

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCION DE POSGRADO



“INDICADORES DE CAMBIO CLIMATICO EN
ALGUNAS ESPECIES DE PINACEAS DE LA SIERRA
MADRE OCCIDENTAL, MEXICO”

TESIS

Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES

Presenta

BIOL. M.C. MARTHA GONZALEZ ELIZONDO

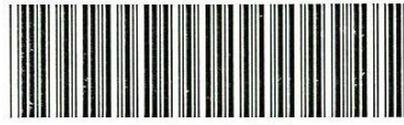
LINARES, N. L.

NOVIEMBRE 2003

2003

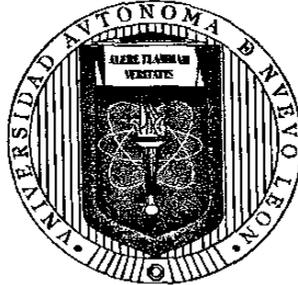
TD
Z5991
FCF
2003
.G66

BIOL. M.C. MARTHA GONZALEZ ELIZONDO



1020149228

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



**“INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ALGUNAS
ESPECIES DE PINÁCEAS DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL,
MÉXICO”**

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

Presenta:

BIÓL. M.C. MARTHA GONZÁLEZ ELIZONDO

LINARES, N. L.

NOVIEMBRE 2003

976 819

TD

Z5991

FCF

2003

.E66



FONDO
TESIS

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



**“INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ALGUNAS
ESPECIES DE PINÁCEAS DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL,
MÉXICO”**

TESIS

Para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

Presentada por:

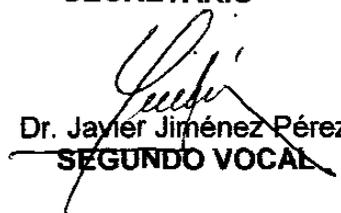
BIÓL. M.C. MARTHA GONZÁLEZ ELIZONDO

COMITÉ DE TESIS


Dr. Enrique Jurado Ybarra
PRESIDENTE


Dr. José de Jesús Navar Chaidez
SECRETARIO


Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
PRIMER VOCAL


Dr. Javier Jiménez Pérez
SEGUNDO VOCAL


Dra. M. Socorro González Elizondo
TERCER VOCAL

Linares, N. L.

Noviembre 2003

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Manejo de Recursos Naturales. Donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.



Martha González Elizondo
Noviembre de 2003

A Abraham

y a nuestras amadas familias

Agradecimientos

Aprovecho esta oportunidad para manifestar mi profundo agradecimiento a todas aquéllas instituciones y personas de quienes recibí apoyo durante mi programa doctoral.

Agradezco profundamente la oportunidad que el Instituto Politécnico Nacional (IPN) me brindó para dedicarme de tiempo completo a este proyecto. Durante dos años recibí una beca por parte del programa ANUIES-SUPERA (BP4860) que me ayudó sustancialmente para el desarrollo del proyecto de investigación. También recibí apoyo financiero parcial del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCyTED). El trabajo de gabinete lo realicé en el laboratorio de botánica del CIIDIR-IPN Unidad Durango y en el Laboratorio de Dendrocronología del CENID-RASPA (INIFAP). Parte del trabajo de campo lo realicé en el predio Las Bayas dependiente de la Universidad Juárez del estado de Durango (UJED). Manifiesto mi reconocimiento y profundo agradecimiento a todas estas instituciones y a las personas que desde sus posiciones en ellas me brindaron su apoyo.

Quiero agradecer de una manera muy especial a los miembros del comité de tesis. El Dr. Enrique Jurado, director del mismo, tuvo la idea original de esta investigación. Su amistad, su guía y su paciencia me acompañaron durante todo el trayecto. Sin su eficiencia y su capacidad para establecer y observar límites no quiero ni pensar cuánto tiempo más me habría costado poner un punto final en esta tesis. Agradezco profundamente al Dr. José Návar su ayuda en el proceso de análisis de datos, sus valiosas observaciones y correcciones, su dedicación y su amabilidad. Al Dr. Oscar Aguirre y al Dr. Javier Jiménez les aprecio infinitamente la confianza que depositaron en mí durante todo el programa. A la Dra. M. Socorro González, directora externa de este trabajo, le agradezco sus atinadas observaciones, su entusiasmo y su apoyo constante dentro y fuera del programa de doctorado.

Dos eventos que marcaron el rumbo final de este estudio fueron el 11th Annual North American Dendroecological Fieldweek al cual asistí gracias a la oportuna información del Dr. Eladio Cornejo; y la Reunión anual del proyecto internacional *The assessment of present, past and future climate variability in the Americas from treeline environments*

(IAI). Durante el curso trabajé bajo la supervisión directa de Dave Sthale con quien colecté y procesé las primeras muestras. Agradezco a Sara Díaz y a Peter Fulé sus atinados consejos. La asesoría y la colaboración de José Villanueva fueron piezas clave en el desarrollo de este trabajo. En la reunión del proyecto tuve la oportunidad de platicar con dendrocronólogos de todo el continente. Agradezco especialmente a Roseanne D'Arrigo sus comentarios y el envío de sobretiros de varios de los principales artículos relacionados con el tema de investigación.

Durante la colecta y procesamiento de las muestras conté con la colaboración de muchas personas. Bibiana Rivas-Arzola y sus hermanos Edilberto y Eliana; el señor José Hernández Gallegos, encargado del predio Las Bayas; Manuel Estrada, el señor Marcos Pinedo y mis sobrinos Luis Chapa-González y Nicolás González-Zavala. Julián Cerano midió todas las muestras. Sandra Cano me ayudó en la elaboración de los índices así como en el formato general de la tesis; Juan Ángel López dio formato a los apéndices; Miguel Ángel G. Botello elaboró las figuras sobre el área de estudio, el Ing. Oscar Ramírez encuadernó el documento. A todos ellos mi profunda gratitud.

Deseo manifestar mi agradecimiento a varias personas que contribuyeron para la realización de este trabajo. En el CIIDIR; Rebeca Álvarez, Lorena López, Jorge Tena, Celia López y Marco A. Márquez quienes llevaron parte de la carga que me correspondía durante todo el tiempo que estuve fuera de la institución. En la Facultad de Ciencias Forestales; al Dr. Eduardo Treviño, quien me animó a integrarme al programa de doctorado; al Dr. Eduardo Estrada y a la Dra. Laura Scott por su apoyo durante mi estancia en el programa; a la Dra. María Rechy de Von Roth por su hospitalidad en Linares, a Lupita Hernández de la oficina de posgrado y a Juany Castillo de la biblioteca. A todo el personal administrativo, académico y de apoyo de la Facultad de Ciencias Forestales por sus atenciones y por hacerme sentir en casa.

Cualquier cantidad de palabras es insuficiente para describir y para agradecer el continuo apoyo que recibí de mi esposo Abraham y de toda mi familia durante la realización de este proyecto.

A todos MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE CUADROS	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Cambio climático	1
1.2 Crecimiento, indicador de cambio climático	2
1.3 Dendrocronología, herramienta para el estudio del crecimiento a largo plazo.....	4
1.4 Dendroclimatología, herramienta para el estudio de la variabilidad y cambio en <i>el clima</i>	5
1.5 Dendrocronología en México	6
1.6 Decadencia de poblaciones arbóreas	6
1.7 Planteamiento de la Tesis	7
1.8 Objetivo general.....	9
1.9 Organización de la tesis	10
2.- CAMBIO CLIMÁTICO MUNDIAL, ORIGEN Y CONSECUENCIAS	12
2.1 Resumen	12
2.2 Introducción	13
2.3 Principios Fundamentales	14
2.4 Conceptos Clave	20
2.5 Estado del Conocimiento.....	24
2.6 Prioridades en Investigación.....	31
2.7 Lecturas Recomendadas.....	32
3. ANÁLISIS DENDROCLIMÁTICO DE <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco EN EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO	34
3.1 Resumen	34
3.2 Introducción	35
3.3 Área de Estudio	36
3.4 Metodología.....	40
3.4.1 Colecta de muestras en dos sitios.....	40
3.4.2 Obtención de datos de crecimiento preexistentes de tres sitios.....	42
3.4.3 Preparación y fechado de muestras.....	44
3.4.4 Control de calidad de los datos	46
3.4.5 Desarrollo y análisis comparativo de cronologías.....	46
3.4.6 Desarrollo de modelos climáticos.....	49
3.5 Resultados y Discusión	53

3.5.1	Calidad de los datos y obtención de cronologías.....	53
3.5.1.1	Sitio Las Bayas.....	53
3.5.1.2	Todos los sitios.....	54
3.5.2	Características de las cronologías construidas	55
3.5.3	Potencial dendroclimático.....	55
3.5.4	Correlación entre cronologías	61
3.5.5	Correlación crecimiento-precipitación.....	62
3.5.6	Correlación crecimiento-temperatura.....	68
3.5.7	Dinámica en la asociación entre índices de crecimiento y factores climáticos ...	72
3.5.8	Reconstrucción y análisis de tendencias en factores climáticos	74
3.6	Conclusiones	78
4.	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO ANUAL DE <i>Pseudosuga menziesii</i> (Mirb.) Franco EN LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL.....	80
4.1	Resumen	80
4.2	Introducción	81
4.2.1	Hipótesis.....	82
4.2.2	Objetivos Particulares.....	82
4.3	Metodología.....	82
4.4	Resultados y Discusión	84
4.4.1	Análisis Visual de Cronologías	84
4.4.2	Análisis de los Valores Z Acumulativos.....	85
4.4.3	Prueba de Medias (t).....	88
4.4.4	Modelos de Regresión.....	89
4.4.5	Análisis de Frecuencia de Años Indicadores.....	90
4.5	Conclusiones.....	92
5.	ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO ANUAL DE <i>Pinus lumholtzii</i> Rob. & Fern. POSIBLE RESPUESTA A CAMBIO CLIMATICO	94
5.1	Resumen	94
5.2	Introducción	95
5.2.1	Expectativas	97
5.2.2	Objetivos particulares	97
5.3	Área de estudio.....	98
5.4	Metodología.....	100
5.4.1	Colecta y procesamiento de muestras	100
5.4.2	Estimación de edad y fechado de las muestras	101
5.4.3	Medición de anillos de crecimiento anual.....	104
5.4.4	Control de calidad de los datos y obtención de cronologías	104
5.4.5	Análisis de tendencias en el crecimiento	105
5.4.5.1	Análisis en los índices de crecimiento.....	105
5.4.5.2	Análisis en el Incremento Corriente Anual	105
5.5	Resultados y Discusión	106
5.5.1	Primeras cronologías de <i>Pinus lumholtzii</i>	106
5.5.2	Potencial dendroclimático de las cronologías de <i>Pinus lumholtzii</i>	107
5.5.3	Análisis visual de las cronologías de <i>Pinus lumholtzii</i>	111
5.5.4	Análisis de los valores z acumulativos	112
5.5.5	Comparación espacial del incremento corriente anual	116
5.5.6	Comparación temporal del incremento corriente anual.....	117
5.6	Conclusiones.....	121

6. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO RADIAL DE <i>Pinus</i> spp. EN EL SUR DE DURANGO	123
6.1 Resumen	123
6.2 Introducción	124
6.3 Metodología	125
6.4 Resultados y Discusión	126
6.5 Conclusiones	131
7. DISCUSIÓN GENERAL	134
8. BIBLIOGRAFÍA	145
APÉNDICE A	156
Descripción estadística de las series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y de <i>Pinus lumholtzii</i> utilizadas	
APÉNDICE B	169
Cronologías de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y de <i>Pinus lumholtzii</i> obtenidas	
APÉNDICE C	180
Relación crecimiento - factores climáticos	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Anomalías en la temperatura media anual de la superficie terrestre en el Hemisferio Norte durante el último milenio	16
Figura 2.2	Concentración de CO ₂ en la atmósfera desde 1958 registrada en el observatorio del Monte Mauna Loa en Hawaii.....	18
Figura 2.3	Cambio en las comunidades por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera	21
Figura 3.1	Ubicación geográfica de los sitios de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y de estaciones meteorológicas.....	37
Figura 3.2	Bosque de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en el Cerro La Grulla	41
Figura 3.3	Colecta de muestras	43
Figura 3.4	Procesamiento de muestras	45
Figura 3.5	a) Cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de Las Bayas	58
Figura 3.5	b) Cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de Altos del Epazote	58
Figura 3.5	c) Cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de Sierra Valparaíso.....	59
Figura 3.5	d) Cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de El Salto.....	59
Figura 3.5	e) Cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de Cerro Barajas.....	60
Figura 3.6	Correlación entre los índices de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y la lluvia mensual promedio regional.....	64
Figura 3.7	Correlación entre los índices de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y la lluvia estacional y anual promedio regional.....	64
Figura 3.8	Correlación entre los índices de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en Las Bayas y los datos mensuales y estacionales de temperatura máxima local y regional	70
Figura 3.9	Dinámica en la correlación entre crecimiento y precipitación de diferentes períodos a través de las últimas décadas.	73
Figura 3.10	Reconstrucción de la precipitación promedio regional de noviembre a mayo en el Sur de Durango	76
Figura 3.11	Comparación entre los datos reconstruidos y los registrados de la precipitación regional de noviembre a mayo	77
Figura 4.1	Tendencias en los patrones de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de cinco sitios en la Sierra Madre Occidental.....	86

Figura 4.2	Distribución del número de años con índices de crecimiento ± 0.7 desviación estándar en la cronología de Las Bayas.	91
Figura 5.1	<i>Pinus lumholtzii</i> Rob. & Fern.....	96
Figura 5.2	Ubicación geográfica de las poblaciones de <i>Pinus lumholtzii</i> estudiadas en el Sur de Durango.....	99
Figura 5.3	Colecta y procesamiento de muestras.....	102
Figura 5.4	Índices de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> en los límites superior e inferior de distribución en el transecto de El Mezquital a Los Charcos ..	109
Figura 5.5	Índices de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> en los límites superior e inferior de distribución en el transecto de Durango a La Flor	110
Figura 5.6	Tendencias en los patrones de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> en dos transectos altitudinales	113
Figura 5.7	Tendencias en los patrones de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> en los límites altitudinales de la especie	114
Figura 5.8	Promedios de incremento corriente anual de <i>Pinus lumholtzii</i> en cuatro poblaciones del Sur de Durango	115
Figura 5.9	Crecimiento corriente anual de <i>Pinus lumholtzii</i> en el sur de Durango durante los últimos tres siglos	119
Figura 6.1	Crecimiento radial alcanzado a los 30 años de edad por <i>Pinus cooperi</i> , <i>Pinus durangensis</i> , y <i>Pinus engelmannii</i>	128
Figura 6.2	Crecimiento radial alcanzado a los 40 años de edad por <i>Pinus lumholtzii</i>	129
Figura C 1	Reconstrucción de la temperatura máxima regional (enero-marzo) del Sur de Durango.....	192
Figura C 2	Tendencias en algunos registros climáticos de la región	193

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1	Sítios de crecimiento anual de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en la región	38
Cuadro 3.2	Estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio	50
Cuadro 3.3	Resumen comparativo de los resultados de Cofecha entre ancho total de anillo y madera temprana de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en Las Bayas	54
Cuadro 3.4	Resumen comparativo de los resultados de Cofecha para los datos de ancho total de anillo de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en cinco sitios de la Sierra Madre Occidental	56
Cuadro 3.5	Resumen comparativo de las estadísticas descriptivas de las cinco cronologías de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de la región.....	57
Cuadro 3.6	Correlación entre las cinco cronologías de <i>Pseudotsuga menziesii</i> de la región	61
Cuadro 3.7	Correlación más alta entre cada cronología de <i>Pseudotsuga menziesii</i> y los datos de precipitación de cuatro estaciones meteorológicas.....	65
Cuadro 3.8	Estadísticas de las regresiones entre los índices de crecimiento y los registros de temperatura máxima mensual (febrero) y estacional (enero-marzo).....	70
Cuadro 3.9	Estadísticas de las regresiones entre los índices de crecimiento de Las Bayas y los promedios regionales de cinco factores climáticos	74
Cuadro 3.10	Modelos de regresión para reconstrucción de factores climáticos	75
Cuadro 4.1	Número de años con índices de crecimiento ± 1 desviación estándar en la cronología de Las Bayas.....	90
Cuadro 5.1	Ubicación geográfica de cuatro poblaciones de <i>Pinus lumholtzii</i>	100
Cuadro 5.2	Resumen comparativo de los resultados de Cofecha y de Arstan para los datos de crecimiento anual de <i>Pinus lumholtzii</i> de cuatro sitios... ..	108
Cuadro 5.3	Incremento corriente anual de <i>Pinus lumholtzii</i> en tres edades diferentes de cuatro localidades del Sur de Durango	117
Cuadro 6.1	Coefficiente de correlación (r) entre la edad total de los individuos de cuatro especies de <i>Pinus</i> y su incremento radial a diferentes edades	127
Cuadro 6.2	Coefficiente de correlación (r) entre la edad total de <i>Pinus lumholtzii</i> y su incremento radial	131

APÉNDICE A. DESCRIPCIÓN ESTADÍSTICA DE LAS SERIES DE CRECIMIENTO DE *Pseudotsuga menziesii* y de *Pinus lumholtzii* utilizadas 156

Cuadro A 1	Descripción estadística de las 70 series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> para la construcción de la cronología de Las Bayas.....	157
Cuadro A 2	Descripción estadística de las 48 series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> para la construcción de la cronología de Altos del Epazote.....	159
Cuadro A 3	Descripción estadística de las 35 series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> para la construcción de la cronología de Sierra Valparaíso.....	161
Cuadro A 4	Descripción estadística de las 30 series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> para la construcción de la cronología de El Salto.....	162
Cuadro A 5	Descripción estadística de las 38 series de crecimiento de <i>Pseudotsuga menziesii</i> para la construcción de la cronología de Cerro Barajas	163
Cuadro A 6	Descripción estadística de las 47 series de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> para la Construcción de la cronología del sitio LF A.....	164
Cuadro A 7	Descripción estadística de las 37 series de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> para la construcción de la cronología del sitio LF B.....	166
Cuadro A 8	Descripción estadística de las 36 series de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> para la construcción de la cronología del sitio ME A	167
Cuadro A 9	Descripción estadística de las 39 series de crecimiento de <i>Pinus lumholtzii</i> para la construcción de la cronología del sitio ME B	168

APÉNDICE B. Cronologías de *Pseudotsuga menziesii* y de *Pinus lumholtzii* 169

Cuadro B 1	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (ancho total de anillo) procedente de Las Bayas, Pueblo Nuevo, Durango.....	170
Cuadro B 1b	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> (madera temprana) procedente de Las Bayas, Pueblo Nuevo, Durango.....	171
Cuadro B 2	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> procedente de Altos del Epazote Durango.....	172
Cuadro B 3	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> procedente de la Sierra Valparaíso, Zacatecas.	173
Cuadro B 4	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> procedente de El Salto, Pueblo Durango.....	174
Cuadro B 5	Cronología estándar de <i>Pseudotsuga menziesii</i> procedente de Cerro Barajas, Guanaceví, Durango.....	175
Cuadro B 6	Matriz de correlación entre las cinco cronologías de <i>Pseudotsuga menziesii</i> en diferentes períodos.....	176
Cuadro B 7	Cronología estándar de <i>Pinus lumholtzii</i> del sitio LF A.....	177
Cuadro B 8	Cronología estándar de <i>Pinus lumholtzii</i> del sitio LF B.....	178
Cuadro B 9	Cronología estándar de <i>Pinus lumholtzii</i> del sitio ME A	179
Cuadro B10	Cronología estándar de <i>Pinus lumholtzii</i> del sitio ME B	179

APÉNDICE C. RELACION CRECIMIENTO - FACTORES CLIMATICOS	180
Cuadro C 1 Correlación entre índices de crecimiento y la lluvia promedio regional (1966-1993).....	181
Cuadro C 2 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación Las Bayas (1964-1993).....	182
Cuadro C 3 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación El Salto (1940-1993).....	183
Cuadro C 4 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación El Salto (1964-1993).....	184
Cuadro C 5 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación El Salto (1940-1960).....	185
Cuadro C 6 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación Otinapa (1964-1993).....	186
Cuadro C 7 Correlación entre índices de crecimiento y los registros de precipitación de la estación Navios (1964-1993).....	187
Cuadro C 8 Correlación entre índices de crecimiento de Las Bayas y los registros de temperatura (mínima, media y máxima).....	188
Cuadro C 9 Correlación entre índices de crecimiento de Las Bayas y los registros de temperatura máxima local y regional.....	189
Cuadro C 10 Correlación entre los índices de crecimiento de cinco cronologías y los registros de temperatura máxima regional.....	190
Cuadro C 11 Correlación Crecimiento - Precipitación por décadas sobrepuestas	191

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno provocado total o parcialmente por el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente CO₂ emitido por actividades humanas. Una gran cantidad de estudios científicos indican que el aumento de gases de invernadero y el cambio climático tienen efectos sobre la biosfera. El crecimiento vegetal es un bioindicador de cambio climático ya que se ve afectado por los gases de invernadero de una manera directa (efecto fertilizante) y por el cambio en los factores climáticos. El objetivo general en esta tesis fue explorar posibles evidencias de cambio climático en el crecimiento radial de algunas Pináceas de la Sierra Madre Occidental mediante técnicas dendrocronológicas.

Se realizó un análisis dendroclimático utilizando cinco cronologías de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la región (Capítulo 3). Utilizando los índices de crecimiento como variable independiente se reconstruyó la precipitación total de noviembre a mayo de 1681 a 2001 y la temperatura máxima de invierno (enero-marzo) de 1655 a 2001. La reconstrucción de precipitación indica una disminución de la lluvia durante las últimas cuatro

décadas mientras que la reconstrucción de la temperatura máxima indica que ésta ha aumentado en el mismo periodo.

Se utilizaron tres indicadores para analizar las tendencias en el crecimiento radial de cinco especies de Pináceas: i) cronologías de índices de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* y de *Pinus lumholtzii* Rob. & Fern. (Capítulos 4 y 5); ii) incremento corriente anual a tres edades diferentes de *P. lumholtzii* (Capítulo 5); iii) incremento radial acumulado en edades de 15 a 60 años de *P. durangensis* Martínez, *P. cooperi* C.E. Blanco, *P. engelmannii* Carr. y *P. lumholtzii* (Capítulo 6). Los tres indicadores revelan que existen cambios en las tasas de crecimiento.

Los índices de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii* (Capítulo 4) y de *Pinus lumholtzii* (Capítulo 5) muestran comportamiento inusual del crecimiento durante las últimas décadas del siglo veinte en comparación con los 150 años previos. En todas las cronologías de ambas especies existe una mayor variabilidad interanual en los índices de crecimiento de las últimas décadas, lo que coincide con la alta variabilidad climática registrada en la región durante el mismo período y con la mayor variación espacial y temporal registrada en el clima mundial del siglo veinte.

La comparación del incremento corriente anual en tres etapas de la vida de *P. lumholtzii* de diferentes clases de edad indica aumento en las tasas de crecimiento durante el siglo veinte. Solamente en la edad menor (de los 15 a los 24 años) dicho aumento fue significativo. Esto coincide con varios artículos que

indican mayor captura de carbono por individuos juveniles que por individuos maduros. En las cuatro poblaciones estudiadas la correlación entre el incremento corriente anual y el año de establecimiento mostró valores positivos indicando aumento en las tasas de crecimiento. Solamente en una de ellas dicha correlación resultó estadísticamente significativa. En las otras tres poblaciones la tendencia positiva no fue significativa.

El análisis del incremento radial acumulado a edades de 15 a 60 años de cuatro especies de *Pinus* indica evidencias de aumento significativo en tres de ellas. Dicho aumento es más significativo en el caso de las especies de mayor importancia económica (*P. cooperi* y *P. durangensis*) lo que sugiere que podría estar relacionado con una posible disminución en la densidad de los rodales por el efecto de extracciones selectivas.

La falta de una dirección contundente en las tendencias detectadas en los índices de crecimiento, así como el grado diferencial en las tendencias de aumento en el incremento radial acumulado de las especies con extracción comercial manifiesta el origen múltiple de los cambios detectados en el crecimiento.

ABSTRACT

Climate change is driven at least partially by atmospheric greenhouse gases enhancement, mainly elevated CO₂ from human activities. Scientific research indicates that climate change and atmospheric greenhouse gases enhancement itself already has biological consequences. Plant growth is one of the best climate change bioindicators since it is affected both directly by CO₂ fertilisation and by the changes in temperature and precipitation patterns. The main goal of this thesis was to explore possible evidences of climate change responses in radial growth of several Pinaceae species from the Sierra Madre Occidental mountain range using dendrochronologie techniques.

A dendroclimatic analysis using five *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Douglas fir) chronologies from Sierra Madre Occidental mountain range in Durango and Zacatecas Mexican states was carried out (Chapter 3). Using standardised tree ring indices, total November-May regional precipitation and maximum winter (January-March) temperature were reconstructed (since 1681 and 1655 respectively). Reconstructed precipitation showed a negative trend during the last four decades whereas temperature reconstruction indicates an increase during the same period.

To analyse radial growth trends in five Pinaceae species three methods were used: standardised tree ring growth indices or chronologies of *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus lumholtzii* Rob. & Fern. (Chapters 4 and 5); Current annual increment in three different ages of *P. lumholtzii* (Chapter 5); iii) Accumulated radial increment in ages between 15 and 60 years after establishment of *P. durangensis* Martínez, *P. cooperi* C.E. Blanco, *P. engelmannii* Carr. y *P. lumholtzii* (Chapter 6). Results of the three methods indicate that changes in growth patterns have occurred.

Growth indices of *Pseudotsuga menziesii* (Chapter 4) and of *Pinus lumholtzii* (Chapter 5) from the last few decades of the 20th century showed unusual patterns when compared to the previous 150 years. Chronologies of both species showed an increased short term variability that parallels the high variability in the climatic records from the region and the increased temporal and geographical variation registered in global climate during the 20th century.

Comparison of current annual increments of three ages of *P. lumholtzii* from different age classes indicates growth rates enhancement during the 20th century. Although only at an early age (15 –24 years from establishment) such enhancement was significant. This enhanced growth is consistent with the international literature that indicates major carbon sequestration by young trees. Correlation between current annual increment and the establishment year showed positive values indicating growth rates enhancement in time although

this was only significant in one of the four correlation. Whereas in the other three populations there was no significant positive trend.

Three of four *Pinus* species showed significant increased radial growth. *P. cooperi* and *P. durangensis* the main commercially exploited species showed the largest growth increases, this could mean that such enhancement tree growth is related with a decline in stand densities.

The lack of a unique trend in tree ring indices from different sites and the major growth rates enhancement showed by commercial species suggest a multiple origin of the growth changes detected.