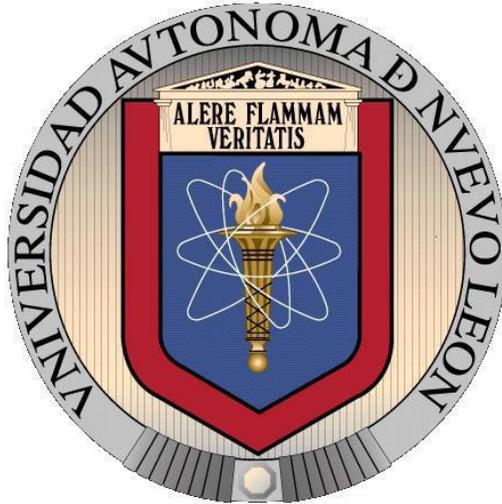


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE UN
BOSQUE DE CONÍFERAS: RELACIÓN DEL FUEGO Y VARIABILIDAD
CLIMÁTICA EN EL CERRO EL POTOSÍ**

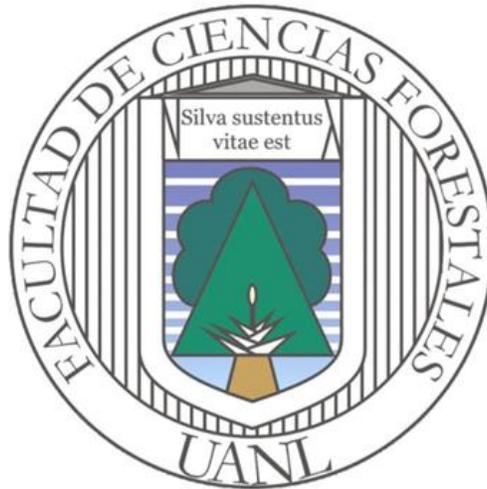
POR

ING. JUAN CARLOS RAMOS REYES

**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

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE UN
BOSQUE DE CONÍFERAS: RELACIÓN DEL FUEGO Y VARIABILIDAD
CLIMÁTICA EN EL CERRO EL POTOSÍ**

**POR
ING. JUAN CARLOS RAMOS REYES**

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

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

DICIEMBRE, 2015

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE UN
BOSQUE DE CONÍFERAS: RELACIÓN DEL FUEGO Y VARIABILIDAD
CLIMÁTICA EN EL CERRO EL POTOSÍ**

Aprobación de tesis

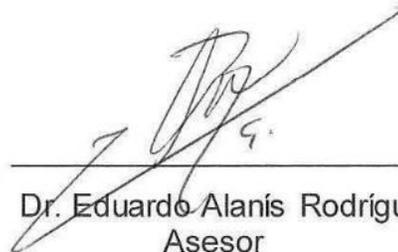
COMITÉ DE TESIS



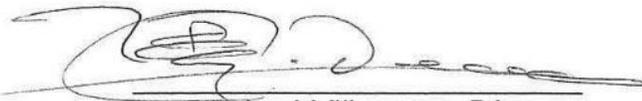
Dr. Eduardo Javier Treviño Garza
Director



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Asesor



Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Asesor



Dr. José Villanueva Díaz
Director externo

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, otorgando los créditos correspondientes.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Juan Carlos Ramos Reyes', is written above a horizontal line.

Ing. Juan Carlos Ramos Reyes

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas e instituciones, que directa e indirectamente colaboraron en el desarrollo formación profesional.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Autónoma de Nuevo León, (UANL), por abrirme sus puertas en el nivel posgrado y por las valiosas enseñanzas académicas de la plantilla de profesores.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para el desarrollo de la investigación en el posgrado y por brindarme el apoyo de mi estancia al extranjero.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo, formación y reflexión de tomar la línea de investigación.

A mi director de tesis el Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por su confianza, sabiduría y amistad, que me guió en la culminación de la investigación.

Al Dr. José Isidro Uvalle, por su apoyo incondicional como tutor nacional, quien fue de mucha importancia realizar mi estancia al extranjero.

Al Dr. José Villanueva Díaz, por formar parte de mi comité de tesis y por todo su apoyo incondicional en el análisis de muestras que realice en el CENID-RASPA (INIFAP).

Al Dr. Jorge Ignacio Del Valle Arango, por recibirme en su laboratorio de cambio climático y bosques, en la estancia realizada en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y por su aportaciones en el desarrollo de mi investigación de posgrado.

A los doctores Oscar A. Aguirre Calderón y, Eduardo Alanís Rodríguez y al magíster Enrique Buendía Rodríguez, por sus aportaciones en la mejora del escrito sustancial.

A la bióloga Fátima del Rocío Reyes Camarillo, por su valiosa aportación en los análisis en laboratorio.

A Sandra Escobar, que me ayudó a reconocer parte de su maravilloso país Colombia y que aportó una colaboración en la revisión de estilo a la investigación.

A mis compañeros y amigos que me apoyaron de manera incondicional en campo, Humberto Alonso, Enrique Buendía, José Israel López y Alex Luna.

DEDICATORIAS

A mis padres

Por su apoyo en todo lo largo de mi vida, por respetar mis decisiones en estudiar en el Norte de México. Por su amor y apoyo incondicional que me hacían sentirme cerca de casa a pesar de la distancia, motivándome para concluir esta etapa de vida profesional y que siempre serán para mí los más preciados que la vida me pudo dar y mis pilares para seguir adelante.

A mi hermana

Por todo el cariño y momento que hemos compartido juntos, permaneciendo unidos por siempre.

A toda la familia

Abuelos (as), tíos (as) y primos (as), que de alguna u otra manera, se preocupaban y me desearon suerte al decidir tomar rumbo y estudiar la maestría.

A mis amigos (INIFAP)

Víctor Hugo, Pablo, Vero y Gabino, que desde el primer momento que los conocí formaron parte de mi familia y que me hicieron ver que tenía que seguir la ruta de la investigación.

A mis amigos y compañeros del posgrado

Alejandro Roblero, Alejandro López, Chuy, Enrique, Israel, Geraldine, Eliza Díaz Toño, Rigo, Angy, Martín Silva, Jonathan, Perla, Josué, Diana por la bonita convivencia durante esta etapa profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
RESUMEN.....	VII
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción general.....	1
1.2. Incendios forestales.....	1
1.3. Importancia de los bosques de coníferas en México.....	2
1.4. Diversidad del género Pinus.....	3
1.5. Justificación del estudio.....	5
1.6. Objetivos.....	5
1.6.1. General.....	5
1.6.2. Específicos.....	6
1.7. Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2.1. Materiales y Métodos.....	7
2.2. Área de estudio.....	7
2.3. Sitios de muestreo.....	8
2.3.1. Evaluación del arbolado.....	8
2.3.2. Toma de muestras.....	9
2.4. Uso de técnicas dendrocronológicas.....	10
2.4.1. Extracción de muestras de virutas.....	10
2.4.2. Montado y lijado de muestras.....	11
2.4.3. Prefechado y fechado de muestras.....	11
2.4.4. Fechado con Velmex.....	12
2.4.5. Verificación del fechado.....	12
2.4.6. Programa ArsTan.....	13
2.5. Datos climatológicos.....	14
2.6. Relaciones climáticas de la información del índice oceánico de El Niño (ONI).....	15
CAPÍTULO III.....	16

Comportamiento del crecimiento en un bosque de coníferas, después del incendio de 1998 en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León.....	16
Resumen	16
Abstract	17
3.1. Introducción	18
3.2. Hipótesis.....	19
3.3. Objetivo general.....	19
3.3.1. Objetivos específicos.....	19
3.4. Metodología.....	19
3.4.2. Análisis de la información.....	20
3.5. Análisis estadístico	21
3.6. Resultados y discusión	22
3.6.1. Evaluación del área incendiada (Período de 5-10-13 años).....	22
3.6.2. Comparación entre especies <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Pinus hartwegii</i> (Período de 5-10-13 años)	23
3.6.3. Crecimiento del área testigo, comparada con el área incendiada	24
3.6.4. Análisis de crecimiento con base en técnicas dendrocronológicas ..	25
3.6.5. Generación de cronología	26
3.7. Conclusiones	26
CAPÍTULO IV.....	27
Composición florística y estructura horizontal en un bosque de coníferas en el Cerro El Potosí	27
Resumen	27
Abstract	28
4.1. Introducción	29
4.2. Hipótesis.....	30
4.3. Objetivo general.....	30
4.3.1. Objetivos específicos.....	30
4.4. Metodología.....	31
4.5. Análisis de la información	32
4.5.1. Índices ecológicos	32
4.5.2. Riqueza de especie.....	33

4.5.3. Diversidad alfa.....	34
4.5.4. Clasificación horizontal del arbolado	35
4.5.5. Análisis estadísticos	35
4.6. Resultados y discusión	35
4.6.1. Abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies arbóreas.....	35
4.6.2. Clasificación y estructura horizontal	36
4.7. Conclusiones	38
CAPÍTULO V.....	39
Estructura vertical de un bosque de coníferas en el noreste de México, en diferentes condiciones ecológicas	39
Resumen	39
Abstract	40
5.1. Introducción	41
5.2. Hipótesis.....	42
5.3. Objetivo general.....	42
5.3.1. Objetivos específicos.....	42
5.4. Metodología	43
5.5. Análisis de la información	43
5.5.1. Índice de Pretzsch	43
5.5.2. Riqueza y diversidad	44
5.5.3. Productividad.....	45
5.6. Análisis estadístico	46
5.7. Resultados y discusión	47
5.7.1. Índice de Pretzsch	47
5.7.2. Distribución vertical de especies con base al índice de Pretzsch (A1)	48
5.7.3. Distribución vertical de especies con base al índice de Pretzsch (A2)	51
5.7.4. Comparación de riqueza y diversidad de un área incendiada y una testigo.....	53
5.7.5. Productividad.....	54

5.8. Conclusiones	56
CAPÍTULO VI.....	57
Reconstrucción de precipitación con <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Pinus hartwegii</i> en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León	57
Resumen	57
Abstract	58
6.1. Introducción	59
6.2. Hipótesis	60
6.3. Objetivo general.....	60
6.3.1. Objetivos específicos.....	60
6.4. Metodología	60
6.5. Análisis de la información	62
6.5.1. Análisis estadístico.....	62
6.6. Resultados y discusión	63
6.6.1. Correlación de la precipitación anual acumulada y ancho de anillo.....	63
6.6.2. Variabilidad interanual de la precipitación	65
6.6.3. Reconstrucción de la precipitación para los últimos dos siglos.....	66
6.6.4. Análisis de la reconstrucción climática y el comportamiento de El Niño oscilación sur (ENSO).....	70
6.7. Conclusiones	71
CAPÍTULO VII.....	72
7.1. Consideraciones finales.....	72
7.2. Recomendaciones y Perspectivas del manejo	73
LITERATURA CITADA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Afectación del estrato arbóreo de 1998 a 2015 (CONAFOR, 2015).	1
Figura 2. Ubicación del área de estudio.....	7
Figura 3. Visualización de áreas incendiadas de 1998.....	8
Figura 4. Diseño de conglomerado.....	10
Figura 5. Cronología estándar en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León “índice de crecimiento en el ancho de anillo, para los últimos 214 años”.	25
Figura 6. Histograma de distribución de individuos por categorías diamétricas para un área incendiada y área testigo en el Cerro El Potosí.....	36
Figura 7. Clasificación para el análisis de la estructura vertical, de acuerdo al índice de Pretzsch (2009).....	44
Figura 8. Comportamiento de la estructura vertical de un área incendiada en el Cerro El Potosí.....	50
Figura 9. Comportamiento de la estructura vertical del área testigo en el Cerro El Potosí.....	52
Figura 10. Productividad de un área incendiada y un área testigo.	55
Figura 11. Correlación del crecimiento y la precipitación, para las especies de <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	64
Figura 12. Asociación del índice de ancho de anillo y la precipitación anual, en el período de 1975 al 2011.....	64
Figura 13. Función respuesta del índice estandarizado de ancho de anillo de <i>Pinus pseudostrobus</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	65
Figura 14. Calibración y verificación de la precipitación observada y la precipitación reconstruida de los últimos 36 años, en el Cerro El Potosí.....	68
Figura 15. Períodos de sequías en la República Mexicana (CENAPRED, 2001)	71
Figura 16. Reconstrucción de la precipitación anual en el sur de Nuevo León, en periodo de los últimos 214 años (1800-2014).....	69
Figura 17. Comportamiento y compactibilidad de El Niño oscilación sur (ENSO) y la temperatura del océano.	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación de las coordenadas geográfica de los conglomerados.....	9
Cuadro 2. Representación simbólica del registró de los anillos de crecimiento en cada una de las series.	12
Cuadro 3. Pruebas estadísticas del comportamiento de crecimiento de un área incendiada en 1998, en el Cerro El Potosí.....	22
Cuadro 4. Pruebas estadísticas del comportamiento del crecimiento de las especies de Pinus hartwegii y Pinus pseudostrobus en el Cerro El Potosí.	24
Cuadro 5. Pruebas estadísticas del comportamiento de crecimiento en un área testigo aledaña al fenómeno fuego.	25
Cuadro 6. Pruebas estadísticas a nivel rodal e individual, en el programa COFECHA.	26
Cuadro 7. Estructura horizontal y florística del ecosistema de bosque de conífera en Cerro El Potosí.....	37
Cuadro 8. Listado de especies arbóreas en el Cerro El Potosí.	47
Cuadro 9. Resultados del estrato arbóreo del área incendiada (A1).	51
Cuadro 10. Resultados del estrato arbóreo del área testigo (A2).	53
Cuadro 11. Estaciones climatológicas cercanas con mayor altitud al área de muestreo y empleadas para el análisis dendroclimático.	61
Cuadro 12. Calibración del modelo para la Reconstrucción de la precipitación anual en el sur de Nuevo León.	67
Cuadro 13. Pruebas estadísticas del modelo de la reconstrucción anual de la precipitación.....	67

RESUMEN

Se realizó la comparación de la estructura vertical, horizontal y florística de un área impactada por incendios forestales y otra en la misma localidad sin afectaciones por este fenómeno en el sur de Nuevo León, México. Se establecieron para este efecto conglomerados de muestreo, cada uno con cuatro sitios de 400 m, en ellos se registró información para cada uno de los individuos registrando género, especie, número de árbol, así como variables dendrométricas, como son el diámetro y altura, se tomaron 108 muestras de virutas o tarugos en las especies de pino dominantes (*Pinus pseudostrobus* y *P. hartwegii*), para determinar el efecto del incendio ocurrido en 1998, en el crecimiento. Se analizó la estructura mediante la comparación de medias de variables del rodal como la abundancia de las especies, el índice de diversidad y el índice de Pretzch. Se realizó el análisis dendrocronológico de manera visual, las mediciones se validaron con el programa COFECHA y el programa ArsTan se utilizó para realizar la estandarización de la información, ambos de la Universidad de Arizona. En la comparación de estructura del bosque se encontró que el área incendiada presentó mayor abundancia con 267 individuos ha⁻¹, mientras que la de testigo presentó 163 individuos ha⁻¹, la especie más representativa fue *Pinus pseudostrobus*; el análisis de la estructura vertical utilizando el índice de Pretzch mostró que el estrato II fue el que concentró mayor cantidad de individuos ha⁻¹, en las dos áreas (50 % y 33 %), con una altura máxima de 23.9 y 26 m respectivamente. Al comparar el comportamiento del crecimiento de las dos áreas a nivel rodal y de las dos especies consideradas, a nivel individual, se encontraron diferencias significativas del incremento mostrado en los anillos de crecimiento, siendo mayor en el área incendiada y en la especie *Pinus pseudostrobus*. El análisis dendrocronológico permitió realizar la reconstrucción de la precipitación, para un periodo de 214 años. Se pudo determinar para la región los períodos de sequía y de mayor humedad, mismos que fueron relacionados a los fenómenos del ENSO.

Palabras clave: Análisis dendrocronológico, estructura vertical, incendios forestales, ENSO, COFECHA.

ABSTRACT

Comparison of vertical, horizontal and floristic structure of a hit by forest fires and other in the same locality unaffected by this phenomenon in southern Nuevo León, México was conducted. This effect was established for sampling clusters, each with four sites 400 m, information was recorded therein for each individual recording genus, species, number of tree and dendrometric variables, such as the diameter and height, 108 chip samples were taken or dowels dominant species pine (*Pinus pseudostrobus* and *P. hartwegii*) to determine the effect of the fire of 1998, growth. The structure is analyzed by comparing means of variables stand as species abundance, diversity index and index Pretzch. Dendrochronological analysis was performed visually, measurements were validated with COFECHA, Arstan program and the program was used to perform the standardization of information, both from the University of Arizona. In comparing forest structure it was found that the burned area was more abundant with 267 individuals ha⁻¹, while the control had 163 individuals ha⁻¹, the most representative species was *Pinus pseudostrobus*; Vertical analysis using the index structure Pretzch stratum II showed that it was concentrated more individuals / ha, in the two areas (50% and 33%) with a maximum height of 23.9 and 26 m respectively. Comparing the growth behavior of the two areas stand level and the two species considered at the individual level, the increase showed significant differences in the growth rings were found to be higher in the burned area and *Pinus pseudostrobus*. The dendrochronological analysis allows the reconstruction of precipitation for a period of 214 years. It was determined for the region drought periods and higher humidity, all of which were related to the phenomena of ENSO.

Keywords: Dendrochronological analysis, vertical structure, forest fires, ENSO, COFECHA.

Estructura de la tesis

Este documento está estructurado en siete capítulos. Los capítulos I y II justifican el proceso de investigación, en el cual se plantean objetivos e hipótesis, los capítulos III al VI constituye el cuerpo de la tesis, mientras que el capítulo VII incluye consideraciones finales, recomendaciones y perspectivas sobre el manejo de ecosistemas de coníferas.

Capítulo I. Introducción general (justificación, hipótesis y objetivos de la tesis).

Capítulo II. Materiales y métodos. Este capítulo describe el área de estudio y el diseño estadístico y gráfico; así mismo se utilizó el programa R-Studio versión 3.1.1, y el programa de IBM SPSS Statistics versión 22.

Capítulo III. Comportamiento del crecimiento de las especies. Con el objetivo de conocer el efecto que causó el incendio de 1998, en cuanto a la disminución en sus tasas de crecimiento; se evaluaron cada una de las especies a nivel rodal e individual utilizando técnicas dendrocronológicas, para fechar su edad y medir el comportamiento periódico a 5, 10 y 13 años. Las muestras o virutas, fueron obtenidas en campo, después se procesaron en laboratorio, donde se montaron y pulieron, se hizo el fechado visual, la medición del ancho de los anillos en el equipo **Velmex**, cofechado en el software COFECHA y filtrado de auto correlación empleando el software ArsTan.

Capítulo IV. Composición florística y estructura horizontal. Este capítulo, contiene la evaluación de las áreas incendiada y testigo. Con la finalidad de conocer la diversidad y riqueza de especies, se utilizó el índice de Margalef (D) e índice de Shannon-Weiner (H'). Se analizó la composición florística y la estructura a través de la abundancia, dominancia y frecuencia relativas y el índice de valor de importancia para determinar la estructura florística del rodal. Se realizó un análisis dasométrico partir de la distribución diamétrica.

Capítulo V. Estructura vertical de las especies. Se realizó una clasificación de la estructura vertical de las especies mediante el índice *A* de Pretzsch, modificación del índice Shannon (Aguirre, 2002; Pretzsch, 2009). También se determinó la productividad a nivel rodal (incendiada y testigo). Para la productividad se contempló la densidad individual ha^{-1} , área basimétrica $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, área de cobertura $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ y volumen $\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$ utilizando una prueba no paramétrica (Wilcox.test).

Capítulo VI. Reconstrucción de precipitación, Se realizó la reconstrucción de la precipitación con las especies de *Pinus pseudostrabus* y *Pinus hartwegii*. Se utilizaron datos climatológicos de cinco estaciones cercanas al área de estudio, para realizar la correlación interanual y generar un modelo de regresión lineal para reconstruir la precipitación. Se correlacionaron los períodos de sequia y húmedos con el fenómeno ENSO a través registro de datos del Índice Oceánico Niño (ONI).

CAPÍTULO I

1.1. Introducción general

1.2. Incendios forestales

Un incendio forestal es la perturbación natural que ocurre en el tiempo, afectando selvas, bosques y vegetación de zonas áridas y semiáridas. Los incendios de 1998 fueron los más severos de muchos años, ecosistemas no susceptibles a incendios se vieron afectados (Magaña, 1999).

En México ocurren en promedio anual 8,877, con una superficie promedio 330,384 ha (Rodríguez, 2001). Sin embargo en 1998, la afectación de superficie fue de 198 mil hectáreas aproximadamente para el estrato arbóreo, que representó el 23 % de la superficie forestal en México. En lo que va de la temporada de enero a septiembre de 2015 se han presentado 3,681 incendios forestales en todo el país, el 12.52 % de la superficie afectada corresponde al estrato arbóreo (Figura 1, CONAFOR, 2015).

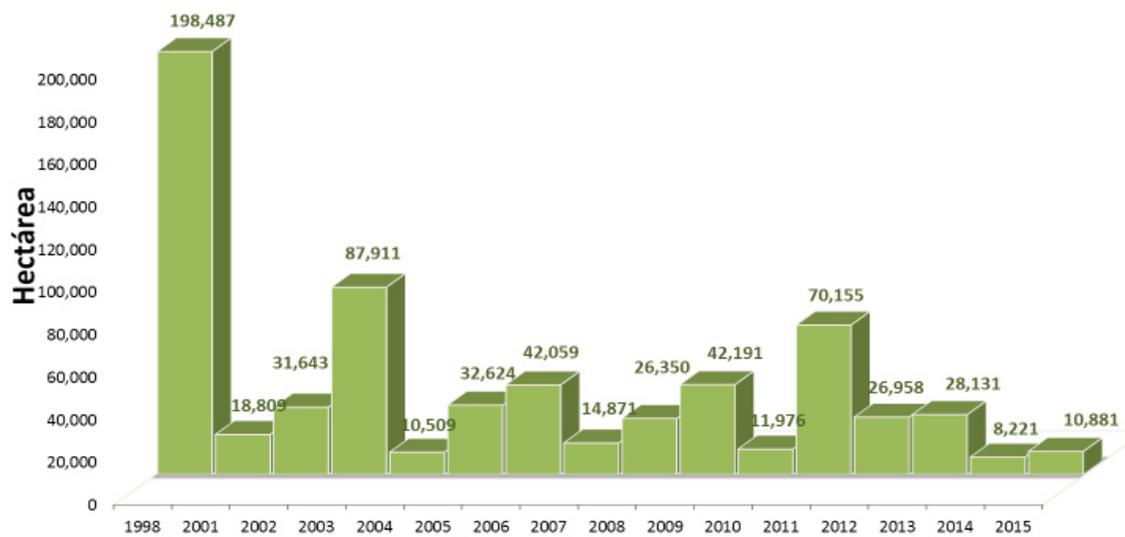


Figura 1. Afectación del estrato arbóreo de 1998 a 2015 (CONAFOR, 2015).

Según Estrada (2006) el 99% de los incendios ocurridos entre 1998 y 2005 fueron de origen antropogénico, principalmente por las actividades agropecuarias y los incendios intencionales (asociados a conflictos agrarios y actividades ilegales).

1.3. Importancia de los bosques de coníferas en México

En general la mayoría de los pinos en México tienen gran importancia ecológica, económica y social. A su vez estos forman comunidades forestales, influyendo en los procesos funcionales del ecosistema tales como ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes del fuego, hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre; además de proveer servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional (García y González, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

La composición del bosque es un indicador valioso de la diversidad biológica para la Evaluación de recursos forestales mundiales (FRA), 2005 (FAO, 2006), el alto número de registros de especies amenazadas encontradas en la lista roja de especies en peligro para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2000), muestra a cinco géneros de taxones de; *Pinus*, *Quercus*, *Picea*, *Abies* y *Fagus*, que constituyen casi el tercio de las especies restringidas (FAO, 2006).

México cuenta con grandes cantidades de recursos forestales, sin embargo también está en los primeros lugares en tasas de deforestación en América Latina (segundo lugar) y a nivel mundial (sexto lugar) (Capital Sustentable, 2011). Algunos ecosistemas han evolucionado en respuesta a incendios frecuentes por causas naturales y humanas, pero otros resultan negativamente afectados. Cada año, millones de hectáreas de los bosques mundiales son consumidas por el fuego, causando pérdidas de vidas humanas y animales; además de generar daños económicos (valores ambientales, recreativos y turísticos), pérdida de biodiversidad, liberación de carbono a la atmósfera, terrenos degradados y elevados costos en combate contra el fuego (Davidenko y Eritsov, 2003; FAO, 2005e; Kudoh, 2005; UNECE y FAO, 2001; UNECE *et al.*, 2000).

Prácticamente cualquier superficie terrestre con cubierta vegetal puede incendiarse, pero la variación espacial en clima, geomorfología y la misma vegetación produce diferentes regímenes de incendios a escala del paisaje (McKenzie *et al.*, 2011), el potencial de propagación y comportamiento del fuego en los ecosistemas terrestres está determinado básicamente por las propiedades físicas y el estado de las camas de combustible, formadas por la biomasa de plantas y el mantillo del suelo (Riccardi *et al.*, 2007), y por las condiciones del estado del tiempo y la topografía (Pyne *et al.*, 1996).

En nuestro país las actividades agropecuarias son la principal causa de la pérdida de bosques y selvas, seguidas por los desmontes ilegales y los incendios forestales (INEGI, 2002), estas actividades fragmentan y degradan la composición forestal (CONABIO, 2010; Calderón-Aguilera *et al.* 2012; González *et al.*, 2005). La dinámica del crecimiento forestal y la composición florística está influenciada por elementos climáticos como; la velocidad del viento, radiación solar y la humedad relativa, y pueden variar a escalas temporales (Seneviratne, 2012).

1.4. Diversidad del género *Pinus*

México es el centro de diversidad del género *Pinus*, al contar con 42 % de las especies y por su alto porcentaje de endemismo (>55 %); un ejemplar es el caso de los piñoneros, que habitan en zonas áridas de las sierra al Norte de México y los pinos alpinos como *P. hartwegii* y *P. culminicola* (Yeaton, 1982; Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000).

Los bosques de pino son los de mayor distribución entre los distintos tipos de bosques de coníferas, cubren hoy alrededor de 75% de su distribución potencial, estimada en poco más de 10 millones de hectáreas, aunque los bosques bien preservados cubren solo 5.2 millones de hectáreas (Inegi, 2003, 2005a). Los procesos orográficos y fluctuaciones climáticas del pasado, han originado la diversificación y especiación, considerado el mayor centro de diversidad mundial

de pinos en México con 50 % de las especies conocidas y el 33 % para los encinos (Nixon 1993; Styles 1993; Challenger 2003; Koleff *et al.*, 2004).

El crecimiento de *Pinus hartwegii*, está limitado principalmente por las condiciones ambientales predominantes (bajas temperaturas y escasa precipitación) (Hernández *et al.*, 2005), estas áreas se localizan en un clima semifrío y temperaturas medias anuales de 5 a 12 °C, con precipitación de 967 a 1,200 mm en verano y con 5 % de precipitación en invierno (Mendoza, 1977; Benítez, 1988; García, 1981). Los suelos que habitan son andosoles, podzoles o café forestales (Aguirre y Rey, 1980; Benítez, 1988).

Pinus pseudostrobus, presenta una amplia distribución geográfica natural en México y posee características deseables de calidad de madera y productividad (Perry, 1991), se ha utilizado en programas de plantaciones y mejoramiento genético fuera de su área de distribución original, como en países de Venezuela, Colombia, Brasil, Sudáfrica y Nueva Zelanda (Ferreira y Mascarenhas, 1972; Pires, 1987; Wright y Wessels, 1992). En México se localiza entre los 2400 y 2800 msnm y en algunos casos en laderas de montaña de 1600 a 3200 msnm; en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental (Perry, 1991; CATIE, 1997; SEMARNAP, 2006).

Habita en localidades cuya precipitación media anual varía de 1000 a 1500 mm, aunque algunos autores dicen que de 500 a 2,000 mm anuales, con lluvias uniformes en verano y una estación seca de 0 a 3 meses, una temperatura máxima promedio del mes más cálido de 20 a 26 °C, el más frío de 6 a 12 ° C. El número de días con lluvia es de 80 a 100 por año distribuidas de mayo a octubre y en ocasiones se presenta la lluvia invernal siendo por lo general menor del 5 % de la anual, crece en suelos profundos derivados de material volcánico y en el noreste del país se ha encontrado en suelos calizos y delgados (García, 1996; Eguiluz, 1978 y CATIE, 1997).

1.5. Justificación del estudio

El cerro El Potosí es importante desde el punto de vista ecológica, por sus características de altitud y localización geográfica, presenta una diversidad de especies endémicas de flora y fauna se encuentran en ella, se han presentado muchos disturbios con causas antropogénicas, principalmente los incendios forestales, que cambian radicalmente cada una de la poblaciones de especies.

En zonas con una frecuencia de incendios elevada pueden darse cambios cualitativos (florísticos o de comunidades vegetales) y cuantitativos, modificando la abundancia relativa de los individuos de una especie. Estos efectos entre otros se han presentado en el cerro El Potosí, después del incendio del 1998 que destruyó a un gran número de especies endémicas, en toda la Sierra Madre Oriental (SMO).

Por este motivo es necesario evaluar el crecimiento de las comunidades forestales, composición, estructura vertical y horizontal, relacionado a la variabilidad climática local y regional de las áreas incendiadas, comparada con otras con manejo, analizando su desarrollo a nivel rodal e individual de las especies.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Analizar los factores ecológicos, climáticos y su relación con el fuego, mediante la caracterización de la composición florística, estructura vertical y horizontal de un bosque de coníferas, en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León.

1.6.2. Específicos

- Analizar el comportamiento del crecimiento de las especies, después del incendio de 1998 en el cerro El Potosí
- Analizar la composición florística y estructura horizontal
- Analizar la estructura vertical de las especies
- Reconstruir la precipitación para el sur de Nuevo León

1.7. Hipótesis

Las hipótesis se plantearon de acuerdo con el objetivo de cada capítulo:

Capítulo III. Comportamiento del crecimiento de las especies: como consecuencias de los efectos y causas de incendios en el 1998, *Pinus pseudostrobus*, presenta mejor crecimiento anual que *Pinus hartwegii*.

Capítulo IV. Composición florística y estructura horizontal: los incendios modifican la estructura florística y horizontal de las comunidades vegetales.

Capítulo V. Estructura vertical de las especies: la estructura vertical de los bosques de coníferas para el noreste de México se ve afectado a causa de los disturbios antropogénicos de los últimos 30 años.

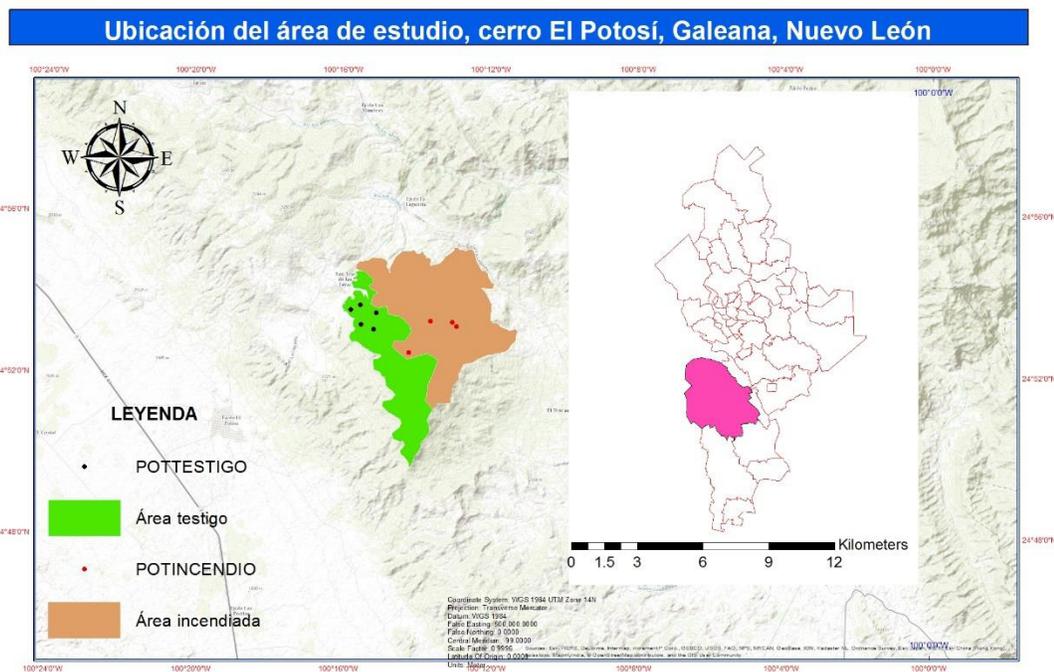
Capítulo VI. Reconstrucción de precipitación: la precipitación regional del cerro El Potosí, es factor influyente en el ancho de anillo de las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*.

CAPÍTULO II

2.1. Materiales y Métodos

2.2. Área de estudio

El área de estudio, se encuentra en el cerro El Potosí en el municipio de Galeana, Nuevo León y forma parte de la Sierra Madre Oriental, con una superficie de 7,194 ha, alcanza una altitud de 3,721 msnm sus coordenadas 24°49'08"-24°55'29" N y 100°13'25"- 100°14'05" W, (Figura 2).



Elaborado por: Ing. Juan Carlos Ramos Reyes

Sources: Esri, HERE, DeLorme, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

Figura 2. Ubicación del área de estudio.



Figura 3. Visualización de áreas incendiadas de 1998.

2.3. Sitios de muestreo

Se seleccionaron las áreas utilizando la información analizada en 1998 por Treviño *et al*, se colocaron los polígonos en una imagen Landsat y se digitalizó en Google Earth, tomando en cuenta un rango de altitud de 2800 a 3600 msnm (Figura 3).

2.3.1. Evaluación del arbolado

La evaluación del arbolado fue realizada en julio del 2014, en dos áreas en el Cerro El Potosí, las cuales fueron: 1). áreas incendiadas en 1998 y 2), áreas testigos. Las dos áreas de estudio comprenden una altitud de 2800 a 3600 msnm, con una pendiente no mayor a 20° (Cuadro 1), el suelo predominante es litosol combinado con rendzina, (García A. *et al.*, 1996).

Cuadro 1. Ubicación de las coordenadas geográfica de los conglomerados.

Conglomerado	Área	Condición	Altitud (msnm)	Coordenadas
INC1	Potosí	Incendiada	2800	24° 53'10" N 100° 12'53"O
INC2	Potosí	Incendiada	2880	24° 53'17" N 100° 13'0.04"O
INC3	Potosí	Incendiada	3060	24° 53'17.9" N 100° 13'35.8"O
INC4	Potosí	Incendiada	3600	24° 52'31" N 100° 14'11"O
TES1	Potosí	Testigo	2915	24° 53'34" N 100° 15'45"O
TES2	Potosí	Testigo	2940	24° 53'30" N 100° 15'4"O
TES3	Potosí	Testigo	2980	24° 53'41" N 100° 15'30"O
TES4	Potosí	Testigo	3040	24° 53'12" N 100° 15'29"O
TES5	Potosí	Testigo	3150	24° 53'05.7" N 100° 15'07.9"O

INC (incendiada), TES (área testigo).

El clima de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García es Bs kw" (c), corresponden a un clima extremo, semiárido o estepario; la temperatura media anual es de 14.5 °C, varía en un rango de 12 a 18 °C y el mes más frío es -3 °C y el más caliente de 18 °C; mientras que el régimen de lluvias en verano, el mes más húmedo es 10 veces mayor la cantidad de lluvias que presenta el mes más seco, presentando una precipitación total de 558.8 mm (González y Flores 1999).

2.3.2. Toma de muestras

El establecimiento de los conglomerados se basó en la metodología del inventario nacional forestal (CONAFOR, 2010), el cual consistió en establecer sitios circulares de 11.28 m de radio, con una superficie de 400 m², tomando un

punto central, y dirigidos a una azimut de 0° , 120° y 240° , con una distancia del punto central de 45.14 m, como se puede ilustrar en la figura 4.

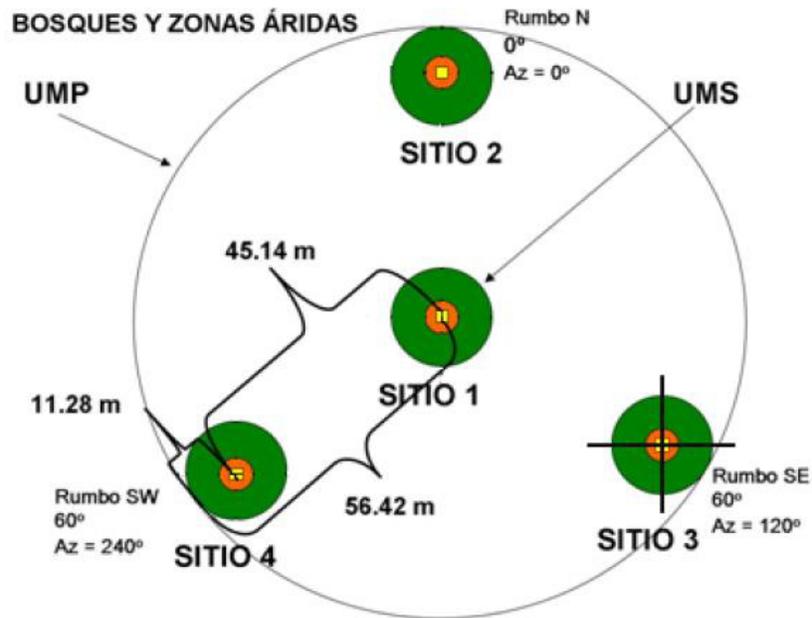


Figura 4. Diseño de conglomerado.

La distribución de los conglomerados fue dirigida, con una distancia aproximada de 500 m entre ellos. Se levantaron 4 y 5 conglomerados (área incendiada y área testigo). La información dasométrica registrada fue especie, género, número de árbol, altura (h), diámetro normal (1.30 m), azimut y cobertura de copa (norte-sur, este-oeste).

2.4. Uso de técnicas dendrocronológicas

2.4.1. Extracción de muestras de virutas

Se extrajeron 108 núcleos de crecimiento o viruta, seleccionando los árboles viejos y jóvenes; dichas muestras se tomaron a 30 cm de altura a favor de la pendiente, con un taladro Pressler de 5 mm de diámetro, posteriormente estas

fueron guardadas en popotes, con la finalidad de protegerlas de la pérdida de humedad y evitar torceduras.

Para cada sección de viruta se registró una clave de identificación, así como datos del árbol (especie y diámetro), número de árbol muestreado, clave del sitio con tres letras INC (incendiada), letra de sitios tomadas (A, B, C, D etc.) y la orientación de la muestra (N, S, E, O, NE, NO, SE, SO), fecha de la colecta y datos adicionales al sitio; estas se procesaron en el laboratorio de Dendrocronología Del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA “ INIFAP”).

2.4.2. Montado y lijado de muestras

Para el montado se utilizó cintas, pegamentos y bases de maderas con moldeduras, para colocar las muestras; la información registrada fue el sitio, coordenadas, altitud, diámetro y fecha de colecta. La orientación de las muestras fue en posición vertical a sus traqueidas, para facilitar la visibilidad de sus anillos, en el proceso de fechado.

El lijado consistió en utilizar lijas secuenciales en granos de 120 (lijas ásperas) hasta llegar al 1,200 (lijas finas), que permitió distinguir con mayor facilidad los límites entre anillos.

2.4.3. Prefechado y fechado de muestras

Para determinar el patrón de crecimiento de las muestras y de cada una de las especies, se realizó el prefchado manual; que consistió en tomar la muestra y empezar a contar los anillos de la médula hacia la corteza, tomando en cuenta que el año de coleta fue el último año registrado al final de la corteza (Cuadro 2).

Después de haber establecido el patrón de crecimiento, se compararon cada una de las muestras, para corroborar y determinar el fechado final con el sistema de medición de Velmex.

Cuadro 2. Representación simbólica del registró de los anillos de crecimiento en cada una de las series.



2.4.4. Fechado con Velmex

Este sistema de medición se compone de un estereoscopio trilocular o lupa de alta resolución 10X, con una precisión de 0.001 mm, que se conecta a una platina de fase deslizante y que a su vez se acopla a la computadora; misma que tiene que tener instalado el software de medición denominado MeasureJ2X para Windows (Robinson y Evans, 1980).

Con este sistema de medición, se fecharon cada una de las muestras mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968), se registró la madera tardía (LWR), madera temprana (EWR) y anillo total (RW).

Para determinar la madera temprana se localizó el año cero, que es el primer anillo cercano a la médula y se deslizó utilizando una retícula graduada en el ocular derecho del estereoscopio hasta llegar a la fase oscura donde se presenta la madera tardía; con el mismo procedimiento para la madera tardía se desliza hasta llegar al término del anillo, generando otra medición de ancho de anillo total, es decir, la suma de la madera temprana y tardía.

2.4.5. Verificación del fechado

Una vez generado los archivos de LWR, EWR Y RW, se procedió a la verificación de series o núcleos, presentando una buena correlación. Las series registradas en el programa COFECHA, se compararon estadísticamente con el fechado de cada muestra al correlacionar sucesivamente segmentos de 50 años con traslapes de 25 años.

Para abrir el software de COFECHA, se abrió la carpeta de los programas del DPL (Holmes, 1994), alimentándolo con el archivo de medición, que está en formato **.dat**. El primer dato registrado es el nombre de archivo de entrada correspondiente al área incendiada para el Cerro El Potosí; después se registra el título o nombre de la corrida, que en su caso se generó un formato con el nombre de INCCOF, que es el resultado del análisis de cada una de las series de crecimiento.

Se detectaron los valores de correlación bajos, con la representación “**B**” nos indica que presentan posibles problemas de anillos perdidos, falsos o problemas de medición, la letra “**A**” indica que las series presentan baja correlación y nada se puede hacer, es decir, presentan problemas de crecimientos.

Para el análisis de los segmentos de cada una de las series, se transformaron a logaritmos y se aplicó una prueba paramétrica (correlación de Pearson), a una confiabilidad del 99 % (0.3281), en el programa COFECHA.

2.4.6. Programa ArsTan

Una vez que la correlación de las series supera el valor de .3281 y que el valor de correlación estadísticamente fuera ($p < 0.05$), (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001); se procedió a generar las cronologías con el programa ArsTan, mediante la fijación de modelos matemáticos como curva exponencial negativa, flexible y tendencia lineal positiva y negativa, generando la cronología de series de anillos de crecimientos.

Al generar la cronología de las especies, se procedió a estandarizar todas las series a nivel rodal e individual en el programa ArsTan (Cook, 1985), con la finalidad de bajar un poco la discrepancia, es decir, las fluctuaciones del ancho de anillo.

Se realizó la estandarización de la varianza de cada serie, en el programa ArsTan, transformando los valores en logaritmo natural. Este proceso clásico de estandarización implica que los valores contenido en las series de datos, es

extraído el valor de la media y valor residual del proceso, dividido entre la desviación estándar de la muestra (Villanueva *et al* 2010).

Este proceso remueve las tendencias en cada una de las series de crecimientos, las cuales se encuentran en constante evolución, producto de la actualización y mejoramiento de técnicas estadísticas, que son utilizadas para la extracción de la señal climática (Delgado, 2000).

2.5. Datos climatológicos

Para generar la reconstrucción climática, se utilizaron datos climatológicos de cinco estaciones cercanas al Cerro El Potosí, que se descargo en el sistema meteorológico nacional (CONAGUA, 2010), se trabajo con datos mensuales para hallar la relación interanual, despues se promediaron para sacar información anual y correlacionarlo con el ancho de anillo anual, misma que sustituyo en el modelo estadístico de regresión lineal.

La información climatica regional se registró períodos diarios de 1975 a 2011, se promedió de manera mensual para cada estación; con la finalidad de obtener un promedio regional de los valores de cada estación y correlacionarlos con el ancho de anillo. Se obtuvieron 11 etapas estacionales, registrando cada unode los meses; dichosvalores se sometieron a un analisis de regresión lineal simple, para correlacionar el ancho de anillo y así obtener la variabilidad interanual de la precipitación.

Para reconstruir la precipitación de los dos últimos siglos se utilizó el modelo de regresión lineal que considera valores de Beta 0, B1, y el ancho de anillo.

$$Y_t = B_0 + B_1 * X_t$$

Dónde:

Y_t= Valor de precipitación anual para un año en específico t.

X_t= Índice de ancho de anillo para un año en específico t.

El modelo fue validado por dos pruebas estadísticas una de calibración “mitad de los registros climáticos” y verificación “la otra mitad restante”, (Fritts, 1999), con los valores del modelo estadístico obtenido se relaciono el ancho de anillo, generando el modelo de reconstrucción de la precipitación para los últimos dos siglos.

2.6. Relaciones climáticas de la información del índice oceánico de El Niño (ONI)

Para establecer la relación de los anillos de crecimiento con los fenómenos climáticos provocados por el fenómeno interanual El Niño Oscilación Sur (ENSO) y establecer la clasificación de veranos influenciado por El Niño (se reducen las lluvias) y la Niña (se intensifican). Se descargó información del ONI y la temperatura del océano de 1950-2015, registrada en National Weather Service (Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos) que se encarga de predecir el clima.

Los valores del ONI pueden cambiar hasta dos meses después de que es publicado el valor inicial “en tiempo real”; por lo tanto, los más recientes valores del ONI deben considerarse una estimación (Huang *et al* 2015, J. Climate).

La clasificación de estos eventos fue determinado por los siguientes valores; El Niño fuerte se clasifico $>0.5^{\circ}\text{C}$, El Niño débil fue $<0.5^{\circ}\text{C}$; mientras que La Niña débil fue $-<0.5^{\circ}\text{C}$ y La Niña fuerte $-> 0.5^{\circ}\text{C}$, de acuerdo a los registros históricos de 1950-2015 (NCEP, 2015).

CAPÍTULO III

Comportamiento del crecimiento en un bosque de coníferas, después del incendio de 1998 en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León

Resumen

Los cambios ocurridos en un bosque de coníferas en 1998 en el Cerro El Potosí, permitió evaluar dos áreas, una incendiada y otra testigo aledaña donde ocurrió este fenómeno. Con el objetivo de conocer el efecto que causó el incendio de 1998, en cuanto a la disminución en sus tasas de crecimiento; se evaluaron cada una de las especies a nivel rodal e individual utilizando técnicas dendrocronológicas, para fechar su edad y medir el comportamiento periódico a 5, 10 y 13 años. Las muestras o virutas, fueron obtenidas en campo, después se procesaron en laboratorio, donde se montaron y pulieron, se hizo el fechado visual, la medición del ancho de anillo en el equipo Velmex, cofechado en el *software* COFECHA y filtrado de la auto correlación empleando el *software* ArSTan. La correlación de la muestra fue ($r=0.596$; $p<0.001$), generando una cronología del ancho de anillo. Los resultados del análisis estadístico mediante una prueba de t Student mostraron que para el área incendiada y la especie de *Pinus pseudostrabus* existen diferencias significativas posterior al incendio de 1998 en un período de 5 años ($p<0.034$ y $p<0.040$); comparando con las presentadas antes del incendio en donde se observaron tasas de crecimiento para el período de 1993 a 1997 de (0.019 cm y 0.181 cm/año) mientras que para el período de 1999 a 2003 fue de (0.012 cm y 0.122 cm/año). Por lo tanto el crecimiento de estas especies a nivel rodal e individual, redujo sus tasas de crecimiento en un 36 % después del incendio.

Palabras clave: auto correlación, COFECHA, coníferas, incendio y tasas de crecimiento.

Growth performance in a coniferous forest after the fire of 1998 in the Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León

Abstract

Changes in a coniferous forest in 1998 in the Cerro El Potosi possible to evaluate two areas, one burned and one surrounding where I witnessed this phenomenon occurred. In order to know the effect that caused the fire of 1998, in terms of the decline in growth rates; each of the species to stand and individual level using dendrochronological techniques were evaluated for age dating and measure the periodic behavior at 5, 10 and 13. Samples or chips, were obtained in field, then processed in the laboratory where they were mounted and polished, visual dated was made, measuring the ring width in Velmex equipment cofechado in COFECHA software and filtering the autocorrelation Arstan using the software. The correlation of the sample was ($r = 0.596$; $p < 0.001$), generating a ring width chronology. The results of the statistical analysis by Student t test showed that for the burned area and the species of *Pinus pseudostrobus* there after the fire of 1998 significant differences over a period of five years ($p < 0.034$ and $p < .040$); comparing with those presented before the fire where growth rates were observed for the period 1993 to 1997 (0.019 cm and 0.181 cm / year) while for the period 1999 to 2003 was (0.012 cm and 0.122 cm / year). Therefore the growth of these species to stand and individual levels, reduced growth rates by 36% after the fire.

Keywords: autocorrelation, COFECHA, conifers, fire and growth rates.

3.1. Introducción

Los incendios forestales son el tipo de perturbación más importante en el Cerro El Potosí y la tercera causa de pérdida de vegetación natural en México solo por debajo de la tala ilegal y la transformación de terrenos agrícolas y ganaderos (SEMARNAT, 2006).

Una de las especies afectadas es *Pinus hartwegii* Lindl, o mejor conocida como pino de alturas, es maderable, forma áreas recreativas y tiene potencial para resinación, se encuentra a una altitud máxima de 4300 msnm (Farjon *et al.*, 1997). Algunas de sus poblaciones naturales en México están amenazadas por factores naturales y antropogénicos; se encuentra conformadas por comunidades reducidas, fragmentas y aisladas (López, 1993).

El pino blanco *Pinus pseudostrobus* es una especie de amplia distribución nacional y regional, con una gran importancia por uso maderable. Se distribuye de los 1300 hasta los 3250 msnm. Debido a la complejidad de la estructura leñosa de las coníferas se facilita la visibilidad de los anillos de crecimiento (Fritts, 1976; Schweingruber, 1988). El análisis de los mismos son una fuente de información para establecer la edad y el crecimiento de los árboles y la influencia de factores climáticos (Roing, 2000).

El motivo de realizar este estudio, es porque la dendroecología y la relación de los incendios forestales, nos permiten caracterizar la estructura de las edades individuales, sin embargo no siempre es preciso fecharlos (Kitzberger *et al.*, 2000). Los efectos del incendio en 1998 en el cerro El Potosí, nos permitirá conocer con base en técnicas dendrocronológicas las tasas de crecimiento a nivel rodal e individual de cada una de las especies.

3.2. Hipótesis

- ❖ El crecimiento de la masa forestal es igual en áreas incendiadas, que en áreas aledañas al mismo.
- ❖ Existen diferencias en el crecimiento por el efecto del incendio de dos especies de coníferas dependientes de su resistencia al fuego.

3.3. Objetivo general

- ❖ Comparar el crecimiento de las especies a nivel rodal e individual en periodos de 5, 10 y 13 años al incendio de 1998 en el Cerro El Potosí.

3.3.1. Objetivos específicos

- ❖ Determinar los crecimientos de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*, en base a técnicas dendrocronológicas.
- ❖ Realizar una cronología general del cerro el Potosí, con la finalidad de definir su patrón de crecimiento.

3.4. Metodología

Se registraron datos de las especies, alturas, coberturas y diámetros (1.30 m) a partir de 7.5 cm, utilizando la metodología del inventario nacional forestal (CONAFOR, 2010). En total fueron 4 conglomerados para el área incendiada y 5 áreas testigo, cada uno de estos abarca una superficie de 1,600 m². Por conglomerado se tomaron 12 muestras de virutas información que sirvió para determinar la tasa de incrementos a nivel rodal e individual.

Para comparar el crecimiento de las especies de coníferas, se utilizaron las virutas colectadas en campo y analizadas en el laboratorio de dendrocronología del CENID- RASPA (INIFAP), realizando las actividades de montaje en bloques de madera de los núcleos obtenidos con el barreno de Pressler en los árboles del cerro El Potosí, pulida de muestras, fechado de muestras, medición de ancho de anillos en equipo Velmex y control de calidad del cofechado con el *software* COFECHA.

Se tomaron períodos 5, 10 y 13 años antes y posteriores al incendio de 1998, para poder analizar si este disturbio afectaba en las tasas de crecimientos a nivel rodal y por especies, comparándola con un área testigo aledaña al fenómeno fuego.

Para la generación de la cronología general, se juntaron las dos áreas anteriormente mencionadas, utilizando cada una de las series o núcleos cofechados y aplicando un filtrado de la auto correlación temporal mediante series de tiempo y cálculo de las series empleando el *software* Arstan.

3.4.2. Análisis de la información

Estandarización de muestras de virutas

Mediante esta técnica, se aplicó la remoción de tendencias en series de crecimiento eliminando las tendencias biológicas y geométricas, para maximizar la señal climática.

Ecuación matemática de estandarización:

$$Z_i = (X_i - X) / S$$

Donde:

Z_i = Valor estandarizado de X_i , también conocido como “z-scores”

X_i = Valor de ancho de anillo

X = Media de la muestra (valor central más probable de una serie de datos)

S = Desviación estándar de la muestra (valor indicativo de la dispersión de los datos con respecto a la media)

Esta estandarización, generó una curva suavizada << spline >>, que ajusta todos los datos o series, siguiendo una trayectoria flexible y confiable; las series se condicionan a una rigidez de la curva con un factor de <32>:10 años, que contiene el 50 % de la varianza y una confiabilidad del 95 % (Villanueva *et al* 2010).

Los estadísticos de auto correlación de primer orden, es la relación existente entre el anillo de un año en particular << t >>, con el anterior << t-1 >>. Misma que refleja la variación de baja frecuencia, y que en su efecto se debe a las condiciones ambientales favorables o desfavorables que afectan directa o indirectamente el crecimiento del árbol (Fritts, 1976 y Villanueva *et al.*, 2008b).

3.5. Análisis estadístico

Para determinar si el efecto del incendio de 1998 fue determinante en el desarrollo del crecimiento, se realizó una prueba de normalidad con el test Shapiro-Wilk, que se determinó con base al alfa de 0.05, mayor a este valor nos indica que los datos presentan una distribución normal. Así mismo se procedió a realizar una prueba de t con variables independientes; por una parte se determinó la homocedasticidad mediante la prueba de Levene y por otro lado se determinó la igualdad de las medias, mediante el programa de IBM SPSS Statistics versión 22. Estas pruebas fueron realizadas a nivel población (incendiada y testigo) e individual (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*).

3.6. Resultados y discusión

3.6.1. Evaluación del área incendiada (Período de 5-10-13 años)

Al comparar las medias del crecimiento utilizando la prueba de Levene, se encontró que existen diferencias en la varianza en el crecimiento ($p=0.034$), en un período de cinco años y diez ($p=0.045$) posterior al incendio explicando homocedasticidad en la evaluación de la muestra de 13 años. En este último período la comparación de igualdad de medias presenta diferencias significativas en el caso para la muestra de 5 y 10 años posterior al incendio (Cuadro, 3).

Cuadro 3. Pruebas estadísticas del comportamiento de crecimiento de un área incendiada en 1998, en el Cerro El Potosí.

Prueba de t muestras independientes Prueba de Levene e igualdad de medias					
<i>Variables</i>	<i>F</i>	<i>t</i>	<i>Gl</i>	<i>P</i>	<i>IM</i>
Período de 5 años					
CREG	0.69	1.44	8	0.431	0.19
CREI	6.51	1.54	8	0.034	0.16
Período de 10 años					
CREG	0.75	1.44	18	0.4	0.16
CREI	4.64	1.8	18	0.045	0.09
Período de 13 años					
CREG	0.21	2.23	24	0.65	0.04
CREI	0.13	2.53	24	0.72	0.02

CREG (crecimiento general), CREI (crecimiento del área incendiada) Gl (grados de libertad), P (valor significativo) IM (igualdad de medias)

El efecto del incendio mostró que a los 5 años presenta cambios en el crecimiento, mientras que estas especies estabilizan su crecimiento después de 10 años (Cuadro, 3).

Al comparar el crecimiento de los cinco años anteriores al incendio el período (1993-1997) los individuos presentaron una tasa de crecimiento del 0.019

cm/año; para los años posteriores al incendio el período (1999-2003) presentó un crecimiento de 0.012 cm/año, esta diferencia representa el 36 % en su tasa de crecimiento (0.007 cm/año), indicando que el efecto del incendio, redujo el crecimiento de un año en referencia a su crecimiento anual para el año de 1998 (0.005 cm/año).

3.6.2. Comparación entre especies *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii* (Período de 5-10-13 años)

Al evaluar los períodos de crecimiento de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*, en un período de cinco años presentó una diferencia significativa de ($P < 0.040$) (Cuadro 4), para diez años ($P < 0.05$), mientras que para trece años no presentó diferencias significativas en las varianzas de crecimiento en *Pinus pseudostrobus*. *Pinus hartwegii*, no presentó homocedasticidad en las varianzas de crecimiento para cinco, diez y trece años. Esta comparación muestra el comportamiento individual de *Pinus pseudostrobus*, fue la especie más afectada después del incendio, (Cuadro, 4).

El crecimiento del período de 1993-1997, *Pinus pseudostrobus* presentó un crecimiento anual de (0.181 cm/año), *Pinus hartwegii* (0.191 cm/año), mientras que para el período de 1999-2003, *Pinus pseudostrobus* creció (0.122 cm/año) y *Pinus hartwegii* (0.114 cm/año). La disminución en crecimiento para *Pinus pseudostrobus*, posterior al incendio fue de 0.058 cm/año (32 %), mientras que *Pinus hartwegii* 0.077 cm/año (40%).

Al observar los resultados el incendio de 1998, bajo sus tasas de crecimientos a un 0.049 cm para *Pinus pseudostrobus*; mientras que *Pinus hartwegii* bajo a un más del 8 % con 0.033 cm en ese año. Estas especies están adaptadas al fuego y han sido documentada, con cinco diferentes tipos de adaptaciones a este factor ecológico (Rodríguez y Fulé, 2003). Por su parte *Pinus hartwegii*, reporta 100 % de supervivencia en árboles a incendios de intensidad moderada (González, 2001).

Estos estudios de crecimientos y efectos climáticos naturales relacionan a estas masas forestales a la producción de biomasa comercial, servicios ambientales hidrológicos y de captura de carbono, los cuales benefician directamente a grandes asentamientos humanos (Vázquez, 2010).

Cuadro 4. Pruebas estadísticas del comportamiento del crecimiento de las especies de *Pinus hartwegii* y *Pinus pseudostrobus* en el Cerro El Potosí.

Prueba de t muestras independientes Prueba de Levene e igualdad de medias					
<i>Variables</i>	<i>F</i>	<i>t</i>	<i>Gl</i>	<i>P</i>	<i>IM</i>
Período de 5 años					
CREPH	0.001	3.07	8	0.976	0.015
CREPS	5.97	1.4	8	0.04	0.2
Período de 10 años					
CREPH	0.21	1.06	18	0.66	0.3
CREPS	4.4	1.87	18	0.05	0.08
Período de 13 años					
CREPH	0.04	1.6	24	0.84	0.13
CREPS	0.07	2.58	24	0.8	0.02

CREPH (crecimiento de *Pinus hartwegii*), CREPS (crecimiento de *Pinus pseudostrobus*) Gl (grados de libertad), P (valor significativo) IM (igualdad de medias).

3.6.3. Crecimiento del área testigo, comparada con el área incendiada

El comportamiento de crecimiento de las especies encontradas, no mostró diferencias significativas en sus varianzas e igualdad de medias, al incendio de 1998 en el Cerro El Potosí, (periodo seco), (Cuadro, 5).

El crecimiento del período de 1993-1997, fue de 0.192 cm/año y el período de 1999-2003 de 0.141 cm/año; la tasa de crecimiento de 1998 fue de 0.063; mientras que la comparación de los dos períodos, fue que después de ese año seco, se presentó una disminución de 0.051 cm/año (27 %), casi todo el crecimiento en un año, con respecto al 1998.

Cuadro 5. Pruebas estadísticas del comportamiento de crecimiento en un área testigo aledaña al fenómeno fuego.

Prueba de t muestras independientes Prueba de Levene e igualdad de medias					
<i>Variables</i>	<i>F</i>	<i>t</i>	<i>Gl</i>	<i>P</i>	<i>IM</i>
Período de 5 años					
CREG	0.69	1.44	8	0.431	0.19
CRET	0.53	1.26	8	0.489	0.24
Período de 10 años					
CREG	0.75	1.44	18	0.4	0.16
CRET	0.24	0.97	18	0.63	0.35
Período de 13 años					
CREG	0.21	2.23	24	0.65	0.04
CRET	1.87	1.8	24	0.18	0.09

CREG (crecimiento general), CREM (crecimiento del área testigo) Gl (grados de libertad), P (valor significativo) IM (igualdad de medias).

3.6.4. Análisis de crecimiento con base en técnicas dendrocronológicas

El número de muestras colectadas en campo fueron 108 en total, logrando fechar al año exacto de su formación los crecimientos anuales con 60 muestras (57 %). COFECHA fijó una correlación entre muestras de ($r=0.596$; $p<0.001$), lo que indica una calidad aceptable en el fechado y respuesta de los árboles a la variabilidad climática (Cuadro 6). Dentro de esta correlación se efectuó una comparación entre especies, *Pinus pseudostrobus* presentó un $r=0.613$, mientras que *Pinus hartwegii* su correlación fue menor con $r=0.589$, así mismo esta última registro el árbol más longevo con 171 años, de acuerdo a la cronología generada para los últimos 214 años.

Cuadro 6. Pruebas estadísticas a nivel rodal e individual, en el programa COFECHA.

Parámetro	Resultados				
	<i>Ag</i>	<i>Ai</i>	<i>At</i>	<i>Pips</i>	<i>Piha</i>
Número de series fechadas	60	30	30	50	10
Series maestras	1800-2014	1800-2014	1862-2014	1862-2014	1800-2014
Total de anillos en toda la serie	5409	2853	2556	4252	1157
Anillo fechados a comprobar	5409	2853	2523	4222	1156
Intercorrelación de series	0.596	0.608	0.595	0.613	0.589
Sensibilidad media	0.492	0.449	0.539	0.538	0.32
Segmentos con posibles problemas	11	5	5	6	0
Longitud media de las series	90.2	95.1	85.2	85	115.7

** *Ag* (área general), *Ai* (área incendiada), *At* (área testigo), *Pips* (*Pinus pseudostrabus*) y *Piha* (*Pinus hartwegii*).

3.6.5. Generación de cronología

La cronología general registrada para los dos últimos siglos, marco cada año con etapas secas (menor ancho de anillo) y años húmedos (mayor ancho de anillo). Esta variabilidad de las series muestra claramente los incrementos de ancho de anillo a lo largo de 214 años atrás (1800-2014), el cual fue desarrollado en el programa ArsTan, (Figura, 5).

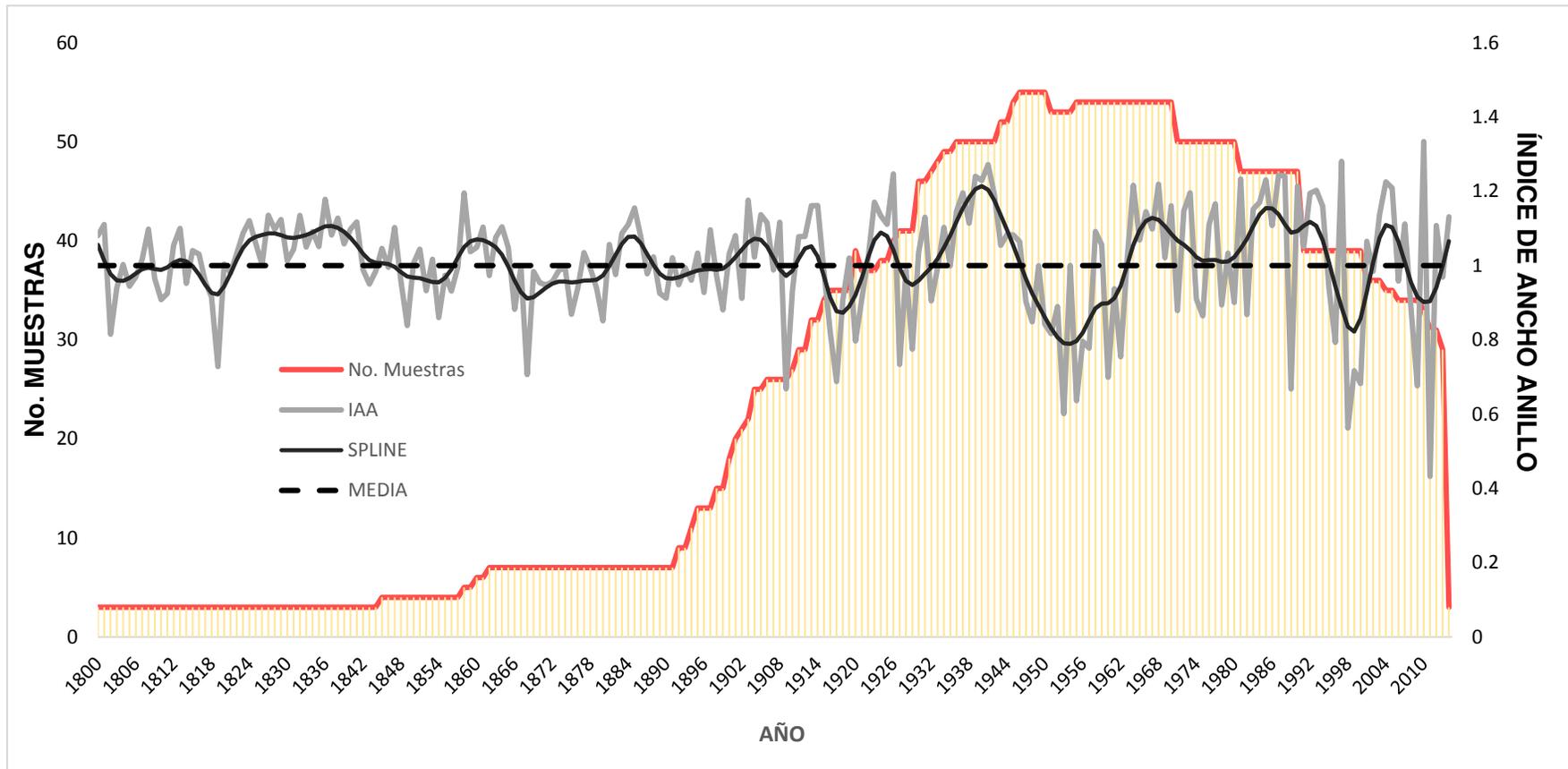


Figura 5. Cronología estándar en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León “índice de crecimiento en el ancho de anillo, para los últimos 214 años”.

3.7. Conclusiones

El crecimiento de las especies a nivel rodal del área incendiada, marcaron diferencias significativas al incendio de 1998, en un período de 5 años; por otra parte a nivel individual *Pinus pseudostrobus* presentó diferencias significativas en sus tasas de crecimiento en un período de 5 años, mientras que *Pinus hartwegii*, no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$). Estas especies tardan hasta más de 10 años en estabilizar su crecimiento, después de un incendio de alta severidad.

Se logró generar la cronología general para 214 años, encontrando el individuo más longevo en *Pinus hartwegii*; de esta forma la técnicas dendrocronológicas sirven para obtener información de crecimientos iniciales y poder analizar los factores antropogénicos que han ocurrido en el lugar, durante su trayectoria de vida de cada una de las especies; el estudio nos permite la toma de mejores decisiones para un buen manejo y conservación de este tipo de ecosistemas sujetos a los incendios forestales.

CAPÍTULO IV

Composición florística y estructura horizontal en un bosque de coníferas en el Cerro El Potosí

Resumen

Se realizó la evaluación de dos áreas, una incendiada y otra testigo, con la finalidad de conocer la diversidad y riqueza de especies, se utilizó el índice de Margalef (D) e índice de Shannon-Weiner (H'). Se analizó la composición florística y la estructura a través de la abundancia, dominancia y frecuencia relativas y el índice de valor de importancia para determinar la estructura florística del rodal. Se realizó un análisis dasométrico a partir de la distribución diamétrica, clasificándolo en arbolado juvenil, maduro y sobre maduro. Se establecieron 36 sitios de 400 m², basado en la metodología del inventario nacional forestal, los muestreos fueron dirigidos. En el análisis de la composición florística la especie más representativa de las dos áreas de estudio fue, *Pinus pseudostrobus*; sin embargo esta especie tuvo una asociación con *Pinus hartwegii*, y *Pinus stylesii*, y presencia de *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii*. La estructura horizontal del área incendiada presentó una mayor abundancia con 267 individuos ha⁻¹; mientras que la de testigo presentó 163 individuos ha⁻¹. Los índices ecológicos, no mostraron significancia ($p < 0.05$) a nivel rodal e individual, la riqueza y diversidad mostró una diferencia ($p < 0.025$; $p < 0.027$). Los parámetros evaluados se presentó mayor en el área incendiada, debido a la combinación de la ecología del fuego con las especies dependientes a esta condición; mientras que el área testigo presenta menor riqueza y diversidad, consecuencia influida por la competencia juvenil de los rodales; indicando que los incendios forestales superficiales, han favorecido a la comunidad vegetal de coníferas y que han ayudado al desarrollo del sotobosque, a través de la regeneración natural.

Palabras clave: composición florística, diversidad, estructura horizontal, incendios forestales y riqueza de especies.

Floristic composition and horizontal structure in a coniferous forest in the Cerro El Potosí

Abstract

The assessment of two areas, one fire and another witness, in order to understand the diversity and richness of species was carried out. Margalef index (D) and Shannon-Weiner index (H') was used. Floristic composition and structure is analyzed through abundance, dominance and relative frequency and importance value index to determine the floristic structure of the stand. One dendrometric analysis from the diameter distribution, classifying juvenile, mature and over mature trees is done. 36 sites of 400 m², based on the methodology established in national forest inventory, sampling were conducted. In the analysis of the floristic composition more representative species of the two study areas was *Pinus pseudostrobus*; however this species had a partnership with *Pinus hartwegii* and *Pinus stylesii* with presence of *Abies vejari* and *Pseudotsuga menziesii*. The horizontal structure of the burned area has a greater abundance 267 individuals ha⁻¹; while the control had 163 individuals ha⁻¹. The ecological indexes showed no significance ($p < 0.05$) to stand and individual levels, wealth and diversity showed a difference ($p < 0.025$; $p < 0.027$). The evaluated parameters presented higher in the burned area, due to the combination of fire ecology with this condition dependent species; while the control area has less wealth and diversity, a result influenced by the youth competition of the stands; indicating that the surface forest fires, have favored conifer plant community and have helped the development of the undergrowth, through natural regeneration.

Keywords: floristic composition, diversity, horizontal structure, forest fires and species richness.

4.1. Introducción

México es el centro de diversidad del género *Pinus*, al contar con 42 % de las especies y por su alto porcentaje de endemismo (>55 %); un ejemplar es el caso de los piñoneros, que habitan en zonas áridas de las sierra al Norte de México y los pinos alpinos como *P. hartwegii* y *P. culminicola* (Yeaton, 1982; Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000).

En el noreste de México, el Cerro El Potosí es una región de alta prioridad para la conservación; su ubicación en la Sierra Madre Oriental y sus 3721 m de altitud sobre el nivel del mar, determinan condiciones ecológicas particulares en las que se presentan especies de flora y fauna endémicas (García, *et al* 1999). En este tipo de régimen, los incendios que llegan a ocurrir modifican la estructura de la vegetación formando claros con un microclima más seco que el del interior del bosque y causan la acumulación de hojarasca y residuos leñosos por la mortalidad de árboles, creando condiciones favorables para la propagación de nuevos incendios, cuyos efectos son aún más severos (Cochrane, 2003). La pérdida de biodiversidad tiene consecuencias sobre distintas propiedades de los ecosistemas, como su capacidad para soportar los efectos de las perturbaciones (resistencia) o regenerarse después de un evento de perturbación (resiliencia) (Loreau *et al.* 2002; Hammill *et al.* 2005; Hooper *et al.* 2005).

Este tipo de ecosistema presenta las condiciones óptimas para la propagación de incendios que ocurren en ecosistemas lo suficientemente húmedos para que se acumule biomasa y se formen camas de combustible continuas, pero con una estación seca en la cual hay combustible disponible para el fuego (Agge, 1993, Sughiara *et al.*, 2006, Jardel-Peláez *et al.*, 2009).

Estos incendios son eventos discretos en el tiempo, que modifican la estructura de un ecosistema, comunidad o población y cambian el ambiente físico, sustrato o la disponibilidad de recursos (Corral *et al.*, 2002; Caribello, 2003; Jiménez y

Alanís, 2011). Son el tipo de perturbación más importante en el cerro El Potosí y la tercera causa de pérdida de vegetación natural en México solo por debajo de la tala ilegal y la transformación de terrenos agrícolas y ganaderos (SEMARNAT, 2006; Rubio-Camacho *et al.*, 2015). El cerro El Potosí ha sido de mucha importancia para estudios ecológicos, debido a su altitud y la diversidad de especies endémicas de flora y fauna que se encuentran en ella, principalmente los incendios forestales, cambian repentinamente la población de especies (Jiménez *et al.*, 2005; Ávila *et al.*, 2014).

La frecuencia de incendios es elevada y los cambios dentro del ecosistema pueden darse tanto cualitativos (florísticos o de comunidades vegetales) y cuantitativos, modificando la abundancia relativa de los individuos de una especie. Por este motivo el objetivo de la presente investigación es evaluar la estructura florística vertical y horizontal de un área incendiada, y compararlo con área testigo aledaña a este fenómeno de fuego, analizando su desarrollo a nivel rodal e individual.

4.2. Hipótesis

La composición florística y su estructura horizontal en el Cerro El Potosí, sea modificado incendios ocurridos en 1998.

4.3. Objetivo general

- Evaluar áreas con perturbación, con la finalidad de conocer su composición florística y estructura horizontal de un área incendiada y una testigo.

4.3.1. Objetivos específicos

- Determinar la composición florística de un área incendia y testigo en un bosque de coníferas en el Cerro El Potosí, con la finalidad de determinar su riqueza y diversidad de especies.

- Realizar un análisis de la estructura horizontal, mediante la clasificación diamétricas.

4.4. Metodología

Los sitios de muestreo se localizan a una altitud de 2800 a 3600 msnm considerando una pendiente no mayor a 20 °; dichos sitios se encuentran en dos áreas una con fuego y otra testigo, aledaña al fenómeno fuego. El “área incendiada” presentó un incendio superficial y de copa en abril de 1998, a consecuencia de la acumulación de material combustible y un período seco en primavera del mismo año, favoreció para que estos efectos llegaran a presentarse como incendios de alta severidad, eliminando gran parte del estrato arbóreo (Ávila *et al.*, 2014). La otra área testigo, se le atribuye a que después del incendio las áreas quedaron restringidas a cualquier aprovechamiento y fue declarada con Área Natural Protegida Estatal en 2000, con la finalidad de proteger y conservar diversos ecosistemas de la región biogeográfica del el Cerro El Potosí.

La metodología se basó de acuerdo al inventario nacional forestal (CONAFOR, 2010), el cual consiste en el establecimiento de conglomerados, de forma dirigida con una aproximación de 500 m entre ellos. Se establecieron 16 sitios para el área incendiada y 20 sitios para el área testigo, con un total de 36 sitios de muestreo.

La información dasométrica, registrada fue especie, género, número de árbol, altura (h), diámetro normal (1.30 m), azimut y cobertura de copa (norte-sur, este-oeste). De acuerdo con los datos recabados en campo, se creó una base de datos, donde se analizaron mediante una tabla dinámica, la distribución y comportamiento de las especies tanto para el área incendiada, y el área testigo.

Para determinar la composición florística, se calcularon los índices ecológicos de abundancia relativa (A_i), dominancia relativa (D_i), frecuencia relativa (F_i) e índice de valor de importancia (IVI), (Curtis y McIntosh, 1950; Mueller y Ellenberg, 1974;

Magurran, 2004), también se evaluaron los índices de riqueza (índice de Margalef) y diversidad de especies (índice de Shannon-Weiner).

El análisis de la estructura horizontal, se realizó mediante la clasificación diamétrica de cada uno de los individuos registrados, el cual consistió en agruparlos en árboles juveniles, maduros y sobre maduros.

4.5. Análisis de la información

4.5.1. Índices ecológicos

La **abundancia relativa** se obtuvo mediante la fórmula (1).

$$Ai = \frac{n}{N} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Ai: abundancia relativa de la especie *i* con respecto a la abundancia total.

n: número de individuos de la especie *i*.

N: número total de individuos.

La **dominancia relativa** se obtuvo mediante la ecuación (2).

$$Di = \frac{g}{G} * 100 \quad (2)$$

Donde

Di: dominancia relativa de la especie *i* respecto a la dominancia total.

g: área basal de la especie *i*.

G: área basal total.

La **frecuencia relativa** se obtuvo mediante la fórmula (3).

$$Fi = \frac{m}{M} * 100 \quad (3)$$

Donde:

Fi: frecuencia relativa de la especie *i* con respecto a la frecuencia total.

m: frecuencia de la especie *i* en los sitios de muestreo.

M: número total de sitios de muestreo.

El **índice de valor de importancia** se obtuvo para cada especie, mediante la ecuación (4).

$$IVI = Ai + Di + Fi \quad (4)$$

Donde:

Ai= abundancia relativa.

Di= dominancia relativa.

Fi= frecuencia relativa.

4.5.2. Riqueza de especie

La riqueza de especies, nos compara los parámetros de los individuos en distintas comunidades (Begon *et al.*, 2006). Existen muchos métodos para medir la biodiversidad; pero en su caso usamos el de Margalef (DMg), que es uno de los más utilizados en estudios florísticos; mismo que se define de la siguiente manera.

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Donde:

D_{Mg} = riqueza de especies.

S = número de especies.

N = número total de individuos.

ln = logaritmo natural.

4.5.3. Diversidad alfa

La diversidad alfa, se determinó con el índice de Shannon-Weiner (H'), (Magurran, 1988), refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Los valores adquiridos en este índice están entre 1 y 4.5, generalmente la comunidad que tenga un valor por encima de 3, indican que presentan una mayor diversidad. El índice de índice de Shannon-Weiner (H'), se determina por la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S pi * ln(pi)$$

Donde:

H' = índice de diversidad.

S = número de especies presentes

ln = logaritmo natural

pi = proporción de las especies $pi=ni/N$

ni = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

4.5.4. Clasificación horizontal del arbolado

Para determinar la clasificación del arbolado juvenil (J), arbolado maduro (M) y sobre maduro (SM), se basó con respecto al diámetro máximo encontrado y a diversos estudios que han reportado el aprovechamiento de *Pinus sp*, a partir de 40 cm de diámetro, que es la etapa de turno absoluto aprovechable.

La clasificación del arbolado, con respecto a las categorías diamétricas fue juvenil (10-35 cm) que es la etapa donde ocurre la regeneración de años anteriores, maduro (40-60 cm) etapa donde los individuos presentan su máximo crecimiento en base al volumen en pie en toda la población, y sobre maduro (>65 cm) etapa donde se encuentran los árboles padres que proporcionan nueva regeneración.

4.5.5. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizó para los índices ecológicos e índice de riqueza y diversidad, mediante una prueba de t con variables independientes (Prueba de Levene), usando el programa de IBM SPSS Statistics versión 22; estas pruebas se realizaron a nivel rodal (incendiada y testigo) e individualmente (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*).

4.6. Resultados y discusión

4.6.1. Abundancia, dominancia, frecuencia e índice de valor de importancia de las especies arbóreas

La diversidad florística del área incendiada se conformó por las especies de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus stylesii*, *Pinus pseudostrobus* y *Pseudotsuga menziesii* (Cuadro 7); las especies más abundantes y representativas son *Pinus pseudostrobus*, con una abundancia del 53 %, una dominancia de 60% de área basimétrica (9.47 m² ha⁻¹) y un índice valor de importancia (IVI), del 55 %; seguido por *Pinus hartwegii*, con una abundancia del 40 % , una dominancia de

36 % de área basimétrica ($5.78 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y un índice valor de importancia (IVI) de 39 %; indicando que estas especies son de mucha importancia maderable comercial para los lugares aledaños al cerro El Potosí.

Mientras que el área testigo, se encontraron las especies de *Pinus hartwegii*, *Pinus stylesii* y *Pinus pseudostrobus*; siendo esta última especie que presentó mayor índice de importancia (IVI) del 96 %, con una abundancia del 95 % y una dominancia del 97 % de área basimétrica ($13.38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), como se muestra en el cuadro 7.

Las especies de *Abies vejari*, *Pinus stylesii* y *Pseudotsuga menziesii* tuvieron un índice valor de importancia inferior a 4 %, mostrando solo su presencia dentro de toda la población. Jiménez *et al* (2001), encontró que la especie más representativa fue *Pinus pseudostrobus* en un bosque de pino-encino en el Norte de México, presentando un 57 % del total de individuos de la población y un diámetro promedio de 26.1 cm, es decir, 72 % del área basimétrica total.

4.6.2. Clasificación y estructura horizontal

De acuerdo a la clasificación de categorías diamétricas, el área incendiada presentó un total de 267 individuos ha^{-1} (Cuadro 7).

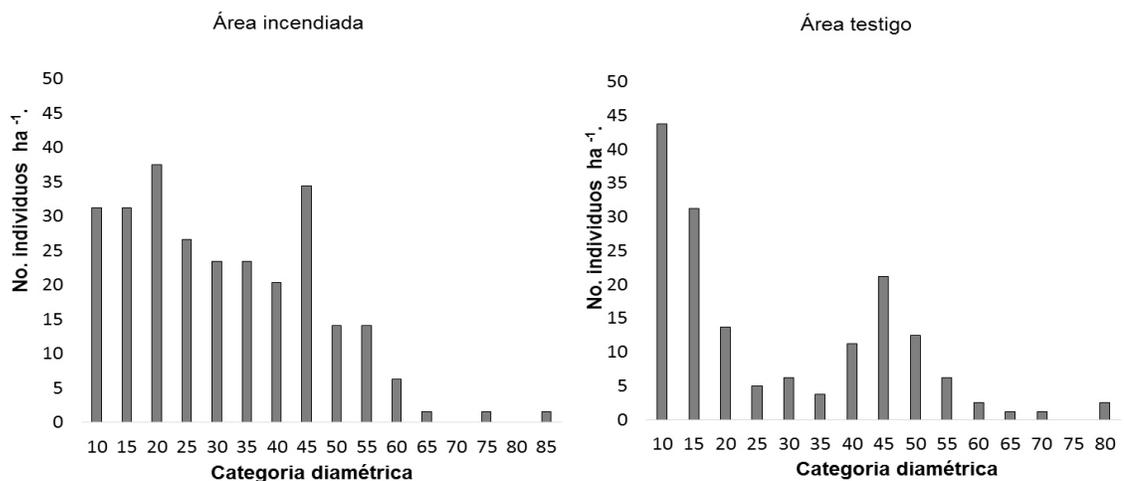


Figura 6. Histograma de distribución de individuos por categorías diamétricas para un área incendiada y área testigo en el Cerro El Potosí.

La clasificación en tres condiciones de arbolados; juvenil con un 65 %, maduro 33 % y sobre maduro 2 %; la categoría en diámetro más representativa para la población fue 20 cm, que esta agrupada en la condición juvenil (Figura 6).

El área testigo presentó un total de 163 individuos ha⁻¹ (Cuadro 7), con arbolado Juvenil del 64 %, arbolado maduro del 33 % y sobre maduro del 3%; la categoría en diámetro más representativa fue de 10 cm, misma que esta agrupada en la condición Juvenil (Figura 6). En un estudio sobre la estructura de rodales encontró que la diferenciación diamétrica para *Pinus hartwegii* fue \overline{TDi} = 0.17, 0.28 y 0.34 para severidad baja, media y alta respectivamente (Ávila *et al* 2012).

Cuadro 7. Estructura horizontal y florística del ecosistema de bosque de conífera en Cerro El Potosí.

Especies	Abundancia		Dominancia		Frecuencia	IVI	<i>H'</i>	<i>D</i>
	Abs N/ha ⁻¹	Rel	Abs ABT(m ² /ha ⁻¹)	Rel	Rel (%)	(%)		
Área incendiada							2.26	1.79
<i>Ab Ve</i>	4	1.50	0.45	1.80	1.50	1.60		
<i>Pi Ha</i>	108	40.41	9.03	36.38	40.41	39.07		
<i>Pi St</i>	12	4.50	0.49	1.98	4.50	3.66		
<i>Pi Ps</i>	141	52.85	14.80	59.62	52.85	55.10		
<i>Ps Me</i>	2	0.75	0.05	0.22	0.75	0.57		
Valor total	267	100	24.83	100	100	100		
Área testigo							0.58	0.98
<i>Pi Ha</i>	3	1.54	0.34	2.47	1.54	1.85		
<i>Pi St</i>	5	3.08	0.11	0.79	3.08	2.32		
<i>Pi Ps</i>	155	95.38	13.38	96.74	95.38	95.84		
Valor total	163	100	13.83	100	100	100		

Ab Ve= *Abies vejari*, *Pi Ha*= *Pinus hartwegii*, *Pi St*= *Pinus stylesii*, *Pi Ps*= *Pinus pseudstrobus*, *Ps Me*= *Pseudotsuga menziesii*. Abundancia= N/ha⁻¹ (número de individuos/hectárea), Dominancia= ABT (área basimétrica total/hectárea), Frecuencia=N/S*100(número de individuos en los sitios presentes, expresada en porcentaje IVI=índice de valor de importancia, *H'*= índice de Shannon, *D*= índice de margalef.

La prueba estadística de los índices ecológicos no mostraron ninguna diferencia significativa a nivel rodal e individual; mientras que el índice de riqueza (índice de Margalef) y diversidad (índice de Shannon-Weiner) si mostraron diferencias ($p < 0.025$; $p < 0.027$).

4.7. Conclusiones

La diversidad florística del área incendiada se conformó por *Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Pinus stylesii*, *Pinus pseudostrobus* mientras que el área testigo se presentaron las últimas tres especies anteriormente mencionada.

Los índices ecológicos, no mostraron significancia ($p < 0.05$) a nivel rodal e individual, la riqueza y diversidad mostró una diferencia ($p < 0.025$; $p < 0.027$). Estos parámetros evaluados se presentaron mayor en el área incendiada, debido a la combinación de la ecología del fuego con las especies dependientes a esta condición; mientras que el área testigo presenta menor riqueza y diversidad.

La clasificación de categorías diamétricas se agrupo más en la condición juvenil, debido a que el incendio que se presentó en 1998, arrasó con muchas especies que estaban en competencia, propiciando la abertura de áreas disponibles para su regeneración que proporcionan los árboles padres.

Además se sugiere donde se presenta doseles muy abiertos, realizar obras de reforestación para repoblar y restaurar zonas donde la regeneración natural no se ha presentado, con la finalidad de aumentar la distribución horizontal y florística. También se propone realizar algunos aclareos para abrir un poco las coberturas donde se agrupan los individuos juveniles, con el fin que desarrollen su productividad forestal.

CAPÍTULO V

Estructura vertical de un bosque de coníferas en el noreste de México, en diferentes condiciones ecológicas

Resumen

Se realizó una clasificación de la estructura vertical de las especies mediante el índice *A* de Pretzsch, modificación del índice Shannon; se clasificó en estrato I (80-100 %), estrato II (50-80 %) y estrato III (0-50 %). Los sitios se establecieron de manera circular de 11.28 m de radio, con un total de 36 sitios de 400 m², basada en la metodología del inventario nacional forestal. También se determinó la productividad de un área incendiada y testigo, utilizando datos dasométricos como, densidad individual/ha⁻¹, área basimétrica m²/ha⁻¹, cobertura m²/ha⁻¹ y volumen m³/ha⁻¹. Para la productividad se realizó un análisis estadístico en el programa r-Studio (Ver. 3.1.1), mediante una comparación de medias entre grupos independientes de los parámetros densidad N ha⁻¹, área basal m² ha⁻¹, área de copa m² ha⁻¹ y volumen m³ ha⁻¹. El análisis de la estructura vertical utilizando el índice de Pretzsch mostró que el estrato II fue el que concentró mayor cantidad de individuos/ha, en las dos áreas (50 % y 33 %), con una altura máxima de 23.9 y 26 m respectivamente. La productividad se presentó mayor en el área incendiada, atribuido a su abundancia de *Pinus pseudostrobus*; mientras que el área testigo, registró menor individuos/ha⁻¹, diferido a menor proporcionalidad en volumen m³ ha⁻¹.

Palabras clave: estrato, estructura vertical, incendiada, índice de Pretzsch y productividad.

Vertical structure of a coniferous forest in northeastern Mexico, in different ecological conditions

Abstract

A classification of the vertical structure of the species was performed by the index A Pretzsch, Shannon index modification; I was classified in stratum I (80-100%), layer II (50-80%) and stratum III (0-50%). The sites are set in a circular of 11.28 m radius, with a total of 36 sites of 400 m², based on the methodology of the national forest inventory. The productivity of a burned area and witness is also determined, using data dasometric as single density ha⁻¹, basal area m² ha⁻¹ coverage m² ha⁻¹ and volume m³ ha⁻¹. Productivity for a statistical analysis was performed on the R-Studio program (Ver. 3.1.1), by comparing means between independent groups of parameters N ha⁻¹ density, basal area m² ha⁻¹, crown area m² ha⁻¹ and volume m³ ha⁻¹. Analysis of the vertical structure using Pretzch index showed that the layer II was the one who concentrated more individuals ha⁻¹, in the two areas (50% and 33%), with a maximum height of 23.9 and 26 m respectively. Productivity has increased in the burned area, attributed to the abundance of *Pinus pseudostrobus*; while the control area recorded lower individuals ha⁻¹, less deferred proportionality volume m³ ha⁻¹.

Keywords: stratum, vertical structure, burned, Pretzsch rate and productivity.

5.1. Introducción

La estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen (Aguirre, 2003). En este contexto destacan principalmente la estructura de especies y la estructura dimensional de los ecosistemas (Thomasius y Schmidt, 1996). Su diversidad biológica del territorio mexicano, esta definida por su complejidad topográfica, variedad de climas y la conexión de dos zonas biogeográficas (neártica y neotropical) en conjunto forman un variado mosaico de condiciones ambientales (CONABIO, 2010).

En México, las actividades agropecuarias son la principal causa de la pérdida de bosques y selvas, seguidas por los desmontes ilegales y los incendios forestales (FAO, 2005). El número de incendios en México ha aumentado en los últimos treinta años, tendencia al parecer relacionada con la presencia y severidad de los eventos climáticos de El Niño y a la materia vegetal muerta que se acumula después del paso de los huracanes (CONAFOR, 2005). Estos eventos climáticos están favoreciendo las condiciones para que ocurran los incendios forestales, lo que resulta un elevado número de incendios catastróficos, trayendo como consecuencia pérdidas humanas, modificación de estructuras vegetales y destrucción de las mismas (Fried *et al.*, 2004).

Para mitigar estos efectos destructivos de los incendios forestales se debe adaptar a los nuevos paradigmas de gestión de recursos naturales, generados por la experiencia, el avance científico y las necesidades de la sociedad sobre el manejo sostenible de los recursos naturales; en cuanto a los servicios y productos que aportan los bosques y su biodiversidad (Davey *et al* 2003).

El deterioro de estas perturbaciones, se acentúa por diversos factores que degradan y deforestan los ecosistemas forestales; siendo los incendios uno de los disturbios más importantes (González *et al.*, 2005). Estos disturbios son

eventos discretos en el tiempo, que modifican la estructura de un ecosistema, comunidad o población y cambian el ambiente físico, sustrato o la disponibilidad de recursos (Corral *et al.*, 2002; Caribello, 2003). Por tal motivo es necesario evaluar la complejidad de la estructura vertical y la asociación de la especies en un área incendiada y un área testigo, analizando su productividad en desarrollo a nivel rodal e individual.

5.2. Hipótesis

La productividad de los bosques de coníferas en el Noreste de México, han presentado cambios estructurales, de acuerdo a los efectos de los incendios en los últimos 30 años.

5.3. Objetivo general

- Evaluar la complejidad estructural, de un área incendiada y una testigo, con la finalidad de conocer las especies asociadas a diferentes estratos arbóreos.

5.3.1. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de la estructura vertical, mediante el índice de Pretzsch, con la finalidad de conocer las especies asociadas a diferentes alturas dimensionales.
- Determinar la riqueza y diversidad de un área incendiada y una testigo, aledaña al fenómeno fuego.
- Determinar la productividad de las áreas en diferentes condiciones ecológicas, con la finalidad de conocer las especies de mayor importancia ecológica y económica.

5.4. Metodología

Se establecieron dos áreas de estudios en el cerro El Potosí, un área incendiada y otra aledaña a esta, con sitios de 1600 m² con un total de 9 conglomerados, basados en la metodología del inventario nacional forestal (CONAFOR, 2010) y un total de 36 sitios muestreados. Se registró información dendrométrica, de especies, género, número de árbol (h), diámetro normal (1.30 m), azimut y cobertura de copa (norte-sur, este-oeste).

Para el análisis de la estructura vertical de las especies se utilizó el índice *A* de Pretzsch, que es una modificación del índice Shannon (Aguirre, 2002; Pretzsch, 2009) que consiste en dividir la estructura vertical en tres estratos. Esto se representa en estrato I (alto) corresponde al rango de 80-100 %, donde el árbol con mayor altura representa el 100 %; partiendo de este los siguientes estratos; el estrato II (medio), corresponde a un rango de 50-80% y el estrato III (bajo), corresponde al rango en alturas de 0-50%.

5.5. Análisis de la información

5.5.1. Índice de Pretzsch

El índice *A* se deriva del valor máximo en *A* (*A*_{max}), proporcionado por el número de especies y los estratos de altura; y la estandarización relativa (*Arel*) en porcentaje. Este índice (*A*), sirve para determinar la diversidad de la estructura vertical y se define de la siguiente manera:

$$A = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z P_{ij} * \ln P_{ij}$$

Donde:

S= Número de especies presentes en la área muestreada.

Z=Número de estratos en cuanto a alturas del arbolado.

Pij= Porcentaje de especies en cada zona: el cual se estima de la siguiente manera.

- $P_{ij} = n_{i..,j}/N$

Donde:

$n_{i,j}$ = Número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j).

N= Número total de individuos.

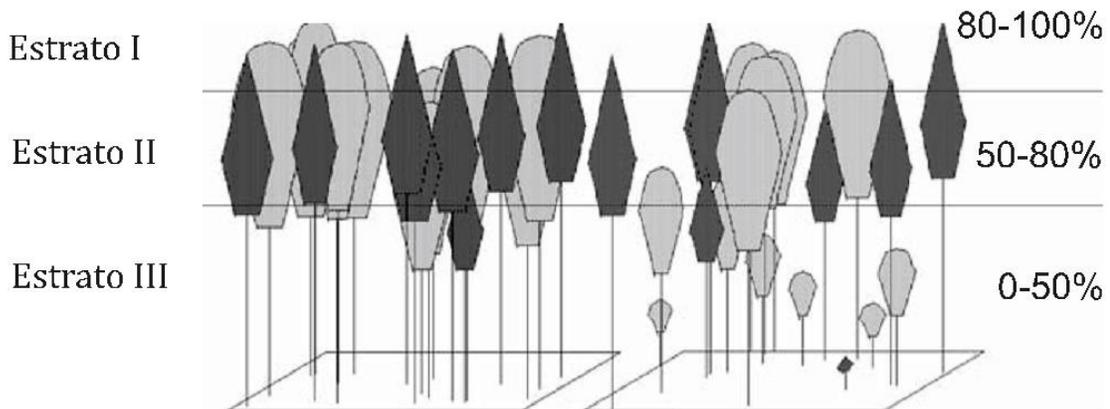


Figura 7. Clasificación para el análisis de la estructura vertical, de acuerdo al índice de Pretzsch (2009).

5.5.2. Riqueza y diversidad

Se evaluó el índice de riqueza (índice de Margalef) y diversidad de especies (índice de Shannon-Weiner), con la finalidad de analizar dos áreas, una incendiada y otra testigo, para poder comprobar si los incendios benefician o causan problemas de regeneración en los bosques de coníferas para el noreste de México.

El índice de Magalef se evaluó de la siguiente manera:

$$DMg = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Donde:

D_{Mg} = riqueza de especies.

S = número de especies.

N = número total de individuos.

\ln = logaritmo natural.

Mientras que el índice de Shannon-Weiner se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S pi * \ln(pi)$$

Donde:

H' = índice de diversidad.

S = número de especies presentes

\ln = logaritmo natural

pi = proporción de las especies $pi=ni/N$

ni = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos

5.5.3. Productividad

Para la productividad de las áreas de estudio, se determinó el número total de individuos ha^{-1} , área bisimétrica total $m^2 ha^{-1}$, área de cobertura total $m^2 ha^{-1}$ y el volumen total $m^3 ha^{-1}$.

$$N ha = Ni * Sh/Se$$

N ha= Número de individuos por hectárea.

Ni= Número de individuos.

Sh= Superficie de 1 hectárea en metros.

Se= Superficie evaluada.

$$AB\ ha = ABi * Sh/Se$$

AB ha= Área bisimétrica total por hectárea.

ABi= Área basimétrica individual.

Sh= Superficie de 1 hectárea en metros.

Se= Superficie evaluada.

$$AC\ ha = ACi * Sh/Se$$

AC ha= Área de cobertura total por hectárea.

ACi= Área de cobertura individual.

Sh= Superficie de 1 hectárea en metros.

Se= Superficie evaluada.

$$VT\ ha = Vi * Sh/Se$$

VTha= Volumen total por hectárea.

Vi= Volumen individual.

Sh= Superficie de 1 hectárea en metros.

Se= Superficie evaluada.

5.6. Análisis estadístico

Con el programa *r-Studio* (Ver. 3.1.1), se realizó la prueba no paramétrica, debido a que los datos no presentaban normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk; se utilizó la prueba de Wilcox.test, tomando en cuenta la significancia y las

medias evaluadas (densidad $N\ ha^{-1}$, área basal total $m^2\ ha^{-1}$, área de copa total $m^2\ ha^{-1}$ y volumen total $m^3\ ha^{-1}$).

5.7. Resultados y discusión

Las especies de coníferas encontradas en las áreas de estudio, correspondieron a la familia Pinaceae, que en conjunto la más representativa fue *Pinus pseudostrobus*, asociada a *Pinus stylesii* y *Pinus hartwegii*; misma que tuvieron presencia de otras especies como *Pseudotsuga menziesii* y *Abies vejari*. (Cuadro 8).

Cuadro 8. Listado de especies arbóreas en el Cerro El Potosí.

Familia	Género y especie	Autor	Área	N ha^{-1}
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	John Lindley	A1	141
Pinaceae	<i>Pinus stylesii</i>	Frankis ex Businsky	A1	12
Pinaceae	<i>Pinus hartwegii</i>	John Lindley	A1	108
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	(Mirb) Franco ¹ .	A1	2
Pinaceae	<i>Abies vejari</i>	Máximo Martínez.	A1	4
Pinaceae	<i>Pinus pseudostrobus</i>	John Lindley	A2	155
Pinaceae	<i>Pinus stylesii</i>	Frankis ex Businsky	A2	5
Pinaceae	<i>Pinus hartwegii</i>	John Lindley	A2	3

Área incendiada (A1), Área testigo (A2), N (Número individuos ha^{-1})

5.7.1. Índice de Pretzsch

A1, presentó un índice de Pretzsch de 2.26, con una altura máxima ($h_{max}=23.9$ m) y una *Arel* de 4 %. Lo que indica que la distribución de las especies en los estratos se encuentra en un 96 % de la máxima diferenciación dimensional; tomando en cuenta la presencia total de cada individuo entre los estratos, es decir, el rodal no es uniforme de acuerdo a su altura.

Por su parte Rubio *et al.*, (2014), en estudio similar de un área con efectos antropogénicos, encontró que el índice *A*, fue de 2.01, con una *A_{max}* de 3.74 y una *Arel* de 54 %; encontrando que la diferenciación dimensional de altura representa el 46 %, diferente a lo encontrado a nuestro estudio que fue del 96 %, mismo que presentó menos especies en la estructura superior.

A 2, su valor de índice de Pretzsch de 0.58, altura máxima ($h_{\max}=26$ m) y una *Arel* de 9 %; indicando que el rodal no presenta uniformidad en las clases de alturas. Sin embargo, en otra parcela comparativa sin evidencia de incendios forestales, (Rubio *et al.*, 2014); encontró que el índice *A* fue de 1.86, *A_{max}* de 3.30 y *Arel* de 56 %, lo que indica que el rodal representa uniformidad media, en cuanto a la diversidad en alturas; por lo contrario, nuestros resultados muestran que la especies, no presentan uniformidad, debido a la baja frecuencia de especies en la estructura dimensional del estrato superior.

5.7.2. Distribución vertical de especies con base al índice de Pretzsch (A1)

Valor de importancia

La diversidad de alturas en los tres estratos, presentó como especie dominante a *Pinus pseudostrobus* (72 % estrato I); notando una baja tendencia en su dominancia estrato II (71 %) y estrato III (28%); las demás especies incrementaron su importancia, en estos dos últimos estratos, *Pinus hartwegii* y *Abies vejari*, en el estrato II, presentan valores de 24 % y 2% de IVI; mientras que el estrato III, *Pinus hartwegii* 64 % y *Pinus stylesii* 7 % de IVI. (Figura 8).

Torres (2006), encontró resultados similares ya que la especie principal encontrada en todos los estratos fue *Pinus Pseudostrobus*, 100 % estrato superior (estrato I), 85.8 % estrato medio (estrato II) y 37 % estrato bajo (estrato III). Misma que por ser una especie dominante, asocio a especies como *Quercus*

canbyi y *Juniperus flácida*, de manera mínima en el estrato II y de mayor proporción en el estrato III.

Variables dendrométricas

Las variables en las áreas de muestreo, mostraron valores promedios en diámetro para *Pinus hartwegii* estrato I (50 cm), estrato II (49 cm) y estrato III (27 cm). Mientras que el comportamiento de las otras especies dentro de los estrato fue, *Pinus pseudostrobus* 47 cm (estrato I), *Pinus stylesii* 48 cm (estrato II) y *Pinus pseudostrobus* de 25 cm (estrato III) (Figura 8).

En las alturas, se registró un promedio de 24 m para *Pinus hartwegii* en el estrato I. El estrato II *Abies vejari* con 17 m, seguido por *Pinus stylesii* con 16 m; el estrato III la altura promedio mayor fue para *Pinus pseudostrobus* con 8 m, seguido por *Pinus hartwegii* y *Pinus stylesii*, con 7 y 6 m. (Figura 8).

Jiménez *et al.*, (2001), dice que el rango de variación de la altura y diámetro de la población, así como el coeficiente de variación (Sh % = 39, Sd % = 46) muestran una gran heterogeneidad del rodal. La variabilidad para *Pinus pseudostrobus* es de Sh % = 33 y Sd % = 43. García (2014), dice que con respecto a la estructura arbórea, el diámetro normal y la altura promedio (\pm EE) de 239 individuos registrados fueron de 23.5 ± 1.0 cm y de 13.9 ± 0.3 m, respectivamente; mientras que la cobertura fue de 43.4 ± 3.1 m².

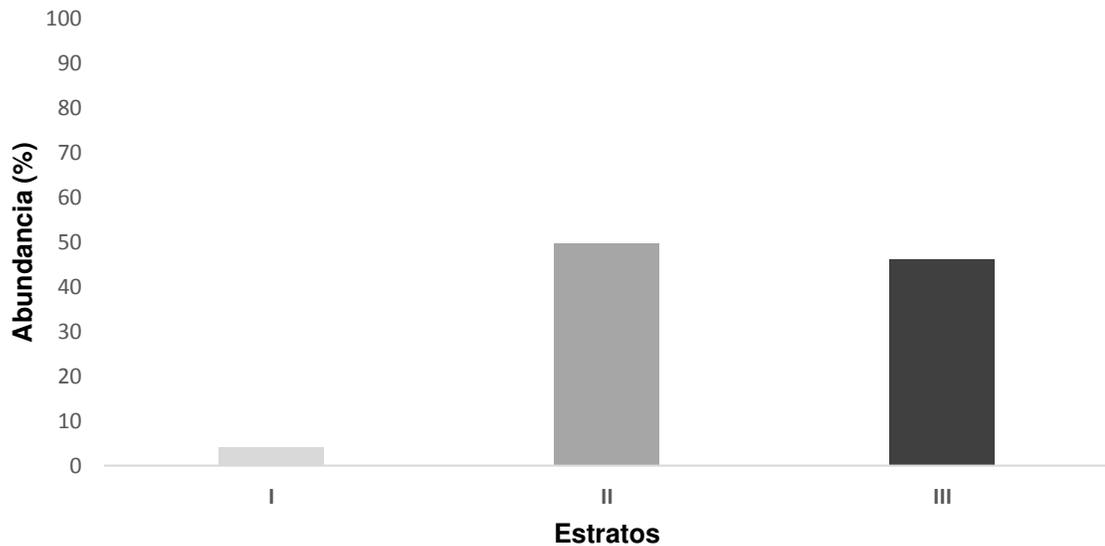


Figura 8. Comportamiento de la estructura vertical de un área incendiada en el Cerro El Potosí.

Diversidad de especies

La diversidad de especies arbóreas aumenta en los estratos II y III, conforme va disminuyendo su altura. El estrato I, está representado por dos especies, con un índice de diversidad H' 0.48 y riqueza D 0.60; el estrato II registro cinco especies, con un índice H' 0.82 y D 0.74; por el contrario el estrato III concentro cuatro especies, representado por un índice de H' de 1.04 y D de 0.92, indicando que al aumentar el número de asociación de especies, la determinación de su riqueza y diversidad es mayor (Cuadro 9).

La riqueza y diversidad en A1, presentó valores de D de 2.26 y de H' de 2.27; son altos para este tipo de ecosistema, semejantes a la diferencia encontradas en un bosque de Pinus-Quercus, a 10 años de evaluación después de un incendio forestal y que registraron valores de D de 1.72 y de H' de 1.60, Alanís *et al.*, (2008b).

Cuadro 9. Resultados del estrato arbóreo del área incendiada (A1).

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	d _{1.30}			AT		H'	D
		N ha ⁻¹	G(m ² ha ⁻¹)	N/SubA		Max	Media	Min	Max	Media		
I	<i>Pi Ps</i>	8	1.63	2	72	56.7	46.55	36.4	22.4	20.95	19.5	
	<i>Pi Ha</i>	3	0.61	2	28	54	49.5	45	23.9	23.7	23.5	
Total		11	2.23	4	100						0.42	0.60
II	<i>Ab Ve</i>	3	0.44	2	2	44	42.25	40.5	18.1	17.35	16.6	
	<i>Pi Ha</i>	28	5.39	4	24	85	48.65	12.3	18.5	15.25	12	
	<i>Pi Ps</i>	98	11.85	12	71	74	42	10	18.1	15.1	12.1	
	<i>Pi St</i>	2	0.28	1	1	47.5	47.5	47.5	16.2	16.2	16.2	
	<i>Ps Me</i>	2	0.05	1	1	21	21	21	15	15	15	
Total		133	18.01	20	100						0.82	0.74
III	<i>Ab Ve</i>	2	0.01	1	1	8.6	8.6	8.6	4.3	4.3	4.3	
	<i>Pi Ha</i>	77	3.04	5	64	50	27.4	4.8	11.3	7.3	3.3	
	<i>Pi Ps</i>	34	1.33	11	28	40	25.25	10.5	11.8	7.975	4.15	
	<i>Pi St</i>	11	0.21	1	7	23.6	15.92	8.24	7.8	5.975	4.15	
Total		124	4.59	18	100						1.04	0.92
Total general		267	25	42	300						2.27	2.26

Pinus pseudostrobus (*Pi Ps*); *Pinus hartwegii* (*Pi Ha*); *Abies vejari* (*Ab Ve*); *Pinus stylesii* (*Pi St*); *Pseudotsuga menziesii* (*Ps Me*); Índice de valor de importancia (IVI), Diámetro a 1.3 m ($d_{1.30}$), Altura total (AT), Diversidad de Shannon (H'), Riqueza de Margalef (D).

5.7.3. Distribución vertical de especies con base al índice de Pretzsch (A2)

Valor de importancia

La diversidad de alturas y su representatividad de *Pinus pseudostrobus*, fue de 63 % el estrato I; estrato II su dominancia fue del 100 %; mientras que para el estrato III, presentó una dominancia del 65 %, seguido por *Pinus stylesii*, con el 34 %; mientras que las especies asociadas *Pinus hartwegii* y *Abies vejari* representaron el 1 % de la dominancia en el estrato III (Figura 9).

Variables dendrométricas

El diámetro promedio mayor en el estrato I fue, para *Pinus hartwegii*, con 57 cm; el estrato II *Pinus pseudostrobus*, con 51 cm; mientras que para el estrato III registro un diámetro promedio mayor de 43 cm para *Pinus pseudostrobus* (Figura 9).

La especie de *Pinus pseudostrobus* fue representativa en alturas en los estratos I y II, con 23 y 17 m, cada uno. El estrato III registró una altura promedio de 12 m, para *Pinus hartwegii*; seguido por *Pinus stylesii* (9 m) y *Pinus pseudostrobus* (8 m) (Figura 9).

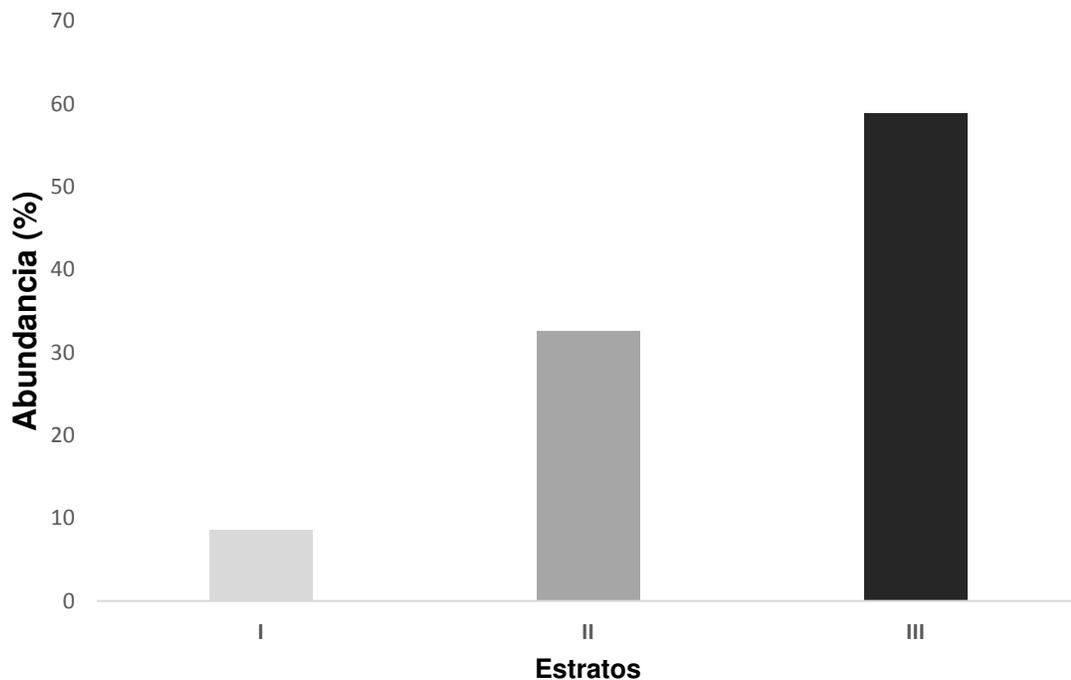


Figura 9. Comportamiento de la estructura vertical del área testigo en el Cerro El Potosí.

Diversidad de especies

El estrato II no presentó diversidad de especies, debido a que solo se registró *Pinus pseudostrobus*; el estrato I se conformó por dos especies con un índice de

H' 0.38 y D 0.30; mientras que el estrato III, presentó un índice H' 0.44 y una diversidad de D 0.27, con tres especies (Cuadro 10).

Para A2 la riqueza y diversidad de especies presentaron valores de D de 0.58 y H' de 0.82; lo que indica que estos valores son bajos; de acuerdo a un estudio que realizó (Alanís *et al.*, 2011), en la regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado, presentaron valores de D de 3.64 y H' de 2.39 en toda la comunidad. Nuestros resultados comparativos, describen y aciertan claramente que un bosque de pino de áreas quemadas tienden a presentar mayor riqueza florística que aquellas que no se han quemado durante periodos prolongados, (Manson, 2009).

Cuadro 10. Resultados del estrato arbóreo del área testigo (A2).

Estrato	Especie	Abundancia	Dominancia	Frecuencia	IVI	$d_{1.30}$			AT			H'	D
		N ha ⁻¹	G(m ² ha ⁻¹)	NSubA		Max	Media	Min	Max	Media	Min		
I	<i>Pi Ps</i>	13	2.32	3	63.28	56	48	40	26	23.45	20.9		
	<i>Pi Ha</i>	1	0.32	2	36.72	57	57	57	22	22	22		
	Total	14	2.64	5	100							0.38	0.30
II	<i>Pi Ps</i>	53	8.76	15	100	80	51	22	20.4	16.75	13.1		
	Total	53	8.76	15	100							0.00	0.00
III	<i>Pi Ha</i>	1	0.02	1	1.082	15	15	15	11.5	11.5	11.5		
	<i>Pi Ps</i>	90	2.31	9	64.52	78	42.75	7.5	12.8	8.3	3.8		
	<i>Pi St</i>	5	0.11	4	34.4	22	16.5	11	10.4	8.7	7		
	Total	96	2.44	14	100							0.44	0.27
Total general		163	14	34	300							0.82	0.58

Pinus pseudostrobus (*Pi Ps*); *Pinus hartwegii* (*Pi Ha*); *Pinus stylesii* (*Pi St*); Índice de valor de importancia (IVI), Diámetro a 1.3 m ($d_{1.30}$), Altura total (AT), Diversidad de Shannon (H'), Riqueza de Margalef (D).

5.7.4. Comparación de riqueza y diversidad de un área incendiada y una testigo

En un estudio que se realizó en un bosque de *Pinus hartwegii* del Ajusco, Distrito Federal, a 3650 m de elevación, un año después de haber sufrido un incendio o estar sujetos a quemas prescritas la riqueza de plantas vasculares fue de 21

especies, mientras que en áreas no quemadas solo se encontraron 12 especies (Rodríguez-Trejo *et al.*, 2004). Estas afirmaciones llevan a nuestra investigación a determinar que las áreas con incendios presentan mayor riqueza florística, como podemos observar en el cuadro 6 y 7, la riqueza y la diversidad de las áreas evaluadas fue diferente; el área incendiada presentó 5 especies con 267 individuos/ha⁻¹, mientras que el área testigo fue de 3 especies con 163 individuos/ha⁻¹. El índice de riqueza de Margalef (*D*), en estas áreas presentó una disimilitud, incendiada *D* 2.26 y área testigo *D* 0.58, de acuerdo a la consideración del número de individuos y especies asociadas.

De igual manera la disimilitud se presentó para el índice de diversidad de Shannon (*H'*), de acuerdo al valor de 2.27 para el área incendiada, caso contrario al área testigo con un valor de 0.82; respaldando que estos ecosistemas de coníferas presentan alta diversidad.

5.7.5. Productividad

La productividad de este ecosistema con base a los resultados encontrados, relaciona su tamaño y distribución vertical de cada uno de los individuos; asiendo referencia al número de individuos por hectarea y al área basal, reflejando mayores incrementos en volumen. La productividad del A1 fue mejor que el A2, mostrando diferencias significativas en la densidad N ha⁻¹, área basal total (m² ha⁻¹), área de copa total (m² ha⁻¹) y volumen (m³ ha⁻¹) (Figura 10).

La densidad en el A1, presentó 267 individuos N ha⁻¹; mientras que en el A2 fue de 163 individuos N ha⁻¹, el área A1 presentó mayor números de individuos en sus áreas muestreadas; mismas que se vieron reflejadas en los resultados donde A2 en algunas sub-áreas, no registró ningún individuo.

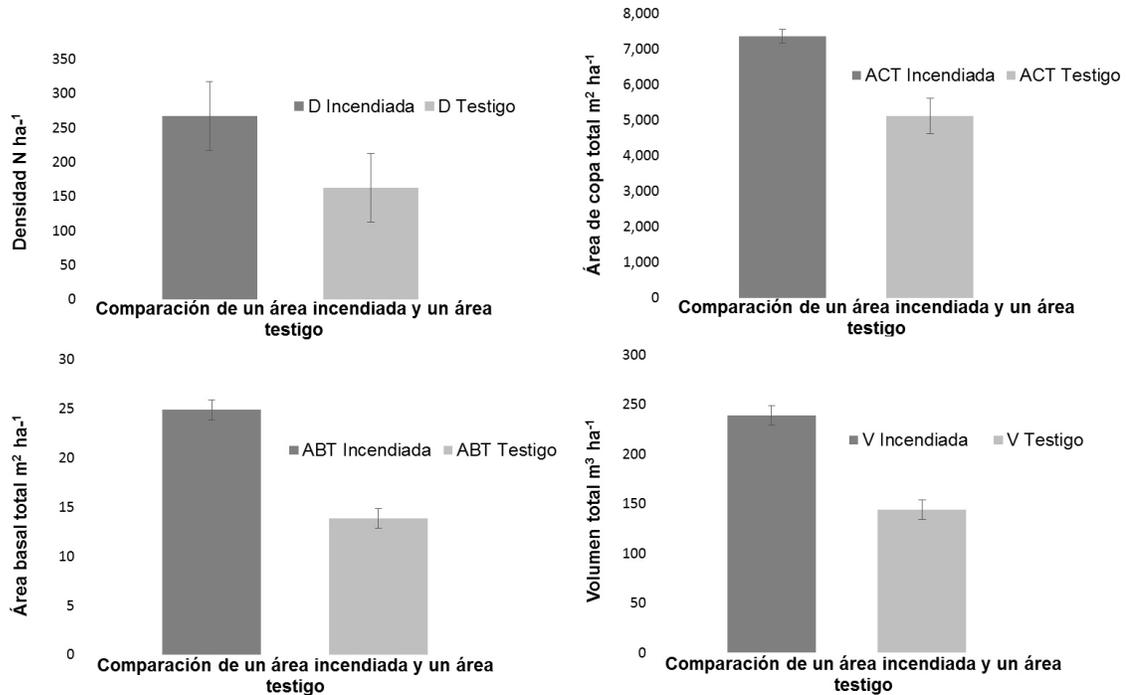


Figura 10. Productividad de un área incendiada y un área testigo.

El área basal del A1 presentó 24.83 m² ha⁻¹ mayor al A2, de 13.83 m² ha⁻¹; de acuerdo al número de individuos encontrados, por sus diámetros y alturas superiores. Por otra parte, el área de copa A1 fue de 7,353.82 m² ha⁻¹, mayor que A2 de 5,103.47 m² ha⁻¹; esto se relaciona con el área basal registrado, mayor en el A1. El volumen registrado en A1 fue de 238.89 m³ ha⁻¹ superior al A2 de 144.24 m³ ha⁻¹; mismo que se relaciona a su cobertura y área basal. Domínguez *et al* (2012), en un estudio dasométrico, encontró a *Pinus pseudostrobus* con 78 árboles ha⁻¹, y *Quercus sp*, con 275 árboles ha⁻¹; lo que representa el 22.10% y 77.90 % total de los árboles. El área basal es de 9.30 m² ha⁻¹ de pino y 10.67 m² ha⁻¹ de encino, con 1.38 m² ha⁻¹. Volumen total de 54.60 m³ ha⁻¹ para pino y encino 29.04 m³ ha⁻¹ de volumen total. Lo que indica que el estudio presenta mayor productividad en cuanto al volumen total calculado, por lo tanto estos ecosistemas representan una gran importancia ecológica y económica para la región.

5.8. Conclusiones

La estratificación de alturas por el índice de Pretzsch, nos proporciona información de cómo está conformado nuestro ecosistema con base en su distribución dimensional de altura; mismas que las asocia en rangos, donde podemos visualizar las especies dominantes y especies suprimidas. Por lo tanto el presente estudio, concluye que ambas áreas se encuentra en unas etapas juveniles; mismas que presentaron menores dimensiones en alturas, concentrados en el estrado II y III.

El área incendiada mostró que los incendios benefician a la regeneración del bosque de coníferas al encontrar mayor diversidad y riqueza de especies. Mientras que el área testigo presentó poca diversidad y riqueza de especies a consecuencia de la densa población de árboles suprimidos.

La productividad en el área incendiada fue mejor que el área testigo, de acuerdo a su abundancia mayor de *Pinus pseudostrobus*, en el estrato II y III. Mientras que el área testigo, registró menor individuos N ha⁻¹, diferido a menor proporcionalidad en volumen m³ ha⁻¹ y solo el estrato I, presentó 100 % de abundancia.

CAPÍTULO VI

Reconstrucción de precipitación con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii* en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León

Resumen

Se realizó la reconstrucción de la precipitación con las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*. Se utilizaron datos climatológicos de cinco estaciones cercanas al área de estudio, para realizar la correlación interanual y generar un modelo de regresión lineal para reconstruir la precipitación. Se correlacionaron los períodos de sequia y húmedos con el fenómeno ENSO a través del registro de datos del Índice Oceánico Niño (ONI). La mejor correlación anual de precipitación fue enero-diciembre ($r=0.79$, $p<0.001$); mientras que el período de calibración para generar el modelo estadístico presentó $r=0.88$ ($r^2=0.77$; $p<0.001$), indicando una variabilidad del 77 % y la verificación alcanzó una correlación de $r=0.63$ ($r^2=0.40$; $p<0.001$), lo que explica que la variabilidad de los datos es un 40 %. Los estadísticos mostraron que el modelo de regresión lineal mostro un $p<0.05$, lo que indica que la precipitación se ajustó excelentemente al modelo y es confiable para la reconstruir la precipitación en todo el sur de Nuevo León. El análisis de los regímenes de precipitación mostró períodos secos con una duración promedio de 4 y 15 años en el período de 1815 a 1956; mientras que los períodos húmedos fueron de 5 y 14 años dentro del período de 1882 a 1907, mismo que se relacionan con el ENSO.

Palabras clave: correlación interanual, ENSO, ONI, reconstrucción de la precipitación y sequias.

Reconstruction of precipitation *Pinus pseudostrobus* and *Pinus hartwegii* in Cerro El Potosi, Galeana, Nuevo Leon

Abstract

Reconstruction of precipitation species *Pinus psudostrobus* and *Pinus hartwegii* was performed. Climatological data from five stations near the study area were used to perform the annual correlation and generate a linear regression model to reconstruct precipitation. Periods of drought and wet with ENSO fenomeno through data record Oceanic Niño Index (ONI) were correlated. The best correlation annual rainfall was from January to December ($r = 0.79$, $p < 0.001$); while the calibration period to generate the statistical model presented $r = 0.88$ ($r^2 = 0.77$; $p < 0.001$), indicating a variability of 77% and verification achieved a correlation of $r = 0.63$ ($r^2 = 0.40$; $p < 0.001$) This explains that the variability of the data by 40%. The statistics showed that the linear regression model showed a $p < 0.05$, indicating that precipitation is excellently adjusted to the model and is reliable to reconstruct rainfall throughout southern Nuevo León. The analysis of rainfall patterns showed dry periods with an average duration of 4 and 15 years in the period 1815-1956; while wet periods were 5 and 14 years within the period 1882-1907, the same that are related to ENSO.

Keywords: Correlation year, ENSO, ONI, reconstruction of precipitation and drought.

6.1. Introducción

Existen especies que por sus características de distribución altitudinal permiten registrar los cambios del clima y la incidencia de incendios a través de sus anillos de crecimientos (Sthale *et al.*, 2000). En México el interés de conservar estas masas forestales ha desarrollado una red dendrocronológica con estas condiciones ambientales (Villanueva *et al.*, 2015), con la finalidad de poder obtener información sobre los incendios, sequias, que puedan mitigar el cambio climático.

El cambio climático provoca anomalías en la precipitación causando sequias intensas; muchas especies de coníferas son vulnerables a estos cambios (Arriaga *et al.*, 2001) situación que lleva una reducción del 49 % en sus áreas con distribución potencial. En los últimos años han sufrido afectaciones por incendios, sequias y tala clandestina, reduciendo su tamaño original; esto impactos se deben a la variabilidad climática y su interacción con los factores de tipo natural, como es el caso del fenómeno de El Niño, las variaciones en la actividad solar, que en conjunto con el factor antropogénico (quema de combustibles fósiles, deforestación, cambios en el uso del suelo, etc.) provocan cambios y efectos en los ecosistemas forestales (Lean y Rind, 2001; Schubert *et al.*, 2004; Sheffield *et al.*, 2009).

Algunos factores ambientales como la evaporación, afectan la dinámica del crecimiento forestal, que es influenciada por elementos climáticos, como la velocidad del viento, la radiación solar y la humedad relativa, y puede variar en escalas temporales breves (Seneviratne, 2012).

La dendrocronología es la ciencia que registra información de los árboles extendiendo una evaluación de la relación clima-crecimiento mediante el análisis retrospectivo del grosor de anillos de crecimiento anual, que permite trabajar con registros climáticos largos (Speer, 2010). Al conocer estas técnicas

dendrocronológicas, surgió la inquietud de generar series de reconstrucción climática a partir del registro de ancho de anillo y la precipitación en un bosque de coníferas.

6.2. Hipótesis

La precipitación, es factor influyente en el ancho de anillo de las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*.

6.3. Objetivo general

- ❖ Generar una reconstrucción de la precipitación en una región montañosa.

6.3.1. Objetivos específicos

- ❖ Generar un modelo estadístico para correlacionar la precipitación anual acumulada y el ancho de anillo.
- ❖ Analizar la variabilidad interanual en la precipitación.
- ❖ Reconstruir la precipitación para los últimos dos siglos.
- ❖ Analizar el comportamiento y compactibilidad del índice El Niño oscilación sur (ONI) y la temperatura del océano.

6.4. Metodología

Se realizó un muestreo dirigido en un bosque de coníferas, extrayendo núcleos o virutas de dos especies de pinos (*Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*), considerando diámetros desde 20 a 80 cm; se utilizó un taladro de pressler para obtener los núcleos a una altura de 0.3 m. Se registró información dendrométrica relevante para cada individuo, como género, especie, diámetro, número de árbol muestreado, clave del sitio, azimuth y fecha de colecta.

Las virutas o núcleos fueron procesadas en el laboratorio de dendrocronología del CENID-RASPA (INIFAP), se montaron las muestras en un bastidor, se

pulieron, para realizar un fechado visual. La medición del ancho de anillo se hizo en un equipo Velmex. Se relaciono la información entre las diferentes muestras con en el software de COFECHA y un filtrado de la autocorrelación empleando el software de ArsTan.

Se desarrolló un modelo de regresión lineal para relacionar la cronología y los datos climáticos, analizando las estaciones climatológicas cercanas y de mayor altitud, en referencia al área de estudio (CONAGUA, 2010), con una ubicación de rangos de altitud que va de 1900 a 2200 msnm (Cuadro 11).

Cuadro 11. Estaciones climatológicas cercanas con mayor altitud al área de muestreo y empleadas para el análisis dendroclimático.

Estación	Longitud (W)	Latitud (N)	Periodo
Carbonera	100.7866	24.8127	1956-2011
Ciénega del Toro	100.3333	25.0847	1956-2011
Ejido 18 de Marzo	100.1666	24.8886	1975-2011
El Potosí	100.3208	24.8433	1956-2011
Pablillo	99.9969	24.5941	1975-2011

Para obtener la información climática regional, se tomaron los registros diarios del periodo de 1975 a 2011, se promedió de manera mensual para cada estación; con la finalidad de obtener un promedio regional de los valores de cada estación y correlacionarlos con el ancho de anillo.

Con los promedios regionales mensuales se obtuvieron 11 etapas estacionales, registrando valores de enero con cada uno de los meses; dichos valores se sometieron a un análisis de regresión lineal simple para correlacionar los datos con el ancho de anillo y así obtener la variabilidad interanual en la precipitación.

Para reconstruir la precipitación de los dos últimos siglos se utilizó el modelo de regresión lineal que considera valores de Beta 0, B1, y el ancho de anillo.

$$Y_t = B_0 + B_1 * X_t$$

Dónde:

Y_t = Valor de precipitación anual para un año en específico t.

X_t = Índice de ancho de anillo para un año en específico t.

Después de desarrollar el modelo estadístico se generó dos procesos de validación; uno fue el de verificación que abarca el período de 1975 a 1993 y de calibración 1994 a 2011.

El análisis del comportamiento del índice El Niño oscilación sur (ENSO), se tomaron datos del servicio meteorológico nacional de los Estados Unidos, departamento del Centro de predicción climática (CPC), utilizando los datos de El Niño oscilación sur y temperatura superficial del mar (C°), de un período de 1950 a 2015. Mismo resultados se compararon con la reconstrucción climática, para ver si la señal regional coincidía con resultados globales de climatología.

6.5. Análisis de la información**6.5.1. Análisis estadístico**

La información contenida en los valores de datos, se prepararon para ser analizada utilizando las variables de ancho de anillo y la precipitación acumulada, en el programa de IBM SPSS Statistics Versión 22 (Copyright IBM Corporation, 2013) generando el modelo estadístico.

6.6. Resultados y discusión

6.6.1. Correlación de la precipitación anual acumulada y ancho de anillo

Al determinar la correlación del índice de ancho de anillo, con los datos acumulados de precipitación regional, se observó un alto grado de significancia ($r=0.791$; $p<0.001$) Figura 12. Mientras que la variabilidad de la precipitación registrada en 36 años no presentó un cambio o efecto significativo de la lluvia anual acumulada, de acuerdo a diferencias de sus varianzas e igualdad de medias en el período de 1975 a 2011.

La regresión lineal simple de la precipitación con el crecimiento de las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii* presentó un $r=.751$; $p<0.0001$, lo que indica que la variabilidad ambiental y ecológica de estas especies ajustan sus datos al 75 %, es decir, los arboles tienden a crecer más cuando la precipitación es mayor. (Figura 11). Algunos efectos climáticos, han llevado al desarrollo de investigaciones sobre la ecología del fuego, las cuales han establecido estrategias de manejo y uso del fuego en la prevención y combate, además se ha comprobado científicamente que es un proceso ecológico e integrador en programas de restauración y conservación ecológica (Conedera *et al.*, 2009).

La cronología que se generó con datos de la precipitación y ancho de anillo, muestra una estrecha relación sobre el crecimiento de las especies; mismo que se comprobó con la generación de la cronología climática para región sur de Nuevo León, (Figura 12).

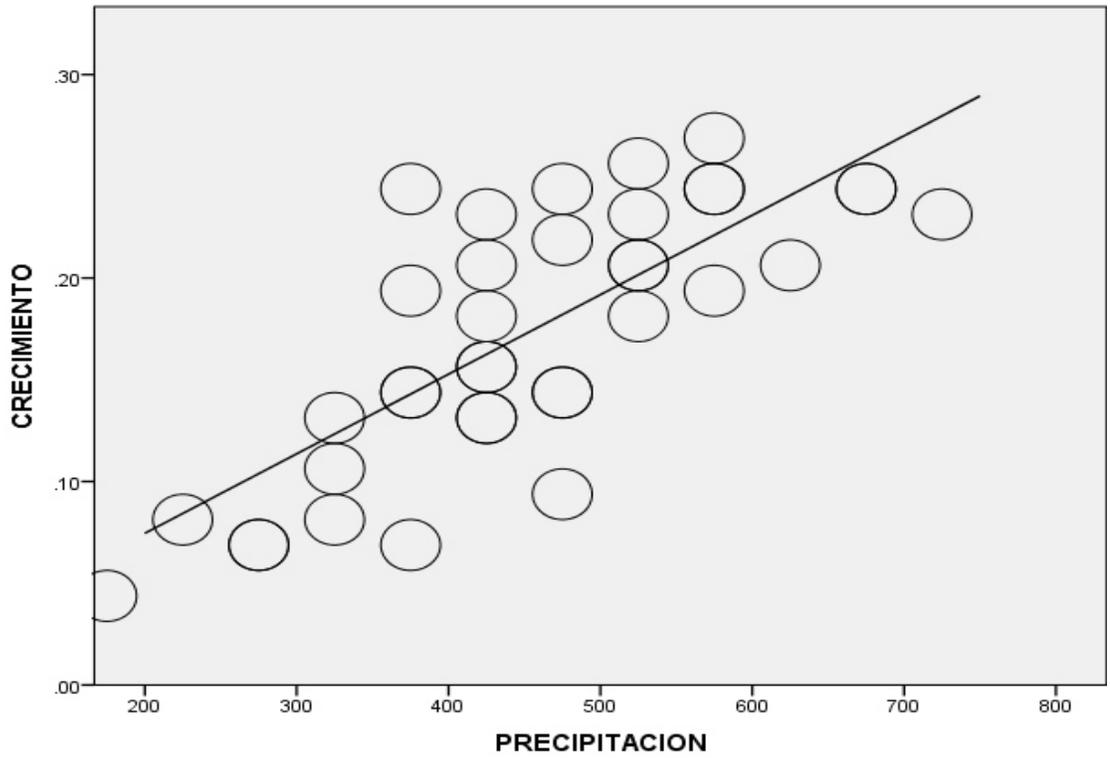


Figura 11. Correlación del crecimiento y la precipitación, para las especies de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*.

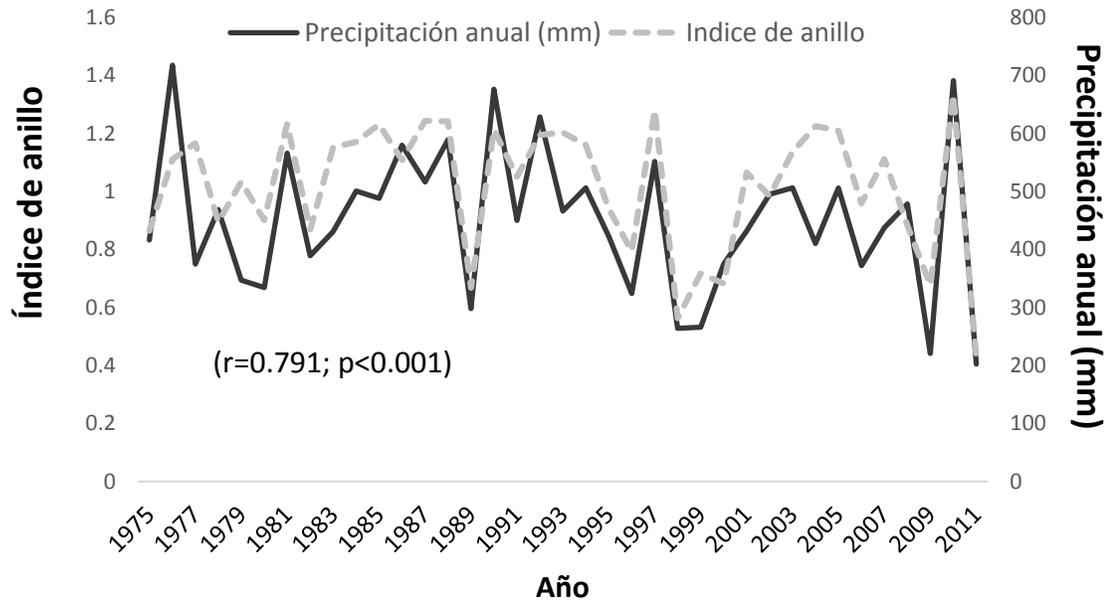


Figura 12. Asociación del índice de ancho de anillo y la precipitación anual, en el período de 1975 al 2011.

6.6.2. Variabilidad interanual de la precipitación

Función respuesta

Las correlaciones fueron altamente significativas para los períodos de enero-septiembre ($r=0.80$, $p<0.001$) y enero-diciembre ($r=0.79$, $p<0.001$), a pesar que la correlación no presentó mucha diferencia entre estos periodos más lluviosos, para fines de reconstrucción climática, se consideró el período anual que permite analizar la variabilidad de la precipitación total y no una fase estacional (Figura 13).

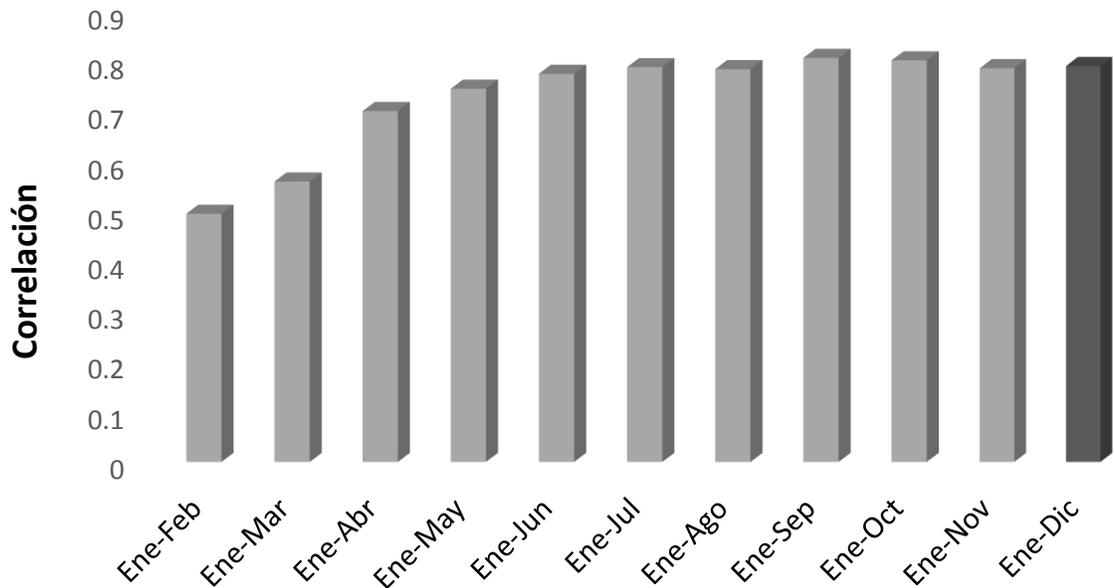


Figura 13. Función respuesta del índice estandarizado de ancho de anillo de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*.

El ancho de anillo y la precipitación, nos indica el comportamiento de las especies en cuanto a su crecimiento, es decir, a mayor precipitación mejor desarrollo en el ancho de anillo. Esta asociación en el período de 1975-2011, muestra una estrecha relación con un alto grado de significancia ($r=0.791$; $p<0.001$), indicando el potencial de estas especies para desarrollar un modelo de regresión lineal, que nos permita generar la reconstrucción de la variabilidad en la precipitación anual en toda la longitud de la cronología.

Las especies de estudio del Cerro El Potosí mostraron muy buena asociación con el factor climático, ya que estudios realizados en el 2010 en *Pinus culminicola* mostró también una alta correlación significativa ($r=0.715$; $p<0.001$) (Reyes *et al.*, 2013); esto indica un alto potencial y registros de condiciones ambientales, en las especies de coníferas para esta región, mismas que pueden servir de ayuda en programas de recuperación y conservación de especies. Otros estudios presentaron correlaciones entre series, 0.72; $p<0.01$ para *Pinus cembroides* (Constante *et al.*, 2009) y 0.77; $p<0.01$ para *Pinus pinceana* (Santillán *et al.*, 2010).

6.6.3. Reconstrucción de la precipitación para los últimos dos siglos

Calibración y verificación del modelo

El período de calibración, alcanzó una correlación de $r=0.88$ ($r^2=0.77$; $p<0.001$), esto explica que la variabilidad de la precipitación corresponde a un 77 %. Mientras que la verificación alcanzó una correlación de $r=0.63$ ($r^2=0.40$; $p<0.001$), lo que explica que la variabilidad de los datos está en un 40 %. Ambos períodos, mostraron una correlación significativa, misma que para realizar la ecuación de calibración se utilizaron todos los datos del período de 1975 a 2011, (Cuadro 12 y 13).

Cuadro 12. Calibración del modelo para la Reconstrucción de la precipitación anual en el sur de Nuevo León.

Período	R ²	Coeficientes		Error estándar		Prueba de t		P	
		B0	B1	a0	b1	a0	b1	a0	b1
1975-1993	0.40	4.62	445.27	144.31	132.011	0.032	3.37	0.975	0.004
1994-2011	0.77	10.67	423.69	56.43	57.228	0.189	7.404	0.852	0.000
1975-2011	0.63	2.0248	440.89	60.06	57.61	0.034	7.65	0.973	0.000

r² (coeficiente de determinación) valores del modelo "BETA" (b0, b1), P (significancia estadística).

Cuadro 13. Pruebas estadísticas del modelo de la reconstrucción anual de la precipitación.

Modelo	r	r ²	Estadísticas de cambio						
			r ² ajustado	Err. St. Stm	Cambio r ²	Cambio en F	df1	df2	P
Verificación	0.633**	0.401	0.336	93.156	0.401	11.377	1	17	0.004**
Calibración	0.880**	0.774	0.76	61.818	0.774	54.813	1	16	0.000**
Ajuste V y C	0.791**	0.626	0.615	77.666	0.626	58.563	1	35	0.000**

V (verificación), C (calibración), r (correlación de Pearson) r² (coeficiente de determinación) Err. St. Stm (error estándar estimado), df (grados de libertad), P (significancia estadística) ** altamente significativo.

El modelo de regresión para el período de la reconstrucción de la precipitación y la variable de crecimiento fue la siguiente:

$$Y_t = 2.0248 + 440.89 * X_t$$

Dónde:

Y_t=Valor de precipitación anual para un año en específico t.

X_t=Índice de ancho de anillo para un año en específico t.

La precipitación reconstruida y la observada del período de 1975-2011, generó un modelo de alto grado de significancia de ($r=0.791$; $p<0.001$), lo que indica que el modelo se ajustó bien a los datos, explicando que el 79 % de la variabilidad de la variable endógena, (Figura 14).

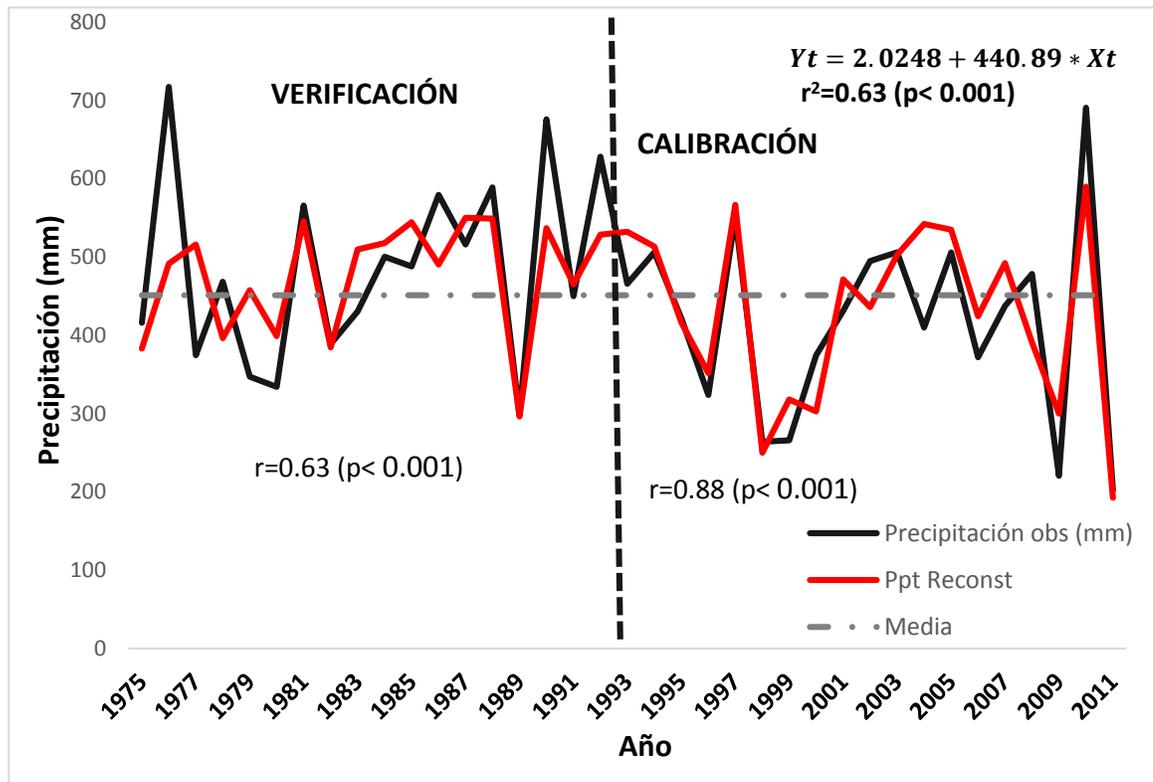


Figura 14. Calibración y verificación de la precipitación observada y la precipitación reconstruida de los últimos 36 años, en el Cerro El Potosí.

Los resultados encontrados de la precipitación reconstruida para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus hartwegii*, indican que esta cronología representa casi el 80 % de la precipitación anual en esta región, similares a estudios de especímenes de *Pinus hartwegii* en la región de La Malinche, que mostró una alta correlación significativa ($r=0.82$; $p<0.001$) en el período de 1890-2008 (Villanueva *et al.*, 2010b).

La precipitación promedio anual fue de 451.14 mm, de 36 años (1975-2011); mientras que las pruebas de calibración y verificación presentaron alto grado de

significancia del $p < 0.05$ (Cuadro 14). Así mismo podemos decir que el modelo empleado en la regresión, para reconstruir la precipitación anual y la cronología del área de estudio, fue válido, de acuerdo a las pruebas estadísticas (Cuadro 13).

Se reconstruyó la variabilidad climática para los últimos 214 años (1800-2014), en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León (Figura, 16). La reconstrucción climática a principios del siglo XIX, se agruparon en cuatro períodos, muy secos (<369 mm) secos (<446 mm) húmedos (< 499 mm) y muy húmedos (<551 mm), siendo este último la mayor precipitación anual para la región sur de Nuevo León. Esta cronología muestra las épocas de sequías más severas, presentadas en 1810, 1820, 1870, 1910, 1950, 1960, 1970, 1990 (1998), en la región sur de Nuevo León, (Figura, 16).

Estos resultados coinciden con una reconstrucción de precipitación invernal (enero-junio) al noreste de México en el período de 1782-2000, Saltillo, Coahuila, lo que indicó sequías extremas en las décadas de 1800, 1860-1870, 1950, 1970 y 1990 (Pohl *et al.*, 2003). Otra cronología fue desarrollada por (Stahle *et al.*, 2012), quien comparó dos cronologías muestras que ENSO, fase fría “La Niña”, provocó condiciones húmedas en el centro de México y condiciones secas en el noreste del país, como se muestra nuestro estudio en el período 2009-2011. EL 2010 fue un año lluvioso y la presentación de heladas, favorecieron a las condiciones ambientales del 2011, que fue extremadamente seco (Monitor de la Sequía América del Norte, 2013). Por su parte Magaña *et al.*, 2003, dicen que en el norte de México, el ENSO en su fase cálida (El Niño), asocia las condiciones de alta precipitación en el invierno; mientras que el ENSO en su fase fría (La Niña), tiende a favorecer a la presencia de inviernos más secos, causando fuertes sequías.

La región centro y norte del país, por razones geográficas y geomorfológicas, se caracteriza por una variabilidad grande en cuanto a la precipitación pluvial. Estudios en anillos de árboles multicientenarios (Cerano *et al.*, 2011) registró temperaturas en tierra y océanos de más de 100 años, aunados a la modelación

paleoclimática, indicando que la región ha estado sujeta a periodos de megasequías en diversos momentos de su historia geológica antigua y reciente (Uriarte, 2009).

Los períodos secos registrados en la reconstrucción climática fueron (1815-1821, 1843-1856, 1866-1881, 1888-1895, 1952-1956, 1999-2000) y el más reciente en el 2011. Los períodos más húmedos se presentaron (1822-1836, 1857-1865, 1882-1887, 1902-1907, 1937-1942) y la tendencia más actual se presenta en 2014. Estos períodos, explican los incendios ocurridos en 1998, que se manifestó en la mayor parte de México, relacionado al incremento de precipitaciones de invierno de 1997, consecuencia a las anomalías del verano siguiente, en una fase cálida. Mientras que algunos veranos de ENSO en fase fría, provocó lluvias por encima de la media (Magaña y Pérez, 1998; Magaña *et al.*, 1999 y 2003).

6.6.4. Análisis de la reconstrucción climática y el comportamiento de El Niño oscilación sur (ENSO).

La historia de las sequias en México, han presentado una relación social, causada por el desempleo, migraciones y hambrunas, influenciado por los problemas políticos, conflictos civiles armados, como fue el movimiento insurgentes y la revolución de 1810-1910 (Ortega y Velasco, 2013).

Las peores catástrofes agrícolas las ocasionaron los períodos prolongados de sequía y la conjunción de ésta con las heladas (Florescano, 2009). La historia de las sequias en la época colonial se registraron un total de 75 períodos de sequias entre 1521 y 1821; estas se presentaron más en el Bajío y Coahuila, con una duración de 5 a 7 años; por otra parte en el período de 1822 a 1910 hubo un total de 39 períodos de sequias; entre estas sequias se destacan la de 1849 a 1852, 1891 y 1892, afectando toda la región norte del país.

Otro factor importante que ha causado estragos en la región Noreste de México, son los ciclones tropicales, en Septiembre de 1988 un huracán entró al Golfo de

México devastando y afectando toda la región del estado de Nuevo León y que se le hizo llamar como “El huracán del siglo XX”, (CENAPRED, 2014).

La sequía más reciente en México y la más severa de los últimos 70 años, afectó el sector agropecuario y causo desajustes en la economía regional y nacional, ocurrió en el 2011-2012 (INEGI, 2011; CONAGUA, 2012; SAGARPA, 2012). El sector forestal sufrió uno de los peores de daños, Coahuila fue la más afectada con 425 mil hectáreas de bosques y matorrales incendiadas, como resultado a las escasas precipitaciones de octubre de 2010 a mayo de 2011 (SMN, 2014).

Los resultados mostrados en el comportamiento ENSO (Niño) y ENSO (Niña), mediante el Niño oscilación sur y la temperatura del océano, resultaron favorables en la justificación global de la investigación, años que coincidieron en la reconstrucción climática regional para el sur de Nuevo León, (Figuras, 16 y 17).

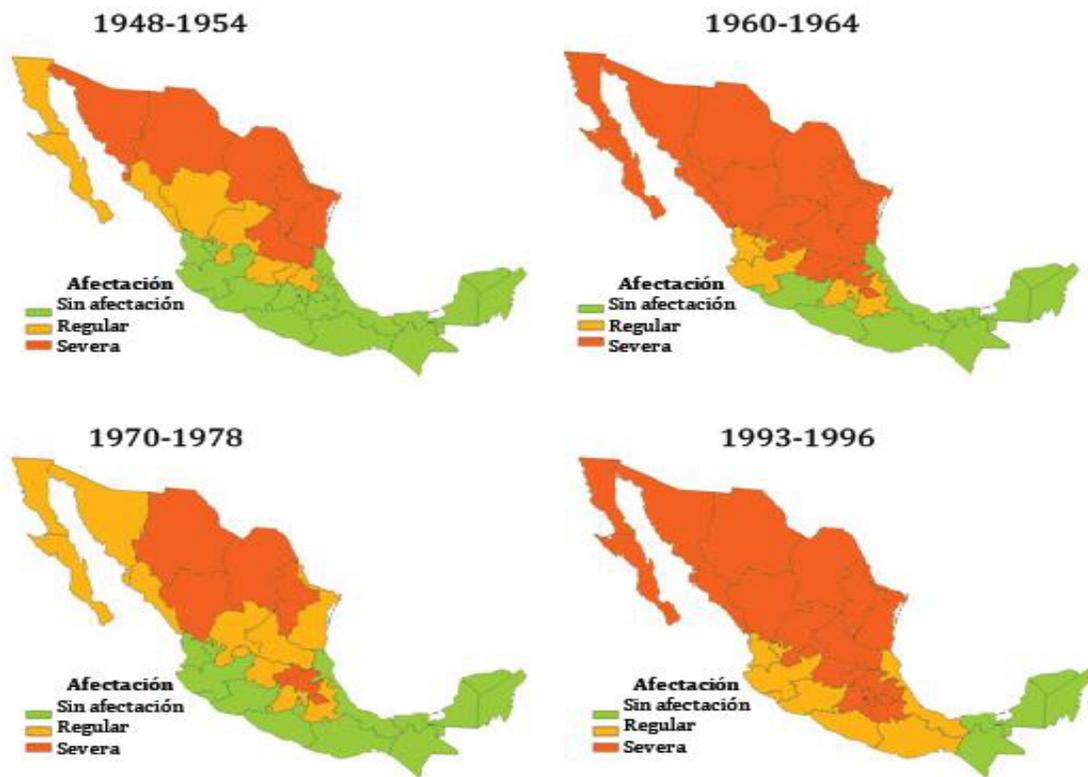


Figura 15. Períodos de sequías en la República Mexicana (CENAPRED, 2001)

Los efectos de El Niño más intenso fueron en los años de 1957, 1965, 1982 y 1997, (Sheinbaum, 2003), este último año es uno de los más lluviosos donde se presentaron huracanes y el 1998 se vino un período seco, con ayuda de las condiciones ambientales y la disponibilidad de mucho material combustible se registraron los incendios forestales más devastadores en la región Norte. Los estados del territorio que históricamente han sido afectados por las sequías son, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala (CENAPRED, 2001), (Figura 15). Estas mismas se pueden visualizar en el comportamiento de El Niño y La Niña en el período de 1950-2015, (Figura 17).

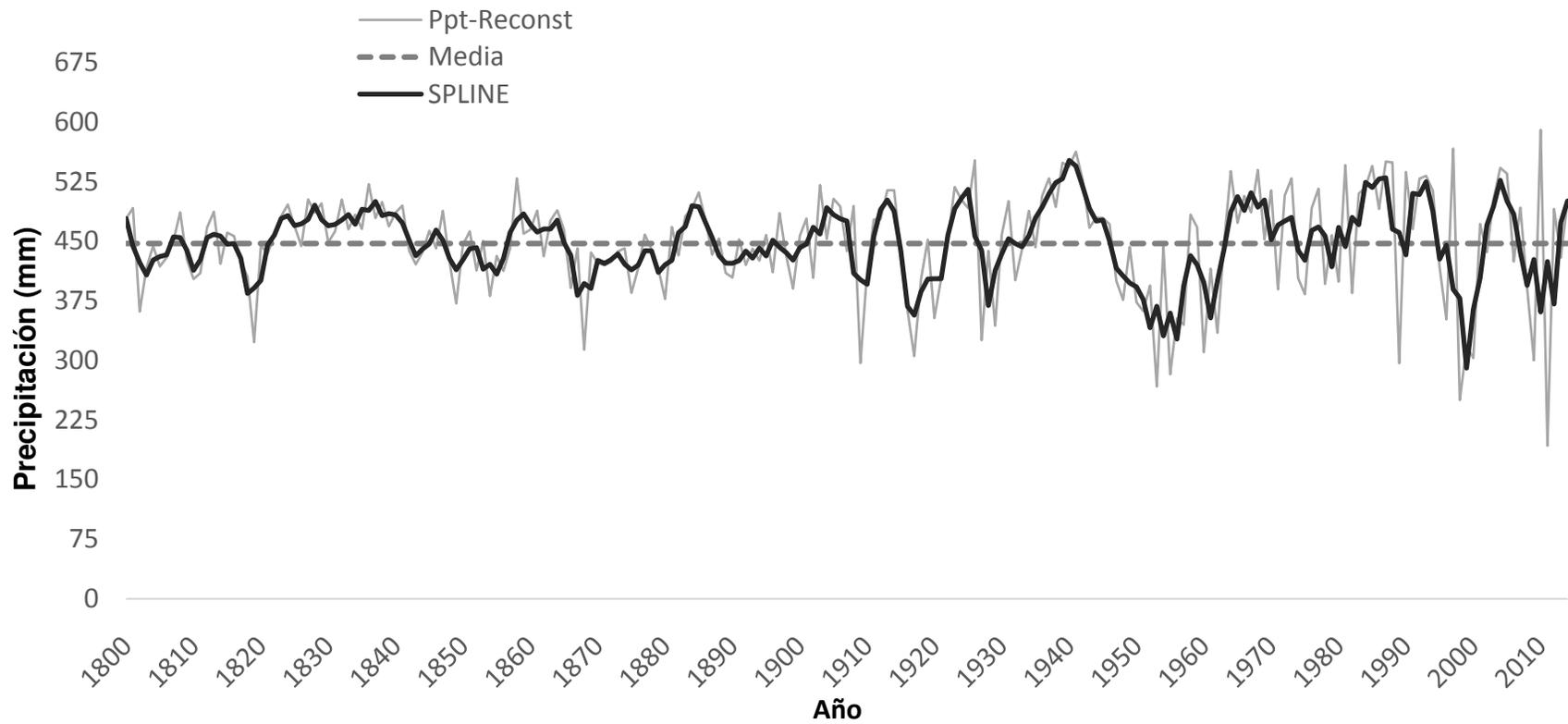


Figura 16. Reconstrucción de la precipitación anual en el sur de Nuevo León, en periodo de los últimos 214 años (1800-2014).

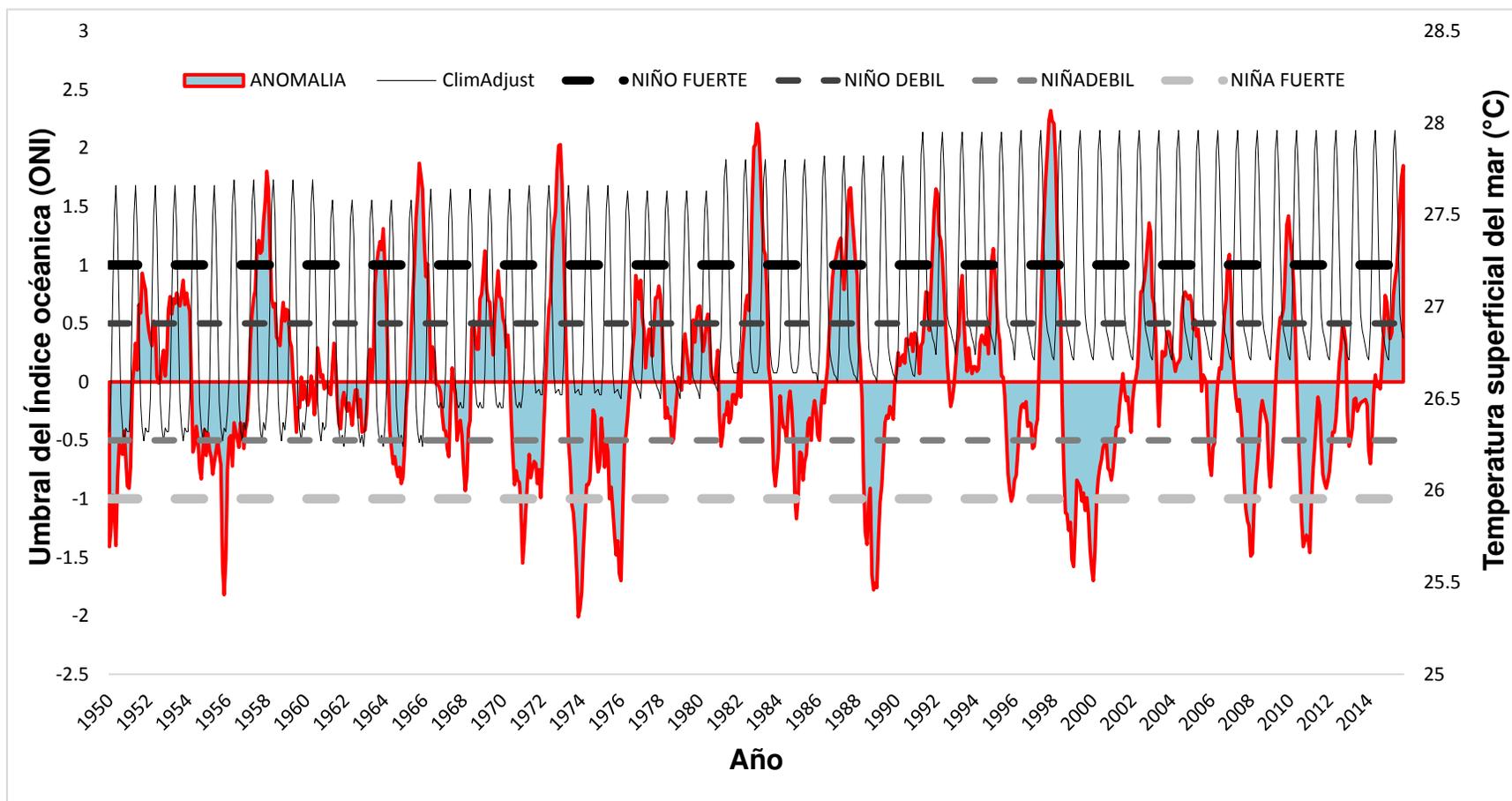


Figura 17. Comportamiento y compactibilidad de El Niño oscilación sur (ENSO) y la temperatura del océano.

6.7. Conclusiones

El modelo estadístico desarrollado para correr el ancho de anillo de crecimiento y la precipitación mostraron una alta correlación de ($r=0.791$; $p<0.001$).

La variabilidad interanual de la precipitación de 36 años, no presentó diferencias significativas ($p<0.05$) en el período de 1975 a 2011. Mientras que su correlación a nivel rodal e individual presentó un alto valor significativo ($p<0.05$), para la variable de ancho de anillo.

La reconstrucción regional de la precipitación utilizando la cronología generada con el modelo estadístico mostró una buena relación con la información disponible para fenómenos climáticos globales, en este caso con el índice de oscilación sur.

El análisis de los regímenes de precipitación mostró períodos secos con una duración promedio de 4 y 15 años, se presentaron en el período de 1815 a 1956; mientras que los períodos húmedos fueron de 5 y 14 años dentro del período de 1882 a 1907.

CAPÍTULO VII

7.1. Consideraciones finales

Los resultados de dicha investigación han mostrado que las áreas de estudio y las especies encontradas y analizadas en base a sus anillos de crecimiento, necesitan de la ecología del fuego, para poder tener una mayor diversidad y riqueza de especie, siempre con un régimen de incendio superficial. De acuerdo al incendio de mayor magnitud como el de 1998, desestabilizó las tasas de crecimiento y cambio la estructura y composición florística de muchas especies; además que indicó que estas especies tardan más de 10 años en estabilizar su crecimiento después de un incendio.

La importancia de los bosques de coníferas y los incendios que han ocurrido en el área biogeográfica del cerro El Potosí, nos permitió conocer su composición florística, estructura vertical y horizontal; además del comportamiento de crecimiento de las especies después de un incendio, hace diecisiete años. Con ayuda de técnicas dendrocronológicas se determino los impactos del fuego en el crecimiento de los árboles, mismas variables sirvieron para realizar una reconstrucción de la precipitación para los últimos dos siglos.

Por otra parte al realizar este tipo de investigación nos permite tomar mejores decisiones para el manejo de bosques de coníferas; además que al generar la reconstrucción de la precipitación, predice el comportamiento climático en este tipo de ecosistemas, para poder llevar a cabo prácticas y quemas prescritas en ciertas temporadas del año, es decir, cuando las temperaturas estén en la media, (mayor humedad relativa).

De manera general se concluye que el impacto del incendio generado hace diecisiete años, quedo registrado en cada una de las especies de coníferas,

generando información de manera local; información que genero la reconstrucción de la precipitación regional; misma que se analizó con datos climatológicos globales de El Niño oscilación sur.

7.2. Recomendaciones y Perspectivas del manejo

Con las conclusiones y discusiones establecidas con base en los resultados de la presente investigación, el impacto que genero el incendio hace diecisiete años dejo espacios libres, donde se recomienda realizar obras de reforestación, con la finalidad de conformar y equilibrar las estructuras horizontales y verticales, estableciendo áreas productivas, que ayuden a la conservación de suelo y proporcionar un micro habita para las especies de fauna en dicha región.

Para el área testigo se recomienda realizar aclareos, por la abundancia de arbolado juvenil, los cuales compiten entre ellos mismos y presentan una menor productividad; para garantizar mayor diversidad y riqueza de especies, así como incrementar su productividad, que ayude a generar beneficios para las comunidades aledañas al Cerro El Potosí.

LITERATURA CITADA

- Agee, J.K., 1993. Fire ecology of the Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington, D.C. 493 p.
- Aguirre B., C.; Rey C., J. A. 1980. Escorrentía y pérdida de suelo en asociaciones vegetales sujetas a quemas controladas. Revista Chapingo 23-24: 18-24 p.
- Aguirre, O., (2002). Índices para la Caracterización de la Estructura del Estrato Arbóreo de Ecosistemas Forestales. Ciencia Forestal en México. 27(29): 527 Pp.
- Aguirre, O., Jiménez, J., Kramer, H., Akca, A., 2003. Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. Ciencia UANL/Vol. No.2 Abril-Junio 2003.
- Alanís, E., Jiménez, J., Espinoza, D., Jurado, E., Aguirre, O., González, M., 2008b. Monitoreo del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque. Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente 14(2): 113-118.
- Alanís, E., Jiménez, J., Valdecantos, A., Pando, M.; Aguirre, O., Treviño, E., 2011. Caracterización de regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del parque ecológico Chipinque, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(1): 31-39, 2011.
- Arriaga, C. L., M. L. Gómez y A. T. Feria. 2001. Distribución de especies diagnósticas del bosque de coníferas y encinos bajo escenarios de cambio climático. En: XV Congreso Mexicano de Botánica.

- Avila, D., González M., Jiménez, J., Aguirre, O., Treviño E. y Vargas, B. 2012. Estructura de rodales de *Pinus hartwegii* afectados por incendios utilizando parámetros de vecindad en la Sierra Madre Oriental, México. *Revista Tropical and subtropical Agroecosystems*, 15 (2012) 377-387 p.
- Ávila-Flores, D.Y., González-Tagle, M.A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A., Treviño-Garza, E.J., Vargas-Larreta, B., Alanís-Rodríguez, E. 2014. Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(1):33-45 Pp.
- Begon M., Townsend C. R., y Harper J. L., 2006. *Ecology. From individualsto ecosystems*. Blackwell Publishing, Bath, UK.
- Benítez B., G. 1988. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en la Sierra del Ajusco. En Rapoport, E. H. y López M., I. R. (eds.). *Aportes a la ecología urbana de la ciudad de México*. MAB-Limusa. México, D. F. 111-152 Pp.
- Calderón, L., Rivera, V., Porter, L., Martínez, A., Ladah, L., Martínez, M., Alcocer, J., Santiago, A., Hernández, H., Reyes, V., Pérez, D., Díaz, V., Sosa, J., Herrera, J., Búrquez, A., (2012). An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current trends and research gaps. *Revista Biodivers Conserv*, Vol 21.589-617 Pp.
- Capital Sustentable, S.C. 2011. *Guía para el desarrollo local sustentable*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Banco Mundial Departamento de México y Colombia, Región de América Latina y El Caribe. México.

Caribello, J., 2003. Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación, guía metodológica. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Colombia. 96 Pp.

CATIE. 1997. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. *Pinus pseudostrobus* Lindl. No. 13. Turrialba, Costa Rica.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 2001. *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. Secretaría de Gobernación, 226 Pp.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres), 2014. ATLAS CLIMATOLÓGICO DE CICLONES TROPICALES EN MÉXICO. 1ª edición, diciembre 2002 Versión Electrónica 2014. ISBN: 970-628-633-0. SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN.

Cerano Paredes, J., Villanueva Díaz, J., Valdez Cepeda, R., Cornejo Oviedo, E., Sánchez Cohen, I., Constante y García, V., 2011. Variabilidad histórica de la precipitación reconstruida con anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Ambientales, Norteamérica*, 2, enero.

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>.

Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación, en O. Sánchez, E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (eds.), *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. Diplomado en conservación, manejo y aprovechamiento de vida silvestre. Instituto Nacional de Ecología, Semarnap, México, 17-44 Pp.

Cochrane, M.A., 2003. Fire science for rainforests. *Nature* 421:913-919.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Distrito Federal, México. 67 Pp.
- Comisión Nacional Forestal, (CONAFOR). 2005. Coordinación General de Conservación y Restauración. México. 2005.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) 2010. Inventario nacional forestal y suelos; procedimientos para el muestreo en campo. Zapopan, Jalisco, México. 140 Pp.
- CONAFOR, 2015. Programa Nacional de Prevención de Incendios Forestales. Centro Nacional de Control de Incendios Forestales. Reporte Semanal de Resultados de Incendios Forestales del 01 de Enero al 10 de Septiembre del 2015.
- CONAGUA/SMN (Comisión Nacional del Agua/Servicio Meteorológico Nacional), 2010. Pronostico del tiempo y aviso meteorológico Nacional. Av. Observatorio 192, Col. Observatorio, Del. Miguel Hidalgo. C.P. 11860, México D.F. Tel. (55) 2636-4600. www.smn.cna.gob.mx.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Análisis espacial de las regiones más vulnerables ante las sequías en México. SEMARNAT. México, D.F. 43 Pp.
- CONAGUA/SMN (Comisión Nacional del Agua/Servicio Meteorológico Nacional), 2014. *Seguimiento mensual de afectación por sequía*. Consultado en línea el 12 de marzo de 2014 desde: <http://smn.cna.gob.mx>.
- Conedera, M., W. Tinner, C. Neff, M. Meurer, A. F. Dickens and P. Krebs. 2009. Reconstructing past fire regimes: methods, applications and relevance

to fire management and conservation. *Quaternary Sci. Rev.* 28: 555–576 Pp.

Constante, G.V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E.H. Cornejo O., S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* y reconstrucción de la precipitación estacional para el sureste del estado de Coahuila. *Ciencia Forestal*, 34 (16), 17-41 Pp.

Cook, E. R. 1985. A time series analysis approach to tree ring standardization. PhD. Dissertation. School of Renewable Natural Resources, University of Arizona. Tucson, AZ. USA. 171 Pp.

Copyright IBM Corporation. 2013. Está disponible una lista de marcas registradas de IBM en la Web en: www.ibm.com/legal/copytrade.shtml. Licencia:9DNCAF2O3QVDV7FBIO696OO6GWLNXZPPRYTPWF2P PX7C8T6Y24LMVV2ET7DOLX5CXAL5YDLL79UPGEFCPDXP5Q8O 5E//TEAM EQX.

Corral, J., Aguirre, O., Jiménez, J., y Návar, J., 2002. Muestreo de diversidad y observaciones ecológicas del estrato arbóreo del bosque mesófilo de montaña “El cielo”, Tamaulipas, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 8(2): 125-131 Pp.

Curtis, J. T., y McIntosh, R. P., 1950. The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* (31): 434-455 Pp.

Davey, S.M., J.R.L. Hoare & K.E. Rumba. 2003. La ordenación forestal sostenible y el enfoque por ecosistemas: una perspectiva australiana. *Unasylva* 64: 5-13 Pp.

- Davidenko, E.P. & Eritsov, A. 2003. The fire season 2002 in Russia. Report of the Aerial Forest Fire Service, Avialesookhrana. International Forest Fire News, 28: 15–17 Pp.
- Delgado, C, S. 2000. Aplicaciones estadísticas en análisis dendrocronológicos. Pp. 79-102. In: F.A. Roig (copilador). Dendrocronología en América Latina. EDIUNC. Mendoza, Argentina. 434 Pp.
- Domínguez-Hernández, F., Huerta-Ortega, F., Barrios-Díaz, B., y Posadas-García, M. A., 2012. Análisis dasométrico y propuesta de ordenamiento agroforestal del bosque en Tetela de Ocampo, Puebla. Avances en Investigación Agropecuaria (AIA), 2012. Issn 0188789-0. 16(3): 75-82 Pp.
- Dvorak, W. S., A. P. Jordon, G. P. Hodge y J. L. Romero. 2000. Assessing evolutionary relationships of pines in the *Oocarpae* and *Australes* subsections using RAPD Markers. New Forests 20: 163-192 Pp.
- 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 Pp.
- Estrada, M. O. 2006. Sistema Nacional de Protección contra los Incendios Forestales. En G. Flores, T. Rodríguez, M. Estrada y S. Z. (eds.), Incendios forestales. Mundi Prensa, México D.F.
- FAO. 2005. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Global Forest Resources Assessment 2005. FAO. Roma. 2005.

FAO. 2005e. State of the World's Forests 2005. Rome (also available at [www.fao.org/ documents/docrep/007/y5574e/y5574e00.htm](http://www.fao.org/documents/docrep/007/y5574e/y5574e00.htm)).

FAO 2006. Evaluación de los recursos forestales mundiales FRA 2005. Hacia la ordenación forestal sostenible. ISBN 92-5 305481-6. Roma 2006.

Farjon, A., J. A. Pérez de la R., and B. T. Styles. 1997. A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America. The Royal Botanical Gardens. Kew, U.K. 147 Pp.

Florescano, E., 2009. Una historia olvidada: la sequía en México (agosto 1980). *Nexos*, 1 de octubre, consultado en línea desde: <http://www.nexos.com.mx>.

Ferreira M, J Mascarenhas Sobrinho (1972) The introduction of Mexican pines into the region of Poços de Caldas. IPEF Int. Piracicaba 4:95-109 Pp.

Fried J.S., Torn M.S., and Mills E., 2004. The Impact of Climate Change on wildfire Severity: A Regional Forecast for Northern California. *Climatic Change* 64: 169–191 Pp.

Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. 2a ed. Academic Press. Londres-Nueva York. 567 Pp.

Fritts, H. C. 1999. An Empirical Model of the Tree-Ring Response to Monthly variations in climate. Laboratory of Tree-Ring Research University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.

GARCÍA DE M., E. 1981. Apuntes de climatología. UNAM. México, D. F. 155 Pp.

García M, Treviño, E., Cantú, C., Jiménez, J., 1996. Análisis de la cubierta vegetal y Propuesta para la zonificación ecológica del cerro “El Potosí”,

Galeana, N.L, México” Tesis de Maestría en Ciencias Forestales (UANL) C.P. 67700, Linares, N.L. México, Pag.109 (28).

García M. J. J. 1996. (a). Coníferas promisorias para reforestaciones en la Sierra Purhépecha. Agenda Técnica. No. 2. CIRPAC-INIFAP-SAGAR. Uruapan, Mich. México. 79 Pp.

García A., A. y M. S. González. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. México. 187 Pp.

García 2014. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la sierra de Atoyac, Veracruz. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México. 2014. 81 Pp.

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

González L., H. D. and C. Flores L., 1999. Índices de calidad de sitio para regeneración de *Pinus rudis* Endl. En San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. *Foresta-AN*. Nota Técnica No. 2. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 12 Pp.

González R., A. 2001. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De México. 98 Pp.

González. E. M., Jurado. E., Navar. J., Villanueva. J., Aguirre. O. & Jiménez. J., 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies

from the Sierra Madre Occidental, México: a 1681-2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213:39-53 Pp.

Hammill, A., O. Brown., y A. Crawford., 2005. *Forests, natural disasters, and human security*. WWF-International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg.

Hernández, A.J.C., Gutiérrez, G.G., Almeida, L.L. y Ordóñez, D.J.A.B. 2005. Análisis dendroclimático de *Pinus hartwegii* en el volcán nevado de Toluca. México. I Simposio Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México. Memorias. Laboratorio de Biotecnología y Ecología Aplicada. LABIOTECA. Xalapa, Veracruz, México. Noviembre 17 y 18, 2005. 102-103 Pp.

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

Holmes, R. L. 1994. DPL-Dendrochronology Program Library. University of Arizona, Tucson, AZ.

Hooper, D.U., F.S. Chapin III, J.J. Ewel, A., y Hector, P. Inchausti., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3-35 Pp.

Huang, B., V.F. Banzon, E. Freeman, J. Lawrimore, W. Liu, T.C. Peterson, T.M. Smith, P.W. Thorne. 2015. Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: upgrades and intercomparisons, *J. Clim* 28, 911-930 Pp.

INEGI 2002. Informe de carta de uso actual del suelo y vegetación serie II. México.

INEGI. 2003. Conjunto de datos vectoriales de la carta de vegetación primaria 1: 1 000 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

INEGI. 2005a. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación: escala 1: 250 000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2011. *Estadísticas a propósito del día mundial contra la desertificación y la sequía*. Consultado en línea desde: <http://www.inegi.org.mx>.

IUCN. 2000. IUCN 2000. Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland (also available at www.redlist.org/).

Jardel-Peláez, E.J., E. Alvarado, J.E., Morfín-Ríos, F., Castillo-Navarro y J.G. Flores-Garnica., 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: Flores-Garnica, J.G. (Ed.). Impacto ambiental de incendios forestales. Mundi-Prensa, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y Colegio de Postgraduados. México, 73-100 Pp.

Jiménez J, Aguirre O., y Kramer H., 2001. Estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol.10 (2).

Jiménez, J., Jurado, E., Aguirre, O., & Estrada, E. 2005. Effect of grazing on restoration of endemic dwarf pine (*Pinus culminicola* Andresen et

Beaman) populations in northeastern Mexico. *Restoration Ecology*, 13(1), 103-107 Pp.

Jiménez, J. y Alanís, E. 2011. Análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la Sierra Madre Oriental y Occidental del norte de México y sur de Estados Unidos de América. *Ciencia UANL* 14(3):255-263 Pp.

KITZBERGER, T., T. T. VELEN & R. VILLALBA, 2000. Métodos dendroecológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. En: *Dendrocronología en América Latina*. F. Roig (ed.). EDIUNC, 17-78 Pp.

Koleff, P., J. Soberón y A. Smith. 2004. Madrean pine oak woodland, en R. Mittermier et al. (eds.), *Hotspots (Biodiversidad amenazada II): Nuevas ecorregiones terrestres prioritarias del mundo*. Cemex-Agrupación Sierra Madre, México.

Kudoh, J. 2005. Report of the View of Northeast Asia Forest Fire from Cosmos International Symposium, Center for Northeast Asian Studies (CNEAS), Tohoku University, Sendai, Miyagi, Japan, 17–18 January 2005.

Leand, J. y Rind, D., 2001. Earth's Response to a Variable Sun. *Science*, vol. 292, 234-236 Pp.

López, J. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables. Montecillo, México. 1(3):81-95 Pp.

Loreau, M., S. Naeem y P. Inchausti., (eds.). 2002. *Biodiversity and ecosystem functioning*. Oxford University Press, Nueva York.

- Magaña, V., J.L. Pérez. 1998. Usos de un modelo de mesoescala en la dinámica atmosférica regional de México. *GEOUNAM*. 5(1):33-39 Pp.
- Magaña, V., J.L. Pérez, J.L. Vázquez, E. Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. In: V. Magaña (Editor). *Los impactos de El Niño en México*. SEP-CONACYT. México, D.F. México. 23-68 Pp.
- Magaña R.V. (ed). (1999). *Los impactos de El Niño en México*. Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación. 229 Pp.
- Magaña, V., J.L. Vázquez J.L. Pérez and J.B. Pérez. 2003. Impact of El Niño on precipitation in México. *Geofísica internacional* 42(3):313-330 Pp.
- Magurran, A., 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. Blackwell Publishing Company. Oxford, UK. 256 Pp.
- Manson, R.H., E.J. Jardel Peláez et al. 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, 131-184 Pp.
- McKenzie, D., C. Miller y D.A. Falk. 2011. Toward a Theory of Landscape Fire. En: McKenzie, D., C. Miller y D.A. Falk (Eds.). *The Landscape Ecology of Fire*. Springer. Londres, 3-25 Pp.
- Mendoza B., M. A. 1977. Datos meteorológicos de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, México. *Información Técnica de Bosques* 4(10): 23-25 Pp.
- Monitor de la Sequía de América del Norte (2013), "Animación de mapas", CONAGUA, México.

- Mueller-Dombois, D., y Ellenberg, H., 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons Ltd. New York. 547 Pp.
- NCEP (Climate Prediction Center (2015, Noviembre). http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
- Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico, en T.P., Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press, Nueva York, pp. 447-458 Pp.
- Ortega, D., Velasco, I. 2013. Aspectos Socioeconómicos y Ambientales de las sequias en México. Aqua-LAC-Vol. 5 No. 2- Sep. 2013. Pp. 78-90. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, 62550 Jiutepec, Mor., México. ortega_gaucin@hotmail.com; ivelasco@tlaloc.imta.mx.
- Perry J P (1991) The Pines of México and Central America. Timber Press Portland, Oregon, USA. 231 Pp.
- Pires C (1987) Complexo de *Pinus pseudostrobus* em Campos do Jordão e Itararé. In: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. CIEF 5:150-161 Pp.
- Pohl, K., M.D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J.G. Cabrera-Hernandez, S. Diaz-Castro, E. Cornejo-Oviedo, J. A. Elvir, M. Gonzales-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal-Salazar, L. Vasquez-Selem, J. Villanueva- Diaz and D. W. Sthale. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, México. *Tree- Ring Research* 59 (1): 11- 19 Pp.

- Pretzsch, H., (2009). Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model. SpringerVerlag Berlín Heidelberg, Alemania. 664 Pp.
- Pyne, S.J., P.L. Andrews y R.D. Laven. 1996. Introduction to wildland fire. John Wiley, Nueva York.
- Ramírez-Herrera, C., J.J. Vargas- Hernández y J. López-Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72: 1-16 Pp.
- Reyes, C. F., Valenzuela, N. L., Cerano, P.J., y Villanueva, D.J., 2013. Reconstrucción de precipitación con *Pinus culminicola* en el cerro El Potosí, Galeana Nuevo León. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. 60 Pp.
- Riccardi, C.L., A.G. Andreu, E. Elman, K. Kopper, J. Long y R.D. Ottmar. 2007. The fuelbed: a key element of the Fuel Characteristic Classification System. Can. J. For. Res. 37(12):2394-2412 Pp.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. Tree-Ring Bulletin 40: 59-64 Pp.
- Rodríguez G., J. E. 2001. Programa de protección contra incendios para el año 2001. En: RODRÍGUEZ T., D. A. (comp.). Foro de análisis sobre la problemática de los incendios en las áreas naturales protegidas del sur de México. Instituto de Ecología, Instituto de Historia Natural de Chiapas, The Nature Conservancy, USAID. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, marzo 6-8, 2001. 20-21 Pp. <http://www.tncfire.org/intl.htm>.

- Rodríguez-Trejo, D. A., and P. Z. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire* 12:23–37 Pp.
- Rodríguez-Trejo, D.A., H.C. Martínez-Hernández and V. Ortega-Baranda., 2004. Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*, en L. Villers y J. López-Blanco (eds.), *Incendios forestales en México: métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México.
- Roig, F.A. 2000. *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNC, Mendoza, Argentina.
- Rubio, E., González, M., Jiménez, J., Alanís, E., Ávila, D., 2014. Diversidad y Distribución Vertical de especies vegetales mediante el índice de Pretzsch. *Ciencia UANL/ vol. 17 N° 65*, Enero-Febrero 2014.
- Rubio-Camacho, E.A., González-Tagle, M.A., Alanís-Rodríguez, E., Chávez-Durán, A.A., Aguirre-Calderón, O.A. 2015. Analysis of the structure and diameter distribution in temperate forests under the perspective of the potential fire regime. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 21(3), 281-294 Pp.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), 2012. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). Consultado en línea el 23 de junio de 2012 desde: <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Santillán-Hernández, M., E.H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano Paredes, S. Valencia-Manzo y M.A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*, 16(1) 17-29 Pp.

- Schubert, S. D., M. J. Suarez, P. J. Pegion, R. D. Koster y J. T. Bacmeister, 2004. Causes of long-term drought in the U.S. Great Plains. *Journal of Climate*, vol. 17, no. 3, pp. 485-503 Pp.
- SCHWEINGRUBER, F. 1988. Tree rings: basics and applications of dendrochronology. D. Reidel, Dordrecht, The Netherlands. 276 Pp.
- SEMARNAP. 2006. Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino-encino en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. *Pinus pseudostrobus* Lindl. Procymaf. In: <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/PinusPseudostrobus.html> (Disponible 25 de Mayo del 2006).
- SEMARNAT, 2006. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El medio ambiente en México 2005: En resumen, 2006. Disponible en: URL: <http://www.semarnat.gob.mx>
- Seneviratne. S. I., 2012. Historical drought trends revisited. *Nature* 491: 338-339 Pp.
- Sheffield, J., K. M. Andreadis, E. F. Wood y D. P. Lettenmaier, 2009. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity–area–duration analysis and temporal variability of large-scale events. *Journal of Climate*, vol. 22, no. 8, pp. 1962-1981 Pp.
- Sheinbaum J. 2003. Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. *Geofísica Internacional*, Volúmen 42: 291-305 Pp.
- Speer, J. 2010. Fundamentals of tree-ring research. The University of Arizona Press, Tucson. 333 Pp.

- Stahle, D. W., J. Villanueva Díaz, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan and P. Z. Fulé (2000), "Recent tree-ring research in Mexico", in Roig, F. A. (comp.), *Dendrocronología en América Latina*, Editorial de la Universidad Nacional del Cuyo (EDIUNC), Mendoza, Argentina, pp. 285–306 Pp.
- Stahle, D. W., D. J. Burnette, J. Villanueva Díaz, R. R. Heim Jr, F. K. Fye, J. Cerano Paredes, R. Acuña Soto and M. K. Cleaveland (2012), "Pacific and Atlantic influences in Mesoamerican over the past millennium", *Climate Dynamics*, vol. 39, no. 6, 1431-1446 Pp.
- Styles, B. 1993. Genus Pinus: A Mexican preview, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.) Biological diversity of Mexico: Origins and distribution. Oxford University Press, Nueva York, pp. 397-420 Pp.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to the tree-ring dating. The University of Arizona Press. Tucson, AZ USA. 73 Pp.
- Sugihara, N.G, J. Van Wagtendonk y J. Fites-Kaufman., 2006. Fire as an ecological process. En: Sugihara, N.G., J. van Wagtendonk, K.E. Shaffer, J. Fites-Kaufman y A. Thode. Fire in California's ecosystems. University of California Press. Londres, pp. 58-74 Pp.
- Torres, L., Sánchez, J., Jiménez, J., 2006. Análisis estructural de un ecosistema forestal de pinus-quercus en la Sierra Madre Oriental. Revista Ciencia Forestal en México. Vol. 31. Número 100. Julio- Diciembre de 2006.
- Thomasius, H.; Schmidt, P. A 1996: Wald, Forstwirtschaft und Umwelt. Economica Verlag. Bonn. 435 Pp.
- UNECE y FAO. 2001. Forest fire statistics 1998-2000. Timber Bulletin, LIV (2001). ECE/TIM/BULL/54/4.Roma, FAO.

UNECE, FAO, International Labour Organization (ILO)., y Global Fire Monitoring Center (GFMC). 2000. Baltic Exercise for Fire Information and Resources Exchange- BALTEX FIRE 2000,5-9 June 2000, Kuopio, Finlandia. Conference report. Helsinki.

Uriarte, A., 2009. Historia del clima en la tierra. Ed. Gobierno Vasco, 403 Pp.

Vázquez Medrano, G. (2010), Estudio de la factibilidad para un mercado local de servicios ambientales hidrológicos en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales, Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.

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

Villanueva D., J., J. Cerano P., D.W. Stahle, V. Constante G., L. Vázquez S., J. Estrada A., y J. D. Benavides S. 2010. Árboles longevos de México. Ensayo. Rev. Cien. For. Méx. 1: 7-30 Pp.

Villanueva Díaz, J., J. Cerano Paredes, J. Estrada Ávalos, V. Guerra De La Cruz, D. W. Stahle, V. Constante García, P. Ruiz, G. Cardoza Martínez y O. Palacios Villa (2010b), “Análisis de la variabilidad hidroclimática en el estado de Tlaxcala”, en Estrada Ávalos, J., R. Trucios C., J. Villanueva D., M. Rivera G. y L. F. Flores Lui (eds.), *Manejo sustentable de los recursos naturales en el Río Zahuapan, Tlaxcala, México*, INIFAP CENID RASPA, Gómez Palacio, Durango, México, pp. 137-156 Pp.

Villanueva, J., Cerano, J., Vázquez, L., Sthale, D., Fulé, P., Yocom, L., Franco, O., Ruiz, J. 2015. Red dendrocronológica de pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl). Para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Investigaciones de Geografía, UNAM. ISSM0188-4611, Núm.86, 2015, pp. 5-14, dx.doi.org/10.14350/rig.42003.

Wright J A, A Wessels (1992) Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*. IPEF Int. Piracicaba 2:39-44 Pp.

Yeaton, R. I., 1982. The altitudinal distribution of the genus *Pinus* in the western United States and Mexico. Boletín de la Sociedad Botánica de México 42:55-71 Pp.