociaciones de fenómenos atmosféricos, entre los que se encuentra la PDO y ENOS.

Una segunda aportación en este capítulo es el estudio del potencial dendrocronológico y respuesta climática de la especie *Q. canbyi*, como candidato potencial a ser utilizado en un futuro en estudios dendrocronológicos en México.

1.4 OBJETIVOS

Conocer la respuesta climática de los crecimientos de *Q. canbyi* Trel. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. al clima.

Objetivos específicos

- Datar o definir el año exacto en el cual se desarrollan los crecimientos de *P. pseudostrabus*.
- Cotejar los crecimientos del *P. pseudostrabus* y *Q. canbyi* buscando similitudes, tomando en cuenta que son especies coexistentes bajo una misma influencia climática.
- Analizar el potencial dendrocronológico a través de criterios específicos en ambas especies y determinar en sí el potencial de *Q. canbyi*
- Asociar la precipitación con los diferentes parámetros dendrocronológicos (madera temprana, madera tardía y anillo total) para cada especie y definir el periodo de influencia.
- Reconstruir el clima del pasado con base a los crecimientos de la cronología de *P. pseudostrabus*.
- Asociar la precipitación reconstruida con la precipitación para todo México y determinar la influencia de los fenómenos atmosféricos como El Niño Oscilación del Sur y la Oscilación Decadal del Pacífico sobre los crecimientos del *P. pseudostrabus*.

Hipótesis

Se plantearon dos hipótesis para el *Pinus pseudostrabus* Lindl.:

- a) Los crecimientos del *P. pseudostrabus* Lindl. reproducen de manera fiable la variabilidad climática de la región.

- b) Los fenómenos atmosféricos Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y la Oscilación del Sur El Niño ENOS, están asociados a los crecimientos de *P. pseudostrabus*.

De igual manera, para la especie *Quercus canbyi* Trel. se plantearon dos hipótesis:

- a) La especie *Q. canbyi* presenta potencial dendrocronológico.

- b) Las bandas de crecimiento (madera temprana, tardía, anillo total) responde a la variación del clima.

1.5 ANTECEDENTES

La Dendrocronología en México

El nacimiento de la Dendrocronología tiene su origen en la necesidad de entender el comportamiento del clima, así como de sucesos ecológicos que ocurren a largo plazo en los ecosistemas forestales (Fritts, 1976; Kitzberger *et al.*, (2000). En este sentido, los crecimientos anuales de especies arbóreas han sido utilizadas para evaluar la dinámica sucesional, la autoecología de especies forestales, análisis de disturbios antropogénicos y clima en general (Silvertown, 1987; Worbes, 1999; Stahle *et al.*, 2011).

Los estudios dendrocronológicos inician al momento de determinar, si las especies presentan ciertas propiedades que permitan su uso como datos “*proxí*” para análisis del clima del pasado. La capacidad que tienen los árboles de producir anillos anuales debidos al efecto del clima se le denomina potencial dendrocronológico. En general, la mayoría de las especies a analizar en este tipo de estudios van más allá del acervo de datos climáticos procedentes de estaciones meteorológicas, cumpliendo las expectativas de obtener información climática, en periodos de tiempo donde los registros climáticos son inexistentes(Fritts, 1976).

Los estudios dendroclimáticos en México son recientes y la información existente para las últimas dos décadas ha sido generada principalmente por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el cual se han desarrollado más de 170 series de tiempo dendrocronológicas, principalmente con los géneros *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Taxodium* muchas de las cuales se han utilizadas para generar reconstrucciones de precipitación y el análisis del impacto de fenómenos de circulación general (Villanueva *et al.*, 2007a, 2008, 2009a, 2011).

La Oscilación Decadal del Pacífico y el fenómeno de El Niño

En el norte de México se presenta un régimen de lluvias de tipo monzónico, caracterizado por la presencia de lluvias en los meses de verano (junio a septiembre) con un periodo relativamente seco en el invierno (Magaña *et al.*, 2003); situación que tiene su origen en un sistema de circulación atmosférica que se desarrolla en el verano, originado por la formación de centros de baja presión en Sonora y Arizona, que jala la humedad procedente del Golfo de California hacia la Serra Madre Occidental en México, que se traduce en un proceso de convección, que induce la lluvias en el norte del país (Douglas *et al.*, 1993; Reyes *et al.*, 1994). Otros sistemas meteorológicos que también tiene influencia climática en el verano de México, son La Zona Inter-tropical de Convergencia, las ondas del este, ciclones tropicales, El Niño Oscilación del Sur y Oscilaciones de baja frecuencia o bien de orden decadal (Núñez, 2013).

Los fenómenos climáticos más importantes que presentan una relación océano-atmosfera son El Niño-Oscilación del Sur (ENOS en Español y ENSO, en Inglés) y la Oscilación Decanal del Pacífico (PDO). Éstos en general presentan un impacto significativo para el norte de América y por ende en México, particularmente en la península de Baja California (Biondi, 2001; Pavia y Reyes, 2006).

En la actualidad, se sabe que ENOS es un fenómeno de impacto mundial, el cual se desarrolla a escala interanual, caracterizado por la aparición de fuertes anomalías positivas en su fase cálida (El Niño) o negativas en su fase fría (La Niña), afectando la temperatura superficial del mar en regiones determinadas dentro de la cuenca del Pacífico tropical y costa sudamericana, las cuales se prolongan por varios meses consecutivos. Las anomalías positivas se asocian al hundimiento de la termoclina y reducción de fitoplancton en la zona costera (Magaña 2003; Cavazos y Hastenrath., 1990).

La PDO es una fluctuación en la variabilidad climática de largo periodo, de orden decadal, que influye directamente en la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte (Hare y Mantua, 2002); así como en el sureste de Norte América y por ello, el norte de México (Gutzler *et al.*, 2002).

La diferencia entre ambos fenómenos radica, en que El Niño oscila entre 1, 2 y 4 años, la PDO en un orden de 20 a 30 años. Así mismo, ENOS influye en el clima tropical y la PDO impacta el Pacífico norte. Sin embargo, las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano suceden cuando la PDO y ENOS están en fase, es decir, cuando las fases cálidas de la PDO coincidan con eventos fuertes de El Niño y la fases frías coincidan con eventos La Niña; lo que origina eventos extremos de magnitud, similares a los del año 1998 (Méndez *et al.*, 2009).

Estudios al respecto, sugieren que el clima en América del Norte, concretamente al este de México se ve influenciado por variaciones en la temperatura de la superficie del mar (Barlow *et al.*, 2001). Desde este punto de vista, diversos estudios se han realizado con la finalidad de encontrar una influencia en las precipitaciones de ciertas zonas asociados con ambos fenómenos. Así, estudios dendroclimáticos y análisis con estaciones meteorológicas indican, que la precipitación invernal en el norte de México, tiene una influencia significativa de ENOS (Cleaveland *et al.*, 2003; Méndez *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2011).

Importancia y generalidades del *P. pseudostrabus* en México

La especie *P. pseudostrabus* se distribuye ampliamente desde el sur de Guatemala, Honduras y México. Específicamente para el territorio mexicano, la

especie se distribuye en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental (Perry, 1991). Está adaptado a climas desde el templado-frío a templado-cálido, con elevaciones que van de 1900 a 3000 msnm (Farjon y Styles, 1997); se desarrolla bien en suelos volcánicos profundos, con precipitación anual cercana a 1500 mm y temperatura anual de 9 a 40 °C, con presencia de heladas frecuentes en diciembre y enero (López, 2002; Perry, 1991).

En México el *P. pseudostrabus* es una especie de importancia económica, ya que presenta un crecimiento rápido en sus etapas tempranas, generalmente exhibe fustes largos y rectos, del cual se obtiene madera de buena calidad, es una especie usada para fabricar triplay, chapa, pulpa, papel, celulosa y los sobrantes son usados para la fabricación de rejas para empaque, es buen productor de resina, por lo que se utiliza en la industria, específicamente para la fabricación de brea y aguarrás, aunque también se utiliza en el ramo farmacéutico (Eguiluz, 1978; Sáenz *et al.*, 2011). Cualidades que lo hacen ser una de las especies de mayor explotación en México (Ramírez *et al.*, 2005).

El antecedente de que el *P. pseudostrabus* es una especie sensible a la variación ambiental, se puede ver reflejado en su gran distribución a lo largo del país y su respuesta a factores ambientales en cuanto a su morfología (Márquez y Mendizábal, 2004). Sin embargo, ha sido poco utilizado en estudios dendrocronológicos, siendo Naylor (1971) quien la estudió por primera vez en el estado de Oaxaca y recientemente Marlés *et al.* (2014) en Michoacán.

Importancia del género *Quercus* y particularidades del *Q. canbyi*

El género *Quercus* presenta una distribución mundial sobre las zonas templadas del hemisferio norte, siendo el género más rico en especies dentro de la familia Fagácea; está dividido en varios subgéneros, siendo los de mayor importancia en América el *Lepidobalanus* denominados encinos blancos y los *Erythrobalanus* llamados encinos rojos o negros, en general, su desarrollo es lento, por lo que se considera de larga vida (Zavala y García, 1996). Actualmente estos presentan aproximadamente 500 especies en todo el mundo (Romero *et al.*, 2002), de las cuales México posee entre 135 a 150 especies (Luna *et al.*, 2003).

De acuerdo con Manos *et al.* (1999), se calcula que 109 especies son endémicas de México, dato por el cual, el territorio mexicano es considerado uno de los centros de riqueza y evolución de éste género.

En México, el número de especies de *Quercus* varía de acuerdo a su ubicación geográfica. Así, los encinos rojos parecen ser más abundantes en la región occidental, en el sur y sureste (condiciones húmedas); en tanto que los encinos blancos, tienden a ser más abundantes en regiones más secas del norte del país (Zavala, 1998). Específicamente para México el estado con mayor número de especies registradas es Oaxaca con 48 de ellas; el segundo es Nuevo León con 47, Jalisco con 45, Chihuahua con 40 y Veracruz con 38 (Valencia, 2004).

En el territorio mexicano, la madera de encino ocupa el segundo lugar de aprovechamiento nacional por año (578,687 m³), mientras que la madera de pino, ocupa el primer lugar (5, 783,299 m³ por año). Los principales usos que se le da al género *Quercus* son celulosa, escuadría, combustible (leña y carbón), postes, pilotes y morillos, durmientes, chapa y madera contrachapada (De la Paz *et al.*, 2000).

En cuanto al aprovechamiento de los encinos, los rojos se utilizan más que los blancos, dado que tienen una mayor distribución, además los encinos blancos tienen mayor densidad, dureza, mayor cantidad de cristales y tálides en sus lúmenes, sus rayos multiseriados son más anchos y altos, por lo que son susceptibles a los cambios dimensionales, propiedad que les hace tener problemas en el secado y en el maquilado (De la Paz *et al.*, 2000). Éstos presentan una densidad de 0.719 – 0.991 g/cm³. Los anillos anuales suelen ser visibles, con una albura de tonos claros, en tanto que el duramen es oscuro y resistente a la pudrición (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979).

Richter y Dallwitz (2000) y Schweingruber (1993) indican que el roble presenta cambios marcados entre la madera temprana y tardía. La madera temprana está formada por vasos grandes que forman bandas tangenciales. En la madera tardía se observa una matriz de fibras con paredes de grosor medio, que se intercalan con grupos vasculares, está formada por vasos de parénquima metratraqueal y traqueidas vasicéntricas. Por otra parte, presenta parénquima apotraqueal en la madera tardía, difuso o difusos en agregados, generalmente en líneas tangenciales entre los radios. El sistema radial está constituido por radios uniseriados homogéneos y multiseriados heterogéneos, normalmente con más de 30 células.

Los estudios sobre crecimientos en especies pertenecientes al género *Quercus* para México, se han enfocado principalmente en la descripción anatómica de los mismos (De La Paz *et al.*, 1998, 2008). Sin embargo, éstos han sido ampliamente utilizados en Europa, tanto para análisis de tipo dendroclimáticos, como en temas específicos de ecología de especies y bosques (Rozas, 2001; Rozas, 2004; Gricar *et al.*, 2013).

El *Q. canbyi* se ubica dentro del subgénero *Lobatae*, que lo sitúa dentro de los encinos rojos y negros, se distribuye sobre la Sierra Madre Oriental al noreste de México, específicamente en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas;

dentro del estado de Nuevo León, algunos trabajos lo confinan generalmente en bosques caducifolios o subcaducifolios (Nixon, 1993; Marroquín *et al.*, 1997). Salinas, (2012) lo reporta en los tipos de vegetación Bosque mixto de *Quercus* - *Pinus* y el Encinar Arbustivo o Chaparral. En cuanto a su respuesta al clima, estudios sobre su potencial hídrico y osmótico revelan la capacidad filológica para superar periodos de sequía, logrando adaptarse osmóticamente ante cambios drásticos en ambientes dinámicos (Himmelsbach, 2009).

1.6 MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el centro-sureste del estado de Nuevo León, específicamente en los municipios de Galena e Iturbide, en donde una considerable parte de las muestras se ubicaron dentro del Campus Ecológico Iturbide perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

El área en general se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, sub-provincia Gran Sierra Plegada; la geología del área está compuesta por una serie de capas de roca sedimentaria surgida del lecho marino, durante el cretácico superior (Rzedowski, 1978). La edafología pertenece a un suelo de tipo Litosol caracterizado por suelos someros, bajo el cual subyace roca dura continua (Clasificación FAO-UNESCO, 1998). Recientes estudios en específico ubican al Bosque Escuela dentro del tipo de vegetación denominado Bosque Mixto de *Quercus* y *Pinus* (Salinas, 2012). De acuerdo con el sistema climático de Köppen, modificado para la República Mexicana por García en (1973), el clima en esta región se caracteriza como semi-seco y semi-cálido. El área presenta lluvias de verano, así como un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2 con inviernos frescos. La precipitación media anual es de 629 mm, con una estación interestival seca, las lluvias en general presentan una gran fluctuación, tendiendo a ser extremas, los meses más húmedos se presentan de mayo a octubre; respecto a la temperatura, los meses más cálidos son junio, julio y agosto, presentando de 20 a 21°C en promedio; el mes más frío es enero, con una temperatura media de 12°C, el promedio anual es 17°C y las heladas pueden ocurrir en el período de diciembre a marzo.

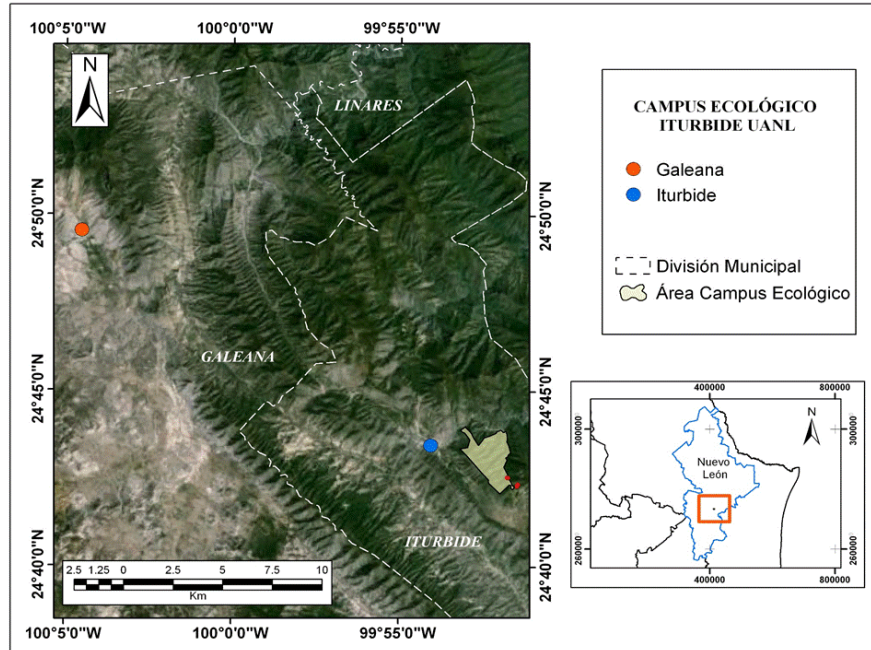


Figura 1. Ubicación de las áreas de estudio

Trabajo de campo

Tipo de muestreo y obtención de muestras

El muestreo dendrocronológico fue selectivo, por lo que los especímenes muestreados se eligieron de acuerdo a características que indican cierta longevidad (Villanueva *et al.*, 2009b). Para el caso específico del pino, estas indicaciones se tomaron en cuenta, no así para el encino, dado que la mayoría del arbolado no presentaba algún indicativo de longevidad. La obtención de los núcleos de crecimiento se realizó con un taladro Pressler, la extracción se realizó a una altura de 1.30 m., Para el caso del encino, se tomaron rodajas que fueron obtenidas en forma de “cuña”, aunque también se tomaron algunas virutas con taladro (Figura 2 y 3).



Figura 2. Prototipo de árboles muestreados para el *Q. canbyi*.



Figura 3. Prototipo de árboles muestreados para el *P. pseudostrobus*.

Trabajo de Laboratorio

Preparación de las muestras obtenidas en campo

Con la finalidad de mantener su integridad, los crecimientos o virutas extraídas fueron procesados de acuerdo a procedimientos estándar (Stokes y Smilley, 1968). Cada muestra fue sujeta a una moldura de madera utilizando pegamento, posteriormente éstas fueron secadas a temperatura ambiente, obtenido así una sola pieza, en seguida, se procedió a resaltar los crecimientos utilizando lijas en grados de 100 a 400. La finalidad fue resaltar la visibilidad de los anillos de crecimiento (Figura 4).

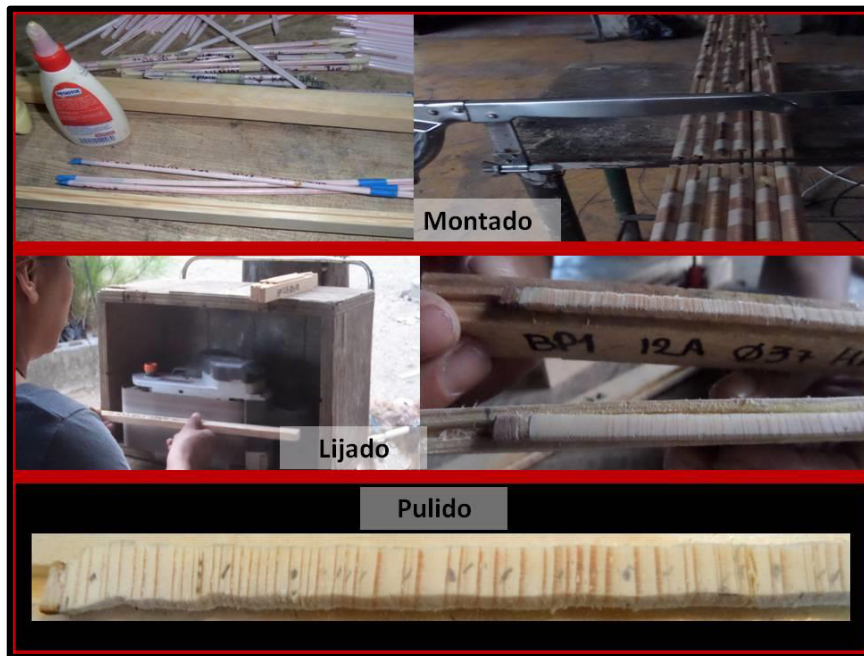


Figura 4. Procesamiento de muestras de *Pinus pseudostrobus*.

Las primeras muestras a procesar fueron las de pino, la decisión de trabajar primero con esta especie fue encontrar un patrón de crecimiento, que en teoría sería muy similar a la del encino, dado que es común que ambas especies cohabiten en el área de estudio.

Anillos del *P. pseudostrobus* y *Q. canbyi*

En el caso particular del encino, se consultó información sobre la estructura atómica de la madera de *Quercus* desde este punto de vista fueron analizados trabajos realizados en cuya investigación detallan en forma general, las características a nivel macroscópica y microscópica de la madera de los robles de México (De La Paz *et al.*, 1998, 2008). Por otra parte, también se analizaron trabajos dendrocronológicos enfocados al género *Quercus* fuera del país (Gricar *et al.*, 2013; Michelot *et al.*, 2010). De acuerdo a esta revisión, se permitió reconocer los anillos de la especie en estudio (Figura 5 y 6).

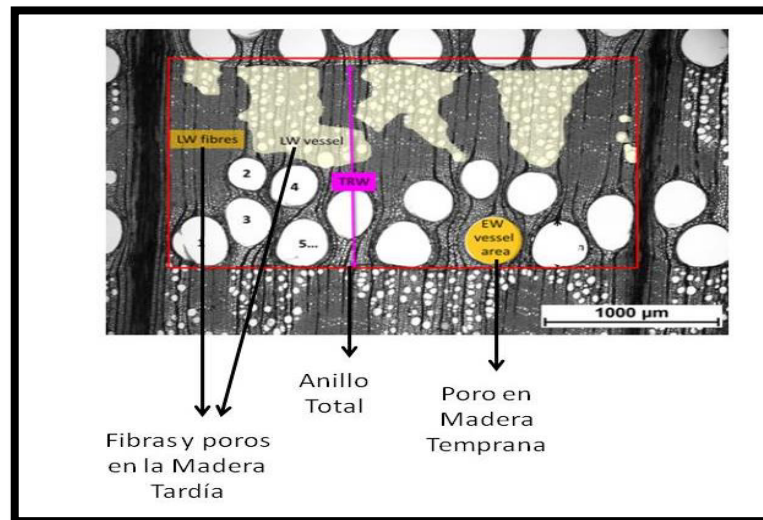


Figura 5. Anillos anuales de *Q. robur* Gricar *et al.* (2013).

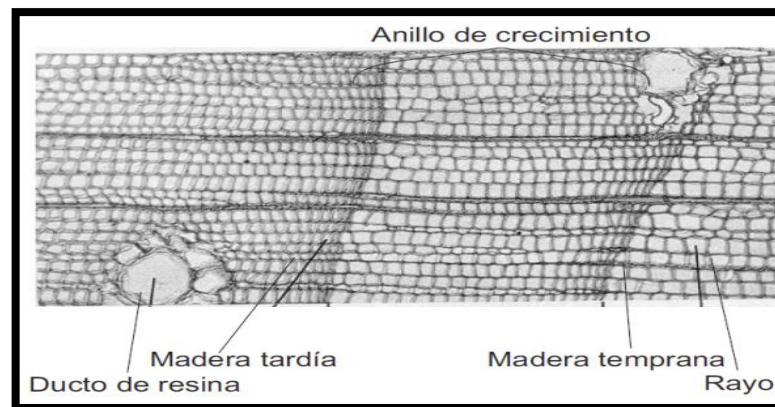


Figura 6. Anillos anuales de *Pinus sp.* Stokes y Smilley (1996).

Para trabajar directamente sobre los crecimientos de *Q. canbyi*, se utilizaron las rodajas de 4 árboles; para ello, se realizó una rutina de trabajo que consistió en el seccionado de las mismas, éste seccionado se efectuó capturando la médula y la corteza a través de un corte transversal. Las secciones se empotraron en un micrótopo para obtener cortes finos. Éstos se fijaron con parafina en tiras de acetato, permitieron la visualización de los anillos bajo un estereoscopio, logrando las primeras comparaciones entre los crecimientos del *Quercus canbyi*.

Sin embargo, el trabajar con pequeños cortes presentó una gran desventaja, esto es, no se analizaba el comportamiento del anillo en su totalidad, creando cierta incertidumbre ante una especie poco analizada, por lo que se optó por trabajar directamente con rodajas, implicando trabajar a prueba y error sobre las técnicas de lijado en el encino; aunque de igual manera, se trabajó con algunas de las muestras extraídas con taladro (Figura 7 y Figura 8).

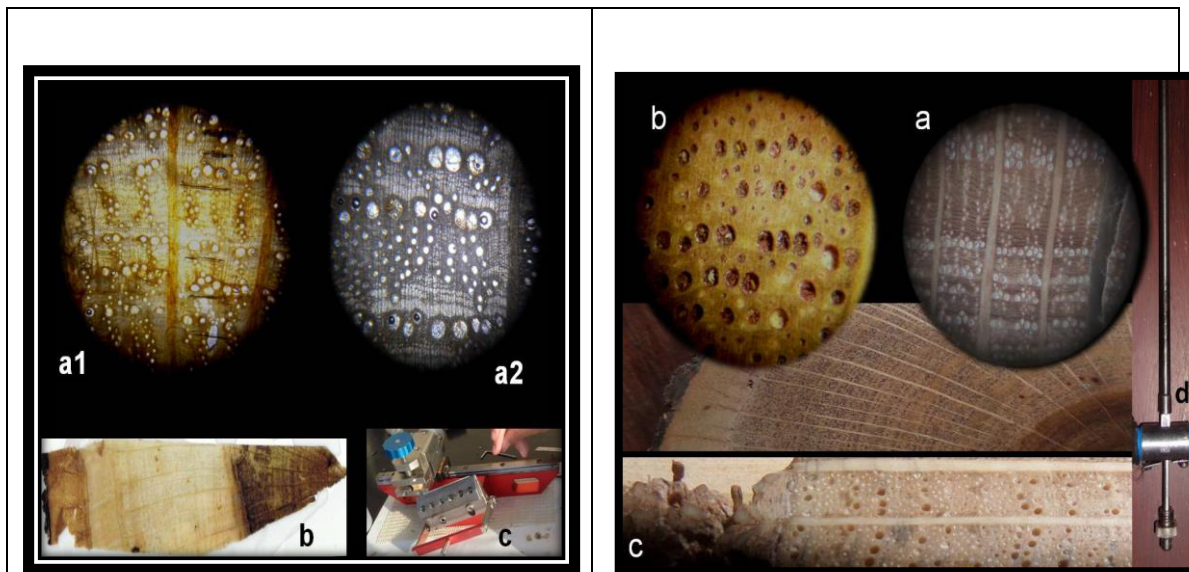


Figura 7. Anillos vistos a través de cortes realizados con micrómetro.

a1 y a2 anillos visibles en cortes de anillos realizado con micrómetros, b=Corte de médula a corteza y c=Micrómetro.

Figura 8. Anillos lijados extraídos con motosierra y taladro.

a=Anillos visibles con lijado, b=Rodaja lijada, c=Sección de crecimiento obtenida con taladro, d=Taladro de Pressler.

Sincronía de anillos de *P. pseudostrobus* y *Q. canbyi*

El prefchado es uno de los principios de la dendrocronología que consiste en comparar los crecimientos de muestras procedentes de una misma área, identificando un patrón de crecimiento. La identificación de éste, surge a través de las comparaciones entre el total de los árboles muestreados, permitiendo detectar anillos falsos y ausentes. Su debida aplicación permite un control experimental, que determina el año en que fue desarrollado cada anillo (Fritts, 1976; Swetnam *et al.*, 1985).

La sincronía de los crecimientos primero se realizó entre muestras de un mismo individuo y posteriormente se comparó con otros árboles.

Después de definir este código en los anillos de pino, se procedió a realizar un pre-datado de los crecimientos, definiendo así el año en el cual posiblemente se desarrolló cada crecimiento anual (Figura 9).

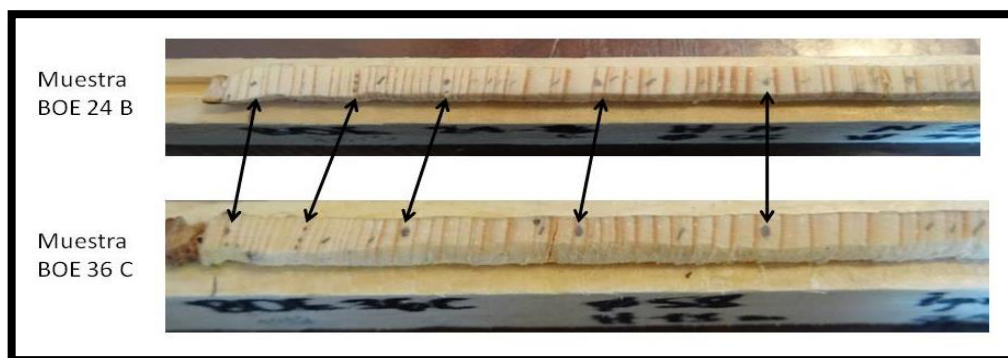


Figura 9. Sincronía entre los anillos de *P. pseudostrobus*.

Para el caso del *Q. canbyi* ésta sincronía se realizó en principio entre individuos de la misma especie y posteriormente con el pino (Figura 10).

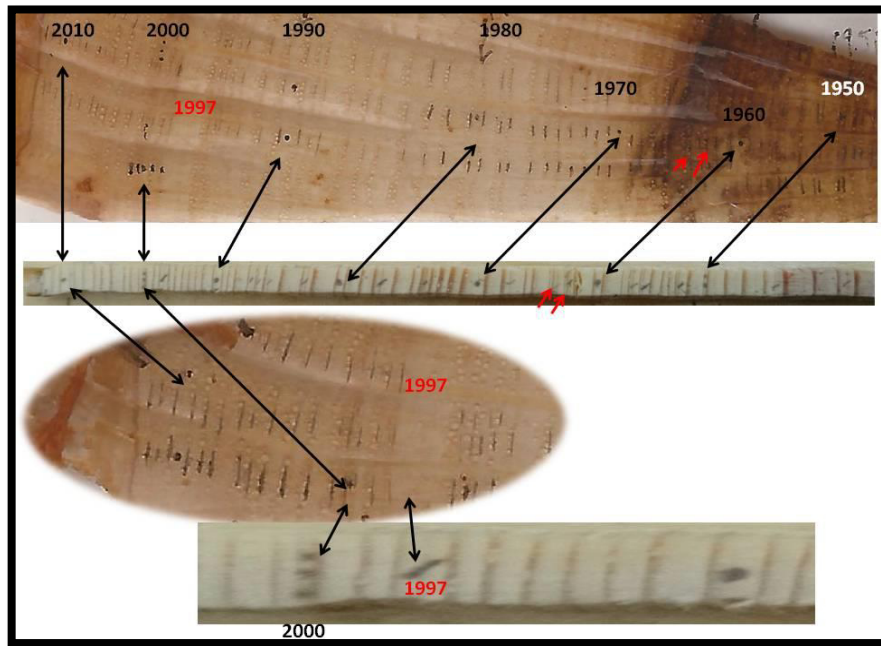


Figura 10. Sincronía entre anillos del pino y encino.

Medición y datado en *P. pseudostrabus* y *Q. canbyi*

Los parámetros que generalmente se toman en cuenta en estudios dendrocronológicos relacionados con clima son la madera temprana, la madera tardía y el anillo total; cada una de estas bandas son tomados en cuenta para la asociación con las variables climáticas, siempre y cuando la cantidad y la variación de estas bandas sea evidente en proporción, aparte de que éstas lleguen a ser significativas al correlacionarlas con variables climáticas. Un ejemplo de esto es la utilización de *Pseudotsuga menziesii*, la cual presenta una gran proporción de madera temprana, que resulta ser significativa al correlacionarla con precipitación (Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2008); en tanto, que otros trabajos realizados en especies que no presentan una gran proporción de madera tardía o temprana, se enfocan a la utilización del anillo total, como el caso de especies pertenecientes a los pinos piñoneros (Santillán, 2008; Constante *et al.*, 2009).

Una vez sincronizados y debidamente pre-datados los crecimientos, se procedió a medir cada anillo. Esto es, para cada una de las dos especies se midió madera temprana, tardía y anillo total (Figura 11).

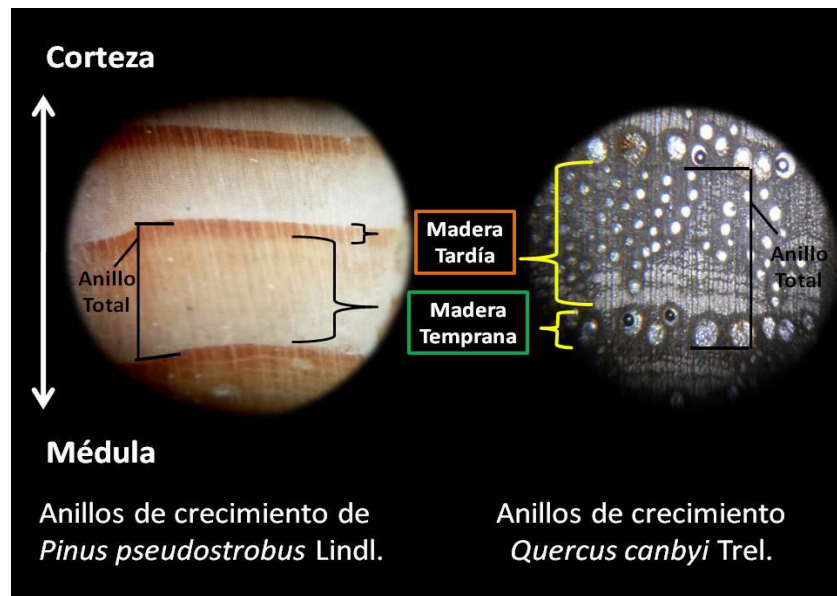


Figura 11. Definición de los límites de madera temprana, tardía y anillo total en *P. pseudostrobus* y *Q. canbyi*.

El proceso de medición se realizó utilizando un micrómetro de precisión al 0.001 mm, equipo que consta de una platina de fase deslizante marca Velmex conectada a una computadora (Robinson y Evans, 1980). El programa para medición usado fue el MEASUREMENT-J2X para Windows, con licencia para Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Este proceso de medición consistió en medir cada banda de crecimiento dentro de un anillo, esto es, primero se midió la madera temprana y luego la tardía; el resultado del anillo total fue la suma de las dos franjas.

De acuerdo al programa utilizado para la medición de anillos de crecimiento, los archivos de salida del programa de medición se obtienen a través de un formato denominando "Tucson", de tipo decadal, que presenta las mediciones ordenadas en décadas para cada serie de crecimiento. Estos archivos fueron empleados en

el programa COFECHA, incluida en la librería de DPL Programas (Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona por sus sigla en Inglés) (Holmes, 1983). El programa generó información que permitió evaluar la calidad del pre-fecha, al correlacionar cada serie individual con una serie maestra basada en la media de la anchura de cada anillo perteneciente a todas las series individuales, correlacionando en periodos de 50 años con traslapes de 25.

COFECHA arrojó una matriz de correlación entre todas las muestras involucradas, permitiendo detectar aquellas cuya correlación o asociación con el resto fuera ≥ 0.35 , en cuyo caso éstas no fueron significativas, procediendo a verificar su datado, corrigiendo de forma visual las series con problemas. La realización de éste procedimiento permitió una buena calidad del fechado, finalizando con la etapa del datado.

Generación de las cronologías y evaluación

Estandarización y generación de cronologías

Uno de los principales requerimientos para trabajar con anillos de árboles y datos de clima, es sin duda la transformación o eliminación del ruido no climático dentro de las mismas, para ello es importante explicar las diferentes variables que influyen en un anillo de crecimiento anual.

Cook, E. R. (1987) expone cinco principales influencias en la determinación de la anchura de un anillo de árbol, expresadas en la siguiente ecuación.

$$R_t = A_t + C_t + D_1t + D_2t + E_t.$$

En donde **R_t** es el ancho del anillo de un árbol observado en el año (t); **A_t** hace referencia a la tendencia en un decrecimiento exponencial, conforme el árbol es mayor; **C_t** representa la influencia en el anillo de crecimiento atribuida a todas las variables climática ambientales, las más importantes a mencionar son la

precipitación y temperatura, mismas que determinan la humedad disponible en suelo, la demanda de evaporación y la fenología árbol; **D1t** representa la influencia que tienen en el crecimiento respecto a los pulsos generados por disturbios endógenos o bien disturbios dentro del bosque, un ejemplo de esto es la disminución en el crecimiento ocasionada por competencia entre individuos; **D2t** que es la influencia generada por disturbios exógenos, ésta huella en los anillos de crecimiento es el resultado de disturbios como fuego, viento, insectos, enfermedades, agricultura y contaminación. **&** es un indicador binario asociado con D1 y D2 de presencia ($\& = 1$) ó ausencia ($\& = 0$) de disturbios en las series, es decir, la aleatoriedad en la presencia o ausencia de disturbios endógenos o exógenos; **Et** es la variación no explicada por los otros factores, que se podría deber a diferencias en fertilidad de suelo, dentro de los sitios, gradientes en las características del suelo o bien errores en la medición.

En el presente trabajo se extrajo la señal climática de los crecimientos de pino y encino, minimizando los efectos biológicos (disminución del crecimiento de acuerdo a la edad), la varianza dada por el tipo de sitio (alta y baja productividad), así como otros cambios dentro de los crecimientos no relacionados con el clima (Fritts, 1976; Cook y Kairiustkistis, 1990).

El programa utilizado para minimizar la influencia biológica en los crecimientos fue la Estandarización Autorregresiva (ARSTAN por sus siglas en inglés) incluido en la librería de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona. En general, éste programa ajusta a cada serie, una curva exponencial negativa ó alguna otra de mejor ajuste, para eliminar la varianza debido a factores biológicos (Cook y Holmes, 1984; Delgado *et al.*, 2000).

El modelo de una exponencial negativa es $yt = a e^{-bt} + k$

Donde:

yt= Al crecimiento esperado para un año dado (t); **a, b y k** = Coeficientes de regresión, que varían de serie a serie, de acuerdo a la pendiente de la curva en el dato a ajustar: **t**= Tiempo que varía de 1 a n; en tanto que **e**= Base de logaritmos naturales.

De esta manera cada serie por separado creó un índice, al dividir el valor de la anchura del anillo medido con el micrómetro, entre el crecimiento esperado para el año “t”, dado por el modelo exponencial negativo, o bien el valor de la curva o recta que aplicó el programa a cada serie de medición (Figura 12).

La ecuación para estandarizar es:

$$I = W / Y$$

Donde:

I = Índice de crecimiento estandarizado.

W = Ancho del anillo medido con el micrómetro.

Y = Ancho de anillo obtenido con la ecuación exponencial negativa.

De esta manera, para cada muestra se generó un índice para cada anillo de crecimiento, de acuerdo al ajuste realizado al aplicar rectas de regresión o curvas exponenciales (Figura 12).

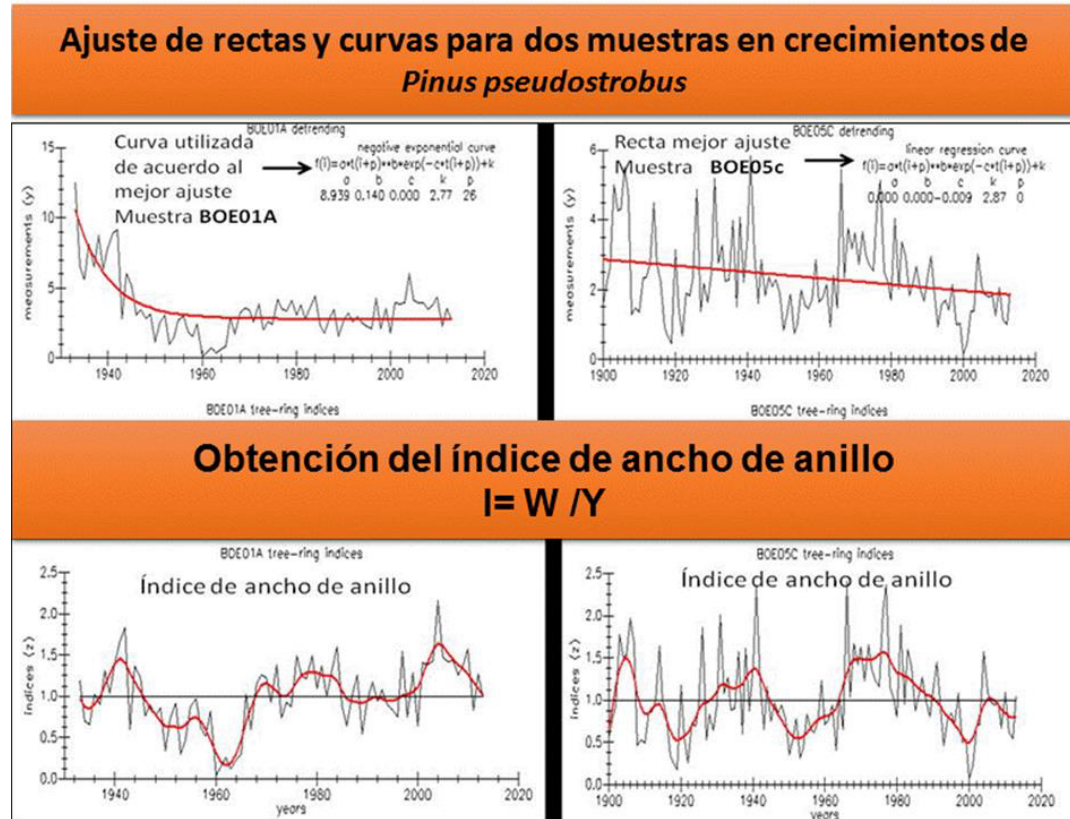


Figura 12. Ejemplo de estandarización de la serie BOE01A.

La estandarización permitió obtener una media en los crecimientos de 1.0 y una varianza estable, de la parte interna y externa de cada serie de crecimiento, pudiendo de esta manera, comparar árboles jóvenes y viejos (Cook y Holmes, 1984). Las nuevas series de datos estandarizados para cada especie, fueron promediadas generando de esta manera una cronología maestra (Fritts, 1976) (Figura 13).

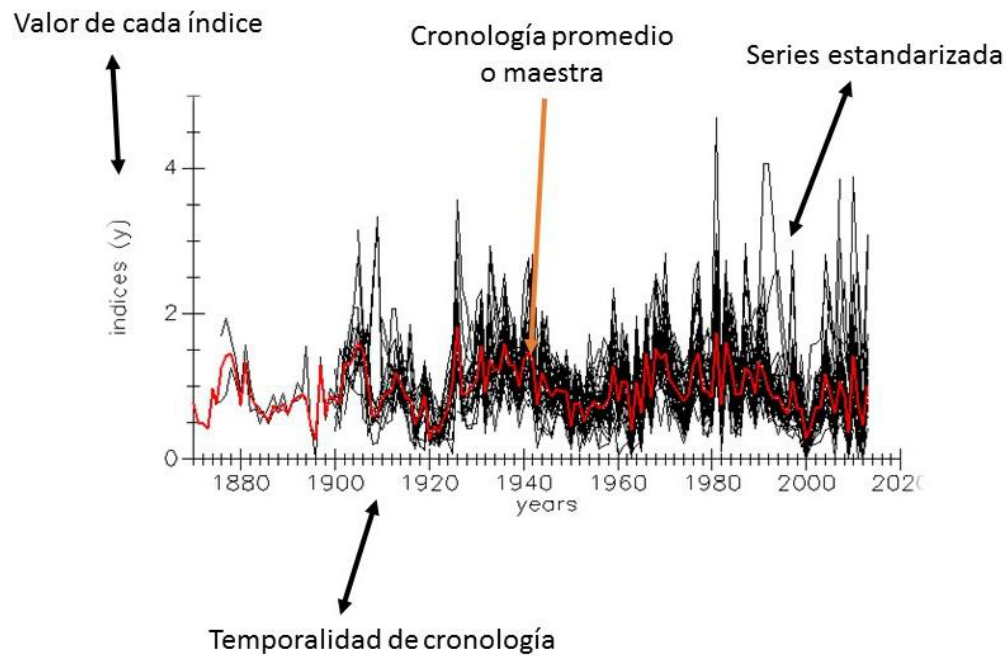


Figura 13. Elementos dentro de una gráfica que representa los componentes de una cronología.

El programa generó tres tipos de cronologías, la cronología estándar, la cronología residual y la cronología ARSTAN, cada una de ellas difiere en el grado de ajuste (Delgado, 2000).

El empleo de las dos primeras se define de acuerdo a la asociación con los datos climáticos. Para el presente estudio, se utilizó la cronología estándar, la cual se ajusta a cada serie individual una curva que simula el crecimiento biológico y posteriormente es promediada estadísticamente. Las cronologías de madera temprana, tardía y anillo total se crearon para ambas especies.

Criterios de evaluación de las cronologías de *Pinus* y *Quercus*

En esta parte, se describen los parámetros que fueron tomados en cuenta para evaluar la potencialidad de los crecimientos de las especies en estudio. La descripción de los mismos y las ecuaciones dadas para cada una, en general son tomadas de las obras de Fritts (1976) y Grissino-Mayer (2001).

Es importante mencionar que la siguiente evaluación se llevó a cabo sobre el anillo total de cada cronología de ambas especies, posterior al proceso de estandarización.

La intercorrelación entre series. Es la correlación total en todas las series, mide la influencia de la señal climática común en todas las muestras de los árboles del sitio y representa la confiabilidad de la cronología. Los valores para este parámetro oscilan de 0.4 a 0.9.

Sensibilidad. En general éste estadístico es de uso específico en la dendrocronología y calcula la variación entre un anillo de crecimiento y el inmediato, considerándose como un indicador de la variabilidad interanual; de tal manera, que el valor de éste refleja los cambios de corta variación o bien de alta frecuencia, y cuyo origen radica en cambios ambientales (climáticos y biológicos).

La fórmula para determinar la Sensibilidad Media es:

$$sm = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=m-1} \left| \frac{2(X_{t+1} - X_t)}{X_{t+1} + X_t} \right|$$

Dónde:

sm = Sensibilidad Media.

Xt = Anchura de anillos en el año t.

Xt+1 = Anchura del anillo en el año posterior a t (anillo contiguo).

n = Número de muestra.

Valores bajos indican que la especie tiende a ser complaciente o bien, presenta una tendencia a producir anillos muy similares entre sí, con baja variación, por lo que sus crecimientos describirían poco la variación climática; mientras que un valor alto, representa a especies sensibles de gran importancia en estudios dendroclimáticos, este criterio suele presentar valores entre 0.2 y 0.3.

Desviación estándar. Este parámetro es parte de la estadística descriptiva, que se define como la medida de la variación de los datos alrededor de la media. Gutiérrez, (2003) menciona que es el producto de la influencia de dos impulsos, los factores que impactan a todo bosque, así como los factores que actúan entre los mismos árboles.

La fórmula para determinar la desviación estándar es:

$$Sx = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (X_t - m_x)^2}$$

Sx= Desviación estándar.

Xt= Anchura de anillos en el año t.

mx = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

n = Número de muestra.

Autocorrelación. Fritts (1976) y Delgado (2000) aclaran que la correlación representa en si un valor de asociación entre las dos variables, en tanto que la autocorrelación es la asociación de una variable con ella misma, considerando un atraso (Lag) de orden en la variable. De este modo, la autocorrelación (L=1) se calcula desplazando la serie un valor antes. La fórmula utilizada para calcularla esta autocorrelación entre los anillos anuales es la siguiente:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^{t=m-1} (X_t + m_x)(Y_t + m_y)}{(n - 1) S_x S_y}$$

Rxy = Correlación promedio.

Xt = Anchura de anillos en el año t.

mx y my = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

Sx y Sy= Desviación estándar de las mediciones de anchura de anillos.

n = Número de datos comparados (muestra).

Se puede decir que el coeficiente de autocorrelación es una medida de la varianza de baja frecuencia (periodos largos) y define la correlación que existe entre cada valor de la serie y el inmediato anterior. En dendrocronología es común encontrar el término denominado autocorrelación de primer orden o Lag-1, principalmente porque el proceso fisiológico en los árboles crea un Lag o retraso en respuesta al clima, y también porque las anomalías del clima persisten de un año al siguiente. Esto es, cuando el crecimiento está fuertemente influido por el año anterior, las tendencias se prolongan por periodos largos, por esto, es común que a la autocorrelación se le denomine también como persistencia.

La proporción señal ruido. Es el resultado de dividir la señal común entre el ruido o señal no común. Se entiende como señal, a la variabilidad común presente en todas las series (Briffa y Jones, 1992). Generalmente se denomina

“señal a la variación que corresponde al clima, dado que es un factor que afecta a todos los árboles de una localidad, aunque no es una regla. Por otra parte, la señal no común o “ruido” corresponde a otros factores como la edad, dinámica del bosque, factores genéticos y perturbaciones locales. Por lo que, una vez llevada a cabo la estandarización, gran parte del ruido es eliminado, aunque cierta proporción persiste dentro de las series de índices y es a partir de éstos valores, que se calcula la señal ruido dentro de una serie de tiempo.

En general los valores superiores a 5 y 6 se consideran suficientemente adecuados (Wigley *et al.*, 1984).

Delgado (2000) menciona que una cronología que presenta valores altos en los parámetros tales como, correlación entre series, sensibilidad media, desviación estándar, relación señal ruido, así como un valor bajo en el parámetro autocorrelación pueden considerarse especies con potencialidad para análisis dendroclimáticos.

Función de respuesta o relación clima-crecimiento en *Pinus* y *Quercus*

Uno de los principios de la dendrocronología, especifica que los crecimientos del árbol son la respuesta a un conjunto de factores, sin embargo, existe un factor que domina y limita el crecimiento sobre un área geográfica extensa, de manera que define en gran medida su desarrollo (Fritts, 1976). Para México y sur de Estados Unidos éste factor limitativo de crecimiento es la precipitación (Villanueva *et al.*, 2008).

La asociación del crecimiento de cada especie con la variable climática precipitación, se llevó a cabo utilizando los datos climáticos obtenidos a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), específicamente de la estación meteorológica Iturbide, ubicada en la cabecera municipal del mismo municipio.

Los datos presentaron información de la precipitación mensual del período 1960-2010. En dicho periodo se realizó un análisis de autocorrelación para detectar posibles fluctuaciones a las cuales estuviera expuesta la serie climática, la cual no mostró ningún tipo de problema.

Para definir la influencia del clima sobre el crecimiento de las especies, se definió el tipo de versión de cronología a utilizar; es decir, estándar o residual; así como la banda de crecimiento (madera temprana, tardía o anillo total) en la cual el factor climático tuviera más influencia.

Para ello, se corrió una función de respuesta, utilizando análisis de correlación sobre los índices de anchos de anillos (madera temprana, tardía y anillo total) y el promedio de precipitación para cada año durante el período de registros disponibles.

Lo anterior, permitió determinar dos series temporales, una perteneciente a la versión de cronología mejor asociada con el clima (estándar o residual) y los datos climáticos mensuales anuales de mayor influencia representados en forma acumulada.

Es importante destacar en este apartado, que la respuesta al clima de los crecimientos del *Q. canbyi* finalizan en esta sección, resolviendo la **hipótesis** planteada para esta especie.

Para el caso del pino, este análisis continúa con la reconstrucción climática, dando paso a la comprobación de las hipótesis faltantes.

Reconstrucción climática en crecimientos de *P. pseudostrabus*

Generación del modelo climático y verificación estadística

Para analizar las tendencias a largo plazo dentro de una serie, el ajuste con rectas de regresión ha sido ampliamente utilizado. En donde el parámetro que indica la tasa de cambio de la variable analizada es la pendiente de la recta ajustada, en donde las unidades son mm/año, en el caso de precipitación; sin embargo, esto debe realizarse con la debida estandarización para las series y verificando que la serie climática no presente algún tipo de autocorrelación (Ribas, 2006).

La aplicación de una regresión sobre los índices *P. pseudostrabus* y el clima, generó una ecuación de tipo lineal en el periodo de 1985-2009. En el que los índices de *P. pseudostrabus* actúan como predictores de la variable climática en el tiempo.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 (x_t)$$

Donde:

y_t = Valor de precipitación reconstruida de un año en particular (mm).

β_0 = Intercepto.

β_1 = Pendiente.

x_t = Índice del ancho de anillo total (variable independiente).

Verificación del modelo a través del programa VERIFY

El modelo fue calibrado en el periodo 1985-2009 (24 años) y validado estadísticamente con los datos climáticos independientes del periodo 1960-1984 (24 años) (Figura 14). En éste lapso de tiempo, la precipitación reconstruida con el modelo climático fue comparado estadísticamente con los datos de

precipitación obtenidos de la estación climática. El programa utilizado para ello fue VERIFY del DPL (Dendrochronological Program Library) del Laboratorio de anillos de árboles, de la Universidad de Arizona, EUA.

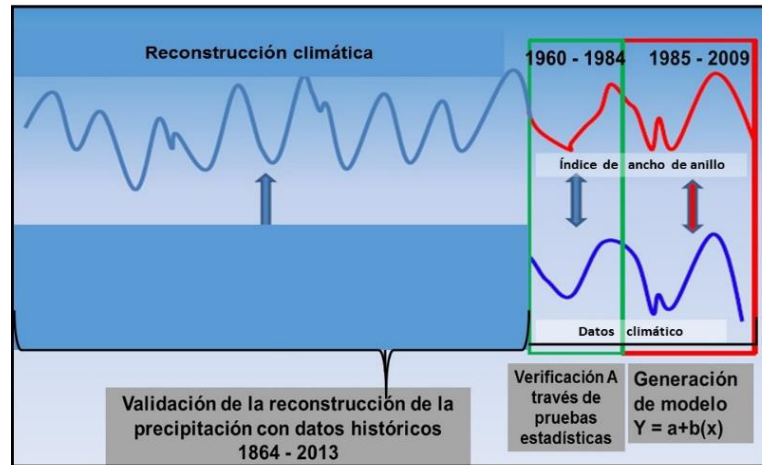


Figura 14. Fundamento estadístico de la verificación.

Una vez validado el modelo de reconstrucción con diferentes pruebas estadísticas tales como, reducción del error, diferencia de los signos, correlación, se procedió a aplicar el modelo en el periodo completo de la cronología (1864-2013).

Verificación de la precipitación reconstruida

Con la finalidad de dar respuesta a la **hipótesis** planteada se procedió a probar que los crecimientos de *P. pseudostrabus* reproducen con confiabilidad los eventos de precipitación ocurridos para la región.

La verificación de la reconstrucción climática se realizó en diferentes formas:

1. Se realizó una asociación entre la precipitación reconstruida enero-julio y el promedio de la precipitación de enero a julio para todo México, a través del conjunto de datos CRU TS versión 3.22 desarrollado por la Unidad de

Investigación Climática del Este de Anglia, la cual está compuesto por series de tiempo mensuales interpoladas a una malla homogénea de puntos con una resolución de 0.5 x 0.5. El periodo de tiempo asociado fue de 1955 a 2013 (Mitchell y Jones, 2005).

2. También se efectuó un análisis de años extremos (secos o húmedos) corroborados con el Atlas de sequía para México (MXDA, por sus siglas en Inglés) (Burnette *et al.*, 2014).

3. Por último se compararon los resultados obtenidos con estudios similares generados para el Norte-Noreste de México.

Asociación de parámetros dendrocronológicos con ENOS y PDO

Estudios sugieren que en Norte América y específicamente el noreste de México se ven influenciados por las variaciones en la temperatura de la superficie del mar (Barlow *et al.* 2001; Guant y Sumant. 2008). Entre los fenómenos más importantes se encuentran El Niño/Oscilación del Sur y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

Para llevar a cabo este análisis, se procedió a asociar los estimativos de la variabilidad de El Niño (ENOS región 3.4) y la PDO con los parámetros dendrocronológicos (madera temprana, madera tardía y anillo total). Para ello, se aplicaron análisis de correlación, que definieron el periodo de repuesta, su grado de asociación y significancia. El periodo de asociación se realizó de 1900 a 2007 (108 años).

1.7 RESULTADOS

Análisis del programa COFECHA y ARSTAN

En el muestreo se recolectaron 98 núcleos de crecimiento de *P. pseudostrobus* (pino) y 15 muestras de *Q. canbyi* (encino), de éstas, se seleccionaron aquellas que presentaran crecimientos concordantes, de tal manera, que el análisis se realizó con 33 individuos de pino, utilizando 77 muestras; así como 8 árboles de encino con un una réplica de 11 muestras. El programa COFECHA indicó una intercorrelación entre series para el pino de 0.72 y para el encino de 0.62.

El desarrollo de cronologías se realizó con el programa ARSTAN, el cual aplicó diferentes rectas y curvas de acuerdo al crecimiento del árbol (Figura 15).

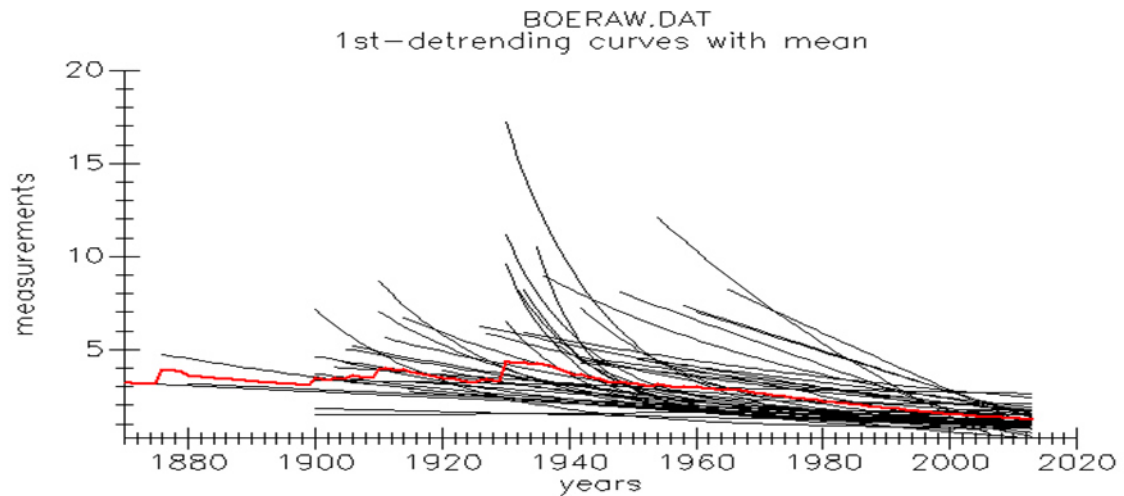


Figura 15. Curvas aplicadas a las series fechadas y medidas para la cronología de pino. La línea roja representa la media de la cronología.

La cronología de pino se extendió por 150 años (1864-2013); mientras que la de encino por 85 años (1930-2013). La asociación significativa entre ambas series denota una señal climática común (Figura 16).

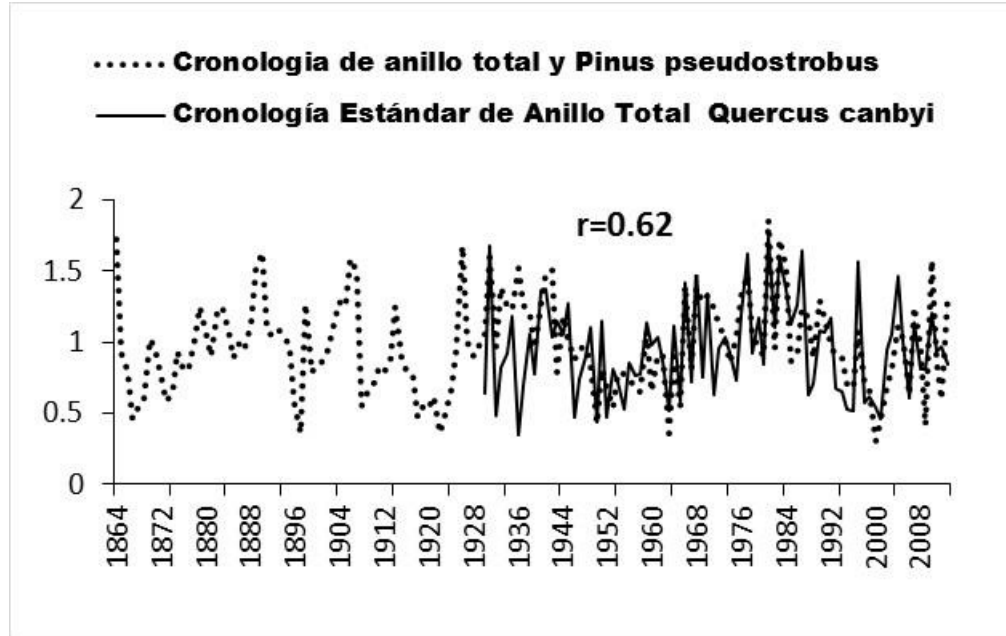


Figura 16. Asociación entre las cronologías de *P. pseudostrabus* y *Q. canbyi*.

Potencial dendrocronológico de *Quercus* y *Pinus*

Los valores de los parámetros para evaluar la capacidad de las especies a producir anillos anuales y su potencial en estudios de clima se muestra en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Valores obtenidos de acuerdo a criterios dendroclimáticos para determinar el potencial dendrocronológico de *P. pseudostrabus* Lindl.

<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl	
Crterios	Valores
Numero de series (# árboles)	77(35)
Intercorrelación entre series	0.701
Desviación estándar	1.825
Sensibilidad media	0.408
Autocorrelación de primer orden	0.729
Relación señal ruido	37.08
Extensión	1864-2013

Cuadro 2. Valores obtenidos de acuerdo a criterios dendroclimáticas para determinar potencial dendrocronológico de la especie *Q. canbyi* Trel.

<i>Q. canbyi</i> Trel.	
Criterios	Valores
Número de series (# árboles)	11(8)
Intercorrelación entre series	0.612
Desviación estándar	0.582
Sensibilidad media	0.478
Autocorrealción de primer orden	0.126
Relación señal ruido	5.329
Tiempo cubierto	1930 - 2013

Relación clima-crecimiento de la especie *Q. canbyi*

La base de datos climáticos procedente de las estaciones climáticas mostró una extensión de 50 años (1960-2010); la asociación de ésta base de datos con las cronologías para cada especie tuvieron los siguientes resultados:

La mayor asociación entre el clima y el índice de ancho anillo del *Q. canbyi* se obtuvo utilizando la versión estándar de la cronología. La mayor asociación entre los datos climáticos y la cronología estándar se determinó para el periodo enero-julio (Figura 17).

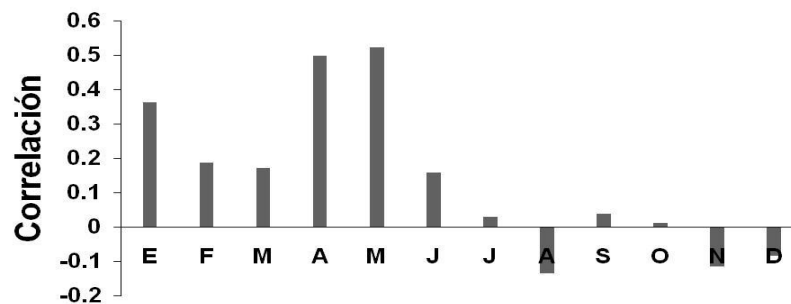


Figura 17. Asociación entre la precipitación de la estación meteorológica Iturbide, Nuevo León y el índice de ancho de anillo de madera tardía para la especie *Q. canbyi*.

La precipitación acumulada de los meses (enero a julio) mostró una correlación con la serie de madera temprana de 0.55; con anillo total fue de 0.62 y con madera tardía de 0.63. Por lo que se deduce que, la madera tardía de *Q. canbyi* es la que mejor responde a la precipitación acumulada enero-julio. Dando respuesta a la hipótesis planteada para el encino.

Relación clima-crecimiento de *P. pseudostrabus*

La cronología estándar de anillo total de *P. pseudostrabus* respondió altamente a la precipitación acumulada enero-julio (Figura 18). Las diversas asociaciones observadas fueron con madera temprana con una correlación de 0.72, con madera tardía de 0.62 y con anillo total de 0.70.



Figura 18. Periodo de mayor correlación entre la cronología de madera temprana y los datos de precipitación acumulada enero-julio.

Reconstrucción del clima en *P. pseudostrabus*

La asociación entre el índice madera temprana de *P. pseudostrabus* y la precipitación acumulada presentó una relación positiva; por lo que una ecuación lineal puede explicar el comportamiento de la variable dependiente (Figura 19).

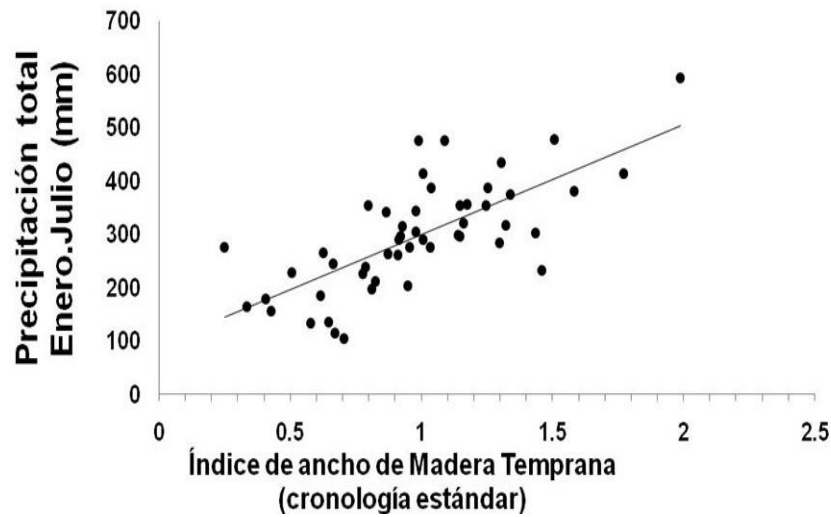


Figura 19. Relación entre la cronología de madera temprana y la precipitación acumulada (enero-julio) con los datos climáticos de la estación Iturbide, período 1960-2009.

La alta asociación significativa entre ambas variables (Cuadro. 3) indicó potencial para reconstruir la precipitación (Figura 20).

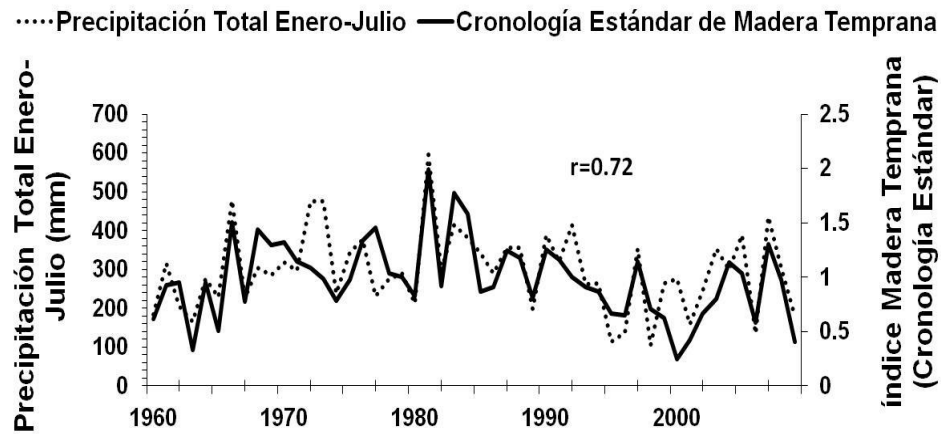


Figura 20. Cronología estándar de madera temprana del *P. pseudostrobus* (línea negra) y la precipitación acumulada Enero-Julio del período 1960-2009 (línea punteada).

Cuadro 3. Coeficientes del modelo climático

	Coeficientes	Estimate Std. Error	t value	Pr(> t)
Intercepto	93.68	29.89	3.134	0.00294 **
Cronología de Madera temprana	206.60	28.60	7.223	3.35e-09 ***
Significancia 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 ' ' 1				

El Modelo a utilizar fue:

$$Y_t = 93.68 + 206.60X_t$$

Dónde:

Y_t = Valor de la precipitación reconstruido Enero-Julio de un año en particular (mm).

X_t = Índice de madera temprana.

El cual fue calibrado y verificado con el programa VERIFY.

Las pruebas principales mediante las cuales se calibró y verificó el modelo fueron: la reducción del error del modelo, prueba "t", prueba de signos, así como R^2 ; de esta manera, se validó estadísticamente el modelo con fines de reconstrucción en la extensión total de la cronología, período 1861-2013 (Cuadro 4, Figura 21).

Cuadro 4. Pruebas para la calibración y la verificación del modelo

Periodo	R^2	Pearson corr (r)	Pueba de "t"	Prueba de signos	Reducción del error
Calibración 1985 2009	0.52	0.7247*	4.17*	3/7*	0.508*
Verificación 1960 1984	0.50	0.7103*	2.022*	4/7*	0.55*

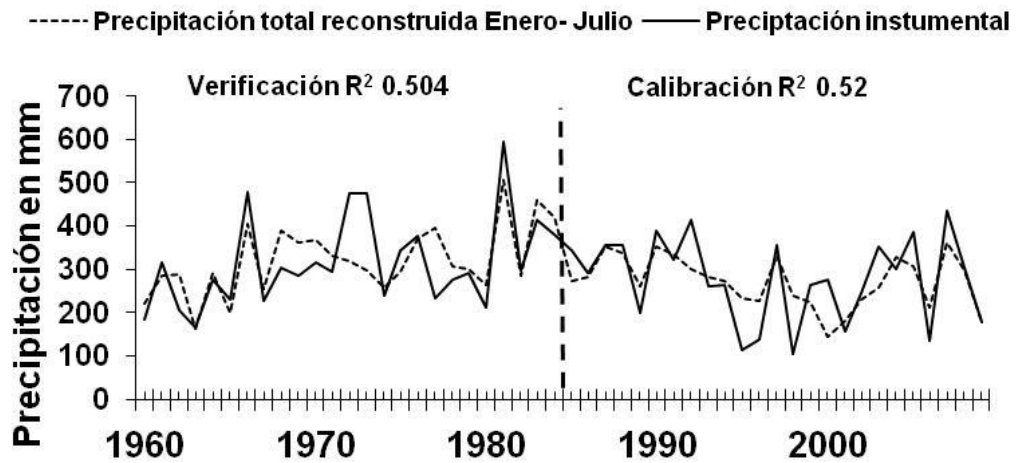


Figura 21. Calibración del año 1985 al 2009 y verificación del modelo de 1960 al 1984.

Reconstrucción climática y detección de periodos secos

El periodo reconstruido de precipitación reveló tres eventos de sequía; el primero de ellos se presentó de 1908 a 1922, el segundo de 1946 a 1963 y el último de 1992 a 2009 (Figura 22).

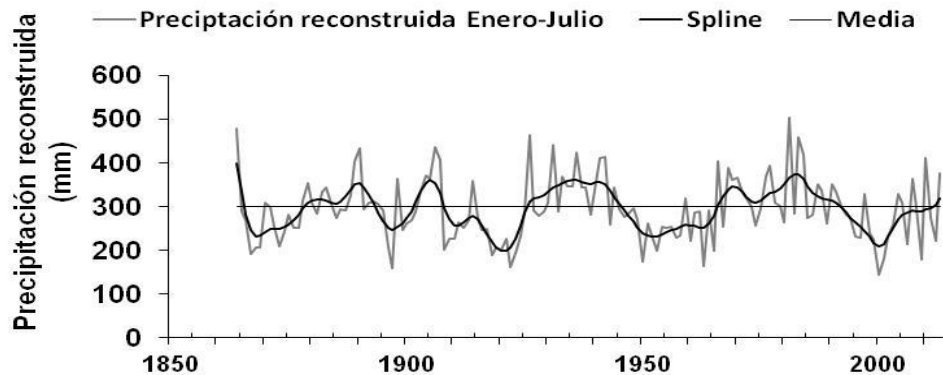


Figura 22. Reconstrucción estacional de precipitación acumulada enero - julio, del periodo 1864-2013 para el área de Iturbide Nuevo León. La línea negra constituye una línea flexible o media móvil para resaltar eventos secos y húmedos a partir de una media representada por una línea delgada sólida.

Asociación de la precipitación reconstruida y la precipitación para todo México

La precipitación reconstruida para el periodo enero- julio, fue asociada con la precipitación promedio de enero julio para todo México, obtenido una asociación altamente significaba de mayor correlación para el noreste de México (Figura 23 y 24).

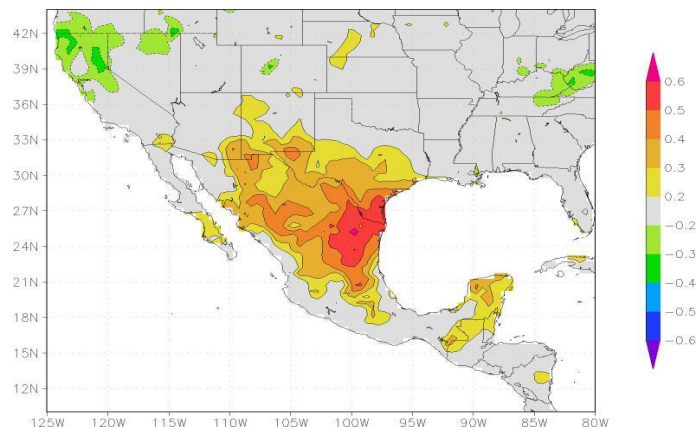


Figura 23. Correlación entre la precipitación reconstruida y la precipitación promedio enero – julio para todo México. (1955-2013).

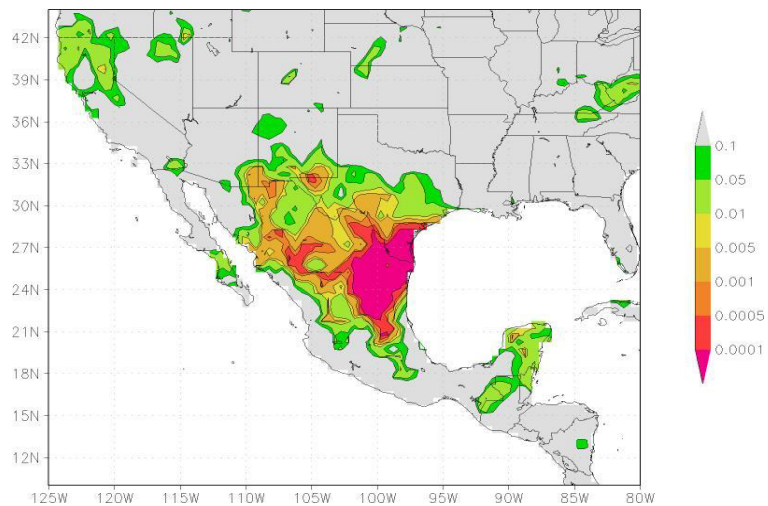


Figura 24. Grado de significancia entre la precipitación reconstruida y la precipitación promedio enero – julio para todo México.

Validación de años secos y húmedos con Altas de Sequía

Los años más secos reconstruidos en los últimos 50 años fueron :1950, 1953, 1963, 1982, 1998 y 2000; uno de los más húmedos fue 1981. Estos años se verificaron con el Atlas de Sequía para todo México (MXDA) (Figura 25).

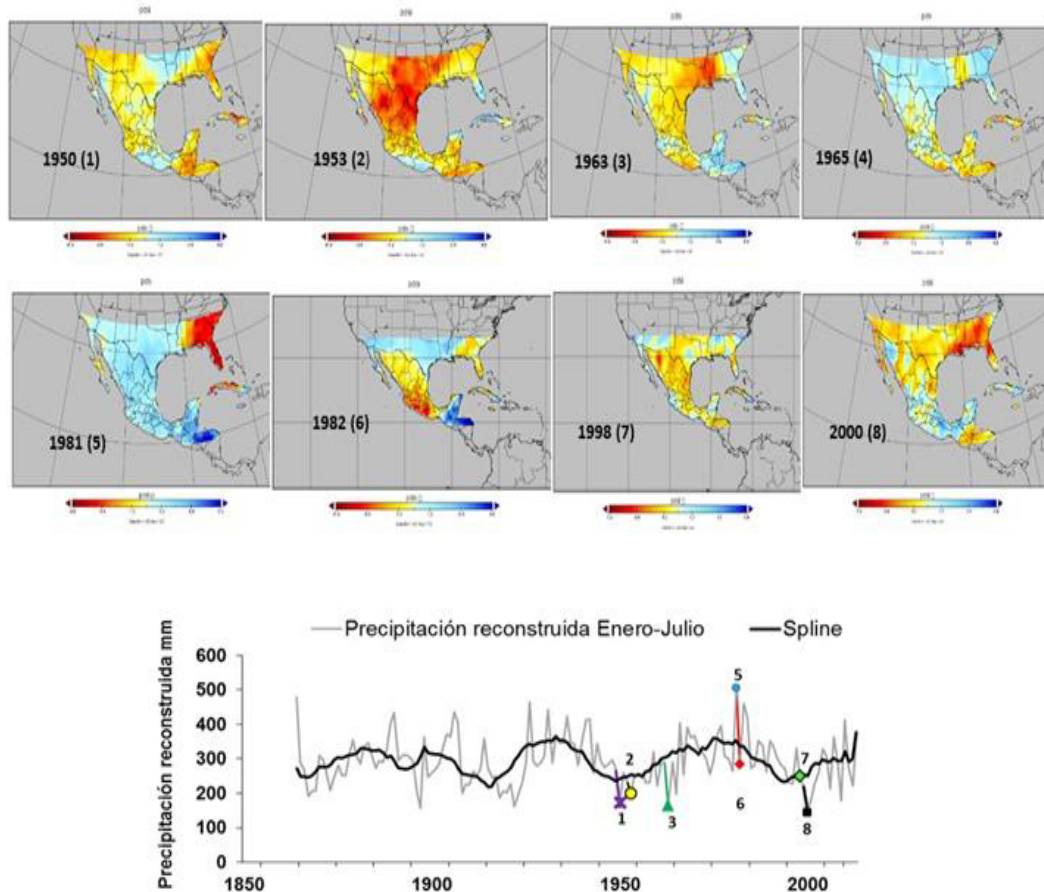


Figura 25. Años secos y húmedos extremos arrojados en el Atlas de Sequía para México. El color amarillo a rojo indica sequías fuertes; el color azul años indican años húmedos.

Asociación entre la madera temprana del pino y PDO-ENOS

La asociación entre la madera temprana y los estimativos del ENSO y la PDO no fueron altamente correlacionados, sin embargo, se obtuvo una asociación positiva del período enero-abril con ambos fenómenos. La asociación entre la

serie de madera temprana y la PDO fue positiva en prácticamente todos los meses del año (Figura 26).

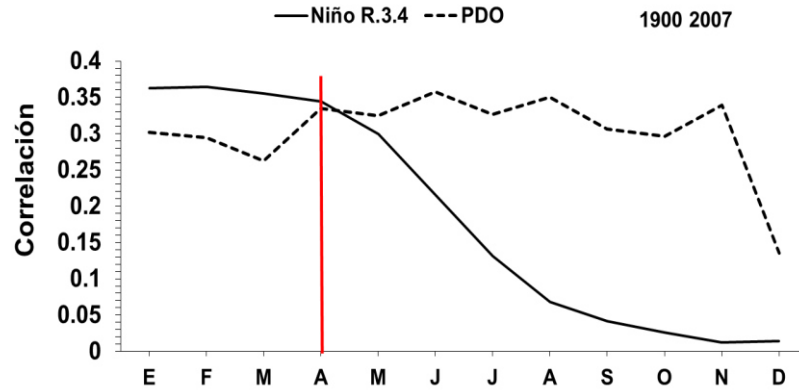


Figura 26. Determinación del período de influencia entre los índices de *P. pseudostrobus* e índices de la PDO y ENOS.

1. 8 DISCUSIÓN

Evaluación de cronologías y respuesta climática de *Pinus* y *Quercus*

Evaluación de las cronologías del pino y el encino

La evaluación de las cronologías se llevó a cabo comparando los parámetros dendrocronológicos. Los valores promedio indicados para cada criterios son reportados por Fritts, (1976) así como valores obtenidos en diversos trabajos realizados para México.

De acuerdo con estos autores el valor de **Intercorrelación** entre series oscila entre 0.4 a 0.9. Para México, *Pseudotsuga menziesii* muestra valores en el rango de 0.55 a 0.75 (Cerano *et al.*, 2004; Villanueva *et al.*, 2008). En éste trabajo, la intercorrelación entre series mostró un valor de **0.701** para el **pino** y de **0.612** para el **encino**. Por lo que estos valores se encuentran en un rango aceptable con fines de reconstrucción climática.

En el criterio de **Sensibilidad Media**, las especies con valores de 0.60 indican una alta sensibilidad y valores menores o iguales a 0.15 se consideran poco sensibles. Para México una las especies pertenecientes al género *Pinus* resultan ser altamente sensibles y se encuentran entre 0.30 a 0.5 (Santillán *et al.*, 2008; Constante *et al.*, 2009). En las especies en estudio, la sensibilidad media del **pino fue de 0.408** y en el **encino de 0.478**. Los valores encontrados en las dos especies muestran una variabilidad indicativo de buen potencial con fines dendroclimáticos.

Uno de los criterios más importante a tomar en cuenta en estudios dendrocronológicos es el parámetro de **Autocorrelación**, que fluctúan entre 0.6 y 0.8. En México, los valores para este parámetro en la especie *Pseudotsuga menziesii* se reportan entre 0.03 a 0.49 (Villanueva *et al.*, 2008). Para éste criterio, el **encino** presentó los valores más bajos de autocorrelación con **0.126**, en tanto que en el **pino fue de 0.729**; ésta información sugiere que los crecimientos anuales de *Q. canbyi* son poco afectados por las condiciones del crecimiento del año anterior. Sin embargo, este valor se encuentra muy por debajo del valor mínimo común, por lo que sería importante tomarlo con cierta reserva. En cuanto al pino este oscila dentro de los rangos usuales, considerándose aceptable.

Por último, el criterio **Relación Señal-Ruido**, es un parámetro asociado a la sensibilidad. Para éste, Wigley *et al.* (1984) indica que los valores superiores a 5 y 6 se consideran suficientemente adecuados. Tomando en cuenta que la relación señal ruido depende en gran medida de la sensibilidad, se han tomado como referencia especies sensibles para México como lo son *Pinus pinceana*, y *Pseudotsuga menziesii*, con valores que van de 30 a 50 (Santillán *et al.*, 2010; Cerano, 2004); aunque también se han reportado cronologías como las de *Taxodium mucrantun* Ten. con valores de 2.5 a 7.34. Para este caso, el **encino** presentó un valor de **5.32**, mientras que el **pino** tuvo un valor de **37.08**. Como se puede observar, los valores del encino están muy por debajo de los del pino, pero tomando en cuenta que éste parámetro depende del tamaño de muestra, es posible que éste valor este influenciado por un tamaño de muestra reducido; sin embargo, es notable que existe cierta señal común captada por las la mayoría de las muestras del encino; mientras que el pino muestra un valor alto, revelando una alta señal registrada en la mayoría de las muestras.

De manera general, se puede decir que una cronología tiene buen potencial dendrocronológico sí presenta, un valor de índice alto en los parámetros de

Sensibilidad Media, Relación Señal-Ruido e Intercorrelación entre series; así como un valor bajo de Autocorrelación de Primer Orden (Fritts, 1976; Delgado, 2000).

Por lo que las especies evaluadas en este estudio, presentan criterios aceptables; es importante hacer mención el bajo tamaño de muestras utilizado para generar la cronología de encino, que representa de alguna forma menos confiabilidad en comparación de los valores encontrados para el pino.

Respuesta climática del *Quercus* y *Pinus*

Los resultados indican una asociación de ambas especies al periodo de precipitación enero a julio, aunque en el pino, la respuesta se encontró con la madera temprana y en el encino con la madera tardía.

En éste aspecto, autores indican que el roble presenta cambios marcados entre la madera temprana y tardía (Richter y Dallwitz ,2000; Schweingruber, 1993). De manera que, en la madera tardía, se denota una mayor cantidad de poros con menor tamaño, esta particularidad, le permite disponer de agua al momento de crecer, razón por la cual, las angiospermas en general son más eficientes en el transporte de agua (Speer, 2010). Por lo que, sí se considerara la mayor demanda de agua para su crecimiento, éstos poros aunque pequeños, presentan una mayor superficie, que podrían estar indicando una mayor cantidad de agua utilizada en el periodo de crecimiento, razón por la cual, en el presente trabajo, la madera tardía ostentó una alta asociación significativa con la precipitación.

El antecedente de que la variación de la madera tardía es un indicativo de su sensibilidad climática y de la influencia con la sequías estivales (Michelot *et al.*, (2012), permite sustentar la respuesta de la madera tardía del encino al periodo de precipitación (enero-julio); así como el hecho de que en la región de estudio las canículas son marcadas (Mosiño y García, 1969; Vidal, 2005).

En cuanto a la respuesta de sus crecimientos en el periodo enero a julio, en la actualidad existen diversos estudios en México que reportan la respuesta de los crecimientos de las especies de coníferas a la precipitación invernal (Santillán, 2008; Constante *et al.*, 2009; Villanueva *et al.*, 2009c; Cerano *et al.*, 2011a) que resultan ser aprovechados por la especie al ser almacenada en el perfil del suelo y hacerse disponible al inicio de la estación de crecimiento (Meko *et al.*, 1996).

La respuesta del crecimiento del *P. pseudostrobus* a la madera temprana no ha sido documentada por otros trabajos sin embargo, para el presente se pudo ver una asociación muy similar entre el anillo total y la madera temprana, denotando una mayor correlación con ésta última. Sin embargo, trabajos para el noroeste de México han reportado para *Pseudotsuga menziesii* una asociación significativa entre la madera temprana y la precipitación (Villanueva *et al.*, 2009c) al igual que para el noreste del mismo (Cerano *et al.*, 2011b).

Reconstrucción climática del *P. pseudostrobus*

Reconstrucción climática y datos históricos

El lapso de tiempo reconstruido para la precipitación tiene una extensión de poco más de un siglo, tiempo en el cual se presentan básicamente tres sub-periodos

secos, el primero de ellos se presenta de **1908 a 1922**, un segundo de **1946 a 1963** y un último de **1992 a 2009**.

Estos eventos secos generados en esta reconstrucción del climática, también son reportados en otros trabajos para el norte de México, especialmente para los estados de Durango, Chihuahua (Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2008).

Sin embargo, es importante hacer énfasis en estudios dendrocronológicos realizados para el noreste del mismo, específicamente para el sur de Nuevo León en donde Villanueva *et al.* (2007b) da a conocer sequías dentro de las décadas de 1910 y 1950; de igual manera un periodo que generalmente es reportado como extremadamente seco en el país, es la década de 1950, la cual es documentada en la sierra de Arteaga de 1950 a 1965 (Cerano *et al.*, 2011b); por otro lado, en la parte baja de la Sierra Zapalinamé se reporta como parte de las sequías de inicio de siglo, el periodo de los años 1920's y más tarde la de los años 1950's; además un periodo reciente en prácticamente toda la década del 2000 es reportado por Villanueva *et al.* (2009a).

Para el último periodo de 1992 a 2009, estudios como el de Ortega *et al.* (2011) reportan escurrimientos limitados en las presas del noreste de México, ocasionada por sequías recurrentes a lo largo de 14 años del año 1992 a 2005, el cual viene a sustentar el último periodo seco de 1992-2009.

Asociación entre la madera temprana del pino, ENOS y PDO

El fenómeno del Niño es uno de los patrones de circulación atmosférico que afecta el norte de México y da lugar a un incremento en la precipitación invernal principalmente en su fase cálida (Stahle y Cleaveland, 1993 y Magaña, 1999).

Así, estudios dendrocronológicos en el noreste del país, al reconstruir la precipitación invierno-primavera y asociarla con el fenómeno de El Niño han encontrado una asociación significativa, generalmente a inicios del siglo XX (Cerano *et al.*, 2004; Constante *et al.*, 2009; Villanueva *et al.*, 2011). Indicando con ello una asociación del ENOS en las precipitaciones de invierno. Lo cual, coinciden con el presente trabajo, en donde, si bien no se encontró una asociación alta, denota una influencia de éste fenómeno en las precipitaciones invernales (enero a abril).

En cuanto la PDO, ésta ha sido poco estudiado sin embargo, trabajos como los de Villanueva *et al.* (2011) indican una asociación para la precipitación en Chihuahua de junio a agosto; en tanto que Méndez *et al.* (2010) señala una asociación para el noreste de mayo a octubre; otros trabajos similares indican que éste influye de forma positiva en la precipitación de noviembre, marzo y mayo (Ramírez, 2009).

En el presente estudio, la asociación de la madera temprana, al ser asociada con la PDO indicó una asociación de tipo positiva, no significativa con una influencia en la mayoría de los meses del año.

1.9 CONCLUSIONES

La evaluación de acuerdo a criterios dendrocronológicos realizada para la especie *Quercus canbyi* Trel. permite definirla como una especie con potencial dendrocronológico, en donde la madera tardía constituyó la banda de crecimiento más sensible al periodo de precipitación acumulada enero-julio. Si bien, algunos parámetros dendrocronológicos fueron comparativamente superiores con respecto a *P. pseudostrobus*; también se debe de indicar que la obtención de dichos parámetros se fundamentó en un bajo tamaño de muestra, siendo importante incrementarla en futuros trabajos para ampliar la precisión.

La cronología estándar de madera temprana de *P. pseudostrobus* respondió significativamente a la precipitación acumulada enero-julio. La respuesta de la reconstrucción climática en base a la madera temprana, resultó ser significativa para el noreste de México.

La asociación de la madera temprana con estimativos de fenómenos atmosféricos como ENOS y PDO no fue significativa. No obstante, exhibió una asociación positiva con índices del PDO para todos los meses del año; la asociación con ENOS indica una influencia para el período enero-abril, donde ambos fenómenos parecen estar en fase.

1.10 RECOMENDACIONES

El análisis de *Q. canbyi* reportado en este estudio se considera preliminar, no obstante, la especie muestra potencial para estudios de clima, particularmente durante el verano, donde se presenta el mayor porcentaje de precipitación para la región. Futuros estudios con esta especie, deben considerar incrementar el tamaño de muestras en al menos 30 secciones transversales, con los cuales los parámetros dendrocronológicos derivados de los programas de fechado y de estandarización tengan mayor validez estadística. Estos estudios deben ir aparejados con análisis anatómicos, para diferenciar con claridad los límites de los anillos de crecimiento y las estructuras desarrolladas en cada una de las etapas de crecimiento de la especie; situación que puede ayudar a determinar con mayor precisión la formación de madera temprana y tardía y la respuesta de los componentes celulares a la variación interanual y multianual del clima.

1.11 BIBLIOGRAFÍA

Acuña, S. R., Stahle, D.W., Cleveland M.K. y M.D. Therrell. 2002. Megadrought and megadeath in 16th century México. *Emerging Infectious Diseases*. 8:360-362.

Barlow, M., Nigam S y E. H. Berbery. 2001. "ENSO, Pacific Decadal Variability, and U.S. Summertime Precipitation, Drought, and Stream Flow", *J. Climate*:14: 2105- 2128.

Biondi, F. 2001. A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of North America. *Royal Swedish Academy of Sciences* 30: 162-166.

Bradley, R. S., Diaz, H. F., Eischeid, J. K., Jones, P. D., Kelly, P. M., and Goodess, C. M. (1987). Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 237(4811), 171-175.

Briffa, K.R and D. Jones, P. 1992. Basic chronology statistics and assessment. In: Cook, E.R. and Kairiukstis, L.A. (Eds.): *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. International Institute for Applied Systems Analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA: 137-153.

Burnette, D., Stahle D.W., Cook, E., Villanueva, D. J., Griffin D., y B. Cook. Decadal Drought and Wetness Reconstructed for Subtropical North American in the Mexican Drought Atlas. AGU FALL MEETING. San Francisco, USA.

Cavazos, T. and S. Hastenrath. 1990. Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *J. Climatol.* 10:377–386.

Carpenter, S.R. 1998. The need for large-scale experiments to assess and predict the response of ecosystems to perturbation. En: Pace, M.L. and P.M. Groffman (Eds.). *Success, limitations, and frontiers in ecosystem science*. Springer Verlag, Nueva York NY, EUA. 287-312.

Ceballos, L., Ruiz de La Torre. J. 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Superior de Ingenieros de Montes. Fundación Conde del Valle Salazar. Madrid.

Cerano P., J. 2004. Reconstrucción de 350 años la precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 152 p.

Cerano P., J., Villanueva D.J. and P. Z. Fulé. 2010. Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la reserva Cerro el Mohinora, Chihuahua. *Rev. Mex. Cien. For.* 1(1): 63-74.

Cerano, P.J., Villanueva, D.J., Valdez Cepeda, R.D., Méndez G. J y V. Constante García. 2011a. Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.* Núm. 2. p. 235-249.

Cerano P. J., Villanueva, D.J., Valdez Cepeda, R.D., Cornejo O E. H. Sánchez C. I. y V. Constante García. 2011b. Variabilidad Histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el Sureste de Coahuila. *Rev. Mex. Cien. For.* Vol. 3 (4):33-46.

Cleaveland, M.K., Stahle D.W., Therrell, M.D., Villanueva, D.J. y B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369- 388.

CONAGUA, 2014). Comisión Nacional del Agua. Consultado el día 24 junio 2014 (<http://www.agua.org.mx/>).

Conde C. Ferrer M.R. Gay, C y R. Araujo. 2004. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. En: *Cambio Climático una visión desde México*. Martínez, J y A. Fernández B. INE-SEMARNAT. México. D.F.

Constante G.V., Villanueva D.J., Cerano P.J., Cornejo, O. E. H., y S. Valencia Manzo. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. Reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Rev. Ciencia Forestal en México*. Vol. 34. Núm. 106.

Constante, G.V., Villanueva, D.J., Cerano P. J y J. Estrada Ávalos. 2010. Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. Folleto Técnico Num. 19. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CEÑID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. 40p.

Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37 – 59.

Cook, E. R. y Holmes R. L. 1984. User's manual for program ARSTAN. Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson.

Cook, E.R. y L.A. Kairiuskstis. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 394 pp.

Dawkins, H. C. 1958. *The management of natural tropical high-forest with special reference to Uganda*. Institute Paper No.34, Imperial Forestry Institute, Oxford. 155 p.

Delgado, S.C. 2000. *Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos*. EDIUNC, Mendoza, Argentina. 79-102.

Douglas, M.W., Maddox, R. A., Howard, K. and S. Reyes 1993. *The Mexican Monsoon*. *J. Climate*. 6:1665-1677.

De la Paz P. O. C., Campos R.A., Quintanar I A y R. Dávalos Sotelo. 1998. *Estudio anatómico de la madera de cinco especies del género Quercus (Fagaceae) del estado de Veracruz*. *México. Madera y Bosques* 4(2):45-65.

De la Paz P. O. C. y R. Dávalos Sotelo. 2008. *Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de Quercus (encinos) de México*. *Madera y Bosques* 14(3):43-80.

De la Paz P. O. C., Dávalos S. R. y E. Guerrero Cuacuil. 2000. *Aprovechamiento de la madera de encino en México*. *Madera y Bosques* 6(1): 3-133.

Eguiluz P. T. 1978. *Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género Pinus en México*. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México, D. F. 623 p.

FAO. UNESCO. 1988. Soil map of the world. Revised Legend. FAO. Roma.119 p.

Farjon, A., and B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotrópica. Monograph 75. New York Botanical Garden, N. Y. 291 p.

Florescano, E. 1995. Breve historia de la sequía en México. Universidad Veracruzana, Xalapa.

Franklin, J.F., C.S. Bledsoe and J.T. Callahan. 1990. Contributions of the long-term ecological re-search program. *BioScience*40(7): 509-523.

Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic Press, London, New York , San Francisco.

Gershunov A. and T. Barnett.1998. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections. *Bull. Amer. Met. Soc.*, No. 79. 2715-2726.

Glenn-L. D. C. y Van Der Maarel, E., 1992. Patterns and processes of vegetation dynamics. En: D.C. Glenn-Lewin, R.K.

Gricar, J., De Luis M., Hafner, P. and Tom Levanic. 2013 Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). *Trees*.(27):1669–1680.

Grissino-Mayer, H. D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2) 205-221.

Guan, Bin y Sumant-Nigam. 2008. "Pacific Sea Surface Temperatures in the Twentieth Century: An Evolution-Centric Analysis of Variability and Trend". *Journal of Climate*. 21: 2790- 2809.

Gutiérrez, G. G. 2003. Análisis dendrocronológico y económico de, *Pinus hartwegii*, *Pinus trobiformis* y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza N.L. 101 p.

Gutzler, D. S., Kann D. M. y C. Thornbrugh. 2002. "Modulation of ENOS -based long-lead outlooks of Southwest U.S. Winter precipitation by the Pacific Decadal Oscillation", *Weather and Forecasting*, No. 17, pp. 1163-1172.

Hare, S. R. and N. J. Mantua (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog. Oceanogr.* No. 47, pp. 103-145.

Himmelsbach, W. 2009. Caracterización de Bosques mixtos de Pino-encino en la sierra Madre Oriental en México considerando el factor limitante hídrico. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 137p.

Holmes, R.L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and mesurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.

IPCC. 2007. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2007. Summary for Policymakers. *In* Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. y Hanson, C.E., eds. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 7–22. Cambridge University Press, Cambridge, RU.

Kitzberger, T., Veblen T. y R. Villalba. 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica, pp: 17-78 En: Roig F.A. (ed.). Dendrocronología en América latina. EDIUNC. Mendoza.

Lorimer, C. G. 1985. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. Canadian Journal of Forest Research, 15: 200213.

López, U., J. 2002. *P. pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A. Tropical Tree. Seed Manual. United States Department of Agriculture. Forest Service. USA. pp: 636-637.

Luna J., A. D. L., Montalvo E., L y B. Rendón Aguilar. 2003. Los usos no leñosos de los encinos en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 72: 107 – 117.

Magaña V.O. 1999. Los impactos del el Niño en México. Dirección General de protección civil, Secretaria de Gobernación, México 229 p.

Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L. and Pérez, J. B. 2003. Impact of El Niño on precipitation in México. Geofísica Internacional. 42(3): 313-330.

Magaña R. V., Pérez J. L., Conde C., Gay C. y Medina S., 1997: El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur (ENOS) y sus impactos en México. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.

Manos, P.S., Doyle J.J. y Nixon K.C. 1999. Phylogeny, biogeography, and processes of molecular differentiation in *Quercus* subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 12:333-349.

Manson, R.H., E.J. Jardel P. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio. México, pp. 131-184.

Márquez, G. A. V. y L. C. Mendizábal. 2004. Variación en el tamaño de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. del Esquilón, municipio de Coacoatzintla, Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Foresta Veracruzana.

Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang Y., Wallace J.M and R.C Francis. 1997. A Pacific Interdecadal climate Oscillation Whit impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, No 78 1069-1079.

Marroquín, F. R. A. 1997. Algunos aspectos sobre la fenología, producción de bellotas y propagación de 6 especies de encino *Quercus* L. del estado de Nuevo León, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 147 p.

Meko, D. C., W. Stockton y W. R. Boggess. 1996. The tree- ring record of severe sustained drought. *WaterResource. Boletin* 31: 789-801.

Méndez González, J. Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupercio, A., Cavazos Pérez, T. 2009. Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México *Investigaciones*

Geográficas (Mx) [en línea], (Diciembre-Sin mes): [Fecha de consulta: 7 de diciembre de 2014] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56919175005>> ISSN 0188-4611.

Marlés M. J., Teresa V. I., Claramunt L.B., Pérez S. D. R., Maneja Z. R. Sánchez M. S. y J. M. Boada. 2014. Análisis dendroclimático de *P. pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en los municipios de Áporo y Zitácuaro (Michoacán). Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. ISSN 0188-4611, [dx.doi.org/10.14350/rig.4338](https://doi.org/10.14350/rig.4338).

Michelot, A., Bréda, N., Damesin, C. y E. Dufrene. 2012. Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* (265): 161-171.

Mitchell, T. D. y P. D. Jones. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25: 693-712.

Mosiño, A.P., y E. García. 1969. Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. UGI. Cof. Reg. Lat. Amer. Tomo III. 500-516 p.

Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in México. *Biological diversity of México. Origins and distribution*. Oxford University Press 447-458.

Núñez L. D. 2013. Variabilidad de la sequía meteorológica de largo plazo en la parte mexicana de la cuenca del Río Bravo. Tesis de Doctorado. Universidad

Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León.

Nylor, T. H., 1971. Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study. *Tree-ring Bulletin* 31: 25 – 29.

Ortega G. D, Rendón P. L., Morales B. I y R. Olivares Alva. 2011. Sequías hidrológicas en la cuenca del Río Bravo (sección mexicana). *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 3(2): 41-48.

Pavia E. G., Graef, F. and Reyes, J. 2006. PDO–ENSO Effects in the Climate of Mexico. *Journal of Climate*.19:6433-6438.

Peet, R. K. 1992. Community structure and ecosystem function. Pags 103-151 in D. C. Glenn-Levin, R. K. Peet y T. T. Veblen, eds. *Plant Succession. Theory and Prediction*.

Perry, J.P. 1991. *The Pines of México and Central America*. Timber Press. Portland Oregon, p 231.

Pérez A.A y A. Fernández C. 1995. Dendrocronología de las Sierras Oriéntelas Gallegas: Los Ancares y el Courel (España). *Invest. Agr. Sist. Recur. For* 4(1):5-31.

Reyes, S., Douglas, M. W. and Maddox, R. A. 1994. El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP). *Atmósfera*. 7:117-137.

Ramírez, H.C., Vargas, H.J.J. y J. López Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana (72):1-16.

Ramírez L.A. 2009. Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico a la Precipitación y Temperatura en México. Tesis Profesional. UAAAN. Departamento de Forestal. Buena Vista, Saltillo, Coahuila. 52 p.

Ribas, M., M., 2006. Dendroecología de *Pinus halepensis* Mill. en Este de la Península Ibérica e Islas Baleares: Sensibilidad y grado de adaptación a las condiciones climáticas. Trabajo de Titulación Doctoral. Universidad de Barcelona, España.

Richter, H. G. y J. Dallwitz, M. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish. Version: 4th May 2000.

Rodríguez, F.R. 2006. Estudio dendrocronológico de *Quercus sp.* en los ancares leoneses. Trabajo de Investigación. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior De Lugo. Ingeniería De Montes. Lugo, España.

Romero, R. S., Rojas, Z. E. C. y M.L. Aguilar, E. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. Annals of the Missouri Botanical Garden, 89: 551 – 593.

Rozas, V. 2001. Dinámica forestal y tendencias sucesionales en un bosque maduro de roble y haya de la zona central de la Cornisa Cantábrica. *Ecología*. 15: 179-211.

Rozas, V. 2004. Análisis estructural y dendroecológico del roble (*Quercus robur*) en las Carbayedas de Tragamón y La Isla, Gijón (Asturias). *Ecología*. 18, 127-146.

Rubino, D.L y B.C McCarthy. 2004. Análisis comparativo de los métodos utilizados para evaluar dendroecológicos eventos de perturbación. *Dendrochronologia*. 21 (3), 97-115.

Reyes, S., Douglas, M. W. and Maddox, R. A. 1994. El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP). *Atmósfera*. 7:117-137.

Robinson, W. J., and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40:59-64.

Ruiz B. 2008. Variabilidad climática y teleconexiones: una revisión bibliográfica. En: Tejeda Martínez, Adalberto, María Eugenia Guadarrama Olivera y Carlos Welsh Rodríguez. Plan Veracruzano Preliminar de Adaptación al Cambio Climático. Universidad Veracruzana. Embajada Británica, Instituto Nacional de Ecología.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. México: Ed. Limusa. 432 pp.

Salinas, R. M.M. 2012. Flora y fitogeografía del cañón de Iturbide, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares N.L. México. 127p.

Santillán, H. M. 2008. Dendrocronología de diez poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon de la Sierra Madre Oriental. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Departamento Forestal. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 120 p.

Sáenz R.J.T., H.J. Muñoz F. y A. Rueda S. 2011. Especies promisorias del clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico Número 10. INIFAP. Campo Experimental Uruapan, Uruapan Michoacán. 210 p.

Schweingruber, F.H. (1993). Trees and Wood in Dendrochronology. Springer Verlag, Berlin. 402 p.

Silverstow, J. 1987. Introduction to plant population ecology. Secon edition. Longman. Harlow, England.

Stahle, D.W. y M.K. Cleaveland. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree-rings of the Sierra Madre Occidental and Southern Great Plains. Journal of Climate 6: 129-140.

Stahle, D. W., Villanueva-Díaz, J., Burnette, D. J., Cerano P, J., Heim Jr., R. R., Fye, F. K., Acuña S., R.; Therrell, M. D., Cleaveland, M. K. and Stahle, D. K. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. Geophysical Research Letters. Vol. 38, L05703. 1-4 p

Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois. USA. 73.

Swetnam, T.W., M..A Thompson and E.K Sutherland. 1985. Using dendrocronology to measure radial growth of defoliathed tree. U.S.D.A. Handbook. 639.

Thompson, N.P. and Heimsch, C. 1964. Stem anatomy and aspects of development in tomato. American Journal of Botany 51: 7-19. Turner, D. P., Koerper, G.J., Harmon, M.E. and Lee, J.J. 1995. A carbon budget for forests of the conterminous United States. Ecol. Appl. 5: 421–436.

Valencia, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Zavala, F. 1990. Los encinos de México: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo XVI (95):43-51.

Vidal Z. R. 2005. Las regiones climáticas de México. Instituto de Geografía, UNAM, México. Colec. Temas Selectos de Geografía de México. 213 p.

Villanueva, D.J, Cerano, P. J., Stahle, D.W., Therrel, M.D., Cleaveland M.K., e I. Sánchez Cohen. 2004. Elementos básicos de la Dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto Técnico No 2. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-planta. Atmósfera. Gómez Palacio Durango. México.

Villanueva, D. J., Stahle, D. W., Luckman, B. H., Cerano P, J., Therrell, M. D., Morán, M. L., Cleaveland M.K. 2007a. Potencial dendrocronológico de *Taxodium*

mucronatum Ten. y acciones para su conservación en México. *Ciencia Forestal* 32(101):9-37.

Villanueva, D. J., Stahle, D. W., Luckman B. H., Cerano P. J., Therrell, M. D. and M. K. Cleaveland. 2007b. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast México. *Climate Change* 83. pp. 117-131.

Villanueva, D.J., Cerano, P. J., Stahle, D.W., Estrada, Á. J., y V. Constante G. 2008. Potencial Dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y Reconstrucción de Precipitación y flujo en México. Folleto Técnico No 23. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-planta. Atmósfera. Gómez Palacio Durango. México.

Villanueva D. J., Cerano J., Constante G.V., Fulé P. Z y E. Cornejo-Oviedo. 2009a. Variabilidad hidroclimática histórica de la Sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo, Coahuila. *Madera y Bosques* 15(3): 45-64.

Villanueva, D.J., Cerano, P.J., Constante, G. V., Montes G. L. E y L. Vázquez S., 2009b. Muestreo dendrocronológico: colecta preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Folleto Técnico Número 13. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo. Planta. Atmósfera. Gómez Palacio Durango. México.

Villanueva J.D., Fulé Z.P., Cerano P.J., Estrada Á. J e I. Sánchez C. 2009c. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental con anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Rev. Ciencia Forestal en México*. 34(105):39-71

Villanueva D.J. Cerano P.J., Constante G.V., Stahle D.W., Estrada A.J., Tostado P. M.M. 2011. Variabilidad hidroclimática histórica del norte de México inferida con anillos de crecimiento de Douglas-Fir. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. Núm. (2): 221-334

Villanueva, D. J., Cerano, P.J., Vázquez, S.L., Stahle, W. D., Fulé, Z. P. Yocom L L., Franco R. O y J.A. Ruiz C. 2015. Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. No. 86. 5-14 p.

Wigley, T.M.L., Briffa, K. R. and D. Jones, P. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in Dendroclimatology and Hidrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology. (23): 201-103.

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

Zavala, C. F. y García, M. E. 1996. Frutos y semillas de encinos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México. 51 pp.

Zavala C., F. 1998. "Observaciones sobre la distribución de encinos en México", en Polibotánica. 8: 47-64.

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE LOS CRECIMIENTOS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.



Pinus pseudostrobus dentro del área de Resguardo

2.0 RESUMEN

El aumento gradual de la temperatura en el mundo y la ocurrencia de eventos climáticos extremos afecta los bosques de clima templado. En estos ecosistemas, las áreas de protección son vulnerables. El rápido y excesivo crecimiento de los árboles ante la ausencia de actividades silviculturales provoca una alta competencia por recursos, sobre todo en eventos prolongados de sequía. Este trabajo presenta el efecto del resguardo en los incrementos de *Pinus pseudostrabus* Lind (pino) en un área de protección al noreste de México. Se compararon los incrementos en área basal (BAI) en relación con el diámetro, edad y densidad de los árboles de un área de protección por más de 30 años y un área de control. La gran cantidad de árboles y mayores diámetros en el área de protección genera una diferencia significativa entre los incrementos anuales de esta área con respecto al área de control.

2.1 ABSTRACT

The gradual increase in temperature in the world and the occurrence of extreme weather events affect the temperate forests. In these ecosystems, the protected areas are vulnerable. The rapid and excessive growth of trees in the absence of silvicultural activities causes high competition for resources, particularly in prolonged drought events. This paper presents the effect of increases under guard of *Pinus pseudostrobus* Lind (pine) at protected area of northeastern Mexico. Increases in basal area (BAI) were compared in relation to the diameter, age and density of trees in a protected area for over 30 years and a control area. The large number of trees and larger diameter in the area of protection creates a significant difference between annual increases in this area with respect to the control area.

2.2 INTRODUCCIÓN

El crecimiento secundario de los árboles está definido por cinco grandes componentes: la tendencia debida a de la edad, el efecto de clima, los pulsos generados por disturbios endógenos, entre las que destacan la competencia, los pulsos generados por disturbios exógenos tales como plagas, enfermedades e incendios, así como factores no explicados que pueden deberse a la fertilidad o características del sitio o bien gradientes que afectan la profundidad del suelo y otras características del sitio (Cook,1987).

En la actualidad, ante un evidente cambio climático, el factor clima se ha tornado determinante y de gran afectación para los ecosistemas forestales, entre los principales eventos extremos a los que los bosques son vulnerables están las sequías, temperaturas máxima elevadas y olas de calor, que son cada vez más frecuentes y de mayor intensidad (IPCC, 2007).

Sin embargo, los registros del impacto del clima y específicamente de las sequías que impactan el crecimiento de las especies arbóreas en los bosques, se han documentado ampliamente en las décadas de 1970 y 1980 en Europa Central y noreste de Norte América, donde bosques enteros fueron afectados, reflejándose en una disminución en su crecimiento secundario, causando mortalidad en la mayoría de los casos (Hertel, 1988). Actualmente, una gran cantidad de estudios dendrocronológicos en América del Sur, señalan una reducción en los crecimientos anuales ocasionados por sequías (Villalba y Veblen 1998; Amoroso 2009; Mundo *et al.*, 2010).

El clima no es el único factor que impacta de forma determinante los crecimientos de los árboles, ya que la competencia es ampliamente reconocida como uno de los elementos que más influye en el crecimiento anual de un árbol, de tal manera

que a mayor número de individuos por unidad de superficie, mayor es su efecto, reflejado en una disminución de la reproducción, supervivencia y crecimiento de los individuos (Trepl, 1994; Gadow *et al.*, 2001). El entendimiento del efecto de la competencia ha conllevado a la aplicación de aclareos como actividad principal, para un aumento en la productividad de las áreas forestales (Bréda *et al.*, 1995; McDowell *et al.*, 2003).

Estudios sobre el impacto de ambos factores en el crecimiento de los árboles, indican, que la influencia de los aclareos, se ve limitada por la presencia de sequías, situación que produce un efecto mayor en la disminución de los crecimientos (Gea *et al.*, 2009; Martín *et al.*, 2010; Bigler y Bugmann, 2004), que inclusive puede ocasionar mortandad de individuos, afectando la estructura del bosque (Manion, 1991).

Lo anterior es relevante para México, donde estudios dendrocronológicos revelan que las sequías se presentan cada vez más frecuentes e intensas, con un patrón de incidencia entre 50 y 60 años (Villanueva *et al.*, 2008; Villanueva *et al.*, 2009; Cerano *et al.*, 2011).

El presente estudio, se ubica al noreste de México, donde el efecto del clima es intenso (Mosiño y García, 1996; Vidal, 2005), al considerar que las estaciones del año son marcadas y cuya influencia es determinante en la producción de anillos anuales de crecimiento (Morey, 1977). Los árboles analizados fueron obtenidos dentro de un área que fue resguardada a finales de la década de 1980 (Hijweege y Mess, 1986). En esta área, los árboles evidencian alta supresión en las últimas décadas y donde trabajos recientes sobre cargas de combustibles sugieren intervenciones al arbolado, para disminuir la continuidad horizontal y vertical con fines preventivos de incendios (Rubio, 2013).

2.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio proporciona información acerca de la influencia en los crecimientos de *P. pseudostrobus* respecto a la densidad y frecuencia de sequías; información necesaria para la toma de decisiones en términos de manejo del área resguardada con fines de estudio “Bosque Escuela”, perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León. La importancia ecológica de este sitio se debe a que forma parte de una las regiones con mayor biodiversidad como lo es la Sierra Madre Oriental, además de pertenecer al Área Prioritaria No. 82 denominada “Cañón de Iturbide” (Arriaga, 2000).

2.4 OBJETIVO

Determinar la influencia del resguardo sobre los crecimientos de *Pinus pseudostrabus*.

Objetivos específicos

- a) Definición y muestreo del área de resguardo y una área testigo o control.
- b) Análisis de las áreas en términos de densidad del arbolado, edad y diversidad florística.
- c) Generación de cronologías de Incremento en área basal “BAI” para el sitio con resguardo y sin protección (control).
- d) Asociación de ambas cronología con el clima y verificado con archivos históricos.

Hipótesis

Los crecimientos de *P. pseudostrabus* presentan una disminución derivado del proceso de exclusión del área.

2.5 ANTECEDENTES

Efecto de la sequía y la densidad de arbolado

La magnitud e intensidad de las sequías impactan los procesos básicos de los árboles, autores como Gowda y Kitzberger, (2013) conceptúan al árbol como una columna capilar continua, que conecta el agua del suelo a la atmosfera, teniendo como salida los estomas a través de los vasos del xilema; los eventos de sequía e insolación, producen un exceso de demanda de agua en los estomas y poca oferta a nivel de raíz, propiciando así la ruptura y la entrada de pequeñas burbujas en los conductos y el corte del flujo de agua en el sistema conductor, produciendo un efecto en cascada, que trae consigo en muchos casos la muerte del arbolado. Sin embargo, no todas las plantas reaccionan de la misma manera y al evitar la pérdida del agua, algunas de ellas cierran sus estomas durante periodos prolongados de escases de lluvia, impidiendo de alguna manera, realizar con satisfacción la fotosíntesis, lo que afecta el proceso de fijación de carbono necesario para las funciones metabólicas del árbol. Otra idea ligada a esta última, es que las sequías prolongadas matan a los organismos que degradan la materia orgánica, reduciendo el reciclaje de nutrientes, lo que origina su muerte.

No obstante, el desarrollo del crecimiento de los árboles no sólo se basa en el factor climático (Cook, E. R., 1987) si no que, existen otros factores determinantes del crecimiento como es la densidad.

En general, los individuos son afectados por los recursos disponibles en el lugar donde se desarrollan; sí éstos pertenecen a una misma especie, tienden a demandar recursos muy similares para sobrevivir, crecer y reproducirse. Esta interacción entre arboles denominada competencia es reconocida como el motor de la evolución en los ecosistemas forestales (Keddy, 1989; Gadow *et al.*, 2001)

A respecto, Craib (1939), citado por Gadow *et al.*, 2001 explican e ilustran como el crecimiento en diámetro es sensible a los cambios de densidad en un rodal, de tal manera que, la cantidad de individuos influye considerablemente en el grosor del anillo anual (Figura 27).

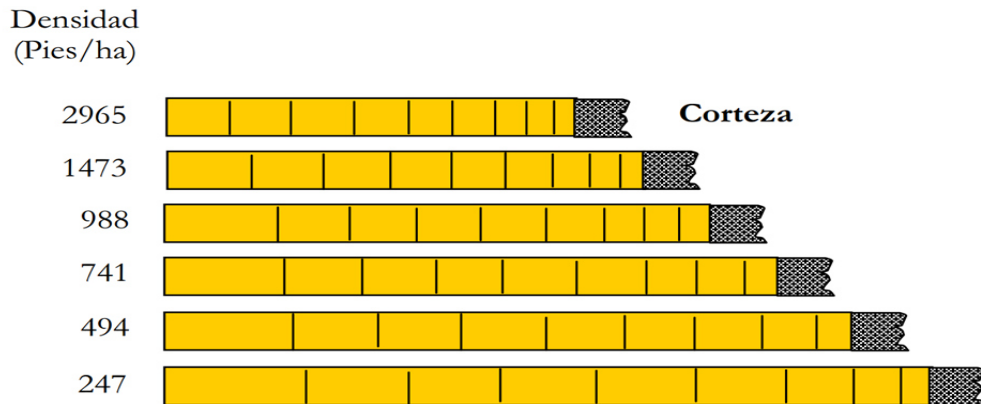


Figura 27. Crecimiento de 9 anillos en diferentes niveles de densidad Gadow *et al.* (2001).

Vulnerabilidad de los bosques y cambio climático

Escenarios sobre el cambio de clima indican que para a mitad de siglo (2050), las temperaturas serán en general de 2 a 3°C más calurosos y más secas, especialmente para el norte y centro de México (Magaña, 1999). Los ecosistemas más susceptibles a estos cambios son los ubicados en climas templados, concretamente los bosques de coníferas y encinos, que aunque representan 17 % de la superficie forestal y que el 70 % de ellos se encuentra conservado, éstos resultarán afectados en 67 % del total de su población (Villers y Trejo, 1998). Este panorama no es alentador para México, ya que la materia prima de la industria forestal se obtiene de las especies pertenecientes a este tipo de bosques, en donde el 50 % de ellas tienen importancia comercial y donde el 80 % de los productos forestales dependen de éstas (Toledo *et al.*, 1993; Senz *et al.*, 2003).

Otros ecosistemas forestales vulnerables son los presentes en las áreas protegidas en México, donde la protección se basa en leyes con tendencias conservacionistas surgidas en tiempos climáticamente menos drásticos y que hoy en día, estos ecosistemas preservados tienden a ser más vulnerables. La acumulación de combustibles en las áreas protegidas, donde la falta de actividades de extracción, origina una alta acumulación de combustibles, los hace más susceptibles a incendios forestales (Manson *et al.*, 2009); así mismo, mayores densidades de arbolado que propician competencia en la disponibilidad de recursos, podrían complicar el crecimiento en eventos de sequía prolongados o de gran magnitud. Esta situación se complica, ya que en muchos casos, la aplicación de aclareos o limpiezas no son prácticas habituales en estas áreas protegidas; por lo que deben implementarse para reducir la vulnerabilidad ante cambios climáticos adversos (Martín *et al.*, 2010).

2.6 MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación, descripción y antecedentes del área de estudio

La obtención de las muestras se realizó en dos áreas, una de ellas dentro del Campus Ecológico Iturbide, llamado “Bosque Escuela” perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León; una segunda área, se ubicó relativamente cercana al Campus Ecológico y adjunta al ejido Santa Rosa. Ambas áreas pertenecen al municipio de Iturbide, Nuevo León y se ubican relativamente cercana una de la otra (Figura 28). La precipitación promedio anual para la región es de 600 mm, con una estación interestival seca. En general, presenta precipitación variable. Los inviernos son secos y fríos. La temperatura promedio anual es aproximadamente 17°C. La geología de esta área, consiste en lutitas y calizas de Cretácico superior, la topografía es accidentada, con pendientes generalmente pronunciadas. El área denominada área de resguardo consta de 1035 ha, se le dio el nombre de “Bosque Escuela” en junio de 1983, año en el cual comenzaron los primeros experimentos y plantaciones, en 1984 se abrió el camino de terracería, para 1984 se había construido la casa, la palapa y parte del cercado (Hijweege y Mess, 1986).

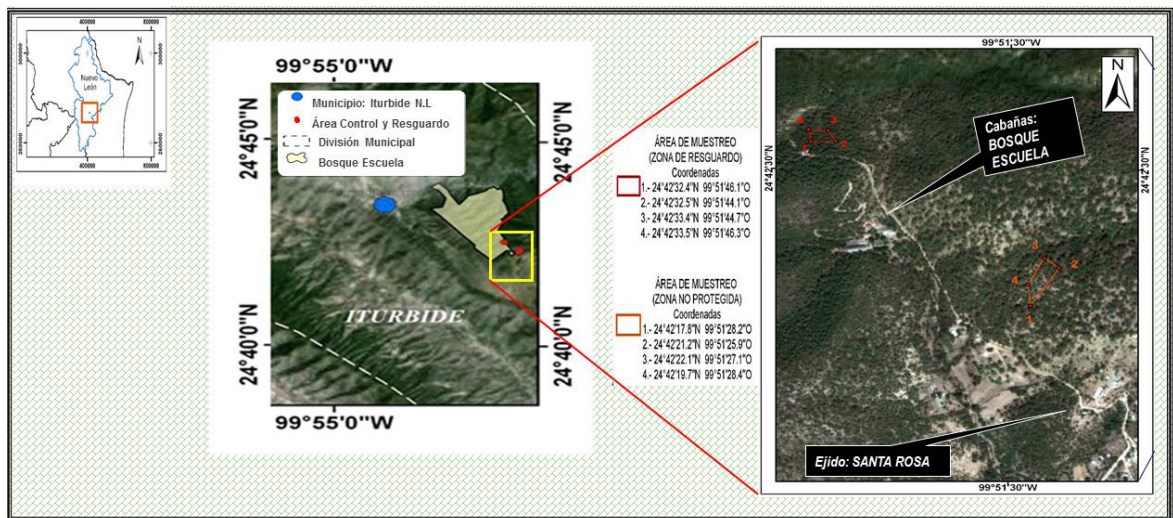


Figura 28. Ubicación del área de estudio y localización de las parcelas.

Trabajo de campo

Recorridos y definición de área de resguardo y control

En estudios de reconstrucción o historial de rodales, existen diferentes formas de analizar la señal de interés en los crecimientos anuales, una de éstas es comparar el área afectada contra un testigo y de esta manera filtrar el efecto de la primera, respecto a la segunda; así mismo es importante obtener información de la edad del arbolado, densidad y la composición de especies (Kitzberger *et al.*, 2000).

Para cumplir con los objetivos planteados en el estudio, se seleccionó el sitio protegido Área de Resguardo o Bosque Escuela y un segundo sitio sin protección (testigo, control), ubicado al lado del poblado Santa Rosa (Figura 2).

Tanto los recorridos preliminares como trabajos realizados dentro del área permitieron identificar en ambas áreas la especie *P. pseudostrabus* como la más representativa (Rubio, 2013). En estos sitios se implementó dos tipos de muestreo; el primero para el análisis del crecimiento secundario en la especie *Pinus pseudostrabus* y el segundo muestreo para analizar densidad, edad del arbolado y diversidad florística del área.

Muestreo y número de individuos para análisis de crecimiento

Con respecto al número de individuos requeridos para el análisis de los crecimientos con fines históricos del rodal, algunos estudios indican que para detectar la respuesta media del grupo afectado por la señal de interés dentro de un rodal, se recomiendan al menos 10 individuos con dos núcleos de crecimiento (Swetnam *et al.*, 1985); sin embargo, debido a que no todas las muestras pueden llegar a ser cofechadas o datadas, se recomienda obtener de 20 a 30 individuos.

Al respecto, Kitzberger *et al.* (2000) señala que en las reconstrucciones de historia de rodal es común encontrar un gran número de anillos faltantes o bien paquetes de micro-anillos imposibles de discriminar y medir, por lo que la cantidad de muestra deberá ser lo suficientemente grande como para detectar y sustentar los anillos perdidos.

Al considerar la existencia de una cronología regional (Capítulo I del presente trabajo), en cada área se tomó diferente número de individuos de 2 a 3 núcleos de crecimiento por árbol. La obtención de los incrementos se realizó con una barrena Pressler siguiendo las recomendaciones utilizadas en muestreos dendrocronológicos para México (Villanueva *et al.*, 2009a).

El muestreo fue selectivo y tanto en el área de resguardo como en el control se seleccionaron individuos de *P. pseudostrabus* con diámetros superiores a 25 cm en una superficie superior a 1 ha por área. Se consideró que arbolado con 25 cm de diámetro poseía un número suficiente de anillos para realizar la comparación entre sitios. El tamaño de individuos en muchos de los casos depende de encontrar un patrón de crecimiento, lo cual está en función de la especie y del sitio (Villanueva *et al.*, 2009a).

Establecimiento de parcelas para la información complementaria

La densidad es considerado un elemento clave relacionado con el crecimiento de los individuos, sin embargo, carece de significancia práctica, si no se expresan las dimensiones de la masa forestal (Corvalán y Hernández, 2006). El diámetro es generalmente utilizado como indicador de tamaño de los individuos, aparte de que es sensible a cambios ambientales y a la densidad del rodal, característica

que lo vuelve idóneo para el análisis de la condición del bosque (Gadow *et al.*, 2001).

Para tener una mejor idea del establecimiento de arbolado a partir de la fecha de resguardo, se utilizó la edad de la especie más abundante con formación de anillos de crecimiento que fue el *P. pseudostrabus*.

El número de individuos y especies presentes en los sitios de estudio, se cuantificó en 4 parcelas de dimensiones fijas de forma circular, distribuidas sistemáticamente en cada área (resguardo y control), cuya dimensión fue de 1000 m², dando un margen de compensación de acuerdo a la pendiente (Figura 29); con rango de altitud entre 1580-1680 msnm y una orientación Norte, NE o NW en cada caso.

- a)** El muestreo se realizó al considerar árboles con diámetros \leq a 5 cm de diámetro a la base, cuantificando todas las especies presentes.
- b)** Se definió como arbolado juvenil, aquel, cuyo diámetro fue \leq 5 cm a la base (30 cm del suelo) (Figuras 29a).
- c)** El arbolado mayor fue aquel cuyo diámetro fue \leq 5 cm. a una altura de 1.30 m del suelo.

Para la definición de edades, se clasificó al arbolado mayor en categorías diamétricas de 5 cm. a éstos se les extrajo un núcleo de crecimiento a una altura de 1.30 m y una más a la base (0.30 m), procurando en cada caso interceptar la médula (Figura 29b).



Figura 29a. Toma de arbolado juvenil a 0.30 m suelo, con un diámetro ≤ 5 cm. 29b. Médula interceptada

Variables dasométricas

Se tomaron las variables dasométricas diámetro y especie, así como las características de los sitios tales como altitud, pendiente, exposición, coordenadas (Figura 30). La dirección de muestreo fue tomada de acuerdo a las manecillas del reloj, registrando cada uno de los individuos dentro de un radio de 17.84 (1000 m²).

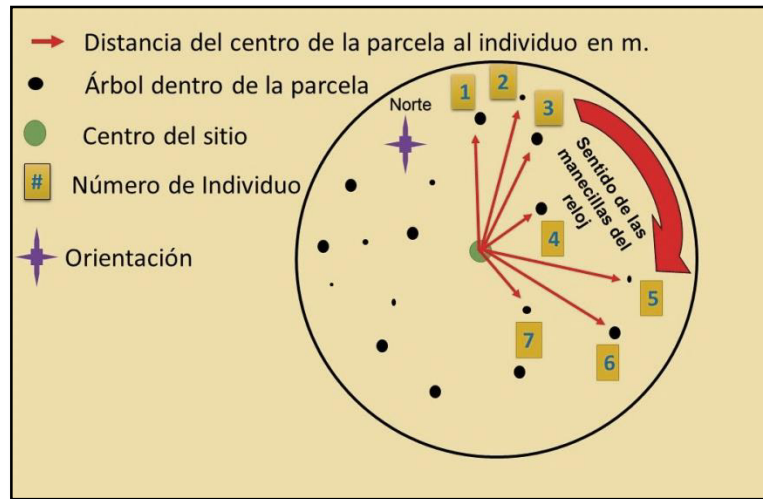


Figura 29. Parcela circular de 1000 m² establecida para cada área de estudio (resguardo y control).

Trabajo de Laboratorio

Lijado y pulido de muestras

Las muestras de los incrementos anuales obtenidas tanto en el muestreo para el análisis de crecimiento, como las obtenidas en las parcelas circulares para determinación de la edad, siguen una serie de procesos; es decir obtención de las muestras con taladro, transporte al laboratorio, montado en molduras especiales, lijado y pulido de acuerdo a técnicas dendrocronológicas convencionales (Stokes y Smilley, 1968).

Datado de las muestras para análisis de crecimientos

El clima afecta de manera uniforme a todos los árboles de una misma región, razón por la cual, sucede una sincronía entre los crecimientos anuales dentro de un área específica (Fritts, 1976). Este principio permite el datado exacto del crecimiento al año de su formación.

Para el fechado de los anillos de crecimiento, se realizó una comparación entre las series de crecimiento, logrando un pre-datado de las muestras. El datado final, para las muestras de cada área, se llevó a cabo una vez que las series fueron medidas y verificadas con el programa COFECHA (Grissino-Mayer, 2001).

Metodología de análisis de crecimientos de *P. pseudostrobus*

Obtención del Incremento en Área Basal (BAI)

Para detectar la señal ejercida sobre el crecimiento del arbolado en el área de resguardo, se utilizó el Incremento en Área Bisimétrica (BAI, por sus siglas en inglés Basal Area Increment): Su aplicación permitió minimizar el efecto de la edad y a la vez mantener las tendencias de alta y baja frecuencia de las series de crecimiento (Biondi y Qedan, 2008) permitiendo el análisis de la influencia de ambas señales en las cronologías para cada área.

El proceso de estandarización para eliminar el efecto de la edad sobre los crecimientos, se realizó al distribuir los crecimiento acumulativos (anillos medidos y fechados) sobre una superficie constante, dada por el diámetro; lo anterior es recomendable hacerlo en zonas áridas o templadas, donde la producción de madera en la etapa inicial o juvenil es mayor que en la etapa de madurez o senectud (Biondi y Qedan, 2008).

Mediante la aplicación del BAI, el grosor de los anillos (mm), se convirtió en series de crecimiento en mm², mediante la siguiente ecuación.

$$BAI = \pi(r^2 - r_{n-1}^2)$$

Donde:

BAI= Incremento en área basal (cm² por año⁻¹)

π = constante matemática pi (3.1416)

r = Radio del árbol (cm)

n = año de formación

La aplicación de la ecuación se realizó en el software estadístico R, versión 3.2.2, a través del uso del paquete dplR, con el cual se estandarizó y promedió cada serie obteniendo una cronología para cada área considerada (resguardo y control).

Determinación del Porcentaje de Cambio en el Crecimiento

Al considerar que el BAI incluye tanto información climática como efectos de la dinámica del bosque, se procedió a utilizar un filtro, que resaltara el decrecimiento o supresión en los anillos de crecimiento (Figura 31).

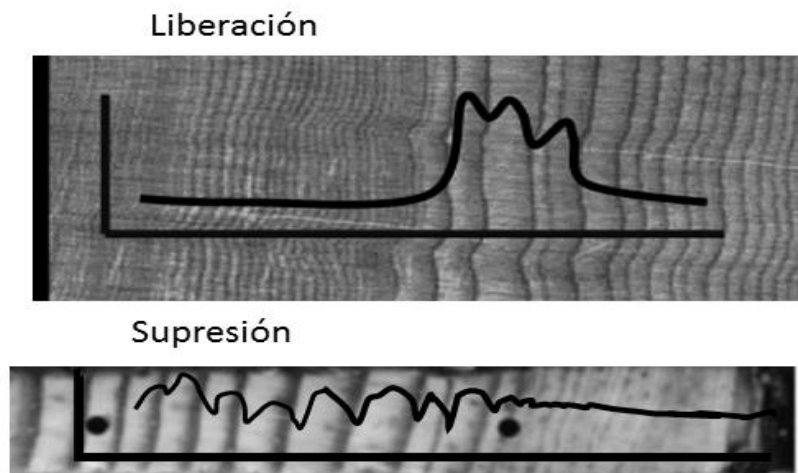


Figura 30. Ejemplos de problemas de supresión y liberación en un núcleo de crecimiento.

Para ello, se utilizó una técnica denominada “Porcentaje de Cambio de Crecimiento”, generalmente aplicado en detección de supresiones o liberaciones

a partir de cálculo en el cambio porcentual en cada uno de los crecimientos de anillos de árboles. El método supone que los árboles tienen un tiempo de reacción de un año, ente un evento que pudo propiciar un cambio en el crecimiento (Lomier, 1985; Nowacki y Abram, 1997).

Nowacki y Abram (1997) indican que este puede ser aplicado en un periodo de 10 años, dado que en intervalos menores podrían verse afectados por variaciones climáticas, de sequias persistentes de 2 o más años. Sin embargo, diferentes trabajos lo han aplicado ampliamente para evidenciar el efecto en eventos ecológicos endógenos (competencia, ataque plagas, incendios) o bien para estudiar los crecimientos de especies tolerantes e intolerantes; la duración de un periodo de supresión o liberación varía de acuerdo a la naturaleza del evento, por lo que diversos autores lo utilizan en un periodo de sostenimiento entre 8, 5 o inclusive 16 años (Locher, 2005; Lamas y Rozas; 2007; Szejner, 2007).

Se entiende como (liberación) o decrecimiento (supresión) mayor a un 25 % y definiendo por completo al llegar a un 100 %; el valor del cambio dependerá de la magnitud y la naturaleza del mismo, éste cambio debe ser sostenido por lo menos 5 años o bien un periodo predefinido (Kitzberger *et al.*, 2000). En el presente trabajo, la ecuación se orientó a resaltar las supresiones en crecimiento, en un periodo sostenido por 10 años consecutivos.

Para determinar períodos de supresión o liberación, en la serie BAI y para un año particular, se seleccionaron los 10 años previos y posteriores al año de crecimiento. La elección de 10 años, significaría en este caso, que el crecimiento medio de diez años es menor al crecimiento medio de los 10 años siguientes. En

teoría, los anillos de las últimas décadas tendrían un portaje de cambio mayor (con tendencia a disminuir) que los anillos anteriores al resguardo.

La ecuación que se utilizó para su implementación fue la desarrollada por Nowacki y Abrams, (1997).

$$\%CC = (M1 - M2)/M2 * 100 S$$

Donde:

M1= Mediana de 10 años anteriores

M2= Mediana de 10 años posteriores

De esta forma, la detección de una disminución en el crecimiento resulta del cálculo de la mediana de 10 años anteriores y 10 años subsecuentes, donde “M1” es igual al promedio de los 10 años previos y “M2” es el promedio de los 10 años siguientes; por ejemplo, para calcular el porcentaje de cambio en crecimiento del año 1960 “M1” corresponde al periodo 1951 a 1960 y “M2” corresponde al periodo 1961 – 1970, el valor más alto de cambio en el crecimiento, indica los años en que se registró una fuerte supresión en los crecimientos (Nowacki y Abrams, 1997).

Relación entre el clima y el BAI del área de resguardo y control

Tomando en consideración la influencia del clima al utilizar el BAI, se exploró la relación entre los mismos. Para ello, se emplearon los datos climáticos de la estación meteorológica Iturbide, Nuevo León, con una extensión de 50 años (1960-2009). En general, para las dos áreas, la asociación entre el BAI y la precipitación promedio anual, tuvo una asociación muy baja, por lo que se decidió asociarlo con la precipitación acumulada enero-julio, siendo este periodo, al que responde el crecimiento de la especie *P. Pseudostrobus* (Capítulo I).

La asociación entre ambas variables, se enfocó en el periodo anterior al resguardo y posterior al mismo. Esto con la finalidad de entender el comportamiento de los crecimientos con respecto al clima, antes y después de la protección. Por lo que en el área control, se realizó el mismo procedimiento.

Metodología para el análisis de la información complementaria

Listado florístico

Para definir la especie con mayor presencia e identificar las especies coexistentes dentro de las dos áreas, se consultó en primera instancia el listado de especies para la región. Se identificaron algunas especies en el Laboratorio de Botánica de la Universidad Autónoma de Agraria Antonio Narro, y a la vez, se consideraron trabajos realizados para el área de estudio (Salinas, 2012 y Rubio, 2013).

La identificación de las especies permitió definirla en términos de riqueza y cuantificarla en forma porcentual, de acuerdo a su presencia en las parcelas estudiadas.

Determinación del número de individuos por hectárea

Los diámetros de todas las especies presentes, se ordenaron y cuantificaron en categorías de 5 cm. y se realizó la extrapolación a una hectárea con base a la superficie muestreada de 4000 m² en cada una de las áreas.

El mismo procedimiento se realizó con los diámetros de *P. pseudostrobus* al considerar que fue la de mayor importancia dentro del área (Rubio, 2013).

Estimación de la edad de los árboles y densidad

La estimación de la edad de los árboles se realizó con base a la determinación de la fecha exacta de formación de cada crecimiento y la identificación de anillos falsos y ausentes. La edad fue estimada con facilidad para aquellas muestras con presencia de la médula y obtenidas cerca de la superficie del suelo (0.30 m). Para las muestras donde no se obtuvo la médula, se realizó una estimación de los anillos faltantes con base al crecimiento de los últimos 10 anillos internos de la muestra. La edad del individuo consistió en la sumatoria de los anillos estimados, más los cuantificados en el núcleo de crecimiento (Bosch y Gutiérrez, 1999).

Las edades de los individuos se agruparon por categorías diamétricas para el sitio reguardado y sin resguardo.

Metodología para los análisis estadísticos

La asociación entre el diámetro con la edad fue evaluada para cada sitio de estudio, con un análisis de correlación.

Se comparó gráficamente la distribución de los diámetros, utilizando para ello, un gráfico de caja o “boxplot”; la diferencia estadística entre diámetros se realizó mediante una prueba no paramétrica.

De igual manera, la diferencia de incrementos en área basimétrica para ambos áreas, se realizó siguiendo el mismo procedimiento. El análisis se realizó para el periodo total 1920 a 2014 y luego en 4 subperiodos; es decir, 1900-1924, 1925-1954, 1955-1984, 1985-2014. El procedimiento en el análisis se llevó a cabo de acuerdo a trabajos similares (Lamas y Rozas, 2007).

Se realizó lo mismo específicamente para el área de resguardo, previo al período de protección (1955-1984) y posterior al mismo (1985-2014). Para lo cual, se realizó una comparación de medias de crecimiento antes y después del resguardo, información que se presenta de forma gráfica y que a la vez se verificó con una prueba estadística no paramétrica.

2.7 RESULTADOS

Análisis de los crecimientos de *Pinus pseudostrabus*

Resultados del Programa COFECHA

En el área de “control” se colectaron 52 árboles, de los que se obtuvieron de 2 a 3 núcleos de crecimiento. La cronología BAI se realizó a partir de 38 series, procedentes de 29 árboles, los resultados del programa COFECHA indican una intercorrelación entre series de 0.68, con una extensión de 115 años (1900 a 2014). El menor tamaño de muestras se tuvo para el período 1900-1920 (Figura 32a).

En el área de “resguardo” se muestrearon 76 árboles, de los cuales se logró datar sólo 34, la cronología BAI se integró con 48 series, con una intercorrelación entre series de 0.64 y una longitud de 120 años (1895 a 2014). El menor tamaño de muestras se tuvo para el período 1895 a 1920, con sólo 10 muestras (Figura 32b).

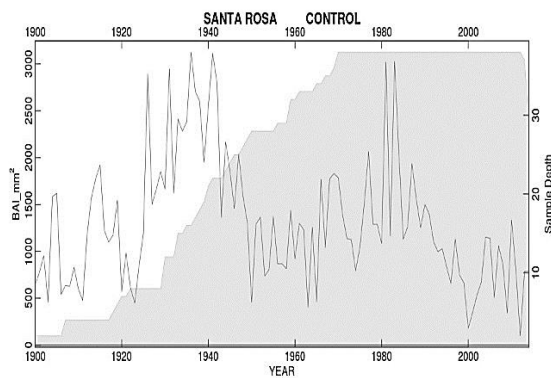


Figura 31a Número de muestras Área Control”.

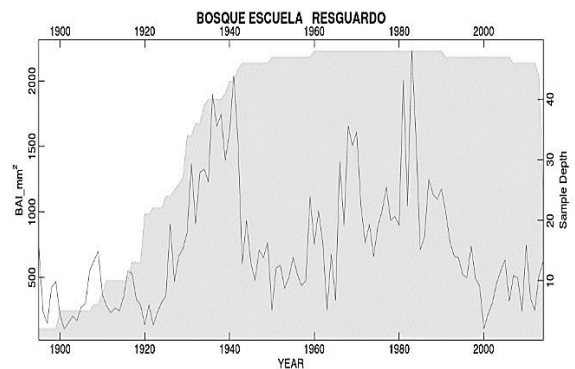


Figura 32b. Número de muestras “Área Resguardo”.

BAI_{mm}²= Incremento en Área Basimétrica en mm², Sample depth=Número de muestras, Year = Año calendario.

BAI_{mm}²= Incremento en Área Basimétrica en mm², Sample depth=Número de muestras, Year = Año calendario.

Al datar las muestras pertenecientes al área de “resguardo”, se detectó un total de 140 anillos perdidos, mientras que en el área de “control” fue solo de 80 anillos.

Comparación de cronologías BAI en área control y resguardo

Una vez datadas las muestras, se procedió a realizar las cronologías BAI. Los resultados indican que los incrementos en el área de “resguardo” fueron menores que los del área de “control” durante el periodo 1920 a 2014.

La comparación visual de ambas series denota un mismo patrón de crecimiento, con periodos con incremento similar; es decir, 1960-1978 y específicamente en el año 1982. A partir de 1984 al 2014 se detectó una disminución en crecimiento para las dos áreas, aunque en ambos sitios, las cronologías mostraron un mismo patrón de crecimiento (Figura 33).

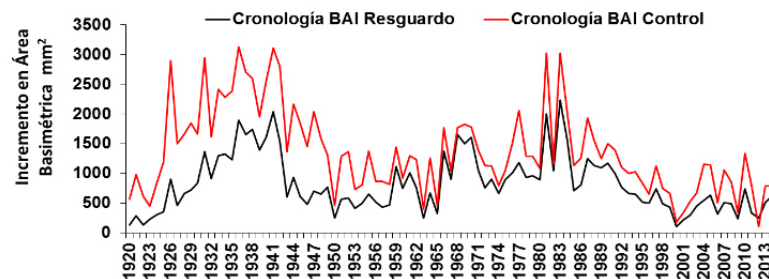


Figura 32. Asociación entre las cronologías de BAI del área de resguardo y control, respectivamente

Las cronologías generadas para ambos sitios se compararon con la cronología desarrollada para reconstrucción climática (Capítulo I) y evitar errores de fechado. Se determinó una sincronía similar para las tres cronologías, verificando

de esta manera un patrón de crecimiento fundamentado en una cronología bien fechada (Obtenida el Capítulo I del presente trabajo) (Figura 34).

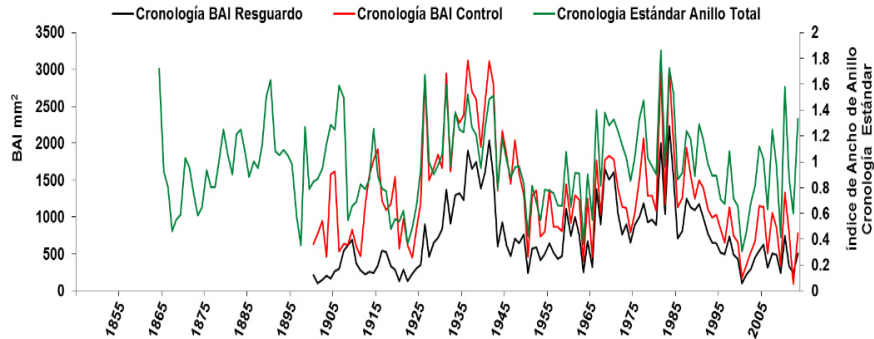


Figura 33. Asociación entre las cronología BAI y la cronología desarrollada con fines de reconstrucción climática.

Comparación del Porcentaje de Cambio en el Crecimiento

La supresión evidenciada en las muestras pertenecientes al área protegida se muestra gráficamente (Figura 33) y físicamente en muestras obtenidas en las dos áreas (Figura 35).

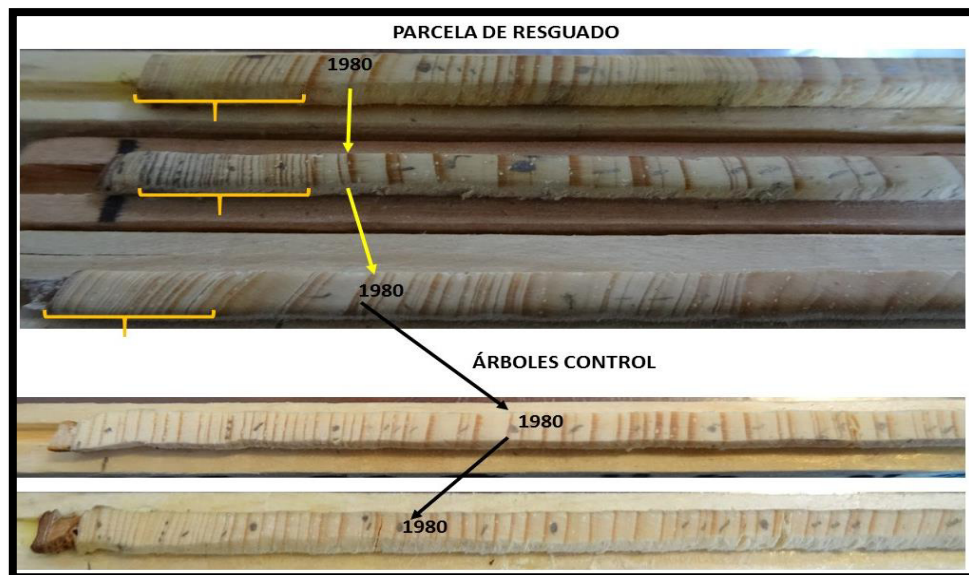


Figura 34. Comparación de los crecimientos entre el área de resguardo y de control.

El análisis del Porcentaje de Cambio en el Crecimiento, se llevó a cabo para la cronología BAI en el periodo 1920-2014, en el lapso en el cual el tamaño de muestra fue mayor (Figura 32a y 32b).

La generación de una nueva serie de crecimiento derivada de aplicar la técnica de Porcentajes de Cambio en el Crecimiento fue reducida en longitud, esto como resultado de la comparación de 10 añillos previos y 10 anillos después, por lo que, la extensión de la nueva serie se extendió de 1930 a 2005, no obstante, el período utilizado con fines comparativos en la gráfica fue de 1950 a 2005, considerando que la supresión más evidente para las dos áreas ocurrió en las últimas décadas.

El análisis de la series indicó una reducción en crecimiento para ambas áreas del 50% para los últimos años, iniciando en 1987 y terminación en 2001. El cambio más drástico ocurrió en 1993 con 100% de cambio.

La diferencia entre ambas series fue más bien en magnitud y este cambio fue más marcado en el área resguardo, particularmente en los años de 1987 al 1988 y 1993.

Para el área control se determinó una reducción en crecimiento en la década de 1950; mientras que para el área resguardo, esta disminución fue muy similar específicamente para el periodo de tiempo en conflicto (Figuras 36 y 37).

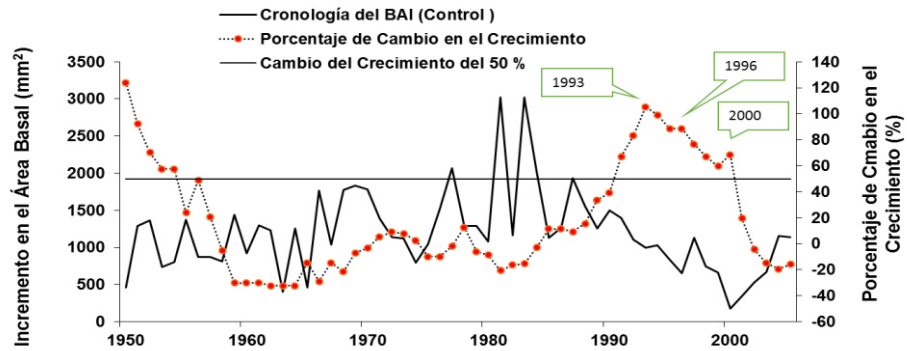


Figura 35. Porcentaje de Cambio del Crecimiento área Control

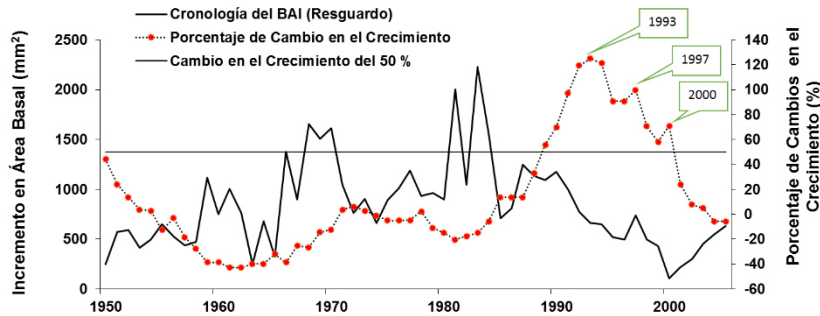


Figura 36. Porcentaje de Cambio del Crecimiento área resguardo.

En las dos áreas se determinó una asociación con los datos climáticos de la estación de Iturbide; sin embargo, la mayor correlación ($r= 0.43$) se obtuvo para el área control en el periodo 2010-1985, mientras que la más baja se detectó en el período 1960-1984. En el área de resguardo de ésta asociación fue mínima en ambos periodos (Figuras 38a y 38b).

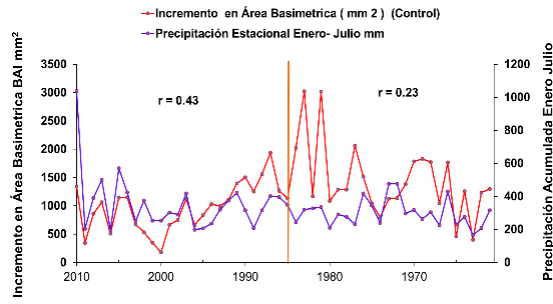


Figura 37a y b. Asociación entre los datos climaticos y el BAI del área Control

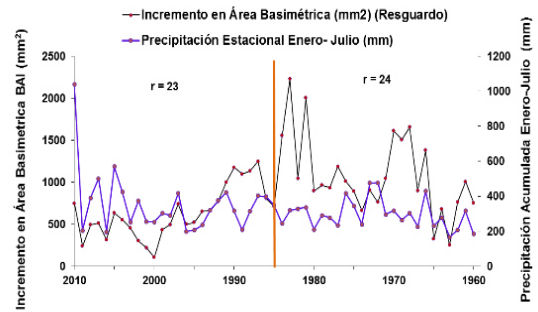


Figura38b. Asociacion entre los datos climaticos y el BAI del área Resguardo

Información complementaria

Florística

En términos de riqueza, el listado para las dos áreas demostró que *P. pseudostrobus* representa aproximadamente el 50 % con respecto a las especies encontradas en ambas áreas; la especie que le sigue en riqueza fue *Juniperus fláccida* y posteriormente un grupo de *Quercus*, entre los que destacan en orden de importancia *Quercus canbyi* y *Quercus polymorpha* (Figura 39).

Comportamiento de diámetros del total de las especies

El análisis de los diámetros considerando el total de especies registradas en las dos áreas, presentó una distribución de “j” invertida, en donde el arbolado menor, tuvo el mayor número de individuos. Las categorías con mayor densidad fueron la juvenil, diámetros ≤ 5 cm a la base, al igual que las categorías diamétricas de 5, 10, 15 y 20 cm, y es a partir de esta última categoría, que la densidad disminuyó notablemente para ambas áreas (Figura 39).

El área **control** tuvo una distribución de diámetros muy amplia, con la presencia de clases desde ≤ 5 cm hasta 70 cm; en general, el sitio exhibe un número menor de individuos en la mayoría de las categorías diamétricas, excepto en la categoría de 5 cm, aunque es de notarse que presenta individuos en las categorías de 55, 60, 65 y 70 cm a excepción del área de resguardo (Figura 39).

El área de **resguardo** presentó una distribución diamétrica de menor extensión que el área control, con categorías que fueron desde la juvenil hasta la clase de 50 cm. Ésta área exhibió mayor número de individuos en las categorías de: juvenil, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 cm., así como menores individuos en las categorías 40, 45 y 50 cm., respecto al área control (Figura 39).

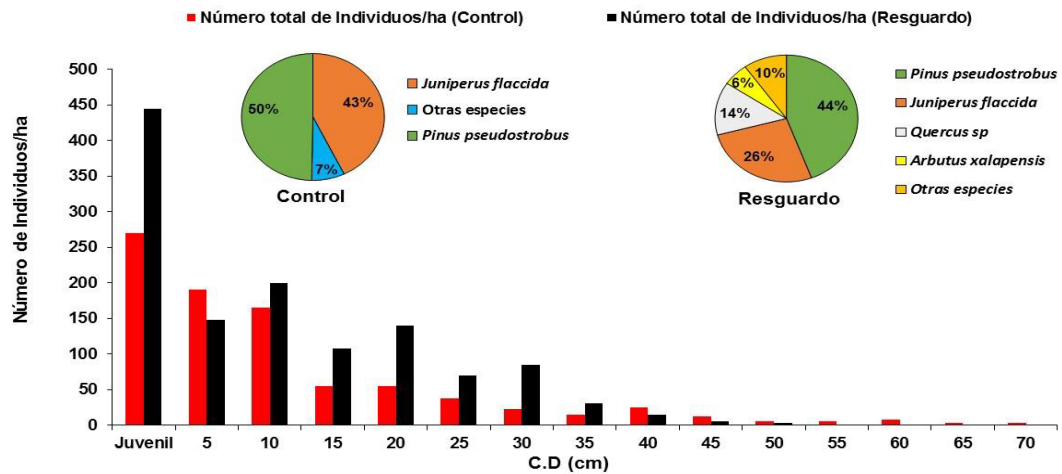


Figura 38. Porcentaje de las especies presentes, número de individuos y categorías diamétricas en el área control y resguardo, respectivamente. C.D = Categoría Diamétrica.

Comportamiento de diámetros del *Pinus pseudostrabus*

El comportamiento de los diámetros específicamente para *P. pseudostrabus* fue diferente con respecto a la estructura que involucra los diámetros del total de las especies encontradas.

En general, para las dos áreas, la distribución de diámetros ordenada en categorías de 5 cm, se presentó desde las categorías menores (juvenil) hasta la categoría de 50 cm., la presentación de las mismas fue continua, mostrando un mayor amplitud diamétrica con respecto al área control (Figura 40).

La gráfica indica que para el área control, el pino se presenta con un mayor número de individuos en las primeras categorías (Juvenil, 5 y 10); mientras que en las categorías siguientes 15, 20, 25, 30 y 35 cm, el área de resguardo muestra dominancia (Figura 40).

Relación Diámetro-Edad del *Pinus pseudostrabus*

Con el objetivo de identificar las edades del arbolado presente en el periodo de resguardo 1985-2014. Se procedió a realizar una asociación entre el diámetro y la edad, considerando 30 individuos para cada área.

Para el área de resguardo, la asociación entre el diámetro y la edad de *P. pseudostrabus* mostró un coeficiente de determinación de 0.77; en tanto que para el área control fue de 0.79. Lo anterior permitió categorizar la edad del arbolado en base al diámetro y realizar promedios entre ambas áreas (Figura 40). La grafica evidencia que los individuos con edades de 30 años y menores, se ubican en las categorías diamétricas de arbolado juvenil y de 5 cm, los individuos incorporados en los años en los que ocurrió el resguardo. En el área control estos

individuos (Juvenil y C.D = 5 y 10) presentaron una mayor densidad con respecto al área de resguardo (Figura 40).

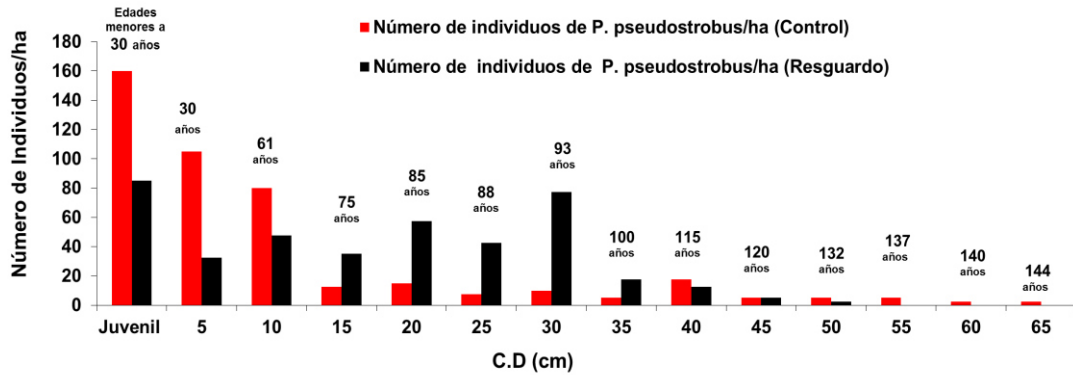


Figura 39. Distribución de clases diamétricas y promedio de edad del arbolado de *P. pseudostrobus* en el área control y resguardo. C.D= Categoría diamétrica.

Resultados Estadísticos

Diámetros para el total de las especies presentes por área

Tanto la gráfica de cajas como la estructura de diámetros, muestra como la concentración en el número mayor de individuos fue similar en ambas áreas; sin embargo, es notorio que el área de resguardo presenta individuos con diámetros mayores que el área control (Figura 41), por lo que la prueba estadística no paramétrica Mann de Whitney-Wilcoxon para muestras independiente reveló una diferencia significativa ($P < 0.001$) entre los diámetros del total de especies encontradas.

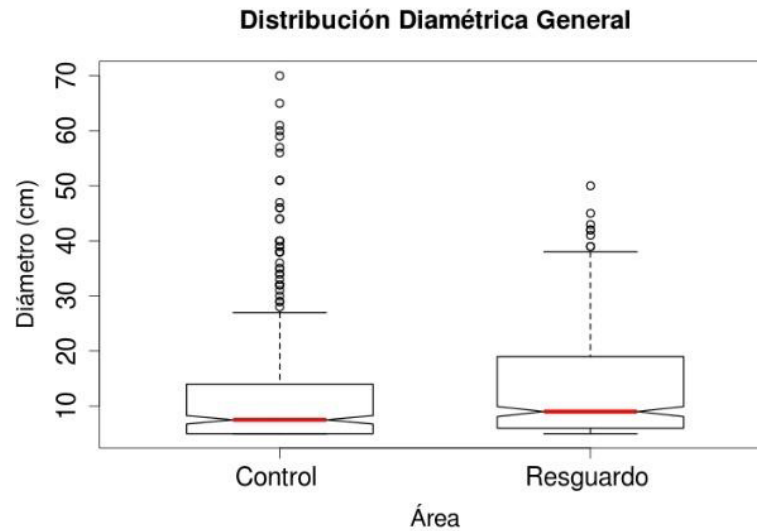


Figura 40. Diferencia de diámetros del total de las especies presentes en los sitios control y resguardo.

Diámetro de *Pinus pseudostrobus*

Específicamente para el pino, el área de resguardo mostró individuos de *P. pseudostrobus* de mayores diámetros en comparación al área control, en donde predominaron clases juveniles, con pocos individuos de diámetros mayores (Figura 42). La prueba no paramétrica reveló diferencia significativa entre las dos áreas ($P < 0.000$).

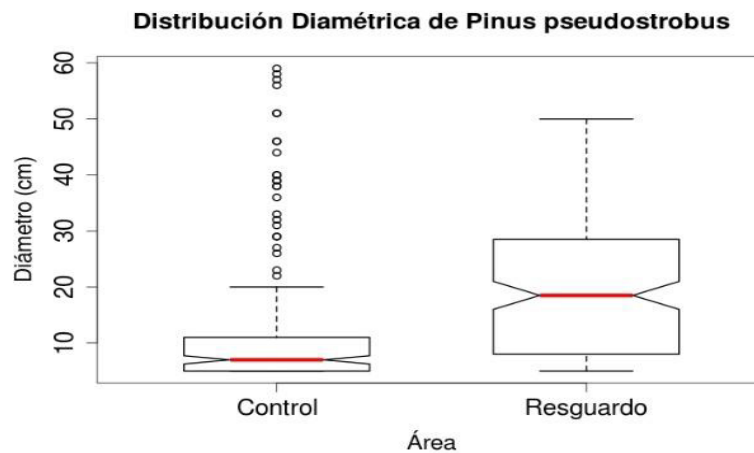


Figura 41. Diferencia en diámetros de *Pinus pseudostrobus* para el área control y resguardo.

Incremento en Área Basimétrica del *Pinus pseudostrabus*

El Incremento en Área Basimétrica del ola zona de resguardo, indicó una disminución en sus crecimientos, respecto el área control, ésta diferencia fue altamente significativa ($P < 0.000$) en todo el periodo analizado 1900-2014 (Figura 43). De igual manera, ocurrió en los subperiodos 1900-1924, 1925-1954, 1955-1984 y 985-2014. Lo anterior se realizó utilizando la prueba no paramétrica Mann Whitney con muestras independientes.

Específicamente para el área de resguardo, se utilizó la misma prueba no paramétrica pero con muestras pareadas, la cual comprobó un diferencia significativa ($P < 0.001$) en el periodo anterior al resguardo de 1955-1984 y posterior al mismo 1985-2014 (Figura 44). Aceptando en esta parte la hipótesis planteada para el presente trabajo.

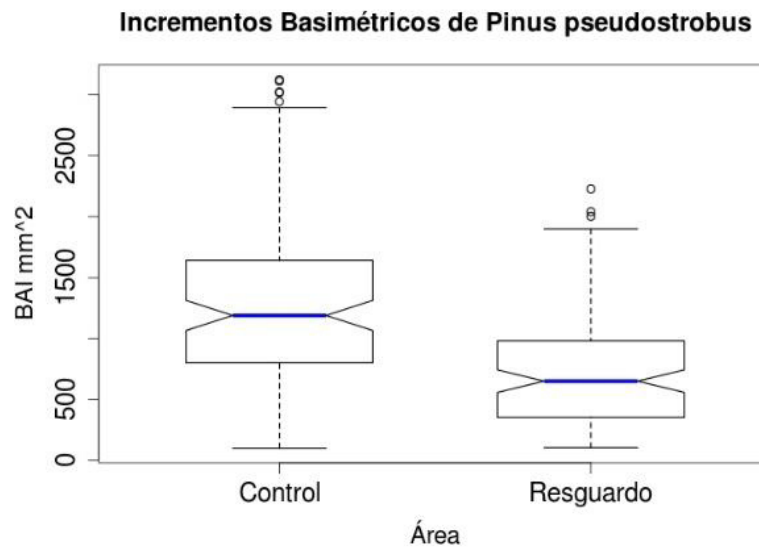


Figura 42. Diferencia del BAI en todo el periodo total de la cronología (1900- 2014).

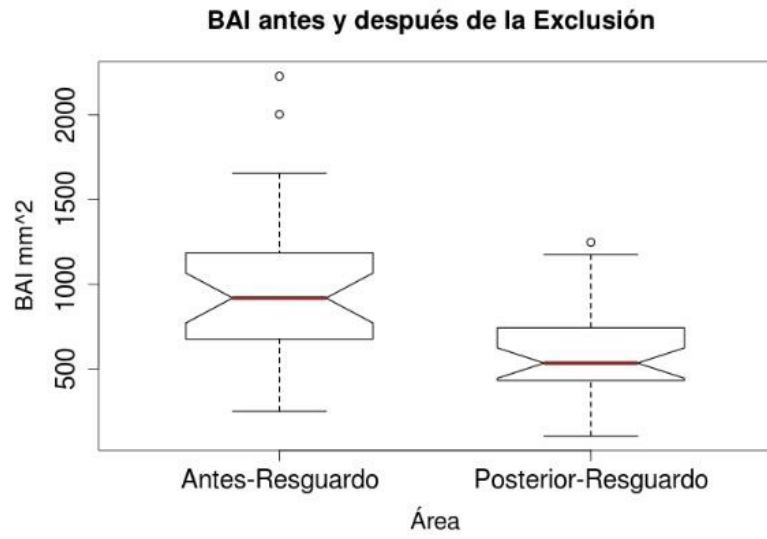


Figura 43. Diferencia del BAI antes (1955-1984) y después (1985-2014) del resguardo.

2.8 DISCUSIÓN

Análisis de la Información complementaria

La comparación entre los diámetros de todas las especies encontradas en las dos áreas, reveló una diferencia significativa; ésta diferencia mostró para el área control dos estratos de arbolado, uno con arbolado menor 28 cm y otro estrato que presenta el arbolado de 29 a 70; también presentó un alto número de individuos en categorías menores (Figura 39), lo que supone, una mayor cantidad de espacio y luz, el cual sólo podría ser aprovechado por especies con altas demandas de la misma, tales como los pinos (Figura 40).

El análisis de diámetros realizado específicamente para *P. pseudostrobus* mostró una mayor cantidad de individuos en las edades menores a 30 años (Figura 40) en comparación con el área de resguardo, dejando en claro que, el área control se define como una área abierta de menor densidad, cuyas condiciones permitieron el establecimiento o reclutamiento del pino desde hace aproximadamente 60 años (Figura 40), siendo ésta situación la que permitió un mejor crecimiento para las últimas décadas, y razón por la cual, se atribuye esta diferencia significativa al comprarla con el área protegida (Figura 33).

Trabajos realizados específicamente para el Bosque Escuela indican una asociación espacial entre el *P. pseudostrobus* y *Quercus canbyi*, las cuales son las especies más representativas del área (Rubio 2013); en donde el pino constituye un 44% de total de individuos con respecto a las demás especies, lo anterior es relevante, dado que la abundancia de una misma especie, puede ser indicativo de cierta competencia, ocasionada por la demanda de los mismos requerimientos nutricionales (Gadow *et al.*, 2001) más aún si ésta ha estado bajo protección por casi tres décadas.

No obstante, ésta demanda por recursos puede ser mayor, dado que el pino presenta relaciones inter-específicas con el *Quercus canbyi* (Rubio 2013), deduciendo con esto que comparten recursos; por otra parte, un mayor número de especies fue registrado para el área protegida (Figura 39) por lo que se concluye que existe una fuerte demanda sobre los recursos compartidos con otras especies, que si bien no presentan relaciones directas como el caso del *Quercus*, coexisten dentro de la misma área, en la cual tanto el recurso hídrico como el nutricional son demandantes.

Esta información conlleva a indicar que existen mejores condiciones dentro del área control para un mayor crecimiento de *P. pseudostrobus* en comparación al área de resguardo.

Datado de las muestras

La intercorrelación entre series para las dos áreas, presenta correlaciones bajas (control $r=0.68$; resguardo= $r= 0.64$) en comparación a otras coníferas (Grisino-Meyer, 2001). Sin embargo, ésta intercorrelación relativamente baja, puede tener el efecto de factores endógenos presentes en cada área. En el caso específico de la zona protegida, la inaccesibilidad y la densidad pudieran ser la causa de ésta baja sincronización entre los crecimientos (Kitzberger *et al*, 2000); mientras que para el área control, la extracción de leña, tierra de monte y el pastoreo son actividades comunes del ejido. Por lo que se concluye que, las actividades propias de cada área debidas a factores no atribuidos al clima, afectaron la variación de cada individuo, provocando una baja sincronía entre crecimientos (Villanueva *et al.*, 2009a).

La incidencia de anillos perdidos en el área de resguardo, fue la razón por la cual se utilizó un mayor número de muestras (48 series) para el datado, en

comparación con el área control (38 series). Las dificultades para la realización del datado de las muestras del área de resguardo reflejado en la ausencia de anillos para las últimas décadas, indicando el efecto de la densidad sobre los crecimientos e indirectamente el efecto de la protección.

Análisis sobre los crecimientos de *Pinus pseudostrabus*

La utilización de un área control, que posee menor densidad de individuos, en comparación con el área protegida, evidenció un incremento basimétrico menor para el área bajo protección, atribuida también a cierta inaccesibilidad al poblado más cercano, así como al resguardo ocurrido a lo largo de 30 años.

La aplicación del “Porcentaje de Cambio en el Crecimiento” mostró para las dos áreas un periodo de reducción en el incremento anual de las últimas décadas (Figura 36 y 37), situación que de acuerdo al historial y densidad, era esperado sólo para el área de resguardo. Lo anterior, permitió deducir que el factor climático adverso podría ser el causante de esta disminución en los crecimientos para las últimas décadas.

Por lo que al correlacionar las cronologías BAI con la base de datos climáticos, ésta no mostró una correlación alta (Figura 38a y 39b) para ninguna de las dos áreas. Lo anterior se adjudica a que el BAI incluye variación de baja y alta frecuencia (Piovensan *et al.*, 2008) es decir, la variación relacionada con el clima, pero también a variaciones locales. En este sentido, estudios que han utilizado el BAI para analizar la competencia y el clima, indican que el impacto de ruidos ecológicos como la competencia, afectan la respuesta del crecimiento al clima (Piovesan *et al.*, 2008). Es decir, que la respuesta al clima no es bien registrada por los crecimientos, sí ésta presenta fuertes señales de tipo ecológico. Por lo que la corroboración del factor climático, se llevó a cabo con datos históricos. Así,

Ortega *et al.* (2011) reporta una fuerte sequía de aproximadamente de 14 años consecutivos para la región. Además de que, en el presente estudio dentro del primer capítulo se reconstruye un periodo seco de precipitación de 1992-2009, el cual es sustentado por diferentes autores en estudios dendrocronológicos para el noreste de México (Cerano *et al.*, 2011a; Cerano *et al.*, 2011b; Constante *et al.*, 2009b; Villanueva *et al.*, 2007; Villanueva *et al.*, 2009b); estos antecedentes justifican, el por qué, el porcentaje de cambio fue similar en las dos áreas, específicamente para el periodo 1992 al 2014).

Para comprobar la hipótesis planteada se compararon los incrementos en área basimétrica antes del resguardo (1955-1984) y después al mismo (1985-2014) (Figura 44), determinando una fuerte una disminución en el último periodo perteneciente al área de protegida. Diferencia que resultó ser estadísticamente significativa ($P < 0.001$). Por lo que la hipótesis planteada podría ser aceptada, ya que los crecimientos fueron mayores antes y menores después del resguardo. Dejando en claro que, el efecto de la densidad ocasionada por el resguardo, influyó sobre los incrementos anuales. Sin embargo, no se puede dejar de lado el efecto del clima, dado que las dos fuerzas evidentemente fueron las responsables de la fuerte supresión en los crecimientos del área protegida en las últimas décadas.

2.9 CONCLUSIÓN

El análisis de diámetros y densidad demostró que existen mejores condiciones dentro del área control para un mayor crecimiento de *P. pseudostrabus* en comparación al área de resguardo.

La disminución en los crecimientos para el área control y resguardo en el período 1984-2014, sugiere la influencia de un factor común atribuido al clima, corroborado con datos históricos.

Las diferencias encontradas para el incremento anual, no sólo fue para las últimas décadas después de la protección, sino que se extendió desde 1900 a la fecha, revelando que el área aún sin previa protección tuvo poco disturbio antes de 1980, atribuido a la poca accesibilidad del ejido más cercano.

Por lo que, la supresión de los crecimientos observado en las últimas décadas en el área protegida, no fue sólo efecto del resguardo, sino también se debió a la interacción de factores climáticos y la dinámica del sitio.

Ésta situación puede generar a corto plazo problemas graves de sanidad en el arbolado, disponibilidad de nutrientes y riesgo en la incidencia de incendios de alta intensidad debido a la acumulación de combustible, con efectos no deseables en el ecosistema, por lo que se deben de tomar las medidas pertinentes de prevención.

2.10 RECOMENDACIONES

Aunado a la solidificación de estudios de dinámica con análisis dendrocronológicos de los sitios estudiados, se recomienda implementar estudios adicionales sobre índices de competencia, análisis de cobertura y balances de energía.

Este tipo de estudios se recomienda aplicarlos en áreas naturales protegidas de México, donde la problemática puede ser semejante a la observada en el presente estudio.

2.11 BIBLIOGRAFÍA

Amoroso M. M. 2009. Stand development patterns as a consequence of the decline in *Austrocedrus chilensis* forests. Tesis Doctoral. Vancouver, Canadá. Facultad de Forestal. Universidad de British Columbia.153p.

Arriaga C, L., J.M. Espinoza-Rodríguez, C. Aguilar-Zúñiga, E. Martínez-Romero, L. Gómez-Mendoza y E. Loa Loza. 2000. Regiones Terrestres Prioritarias de México. CONABIO. México, 609 pp.

Bigler C, Bugman H. 2004. Predicting the time of tree death using dendrochronological data. *Ecological Applications* 14: 902–914.

Biondi, F. and F. Qedan (2008) A theory-driven to tree-ring standardization: Defining the biological trend from expected basal area increment. *Tree-Ring Research*. 64(2): 81-96.

Bosch O y E. Gutiérrez. 1999. La sucesión en los bosques de *Pinus unicata* del Pirineo. De los anillos de crecimiento a la historia del bosque. *Ecología* (13): 113-1771.

Bréda, N., Granier, A y G. Aussenac. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest *Quercus petraea* Matt. *Tree Physiol.*15295-306.

Cerano P., J., Villanueva D. J., Valdez C. R. D, Méndez G. J y V Constante G. 2011a. Sequías reconstruidas en los últimos 600 años para el noreste de México”, Rev. Mex. Cienc. Agríc. Pub. Esp. Núm. 2, pp. 235-249.

Cerano P. J., Villanueva, D.J., Valdez C. R.D., Cornejo O E. H. Sánchez C. I. y V. Constante García. 2011b. Variabilidad Histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el Sureste de Coahuila. Rev. Mex. Cien. For. 3 (4):33-46.

CNA. 2001. Hidráulico: 2001-2006. Resumen ejecutivo. Segunda edición, Comisión Nacional del Agua, México.

Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bulletin 47: 37 – 59.

Cook, E. R. and L. A. Kairiukstis. 1990. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht. Kluwer. 394pp.

Corvalán V. P., y J. Hernández Palma. 2006. Densidad del Rodal. Universidad de Chile. 2006. Facultad de Ciencias Forestales. Depto. Manejo de Recursos Forestales.

Duchesne, L., Ouimet, R. and Houle, D. 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. J. Env. Qual. 31:

1676–1683. Dutilleul, P. 1993. Modifying the t test for assessing the correlation between two spatial processes. *Biometrics* 49: 305–314.

Fritts, H.C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic Press, London - New York-San Francisco.

Gadow, K. v., Real, P., Álvarez González, J.G., 2001: Modelización del crecimiento y la evolución de bosques. *IUFRO World Series* Vol. 12: 242 p.

Gea, I. G, Cañellas Isabel. 2009. Analysis of Holm Oak Intraspecific Competition Using Gamma Regression. *Forest Science*. 55: 310–322.

Gowda J.H. y T. Kitzberger 2013. Procesos y/o disturbios naturales del Parque Nacional Nahuel Hupi. Universidad Nacional de Comahue. <http://www.researchgate.net/publication/239937895>.

Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating cross dating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57 (2):205-221.

Hertel, G. 1988. Proceedings of the US/FRG research symposium: effects of atmospheric pollutants on the spruce-fir forests of the Eastern United States and the Federal Republic of Germany. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-120.

Hijweege W y Mes G. 1986. Plan de Futuras Actividades para El Bosque Escuela de la UANL. en consideración a la situación actual en Iturbide, N.L. Universidad Autónoma de Nuevo León.

INE (Instituto Nacional de Ecología). 1995. Estudio de País: México ante el Cambio Climático. Informe Técnico. México: U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies. UNAM-Centro de Ciencias de la Atmósfera.

IPCC. 2007. Climate change 2007: synthesis report. In Pachauri RK, A. Reisinger eds. IPCC Fourth Assessment Report.

Keddy, P.A.; 1989. Population and community biology. Competition. Chapman and Hall. London.

Lamas, S., y Rozas, V. 2007. Crecimiento radial de las principales especies arbóreas de la isla de Cortegada (Parque Nacional de las Islas Atlánticas) en relación con la historia y el clima. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, 16(1), 3-14.

Locher, K. K. E. 2005. Identificación de periodos de supresión y liberación en las especies Tepa en (*Laurelia philippiana* (Losser) y Olivillo (*Aextoxicon punctatum* en dos bosques multietáneos de la Provincia de Valdivia. Trabajo de Titulación. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 33 p.

Lorimer, C.G. 1985. Methodological considerations in the analysis of forest disturbance history. Canadian Journal of Forest Research. (15): 200-213.

Magaña R.V. 1999. Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmosfera. Universidad Autónoma de México. Secretaria de Gobernación. México. 229 p.

Manion P. D. 1991. Tree Disease Concepts. Englewood Cliffs. Estados Unidos. Prentice-Hall. 402 p.

Manson, R.H., y Jardel Peláez E. J. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp. 131-184.

Martín B, D., Del Río, M., Heinrich, I., Helle, Cañellas, I., 2010. Response of climate-growth relationships and water use efficiency to thinning in a *Pinus nigra* afforestation. *Forest Ecology and Management* (259):967–975.

McDowell, N., Brooks, J.R., Fitzgerald, S.A y J. Bond B. 2003. Carbon isotope discrimination and growth response of old *Pinus ponderosa* trees to stand density reductions. *Plant Cell Environ.* (26): 631–644.

Michelot A, Bréda N, Damesin C and E. Dufrêne. 2012. Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. *Forest Ecology and Management* (265): 161-171.

Morey, P. P. 1977. Como crecen los árboles. Omega.

Mundo I.A, El Mujtar V. A., Perdomo M.H., Gallo L.A, Villalba R., and M.D Barrera. 2010. *Austrocedrus chilensis* growth decline in relation to drought events in northern Patagonia, Argentina. *Trees* 24: 561-570.

Mundo, A I., El Mujtar V.A., Perdomo M.H., Gallo L.A, Villalba R and M.D. Barrera D.M. 2010. *Austrocedrus chilensis* growth decline in relation to drought events In northern Patagonia, Argentina. *Trees*. DOI10.1007/s00468-010-0427-8.

Nelson, D. L., Harper, T. K., Boyer, C.K., Weber J.D., Haws, A. B y J. R. Marble. 1989. Wildland shrub die offs in Utah: an approach to understanding the cause. Pág.119-135 En: *Proceedings-Symposium on Shrub Ecophysiology and Biotechnology*. USDA Forest Service. Technical Report INT-256.

Núñez L. D. 2013. Variabilidad de la sequía meteorológica de largo plazo en la parte Mexicana de la cuenca del Río Bravo. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2009. Los impactos del cambio climático en la sanidad forestal. Departamento Forestal. Documentos de trabajo sobre sanidad y bioseguridad forestal. Sanidad y Bioseguridad Forestal Documento De Trabajo FBS/34S.42p.

Ortega G. D, Rendón P. L., Morales B. I y R. Olivares Alva. 2011. Sequías hidrológicas en la cuenca del Río Bravo (sección mexicana). *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 3(2): 41-48.

Piovesan G, Biondi F, Filippo AD, Alessandrini A, Maugeri M. 2008. Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica*L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*. 14: 1265–1281.

Rodríguez C. M, Villalba R, Srur A.M and B. Luckman. 2015. Long-term trends in radial growth associated with *Nothofagus pumilio* Forest decline in Patagonia: Integrating local-interegional-scale patterns. *Forest Ecology and Management*. 339(2015)44-56.

Rubio, C. E. A. 2013. Análisis de la estructura, biomasa y combustibles forestales: una aproximación a la ecología del fuego en bosques montanos de la sierra madre oriental. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 101 p.

Sáenz-Romero, C., A. E. Snively y R. Lindig Cisneros. 2003. Conservation and restoration of pine forest genetic resources in Mexico. *Silvae Genetica* (52):5-6.

Semarnat-INE. 2006. Tercera comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología.

Salinas, M.M. 2012. Flora y fitogeografía del Cañón de Iturbide, Nuevo León, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. Linares N.L. México. 127p.

Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois. USA. 73p.

Schütt, P. y E. B. Cowling. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: Symptoms, development, and possible causes. *Plant Disease* (69): 548-558.

Synnot, T.J. & J.S. Marroquín. 1987. Ecología del terreno de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León. Con una lista anotada de los árboles y arbustos. *Reporte Científico Núm. 6*, 36 pp.

Swetnam T.W., Thompson M.A. y Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees U.S.D.A. Handbook 639p.

Szejner S. P. 2007. Estructura, dinámica y estado de conservación de los bosques de *Pilgerodendro nuviferum* D. Don Florín, en la Reserva Nacional Valdivia. Trabajo de Titulación. Universidad Austral de Chile. Valdivia 2007. 33p.

Toledo, V. M., Carabias, J., Toledo C y C. González Pacheco.1993. La producción rural en México: alternativas ecológicas. Fundación Universo Veintiuno y Prensas de Ciencias. México. 402 p.

Trepl L. 1994. Competition and coexistence on the historical background of individual trees. *For. Sci.* 35(3): 816-831.

Villalba R, y T .T. Veblen. 1998. Influences of large-scale climatic variability on episodic tree mortality at the forest-steppe ecotone in northern Patagonia. *Ecology* 79: 2624-2640.

Villanueva, D. J., Cerano P., Stahle, W. D.; Estrada, A.J. y V. Constante G. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mrlb.) Franco y reconstrucción de la precipitación y Flujo en México. Folleto Científico No. 23. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. 49 p.

Villanueva, D. J., Stahle, D. W., Luckman H.B, Cerano P. J., Therrell, D.M and M. K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast México. *Climate Change* 83. pp. 117-131.

Villanueva, D. J., Cerano, P J., Constante G. V., Montes G.L.E, and L. Vázquez S. 2009a. Muestreo Dendrocronológico: Colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales. Folleto Técnico No.13. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. México 49 p.

Villanueva, D. J., Cerano P.J, Constante G. V., Fulé Z. P y E. Cornejo Oviedo. 2009b. Variabilidad hidroclimática histórica de la Sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo, Coahuila. *Madera y Bosques* 15(3): 45-64.

Villers R.L. e I. Trejo V. 1998. El cambio climático y la vegetación en México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F.