

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES Z A R A G O Z A CARRERA DE BIOLOGÍA

"Factores ambientales que influyen en la formación de anillos de crecimiento con anomalías en Abies religiosa de los Parques Nacionales Izta-Popo y DDLL."

T E S I S QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: B I O C O

P R E S E N T A: ÁVILA CAMPUZANO GABRIELA REBECA.

DIRECTOR:
M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ



México D.F.

JUNIO/2008





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A dios

Gracias por haberme dado unos padres tan buenos que me han apoyado tanto. Por ayudarme y permitirme terminar con este proyecto, porque sin ti no hubiera sido posible, tú fuiste quién me brindó el camino y los medios para que así fuera.

A mis padres

Aunque dios te llevó, siempre te estaré agradecida por haberme dado la vida y por cada mañana en que me despertabas para alentarme a que luchara por mis ideales, gracias madre, porque sin tu paciencia, confianza, esmero y amor no hubiera sido posible culminar con una de las más difíciles metas como lo es la licenciatura.

Muchas gracias papá por todo tu apoyo que me has brindado, sobre todo, por querer hacer de mí, una persona responsable y trabajadora al ponerme tu ejemplo y apoyarme al estar ahí cuando más te he necesitado, eres un gran amigo. Los quiero mucho y me siento muy orgullosa de tener unos padres como ustedes, a quienes debo lo que soy.

A mis hermanas

Por su atención para la culminación a este proyecto. Lore, siempre te estaré agradecida por haberme levantado, cuando me encontraba tan mal. Adri, eres una gran amiga, me has animado y apoyado mucho para que terminara con mi carrera. Yola, gracias por el empuje que le has dado a mi vida. Olga, por ser una persona paciente que me has escuchado cuando lo he necesitado. Son mi orgullo y en muchas cosas mi ejemplo a seguir.

A mis sobrinos

Porque forman parte de mí, con cada risa, detalle, saludo y cariño.

A Juan Poblano Olivares

Por tu confianza en mi , tiempo y apoyo para la realización de este trabajo, por ser mi amigo y complemento, gran parte del mismo te lo debo a ti.

A mis Amigas y Amigos

A todas las personas que conocí a lo largo de la carrera y me levo un lindo recuerdo (Itzen, Areli, Yolanda, Rocio, Paty, Nallely, Lety, Misael, Anallely, Martín, Giovana, Leo, Iván, Israel, Anabel, Benito, Viridiana, Alejandro, Abel, Alma, Josefina, Angelica, Angel, Jonathan, Cindel, Araceli, Iran, Oswaldo, Miguel, Daniel, Marlen, Omar).

AGRADECIMIENTOS

Germán Calva Vásquez. Por haberme abierto las puertas para entrar a su equipo de trabajo. Sobre todo por su apoyo, paciencia, tolerancia y el tiempo dedicado a mi formación y al mejoramiento de esta tesis. Por cada palabra de aliento que me ha dado y por haber dedicado parte de su tiempo para escucharme.

María de los Ángeles Galván. Por sus consejos, su comprensión y el interés para el término de este proyecto. Le agradezco su tiempo en la detallada revisión del presente y sus valiosos aportes.

Efraín Ángeles Cervantes. Por su apoyo, atención brindadas y sobre todo por las ideas que aportó cuando me revisó esta investigación.

Arcadio Monroy Ata. Por su amistad, apoyo, atención y dedicación durante mi estancia en la facultad. Por haber confiado en mí, desde que me conoce. Por la minuciosa revisión de éste proyecto.

Leticia López Vicente. Por su valiosa atención, comprensión y aportes. Aunque no la trate mucho es una persona dispuesta a escuchar al alumno y eso me honra al haber sido parte de este honorable jurado.

Benito Morán, por tu ayuda incondicional en la realización de este trabajo.

Leonel Martínez, por ser haber sido mi equipo durante la estancia en este laboratorio, apoyo y empuje para que culminara con mi proyecto.

Al Servicio Meteorológico Nacional por proporcionar información clave para el desarrollo de ésta investigación, que sin su atención del personal, no hubiera sido posible terminarla.

A la Universidad Autónoma de Capingo, Colegio de Postgraduados, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y al Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (Patricia Flores Nieves), por haber permitido obtener información de su base de datos para el análisis de información.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado la oportunidad de pertenecer al sector académico y por otorgarme una beca PRONABES cuando más lo necesité a lo largo de mi carrera, que sin ello me hubiera costado aún más terminar mi estancia en ésta valiosa facultad.

CONTENIDO GENERAL

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
I.1. Justificación	4
I.2 Problemática	6
II. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo general:	8
2.2 Objetivos particulares:	8
III. HIPÓTESIS	9
IV. ANTECEDENTES	10
V. MARCO TEÓRICO	11
5.1. BENEFICIOS QUE BRINDAN LOS BOSQUES	11
5.2 CONCEPTO DE MADERA	11
5.2.1 Desarrollo de la madera	12
5.2.2 Estructura anatómica del árbol	14
5.2.3 Estructura macroscópica y microscópica de la madera	
5.2.4 Formación de un anillo de crecimiento anual	20
5.2.5 Tipos de anomalías en anillos de crecimiento	21
5.2.6 Composición química de la madera	24
5.3 MEDIO AMBIENTE FORESTAL	27
5.3.1 Factores de la localización	27
5.3.2 Clasificación de los factores de localización	
A) Radiación Solar	28
Intercepción de la radiación solar	28
,	
5.4 CONCEPTO DE DENDROCRONOLOGÍA, DENDROCLIMATOLOGÍA Y DENDROE	COLOGÍA 34
·	
B) Temperatura	
5.6.2 Importancia ecológica	
5.7 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE OYAMEL	
5.8 FACTORES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y LA REPR	RODUCCIÓN DE
OYAMEL	
A) Fuego	
B) Viento	
C) Insectos	
5.9 FUNCIONALIDAD DE OYAMEL BAJO CONDICIONES LIMITANTES	
VI. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	
6.1 PARQUE NACIONAL DESIERTO DE LOS LEONES	
6.1.1 Descripción Geográfica	46

6.1.2. Edafología	46
6.1.3 Clima	47
6.1.5 Fauna	48
6.2 PARQUE NACIONAL IZTA-POPO	48
6.2.1 Descripción geográfica	48
6.2.2 Edafología	49
6.2.3 Clima	49
6.2.4 Vegetación	49
VII. MÉTODO	50
7.1 FASE DE GABINETE:	50
Revisión bibliográfica	50
Revisión de Páginas Electrónicas	50
7.2. FASE DE CAMPO:	50
Elección de Zonas y Especies	50
Obtención de las muestras	51
7.3 FASE DE LABORATORIO	52
Secado, montado, identificación y pulido	
Marcaje y Conteo de Anillos	52
7.4 FASE DE GABINETE	
VIII. ANÁLISIS Y DICUSIÓN DE RESULTADOS	54
8.1 Cronología de oyamel en el Parque Nacional Desierto de los Leones e Izta-Popo	54
8.2 Identificación y clasificación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en	el 57
Parque Nacional Desierto de los Leones e Izta-Popo	57
8.4 Relación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en el grosor y formaci	
anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en los Parques Nacionales Izta-Popo y D	esierto
de los Leones.	61
IX. CONCLUSIONES	70
X. RECOMENDACIONES	71
XI. REFERENCIAS RIBLIOGRÁFICAS	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esqueleto de un árbol (García <i>et al.,</i> 2003)	12
Figura 2. Modelo que explica las capas de células que van formando las diferentes partes que	
conforman a la peridemis (Raisman y González, 2005)	13
Figura 3. Modelo que explica la abertura que muestra la presencia de lenticelas que se forman er	
la corteza externa (Raisman y González, 2005).	
Fugura 4. Estructura macroscópica de la madera (Laboratorio de Contaminación Atmosférica, FE	
Z; Foto: Ávila Campuzano Gabriela R., 2007)	
Fugura 5. Estructura celular de la madera de gimnospermas (coníferas) (Fritts, 1976 citado de	
Villanueva y Cerano, 2004).	19
Figura 6. Corte transversal de madera de Pino con menor aumento. MEB 800x (Fahn, 1974)	
Figura 7 Detalle de la zona límite entre el leño temprano y el leño tardío de un corte transversal d	
Pino, MEB, 1500x (Fahn, 1974).	
Figura 8. A) y B) Anillos falsos menos predominantes (izquierda) de los verdaderos en Pinus	20
banksiana. C) Anillo falso más predominante (izquierda) de los anillos de crecimiento verdadero	21
(derecha)	Ζ1
banda falsa, la cual aparece a través de los conductos de resina; B) foto que muestra un anillo	
falso en el lado derecho de un anillo de crecimiento verdadero, conteniendo un conducto de	
resina (fotos propuestas por C.H. Baisan)	22
Figura 10. Núcleo de cedro rojo que muestra anillos falsos en su cronología	•
(http://www.yale.edu/fes519b/saltonstall/page2.htm#tree%20ring%20intro)	
Figura 11. Núcleo que contiene muchos anillos localmente ausentes y encimados entre sí, la cual	
no fue sincronizada, por lo cual cabe resaltar, que no todas las muestras de anillos de crecimiento	
se pueden fechar (foto propuesta por H.C. Fritts)	23
Figura 12. Foto que contiene cuatro anillos de crecimiento, de los cuales sólo tres tienen	
crecimiento verdadero; de manera evidente en el segundo anillo verdadero, se muestra un anillo)
discontinuo o "localmente ausente". La muestra se encuentra fechada, no obstante, no se	
consideraron las anomalías expresadas en la misma muestra (foto propuesta por P.R. Sheppard).	
	23
Figura 13. Divisiones correspondientes para cada compuesto que conforma la estructura química	
de la madera (Guardiola <i>et al.,</i> 1995)	
Figura 14. Estructura química de un anillo de crecimiento	25
Figura 15. Factores del sitio que afectan el crecimiento de los árboles forestales	27
Figura 16. Relaciones entre los factores de localización o del hábitat y los factores directamente	
responsables de la vida vegetal (Stephen et al., 1984)	27
Figura 17. Expresión de los anillos de crecimiento en relación a la competencia intra e inter	
específica	29
Figura 18. Un patrón estacional típico de la resistencia al frío en la corteza viva de los tallos de	
Cornus stolonifera en Minnesota (Stephen et al., 1984)	31
Figura 19. Fuertes vientos provocan que los árboles presenten troncos excéntricos. Las coníferas	
forman compresión en la madera del lado en que sopla el viento (Schweingruber, 1993)	
Figura 20. Desarrollo de los anillos de crecimiento en relación al estado de la copa	

Figura 21. Vientos extremos inducen la interrupción del crecimiento del árbol	
(Schweingruber, 1993)(Schweingruber, 1993)	. 33
Figura 22. Reacción de los árboles a la precipitación (Schweingruber, 1993)	. 33
Figure 23. Ubicación geográfica del parque Nacional Desierto de los Leones	. 46
Figura 24. Mapa del Parque Nacional Iztapopocatepetl	
Figura 25. Obtención de núcleos de crecimiento por zona de estudio	. 51
Figura 26. Preparación de los núcleos	. 53
Figura 27. Registro de anchura en anillos de crecimiento de oyamel del Parque Nacional	. 54
Figura 28. Registro del grosor de anillos de crecimiento de oyamel en el Parque Nacional	
Izta-Popo (77)	. 55
Figura 30. Anillo de crecimiento anual de oyamel con un anillo falso (derecha) tomado de	
Flores, 2006, por medio de SEM (Sacnning Elctron Micrscopy)	. 56
Figura 30. Anillo de crecimiento anual de oyamel tomado de Flores, 2006, por medio de	
SEM (Sacnning Elctron Micrscopy)	. 56
Figura 31. Registro total de anomalías por zona de estudio	. 57
Figura 32. Frecuencia de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel registradas en el	
Parque nacional Desierto de los Leones	. 58
Figura 33. Frecuencia de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel registradas en el	
Parque Nacional Izta-Popo	
Figura 34. Ejemplos de anomalías registradas en el Desierto de los Leones e Izta-Popo	. 59
Figura 35. Anomalías por década de anillos de crecimiento de oyamel del Parque Nacional	
Desierto de los Leones	. 60
Figura 36. Anomalías por década de anillos de crecimiento de oyamel del Parque Nacional	
Izta-Popo.	. 60
Figura 37. Registro de temperatura y madera temprana vs tiempo de la estación	
meteorológica Amecameca de Juárez del Parque Nacional Izta-Popo durante el periodo 1961-	
2003	. 61
Figura 38. Registro de temperatura y madera temprana vs tiempo de la estación meteorológica	
Desierto de los Leones del Parque Nacional Desierto de los Leones durante el periodo	
1961-2006	. 62
Figura 39. Registro de precipitación y madera tardía vs tiempo de la estación meteorológica	
Amecameca de Juárez del Parque Nacional Izta-Popo durante el periodo 1961-2003	. 63
Figura 40. Registro de precipitación y madera tardía vs tiempo de la estación meteorológica	
Desierto de los Leones del Parque Nacional Desierto de los Leones durante el periodo	
1961-2006	. 63
Figura 41. Humedad relativa y anillo total de oyamel vs tiempo durante el periodo de	
1961-2003 del Parque Nacional Izta-Popo	. 64
Figura 42. Humedad relativa y anillo de crecimiento total de oyamel durante el periodo	
1961-2006 del Parque Nacional Desierto de los Leones	. 65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales trabajos realizados sobre variabilidad climática y su influencia en la	
formación de anomalías en anillos de crecimiento	10
Cuadro 2. Factores climáticos, que caracterizan mejor a la comunidad de Abies religiosa en el	
Valle de México (Madrigal, 1963 citado de Gómez, 2003)	41
Cuadro 3. Índice DRIS para la plantación de Abies religiosa (H.B.K) Schl. et Cham del Desierto de	los
Leones, Distrito Federal (Gómez, 2003)	43
Cuadro 4. Ambientes climáticos del "Desierto de los Leones" (SARH, 1982)	. 47
Cuadro 5. Temperatura y Precipitación anual (INEGI, 2000).	47
Cuadro 6. Temperatura (OC) y Precipitación media mensual (mm) (INEGI, 2000)	. 47

RESUMEN

La emisión de contaminantes a la atmósfera en los últimos 45 años de fuentes fijas y móviles propicia irregularidades en el régimen de lluvias y temperaturas a nivel local y regional, debido a que partículas de humo y polvo forman núcleos higroscópicos, dando origen a lluvias ocasionales que no refieren en el régimen de lluvias. Las variaciones de calor incidente y radiante en la atmosfera de la Ciudad de México inducen constantes inversiones térmicas, al efecto de invernadero y a la sequia intraestival. Como consecuencia de la contaminación atmosférica, existe una alteración en las condiciones del régimen climático en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); ejemplo de ello es el cambio en la cantidad y duración de la precipitación, así como el aumento en la temperatura y la forma en que repercuten en la ganancia de crecimiento de los árboles de pino y oyamel. Los Cambios de temperatura y precipitación repercuten en los bosques y se registran en los anillos de crecimientos.

La determinación de factores ambientales que influyen en la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel nos proporciona una información que podría ayudar a analizar su crecimiento a través del tiempo, con la aplicación de técnicas útiles tales como la dendrocronología, dendrecología y dendroclimatología. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue establecer qué relación existe entre factores ambientales (temperatura, precipitación y humedad relativa) con la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en los parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.

Para cada zona de estudio (Parque Nacional Desierto de los Leones el Iztapopo) se analizaron 26 individuos de oyamel, con la finalidad de registrar la edad, la anchura total del anillo, el crecimiento verano y primavera y de forma simultanea las anomalías. Se promedió la temperatura, precipitación y humedad relativa por década de cada zona de estudio a partir de 1961 al 2006 de la estación meteorológica más cercana al Parque Nacional Desierto de los Leones, y Parque Nacional Izta-Popo (estación meteorológica Amecameca de Juárez). Las variables: anchura total de los anillos, su crecimiento verano y primavera (en mm y %) y se obtuvieron con el programa Windendro para evitar el error humano de medición. Con respecto a la identificación de las anomalías se usaron las fotografías referidas en la literatura especializada, y finalmente para la representación grafica y interpretación de los datos se utilizó el programa Origen 7.5.

Fue notoria la angostura de los anillos de crecimiento del oyamel en el Desierto de los Leones, con respecto a los árboles del Izta-Popo. La comparación en la anchura mínima de los anillos del oyamel mostró una proporción (1:6) entre el Parque Nacional Desierto de los Leones vs Parque Nacional Izta-Popo, y con respecto a la máxima anchura el registro fue de 1:1. Un mayor número de anomalías se determino en la madera temprana de los anillos del Oyamel colectados en el Parque Nacional Desierto de los Leones (74.91%), en comparación al Parque Nacional Izta-Popo (25.08%). El mayor tipo de anomalías (anillos falsos, falsos múltiples; anillos difusos y difusos múltiples, y anillos suprimidos) en el Parque nacional Izta-Popo. La década de mayor número de anomalías de los anillos de oyamel fue durante ochentas y noventas en el Parque Nacional Desierto de los Leones. No así para el Parque Nacional Izta-Popo en donde se registraron en los noventas, en la actual y los ochentas. La menor frecuencia en el número fue anomalías durante los 77 años correspondió al Parque Nacional Izta-Popo y la mayor para el Parque Nacional Desierto de los Leones. Con la oscilación de la temperatura y precipitación para ambas zonas no fue posible determinarlas como factores causales de anomalías y sí para la ganancia de la anchura.

I. INTRODUCCIÓN

Los científicos ecólogos están conscientes de la fragilidad de la atmósfera, por lo que en los últimos años han empezado a reconocer los dirigentes mundiales el grave y amplio daño atmosférico causado por la sociedad moderna y los procesos industriales; de ello derivan, tres problemas impactantes a la estructura y función de los ecosistemas son: la lluvia ácida, la reducción de la capa de ozono y el efecto invernadero. Estos problemas, junto con el cambio climático global (resultado del efecto de invernadero), están considerados como los fenómenos ambientales más apremiantes que hoy hace frente el mundo, son todos ellos de alcance mundial y solo pueden resolverse mediante una cooperación internacional a un nivel sin precedentes (Carwardine, 1992).

Los árboles todo el tiempo han estado registrando los cambios de los factores ambientales en los ecosistemas boscosos, tales como: la precipitación, humedad, temperatura, entre otros. Los registros quedan escritos en los anillos de crecimiento de los árboles y las primeras observaciones que relacionaron el ancho de los anillos de los árboles con el clima datan del siglo XV, y fue el propio Leonardo da Vinci quien reconoció la correlación entre las precipitaciones y los anillos anuales (Ceballos, 2002), por lo que con base en lo anterior es considerado como el padre de la dendrocronología (Worbes, 2004).

En la actualidad, esta herramienta se ha aplicado en estudios científicos, prueba de ello son los últimos diez años, en los que países del primer mundo como Canadá, Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia e Italia (Martinelli, 2003), han reportado un incremento en el número de publicaciones acerca de las áreas disciplinarias que se encuentran dentro de la misma (Dendroquímica, Dendroecologia, Dendrohidrología, Dendroclimatologia, Dendrogeomorfologia) incluyendo las ambientales (Villanueva et al, 1996; Wiles et al., 1996; Santana, 1999; Biondi, 2001; Iraolagoitia y Ruíz, 2003; Bigler et al, 2004; Creus et al, 2004; González et al, 2005; Díaz et al., 2007).

Las primeras cronologías de anillos de árboles en México se produjeron en el periodo de 1940-1950 (Schulman, 1944, 1956; Scott, 1966). Estas cronologías se derivaron de rodales de *Pinus sp., Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco y *Abies duranguensis* Martínez ubicados cerca del Salto, Durango. Schulman (1944) examinó de manera particular una variedad de especies y muestras arqueológicas de *Cupressus* L., *Taxodium mucronatum* Ten y *Abies religiosa* (HBK) Schltdl. et Cham, distribuidas en el centro del país; no obstante, sólo fue capaz de desarrollar una cronología corta de un rodal de *A. religiosa*, localizada al sur de la Ciudad de México (Villanueva y Cerano, 2004).

Los esfuerzos de Schulman para desarrollar cronologías en México se mejoraron sustancialmente a consecuencia de varias expediciones de investigación que se realizaron en la década de los 70, como parte del "Proyecto mexicano de anillos de árboles" de la Universidad de Arizona. En dicho proyecto se generaron 20 cronologías de árboles, que además incluyeron cronologías cortas, procedentes de madera encontrada de iglesias y misiones Jesuitas y Franciscanas de la región Tarahumara de Chihuahua y Durango (Villanueva y Cerano, 2004).

El concepto dendroecología como área disciplinaria de la dendrocronología fue propuesto por primera vez en 1963 por Vins, para extender la ciencia de la dendroclimatología y la dendrocronología al campo de la ecología forestal (Serre y

Tessier, 1989). Esta definición se adentró en las condiciones naturales de los bosques para aplicarse como una herramienta para evaluar la respuesta forestal a los factores ambientales.

Al final de la década de los ochentas Fritts y Swetnam (1986) refinaron este concepto y lo definieron "como una herramienta para evaluar variaciones del pasado y el presente en ambientes forestales". Esta definición concernía más con los impactos de los cambios anormales del ambiente sobre el crecimiento de los árboles debido a las pestes, contaminación, daño y decline forestales, que los análisis de la influencia de ambientes normales sobre el crecimiento de los árboles. El campo de aplicación de esta área en el extranjero son mas de 30 estudios que han utilizando series de anillos en colaboración con alguna otra disciplina para entender los eventos de disturbios, así como análisis comparativos de eficiencia en los métodos aplicados (Rubio y McCarthy, 2004).

En los últimos diez años, estudios realizados sobre dendroclimatología (Lindholm *et al.*, 2000; Miina, 2000; Wimmer y Grabner, 2000; Biondi *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2001; Esper *et al.*, 2003; Rozas, 2004; Xiaoniu *et al.*, 2005; Trouet, *et al.*, 2006) han demostrado con mayor fundamentación que es un área disciplinaria muy útil de la dendrocronología, ya que permite seleccionar y obtener información de carácter climático contenida en la variabilidad de los datos dendrocronológicos, y así poder ver como han ido cambiando a través del tiempo, las condiciones climáticas de un sitio en específico.

Las primeras reconstrucciones dendrocronológicas climáticas realizadas específicamente para México son estimaciones de precipitación y del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) para el área fronteriza del norte de Sonora (Villanueva, 1996; Villanueva y McPherson, 1995; 1996).

Actualmente estas herramientas toman importancia de manera significativa, puesto que se vive, hoy en día, una época de preocupación por el medio ambiente, principalmente por el efecto invernadero y el calentamiento global que han causado un desequilibrio ecológico en el mundo.

Ceballos (2002) menciona que el clima a través del flujo evapotranspiracional, es uno de los factores que más fuertemente afecta el crecimiento de los árboles. En los años en que la cantidad de precipitaciones y las temperaturas son adecuadas, el árbol crece relativamente más y el anillo correspondiente será relativamente más ancho. A la inversa, en los años en que el clima es particularmente severo, el árbol crece menos, produciendo anillos estrechos. Si se mide el ancho de los anillos se tendrá una serie que representará de alguna manera el comportamiento del clima en la zona. Por lo tanto, resulta de gran interés recurrir a indicadores o archivos ambientales que puedan proveer registros climáticos de alta resolución, lo suficientemente largos, como para poder caracterizar en forma apropiada la variabilidad climática natural de una región.

Entre estos indicadores de alta resolución, los anillos de los árboles ocupan un lugar muy particular, debido a que proveen series continuas, precisamente datadas con un nivel de resolución anual, que normalmente se extienden por varias centurias, y en algunos casos, por varios milenios. Las series de ancho de anillos pueden ser modeladas para reconstruir, con gran precisión, las variaciones anuales o estacionales de la temperatura, la precipitación y/o presión

atmosférica durante las últimas centurias o milenios. Estas reconstrucciones de las variaciones climáticas pasadas pueden ser obtenidas para una localidad en particular, o para toda una región, si se dispone de una red de cronologías de anillos de árboles que cubren un área extensa (Ceballos, 2002).

En bosques templados los anillos están bien definidos por células de mayor tamaño en la madera temprana y de menor tamaño en la madera tardía (Ayala *et al.*, 2006). Sin embargo, condiciones severas de sequía o años de intensa radiación solar, pueden provocar la presencia de falsos anillos de crecimiento en algunas especies (Gourlay, 1995), o en algunos casos, difusos (Aguilar y Barajas, 2005). La tendencia y estacionalidad de los anillos falsos inducidos por la sequia varía a lo largo de los sitios y de las especies (Masiokas y Villalba, 2004; Wimmer *et al.*, 2000; Priya and Bhat, 1988; Treter *et al.*, 2002; Bouriaud *et al.*, 2005).

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar si la temperatura, precipitación y humedad influyen en la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel (*Abies religiosa*) en los Parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.

I.1. Justificación

Los bosques son una parte muy importante para el medio ambiente, ellos cubren la tercera parte del continente de la tierra, además de que contribuyen al equilibrio de la naturaleza del planeta y consecuentemente benefician muchas formas de vida, incluyendo la humana (Chavarría, 2007).

Los anillos de crecimiento de los árboles y otras plantas leñosas constituyen una fuente de información para diversos estudios científicos recientemente enfocados al biomonitoreo, cambio climático global, evaluación del proceso del decline forestal, variación en el ciclo del carbono, entre otros (Chávez, 2002).

Los anillos de crecimiento es un carácter complejo ampliamente estudiado pero aún no totalmente aclarado (Panshin y de Zeeuw 1970; Metcalfe y Chalk, 1989); ha sido utilizado para la interpretación del clima (Fritts, 1976; Wimmer y Grabner, 2000) al ser afectados por cambios ambientales drásticos como sequía y heladas (Wimmer y Grabner, 2000). En las zonas tropicales húmedas la actividad cambial generalmente es continua a lo largo de todo el año, por lo que la mayoría de las especies pueden no formar anillos de crecimiento evidentes, o desarrollarlos de manera inconspicua, como sucede en climas donde la estacionalidad no es muy marcada (Wheeler *et al.*, 1995).

Por consiguiente, es difícil deducir la información climática específica intraestacional a partir de los registros de la anchura de los anillos (Fritts 1976). Una excepción aparece cuando las condiciones inusuales interrumpen los patrones de crecimiento normal, produciendo variaciones distintas en la aparición de los anillos anuales. Dichos ejemplo incluyen los anillos solidificados (La Marche and Hirschboeck 1984; Stahle 1990; Brunstein 1996), anillos ligeros (Filion *et al.* 1986; Volney and Mallet 1992; Yamaguchi *et al.* 1993; Szeicz 1996; Liang *et al.* 1997) y el desarrollo de bandas intra-anuales (Wimmer *et al.*, 2000; Cherubini *et al.* 2003).

Cabe señalar que existen pocos estudios a nivel mundial (India, Estados Unidos, Canadá, Alemania, Italia y España) sobre formación de anomalías en anillos de crecimiento a lo largo de la vida de las especies arbóreas. Al respecto Copenheaver *et al.* (2006) consideran que los anillos falsos pueden proveer una fuente de datos aproximados de las condiciones históricas ambientales, una vez que las causas de su formación sean entendidas. Aunque Chowdhury en 1939 fue el primero en observar estas anomalías, no hay información que permita conocer la respuesta de los anillos de los árboles a cambios en las condiciones ambientales, particularmente para la formación de anillos falsos (Priya y Bhat, 1998).

A pesar de los estudios mencionados anteriormente, el uso potencial de estructuras de anillos anómalos como indicadores para predecir eventos climáticos o eventos climáticos inusuales ha sido escasamente desarrollado en estudios dendrocronológicos (Masiokas y Villalba, 2004).

En lo que respecta a México, no hay estudios de ésta índole. La dendrocronología ha logrado un desarrollo sorprendente en las últimas décadas. Este avance tecnológico, sin embargo, no ha sido compartido de igual manera por países que, como México, poseen un sinnúmero de especies arbóreas con alto potencial para estudios paleoclimático, ecológicos, análisis de patrones de circulación atmosférica global, reconstrucciones hidrológicas, etc. (Villanueva y Cerano, 2004). En la actualidad, se han realizado más de 40 cronologías, principalmente, de los géneros *Pinus* y *Pseudotsuga*, generadas en su mayoría por instituciones extranjeras (Universidad de Arizona y Universidad de Arkansas).

Es por ello que se pretende con este trabajo saber qué tanto influyen la temperatura, precipitación y humedad relativa en la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel, por ser una especie de mediana longevidad y brindar la oportunidad de poder identificar con mayor precisión su edad, al crecer en bosques templados, de gran importancia biológica, económica, estético-recreativa, de gran interés en la captación de agua de lluvia y en la conservación de la fauna silvestre (Manzanilla, 1974), cuya extensión total se ha visto reducida drásticamente en los 20 últimos años al ser una especie maderable altamente sensible a factores climáticos, reflejando a lo largo de su vida las condiciones en las que se desarrolló.

Además si se toma en cuenta que existen muy pocas técnicas que permiten conocer la dinámica poblacional de los lugares en donde se desarrolla esta especie (*Abies religiosa*), se utilizará a la dendrocrononología, dendroclimatología y dendroecología, en donde se ha visto que al utilizar estas herramientas de investigación se ha extendido su utilidad ecológica y biológica. Su uso en Alemania, Francia, Italia, Suiza, India, España, Canadá, Estados Unidos y recientemente México, son la muestra tangible de que estas investigaciones podrían aportar conocimiento básico para el desarrollo de planes de manejo y conservación de las áreas verdes importantes del país.

La importancia de *Abies religiosa* ha sido reconocida también en otros países, como lo demuestran las plantaciones hechas en Kenia, Rodesia del Sur y África del Sur y las que actualmente se realizan en Uganda (Leuchards, 1960; Streets, 1962). El Instituto de Investigaciones Forestales de Nueva Zelanda realizó una colecta de semillas de 34 especies de coníferas mexicanas (Hinds y Larsen, 1961), señalando a *Abies religiosa* como una de las seis mejores; en el Seminario y Viaje de Estudio de Coníferas Latinoamericanas, organizado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la

Agricultura y la Alimentación) en coordinación con el Gobierno de México (FAO y Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1962), fue una de las 26 especies escogidas para su estudio, todo lo cual revela su importancia cada vez mayor.

A pesar de que el oyamel ha sido aprovechado desde hace mucho tiempo y aporta volúmenes considerables con relación a las superficies aprovechadas, no existen aún en México trabajos de investigación orientados a fundamentar métodos de manejo para bosques de ese tipo. Básicamente, la mayoría de los esfuerzos se han orientado a los bosques de pino, extrapolando los resultados para el manejo de las masas de oyamel (CNIDS, 1988).

El *Abies religiosa* como especie de interés estético-recreativo y para la protección de la fauna silvestre; es especialmente importante en la cota de altitud donde se ubican los Parques Nacionales de la Cuenca del Valle de México, que son: Cumbres del Ajusco, Distrito Federal, Desierto de los Leones, Distrito Federal, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, Estado de México y El Chico, Hidalgo, que juntos suman en total 6,556 hectáreas (Departamento de Parques Nacionales, 1959). En estos lugares, además de su atractivo por los monumentos que poseen o por los hechos históricos que allí ocurrieron, son visitados continuamente por su belleza natural, debido en gran parte a los extensos bosques de oyamel que los cubren.

I.2 Problemática

Worbes (2004) menciona que en general tres tipos diferentes de estacionalidad climática afectan el crecimiento anual de los árboles, principalmente en los trópicos: 1) la variación de la temperatura anual, con temperaturas cerca o por debajo del punto de congelación en invierno; 2) inundaciones anuales de los grandes sistemas riparios en los trópicos, elevándose sobre los cinco metros del piso forestal durante seis o más meses por año causando condiciones anóxicas en el suelo, la respiración y la toma de agua es impedida; muchas especies tiran sus hojas y presentan dormancia cambial. Esto se refleja a través de los anillos anuales en la madera y por último, 3) las variaciones de la precipitación entre temporadas de lluvia y temporada de sequía. Sin embargo, en los bosques templados aún no se tienen datos precisos de qué factores ambientales los afectan.

La emisión de contaminantes a la atmósfera en los últimos 45 años de fuentes fijas y móviles propicia irregularidades en el régimen de lluvias y temperaturas a nivel local y regional; debido a que partículas de humo y polvo forman núcleos higroscópicos, dando origen a lluvias ocasionales. Las variaciones de calor en la atmósfera de la Ciudad de México inducen constantes inversiones térmicas, al efecto de invernadero y a la sequía intraestival (Reyna-Trujillo, 1989). Como consecuencia de la contaminación atmosférica, existe una alteración en las condiciones del régimen climático en la Zona Metropólitana del Valle de México (ZMVM), ejemplo de ello es el cambio en la cantidad y duración de la precipitación, así como el aumento en la temperatura y la forma en que repercuten en la ganancia de crecimiento de los árboles de pino y oyamel (Cruz, 2007).

La Ciudad de México es famosa por sus altos niveles de contaminación atmosférica. Una de las causas de esta situación es el desequilibrio entre la cantidad de emisiones vertidas al aire y la capacidad de asimilación de los pocos bosques que aún existen. La superficie arbolada bajo algún esquema de conservación con que cuenta esta ciudad es de 15,702 has,

de las cuales el 11.9% se encuentran dentro del Parque Nacional del Desierto de los Leones. De ahí la relevancia de esta zona para la Ciudad de México (http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/464/desierto.html).

Las zonas forestales que circundan la cuenca del Valle de México han sido sometidas a fuertes presiones derivadas de la actividad humana (Hernández y Bauer, 1989). Vázquez (1987), citado por Alvarado (2002), reportó que desde 1983 hay evidentes efectos de declinación (pérdida de hojas y ramas, necrosis foliar, clorosis, descortezamiento, cambios de temperatura, plagas y senilidad natural) en los Parques Nacionales Ajusco y Desierto de los Leones, los que afectaron de manera considerable las especies de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii*. Se menciona que este proceso se atribuye a diversos factores, tales como el aumento en la temperatura y los periodos de sequía, sin embargo, algunas evidencias indirectas consideran la contaminación atmosférica como el principal agente causal. Asimismo, la alteración de la química de la lluvia en estas zonas puede ocasionar daño foliar, deficiencia nutrimental y la lixiviación de constituyentes foliares, principalmente cationes básicos (calcio, potasio, magnesio y sodio), como ocurre en otras regiones del mundo (Lovett *et al.*, 1985; Puckett, 1990; Liechty *et al.*, 1993).

Con respecto al Parque Nacional Izta-Popo, cada vez más refleja un deterioro producido por la acción antropogénica, se estima que en los últimos 20 años se han perdido alrededor de 18 mil hectáreas, que representan cerca del 50% de la vegetación natural que se tenía entonces. Además de la pérdida acelerada del suelo y la disminución de las poblaciones de la flora y fauna silvestres y de hábitats naturales (Chávez, 2002). La preservación de los bosques de oyamel se ve amenazada por un agente abiótico exógeno, la contaminación atmosférica, ya que es un factor de daño, la cual ejerce un impacto determinante en las masas arbóreas, independiente a la especie, desarrollo o edad, y en particular las de la cuenca de México manifiestan síntomas enfermos (Nieto de pascual, 1995).

Chavarria (2007), encontró que de 1997 al 2004 la población de oyamel disminuyó drásticamente de 788 árboles/ha a 274 árboles/ha afectando las condiciones del sitio. Los cambios en la estructura por edades de oyamel (brinzales, juveniles, adultos y seniles) que se encontraban en proporción similar en el 2004; ahora se presenta con mayor frecuencia la etapa joven y adulta, quedando casi desaparecidos juveniles y seniles. La cobertura de copa ha disminuido considerablemente, el porcentaje de retención de copa del 25% y 75% lo coloca en un daño moderado a severo, similar a lo determinado por el Inventario Forestal 1974, afectando las condiciones del sitio atribuido por los contaminantes atmosféricos. La supervivencia hace que aumente la competencia intraespecífica, manteniendo a los más fuertes y vigorosos. La competencia interespecífica está excluyendo al oyamel, confinándolo a hábitats más específicos y ganando el espacio pinos y herbáceas.

Así, el efecto conjunto de la contaminación atmosférica, cambios nutrimentales en el suelo forestal, daño en la fronda, supresión de la fotosíntesis y fotosintatos; así como cambios en el régimen climático, se expresan en los anillos de crecimiento de los árboles, como un daño visible, en especial en aquellas especies más sensibles. Sin embargo, ambas zonas coinciden en la alteración del régimen climático, y la pregunta es ¿Cómo los árboles están respondiendo ante la variación en la frecuencia e intensidad de las lluvias con respecto en la formación de los anillos anuales? La pérdida de la masa forestal promueve el desequilibrio del balance hídrico, es decir, al aumento de temperatura del suelo, por retención del calor, la evaporación se acelera y en consecuencia la precipitación pluvial varía de manera local.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Establecer qué relación existe entre factores ambientales (temperatura, precipitación y humedad) con la formación de anomalías en anillos de crecimiento de *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham) en los parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.

2.2 Objetivos particulares:

- Obtener la cronología mediante anillos de crecimiento de oyamel de cada una de las zonas de estudio.
- Localizar y clasificar anillos con anomalías (falsos, difusos, mal formados, suprimidos) de oyamel en madera temprana y madera tardía de cada una de las zonas de estudio.
- Obtener la frecuencia de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel por década en cada una de las zonas de estudio.
- Comprobar si la temperatura, precipitación y humedad relativa influyen en la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en ambas zonas de estudio.

III. HIPÓTESIS

Si la temperatura ha ido en aumento durante los 45 últimos años a causa de la contaminación antrópica, entonces, se espera encontrar un mayor número de anomalías en la cronología de *Abies religiosa* en la zona del Parque Nacional Desierto de los Leones en comparación a la de Izta-Popo.

IV. ANTECEDENTES

Con base en que la Dendrocronologia, Dendroccologia y Dendroclimatologia ofrecen grandes ventajas para conocer fenómenos relacionados con la variabilidad climática, cambio climático global y el efecto invernadero, se enlistan a continuación aliganos de los trabajos que se han realizado sobre formación de anomalias es amilios de crecimiento en diversas especies arbóreas a nevel mundial (ver quadro 11.

Cuadro F. Principales trabajos realizados sobre variabilidad elimética y su influencia en la formación de snomaliar os anillos de crecimiento.

AUTOR / AÑO	PAIS	APORTE
(Weaver S.A., 1980)	Fije, Niversa Zelanda	Probò la validez de usar núcleos simples amplios, en vet de secciones enterus del tronce de estudios sobre la tasa de origimento y estad de los árboles para Apostis mouvophylio, encontrando problemas de confidêndad estadústica debido a la nacuraleza de formación de la matera de dista especie; por lo que sugirió una metodología alternativa para el escudo de anillos de crecimiento de la especie.
(Feitzs, 1992)	Arizone, E E.U.U.; Siberia, Rusia	Apicaron des modelos (empleto y mecanistico) resultando que estos mátedes son intervisivos para suber que factores sen importantes en el prepariente de los afluentes chrischiara de los ambios y cuando eses factores llegas a ser finistantes. Mientras que ambot modelos guarden ain ser mejorados postenioreseste, ne obstante, ya controluyen al mitendemienco entre las refusiones de los amilios de los árturios y el clima, proportionando un número de respuestan a signitar outrationes ambienades.
(Priva y Blut, 1998)	Mismby, Inda	Excellentemen que la temperatura y la précipitación, son les principales factores ambientales censentes de la formación de outro tipos de anillos falsos en la crencilogía de Trutono grande L.F. dura noe el genido 15%; 1983.
Salarar et of. 2004)	Cd de México, México.	Caracterizaron anillos de cercimiento y diemensiones de traqueldas en la madera santa de los últimos 100 años para Abjes religiões, suprimende que los cambios en el anilho de los anillos de crecimiento y las dimensiones de flas traqueidas son caracados por los contemidades y no por la edad de los árbotes.
(Salarar y Terratas, 2000)	Michoacán, México	Determinarion que les temperaturas máximas afecten la acumulación y las característicos de las traquesclas, sugiriendo que la activadad del cambium vascular de Ables religiosa está referioneda con las temperaturas máximas.
(Maraphas y Wilaba, 2004)	Pategonia, Argentina	Encontrators mayor número de bandas intra anuales (antios fatos) en N. pumilio, durante el siglo XX, en comparación con los dos anteriores (XVIII y XXI) correlacionados positivamente con la predipitación durante los utamos 100 años.
(Ravensis et al., 2004)	Valencia, España	Evaluaran y compararan dos tipos de anormalias: falsos y signimidos en árboles sanos, medianamente sanos, y enfermos de filmas halepensis en dos sistos de estudio (Guadamar y Salar) durante el peniodo de 1930-5980, determinando a su vez, que la temporatura y peropitación son los principales fariges deutantes de las mismas.
(Creus y Saz. 2004)	Zaragora, España	Análism la influencia del clima sobre el crecimiente secundario de Piour holispina; Mil., sefulando la influencia possina de la percipitación del versino, mientras que el exerciso calor de eje período inhibe su desarrador.
(Aguslar y Barajas, 3005)	Estado de México, México	Relacionaron anilles de crecimiento, fenología feliar y origen geográfico de especies arbóneas de un hosque medifilo de montaña, encontrado que el 38% poseian anilles de crecimiento verdadeno, y alnoso (63%) no los mostró de munera evidence.
(Coponheaser et et, 2006)	Michigan, USA,	Demostraron que la temperatura y precipitación no senes influencia significativa en la formación de amilios fásos, mentras que la edud del ásiol, date de copa y tasa de ordinárezo sen facciones potenciales causales de los mismos en la cronologia de Peus technique.

A pesar de los estudios mencionados anteriormente, el uso potencial de estructuras de anillos anómalos como indicadores para predecir eventos climáticos o eventos climáticos inusuales ha sido escasamente desarrollado en estudios dendrocronológicos (Masioka, y Villalba, 2004).

V. MARCO TEÓRICO

5.1. BENEFICIOS QUE BRINDAN LOS BOSQUES

Los bosques cubren aproximadamente la tercera parte de la superficie de la Tierra. Según la Dirección General del Inventario Nacional Forestal la superficie arbolada de México tiene aproximadamente 45 millones de hectáreas, que corresponden a poco más del 22% de la superficie total del país (200 millones de hectáreas). Aunque esta proporción es menor que el promedio mundial, el total de hectáreas es considerable. Constituyen los ecosistemas terrestres más productivos, superados tan sólo por los manglares (Robles y Echenique, 1983).

Según el Inventario Nacional Forestal de los 45 millones de hectáreas de superficie arbolada con que cuenta el país, el 66% corresponde a bosques templado frío y el 34%, a bosques de clima tropical y subtropical. El 80% de las especies de los bosques de clima templado-frío son coníferas como el pino, oyamel, el sabino y el cedro blanco. El resto corresponde a latifoliadas, frondosas o de hoja caduca, como el encino, el fresno y el aile. Los bosques de coníferas se encuentran principalmente en las regiones altas de Chihuahua, Durango, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Chiapas. Las latifoliadas existen en casi todas las regiones de clima templado-frío, a veces en bosques mixtos juntos con especies coníferas (Robles y Echenique, 1983).

Los bosques de coníferas prestan importantes servicios a la biosfera. Entre estos servicios destacan:

- ✓ La acumulación y reservorio de nitrógeno y de dióxido de carbono.
- ✓ Producción de oxígeno atmosférico.
- ✓ La amortiguación de las variaciones climáticas por la humedad ambiental contenida en el bosque.
- \checkmark La conservación del suelo por el control de la erosión eólica e hídrica.
- ✓ La recarga de los mantos freáticos.
- ✓ La producción de una serie de compuestos y principios activos de importante aplicación en las industrias química y farmacéutica.
- ✓ Regulación del clima.
- ✓ Además de la enorme importancia que tienen para el paisaje, la recreación así como la protección de un gran número de especies de gran importancia ecológica y evolutiva (Robles y Echenique, 1983).

5.2 CONCEPTO DE MADERA

Se llama madera al conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza (Garcia *et al.*, 2003).

Se entiende por vegetales leñosos aquellos que presentan las siguientes características:

• Son plantas vasculares, es decir, tienen tejidos conductores especializados: xilema y floema. El xilema está lignificado y constituye la madera del vegetal maduro.

- Son plantas perennes, es decir, viven durante un cierto número de años.
- Tienen un tallo principal que persiste de un año para otro. En el caso de los árboles se llama tronco.

Además de las características anteriores, las plantas típicamente leñosas tienen crecimiento secundario. Es decir, tienen un crecimiento en diámetro independiente del crecimiento longitudinal.

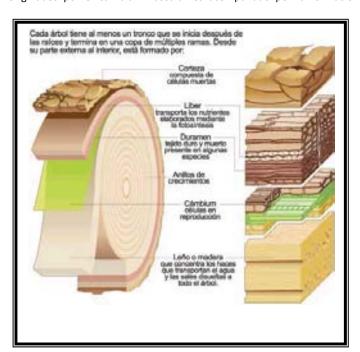
Estos vegetales leñosos comercialmente maderables, se encuentran entre las Gimnospermas y Angiospermas de las Espermafitas.

Por otro lado, la madera no es un material homogéneo, sino que está formado por un conjunto de células especializadas en tejidos que llevan a cabo las tres funciones fundamentales del vegetal:

- La conducción de la savia,
- 2. La transformación y almacenamiento de los productos vitales y,
- 3. El sostén del vegetal (García et al., 2003).

5.2.1 Desarrollo de la madera

Rodeando el leño de cualquier árbol existe un cilindro de células meristemáticas denominadas cámbium vascular. Estas células se dividen para producir dos tejidos: xilema hacia adentro y el floema hacia fuera. El primero pasa a constituir el leño del árbol, mientras que el floema es el encargado de transportar los productos de la fotosíntesis elaborados por las hojas hacia el resto de la planta (Raisman y González, 2005). El desarrollo de los tejidos vasculares secundarios originados por el cámbium vascular es acompañado por la formación de un conjunto de tejidos de protección o



PERIDERMIS, conocido vulgarmente como corteza. Desde el punto de vista funcional este tejido reemplaza a la epidermis cuando se cae (figura 1).

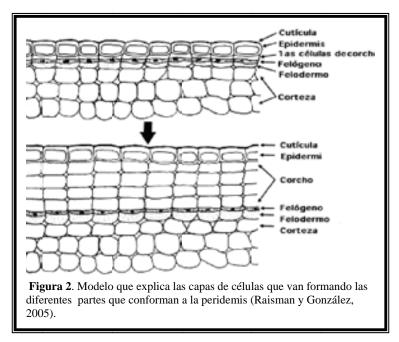
La peridermis se forma a partir de un meristema denominado felógeno, el que produce por divisiones periclinales (paralelas a la superficie) súber hacia fuera y felodermis hacia adentro (Figura 1).

FELÓGENO: Es un tejido meristemático secundario, pues se origina a partir de células que ya han sufrido diferenciación y vuelve a tornarse meristemático dividiéndose para formar nuevos tejidos. Al igual que el cámbium es un meristema lateral, ya que aparece como un anillo continuo o fracturado en bandas debajo de la epidermis. Al igual que el cámbium, tiene crecimiento estacional, empero sus ritmos no son paralelos al anterior.

SÚBER: Este tejido se denomina comúnmente "corcho". Son células muertas que tienen la particularidad de que sus paredes primarias (principalmente celulósica) está cubierta hacia el interior de las células por una capa relativamente gruesa de suberina, formada por laminillas alternas de suberina y ceras. La capa de suberina es impermeable al agua y a los gases y soporta la acción de los ácidos. El protoplasma desaparece y el lumen aparece lleno de aire o de sustancias pigmentadas (Raisman y González, 2005).

FELODERMIS: En esta capa las células están vivas y carecen de paredes suberificadas. Pueden contener cloroplastos, en cuyo caso la corteza será capaz de realizar algo de fotosíntesis.

DESARROLLO DE LA PERIDERMIS: El felógeno puede originarse a partir de las células vivas de la epidermis o de células parenquimáticas o colenquimáticas que se encuentran debajo de la epidermis. Estas células se desdiferencian, es decir que retoman la actividad meristemática; para ello pierden sus vacuolas centrales y sufren divisiones periclinales. Como resultado de la primera división mitótica se forman dos células, la externa pasa a constituir el súber mientras que la interna permanece como células del felógeno. Posteriores divisiones de las células del felógeno formarán la felodermis hacia el interior. Este primer felógeno forma la peridermis que reemplaza en su función a la epidermis. Tanto la epidermis como los tejidos ubicados por dentro de la misma mueren, ya que el súber los aísla de las sustancias nutritivas y el agua (Raisman y González, 2005) (figura 2).

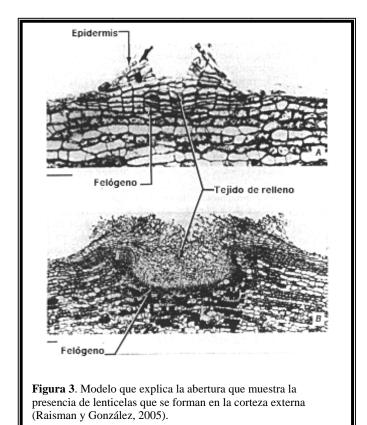


Con la continuación del crecimiento secundario este primer felógeno es reemplazado con uno nuevo, formado hacia el interior del primero. Para formar estos siguientes felógenos ya son las células del parénquima del floema secundario las que se desdiferencian. Las siguientes peridermis pueden formarse en anillos completos o en bandas (Raisman y González, 2005).

Con la formación de cada epidermis, mueren los tejidos que quedan por fuera, con lo que resulta en la formación de una capa o costra dura.

Estos tejidos muertos ubicados por fuera del último felógeno funcional se denominan técnicamente RITIDOMA o simplemente corteza externa. La parte viva que queda por dentro del felógeno funcional es el floema y se denomina corteza interna (figura 2).

Si se remueve solo la corteza externa, el árbol puede continuar con su vida, siempre que no sea atacado por patógenos como hongos o bacterias. Esta técnica es tomada en cuenta por aquellas personas que cosechan la corteza de ciertos árboles, también es un método para forzar a un árbol a fructificar. Si se remueve toda la corteza, externa e interna, el árbol muere ya que se desconecta el sistema vascular floemático y la savia elaborada en la copa no llega a las raíces; está técnica es utilizada cuando se quiere destruir un árbol en pie (Raisman y González, 2005).



LENTICELAS: Son aberturas o zonas en la corteza externa con células dispuestas en forma floja, suberizadas o no. Del mismo modo que los estomas permiten el pasaje de aire desde y hacia el interior del tallo, es decir, el intercambio gaseoso se lleva a cabo por éstas zonas. En esta zona, el felógeno desarrolla un tejido de relleno, formado por células con abundantes espacios intercelulares (Raisman y González, 2005).

En arboles jóvenes usualmente se forman en el lugar donde estaban los estomas. Varían en forma y tamaño entre las especies, en algunas son microscópicas, mientras que en otras son visibles a ojo desnudo. El tejido producido por el felógeno en la lenticela tiene abundantes espacios intercelulares denominándose tejido de relleno (figura 3).

5.2.2 Estructura anatómica del árbol

XILEMA. El xilema y el floema constituyen el sistema vascular del vegetal. La palabra xilema deriva del griego *xylon* (madera), dada la gran lignificación que presenta el tejido. La planta necesita para su crecimiento un suministro adecuado de agua y de sustancias alimenticias a las diferentes partes de la misma, de aquí su gran importancia.

El xilema es un tejido complejo, ya que dentro del mismo que encuentran diferentes tipos celulares, tanto con protoplasma vivo, como carente de él. Las células más características son los elementos traqueales no vivos, por lo que circula el agua. Además también lo forman fibras, elementos especializados en una función de sostén y también hay células parenquimáticas, implicadas en diversas actividades metabólicas. En algunos casos puede haber en el xilema tubos laticíferos y esclereidas, las cuales derivan de algunas de las células parenquimáticas.

En aquellos árboles en las que tiene después lugar un crecimiento secundario, debido a la actividad del cambium vascular, se forma a partir de este meristemo llamado xilema secundario (Plomion *et al.*, 2001 citado de Flores, 2006). Los anillos de xilema más viejos de un árbol funcionan como tejidos conductores de agua durante muchos años, pero las cavidades en sus vasos y traqueidas se van reduciendo cada vez más debido al depósito de los minerales del agua al ir atravesando el xilema. Finalmente las unidades se quedan obstruidas para siempre y por lo tanto no son funcionales.

El xilema obstruido se pone de color oscuro y contrasta vivamente con los anillos anuales más claros, jóvenes y aún funcionales. El xilema está compuesto por vasos, traqueidas, parénquima y esclerénquima. Sin embargo, a diferencia del xilema primario, gran parte del parénquima dl xilema secundario se encuentra formando radios de células alargadas. Estos radios del xilema o radios medulares varían de una a varias células de ancho y funcionan como unidades de almacenamiento de alimentos y vías para la conducción lateral o radial del alimento y el agua.

Al mismo tiempo que el cambium vascular produce los radios leñosos, ele floema secundario se producen células parenquimatosas similares, para formar los radios de floema. Debido a que los radios leñosos y los radios de floema se forman solamente en tejido vascular, con frecuencia se les llama radios vasculares. Un solo radio vascular de un tallo leñoso puede radiarse desde la médula hacia fuera, hasta la corteza o la peridermis. La pared del radio vascular que queda en la madera constituye un radio leñoso (xilema), en tanto que el resto del radio vascular que queda en el floema se identifica como radio del floema (Flores, 2006).

FLOEMA. El floema o líber es el tejido más importante de que disponen las plantas vasculares para el transporte de las sustancias nutritivas elaboradas. El floema es un tejido formado por la asociación de varios tipos celulares, la gran mayoría de los cuales contienen protoplasma vivo en la madurez. Las características de las células son los elementos cribosos, especializados en la conducción. Asociadas con algunos de estos elementos cribosos pueden ir las llamadas células acompañantes, que son células parenquimáticas muy relacionadas con los mismos. Aparte de estos existen en el floema otras células parenquimáticas especializadas fundamentalmente en el almacenamiento de diferentes sustancias de reserva. Por último se observan en el floema los elementos de sostén, es decir, las fibras y las esclereidas.

Pueden estar asociados con el floema células secretoras o diversos tejidos como en las plantas con un sistema de conductos laticíferos, cuyos elementos pueden encontrarse en el floema.

El origen del floema primario se diferencia a partir del procámbium durante el crecimiento primario de la planta, mientras que el floema secundario la hace a partir del cambium vascular durante el crecimiento secundario, existiendo una correspondencia entre el xilema y el floema, ya que suele ir asociado. Dentro del floema primario, se llama protofloema a los primeros elementos que maduran; los que se diferencian más tarde constituyen el metafloema (Frank et al., 2000 citado de Flores, 2006).

5.2.3 Estructura macroscópica y microscópica de la madera

Para estudiar la estructura macroscópica y microscópica de la madera, dada su heterogeneidad, se establecen tres planos o secciones (figura 4):

- Transversal: perpendicular al eje de la rama o tronco.
- Radial: pasa por el eje y un radio de la rama o tronco.
- Tangencial: paralela a un plano tangente al tronco, o al anillo de crecimiento.

Al examinar las tres secciones producidas en un tronco de madera, a simple vista, se pueden observar las siguientes estructuras de características fácilmente diferenciables:

CORTEZA: La apariencia externa de la corteza difiere entre las diferentes especies y puede usarse en algunos casos para la diferenciación de las especies arbóreas.

Las diferencias dependen de tres factores:

- 1. Modo de crecimiento de la peridermis.
- 2. Estructura del súber.
- 3. Cantidad y tipo de tejidos que se separan con cada peridermis (Raisman y González, 2005).

Cuando los sucesivos felógenos se forman en escamas imbricadas, las capas de corteza se desprenden en este modo y la corteza se denomina escamosa. Este tipo se encuentra en tallos jóvenes de *Pinus, Pyrus comunis* (peral) y otros. Cuando las peridermis se forman como cilindros enteros, la corteza es en anillos, por ejemplo *Clematis, Cupressus* (ciprés) y *Lonicera* (madreselva). Los *Eucaliptus* y *Platanus* son de tipo intermedio, ya que la corteza se desprende en grandes placas lisas. Existe otro tipo de corteza, fracturada, que es característica de los abetos.

Se le suele definir como la capa exterior del tronco. Tejido impermeable que recubre el liber y protege al árbol. Las células proleñosas de la corteza asumen tres funciones: 1) Proveen de soporte mecánico a la corona, 2) conducen el agua y elementos nutritivos de las raíces hasta las hojas y, 3) almacenan el alimento producido por las hojas (Raisman y González, 2005).

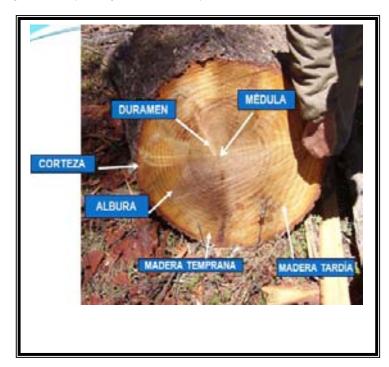
LIBER: Parte interna de la corteza. Es filamentosa y poco resistente. Madera embrionaria viva (García et al., 2003).

MÉDULA: Parte central del árbol. Constituida por tejido flojo y poroso. Tiene un diámetro muy pequeño. Madera vieja y normalmente agrietada (García *et al.,* 2003).

DURAMEN: Es leño biológicamente inactivo, con funciones de sostén, que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura, generalmente es de estructura más compacta y de coloración mas oscura que la albura, y se define como las capas internas de la madera sin células vivas y en el cual el material de reserva (almidón), ha sido removido ó transformado en sustancias del duramen. Constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y resistencia (debido al proceso de lignificación). La duraminización (transformación de albura a duramen) de la madera se caracteriza por una serie de modificaciones anatómicas y químicas, oscurecimiento, aumento de densidad y mayor resistencia frente a los ataques de los insectos (Jiménez *et al.*, 2000).

16

ALBURA: Se encuentra en la parte externa del tronco, bajo la corteza. Constituida por tejidos jóvenes en período de crecimiento. Contiene mucha savia y materias orgánicas. De coloración más clara que el duramen, más porosa y más ligera, con mayor riesgo frente a los ataques bióticos. La albura contiene células vivas y material de reserva y se le define



como la parte del leño naturalmente más expuesta a la alteración total o parcial, cuando el árbol ha sido abatido. La albura conduce gran cantidad de agua y de sales en solución, de la raíz a las hojas; provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias de almacenaje (Hook et al., 1972 citado de Jiménez et al., 2000).

En la mayoría de los árboles la parte interna del leño (albura) cesa su actividad conductora y sus células vivas (parenquimáticas) mueren, pasando a ser parte del duramen, debido fundamentalmente a ciertos cambios:

- Desintegración del protoplasma.
- Reforzamiento de las paredes con más lignina.
- Acumulación en el lumen o impregnación de las paredes con sustancias orgánicas e inorgánicas: taninos, aceites, gomas, resinas, colorantes, compuestos aromáticos, carbonato de calcio, silicio.
- Bloqueo de vasos con tílides (Raisman y González, 2005).

En ocasiones, una fuerte helada inhibe los procesos metabólicos de la albura necesarios para pasar a duramen, impidiendo que este último se forme. Esta circunstancia supone que dentro del duramen se puede encontrar una zona anular sin colorear que recibe el nombre doble albura (García et al., 2003).

La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. Así, en las frondosas aparecen los thyllos (tílides) - expansiones vesiculares procedentes de las células de parénquima-, que penetran en los vasos próximos obturándolos en mayor o menor grado. En las coníferas las punteaduras areoladas se cierran y los toros son absorbidos hacia la abertura, quedando pegados a ellas por ciertas secreciones. Por el contrario, en la madera de albura permanecen en medio de la cámara de la punteadura permitiendo el paso de fluidos (García *et al.*, 2003).

Además de estas modificaciones anatómicas, en la formación de duramen, se producen algunos procesos químicos, que son importantes.

En las coníferas el duramen coloreado contiene mucha más resina y aceite, que penetran por los intersticios de la pared celular. Esta impregnación reduce con su presencia la hinchazón y la merma, así como la penetración de líquidos.

Además contiene sustancias solubles tales como hidratos de carbono, polisacáridos, alcaloides y taninos, que al oxidarse

le dan su característico color oscuro (García et al., 2003).

En las frondosas los fenómenos químicos, que acompañan la formación de duramen, son parecidos a los de las coníferas

y en general más complejos. El duramen contiene igualmente sustancias solubles en agua como taninos o materias

colorantes y también con frecuencia sustancias minerales como carbonato, oxalato cálcico y ácido silícico (García et al.,

2003).

La duraminización protege a la madera contra los ataques de los hongos, por el taponamiento de las punteaduras y la

impregnación de los tejidos con sustancias que tienen un cierto valor antiséptico. Esto es una ventaja para el empleo

natural de la madera, constituye sin embargo un inconveniente para su impregnación artificial o su tratamiento con

productos químicos. En resumen, la madera de duramen no sólo es más oscura en ocasiones, sino que también es más

densa y resistente a los ataques de insectos, mientras que la zona exterior del tronco, es decir la albura, es más clara,

más porosa, blanda y en ocasiones menos valiosa. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos físicos, la

albura es más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica.

Por ello, y siendo el proceso de duraminización un proceso que se produce con los años, se prefieren las maderas

jóvenes en la industria desintegradora (García et al., 2003).

CÁMBIUM: Capa existente entre la albura y la corteza. Es una capa delgada de células vivas, generadora del

crecimiento en espesor del árbol (xilema y floema). Constituye la base del crecimiento en especial del tronco, generando

dos tipos de células:

1. Hacia el interior: Madera (albura)

Hacia el exterior: Liber

RADIOS LEÑOSOS: Bandas o láminas delgadas de un tejido, cuyas células se desarrollan en dirección radial, o sea,

perpendicular a los anillos de crecimiento. Ejercen una función de trabazón. Almacenan y difunden las materias

nutritivas que aporta la savia descendente (igual que las células de parénquima). Contribuyen a que la deformación de la

madera sea menor en dirección radial que en la tangencial. Son más blandos que el resto de la masa leñosa. Por ello

constituyen las zonas de rotura a comprensión, cuando se ejerce el esfuerzo paralelamente a las fibras (García et al.,

2003).

CANALES RESINÍFEROS: Se encuentran tanto en el sistema horizontal como vertical. Se forman de modo esquizógeno,

es decir por separación de células (Raisman y González, 2005). Estos vasos resiníferos pueden estar dispersos, agrupados

o ausentes en el anillo de crecimiento. La exudación de resina de estos ductos en tejido dañado ayuda a proteger al

árbol del ataque posterior de insectos o enfermedades (Villanueva y Cerano, 2004). En las especies de Pino son grandes

y se encuentran tapizados por células epiteliales de paredes delgadas (Raisman y González, 2005)

LEÑO O TEJIDO LEÑOSO: Forma la mayor parte del tronco y presenta diferencias, fácilmente apreciables en las

coníferas y en algunas frondosas. Entre estas diferencias está la debida a los anillos de crecimiento, anuales en las

18

plantas de la zona boreal y estacionales en las plantas de la zona tropical con estaciones climáticas marcadas (García *et al.*, 2003).

En la **SECCIÓN TRANSVERSAL** dentro de cada anillo de crecimiento se distinguen, más o menos fácilmente madera de verano y madera de primavera.

ANILLOS ANUALES: Cada anillo corresponde al crecimiento anual, consta de dos zonas claramente diferenciadas: Una formada en primavera: Predominan en ella los vasos gruesos que conducen la savia bruta hasta las hojas (tejido vascular) (García *et al.*, 2003). Las traqueidas son anchas y poseen paredes celulares delgadas, de constitución porosa, con baja densidad y de tonalidad brillante (Villanueva y Cerano, 2004). Y la otra que se forma en verano: Tienen los vasos más pequeños y apretados. Sus fibras forman el tejido de sostén. Color oscuro denso y fibras de paredes gruesas (García *et al.*, 2003).

En las coníferas, la diferencia está marcada principalmente por el color. Muchos árboles producen un anillo por año, debido al rápido crecimiento en primavera y verano y al escaso crecimiento que tiene lugar en otoño e invierno. El anillo es más ancho en un año más cálido. En los anillos de crecimiento estacional, las diferencias de porosidad, debidas a la distribución de vasos, parénquima o grosor de las paredes de las fibras, corresponden a las estaciones secas o lluviosas de la zona. En zonas tropicales (o en las zonas donde no se producen, prácticamente, variaciones climáticas con los cambios de estación, y la actividad vital del árbol es continua), no se aprecian diferencias entre las distintas zonas de anillos de crecimiento anual. Su suma, son los años de vida del árbol. Debido a la forma tronco-cónica del árbol, los

Fugura 5. Estructura celular de la madera de gimnospermas

Fugura 5. Estructura celular de la madera de gimnospermas (coníferas) (Fritts, 1976 citado de Villanueva y Cerano, 2004).

anillos anuales se deben contar en el tronco, en zona más próxima a las raíces (García *et al.*, 2003).

En la **SECCIÓN TANGENCIAL** pueden observarse los radios leñosos cuando son gruesos o de color diferente, así como las estrías que producen los vasos cuando son de gran diámetro. El parénquima leñoso es también una estructura que aparece fácilmente visible en algunas especies en sus secciones tangenciales, como por ejemplo en el olmo, y en muchas especies tropicales. Igualmente, en la sección tangencial y en el caso en que los elementos estén distribuidos en pisos, se observa una figura especial llamada carda. Finalmente y discurriendo por el eje del árbol y en su centro, se encuentra la médula (figura 5).

SECCIÓN RADIAL, pueden observarse, tanto los anillos de crecimiento como los radios leñosos cuando exista diferencia de color con los tejidos. Los radios leñosos unas veces son más oscuros, y otras veces más claros. Cuando los radios leñosos son muy delgados o de color prácticamente igual al resto de los tejidos, no son visibles. Por el contrario, son prácticamente invisibles en las coníferas y en ciertas frondosas, como por ejemplo el abedul, chopo, debido a lo delgados que son y lo poco diferenciado de su color (García *et al.*, 2003) (figura 5).

5.2.4 Formación de un anillo de crecimiento anual

La actividad fisiológica del *cambium* vascular –tejido responsable del crecimiento secundario o crecimiento en grosor de los vegetales- se caracteriza en determinadas especies por ser temporalmente discontinúa y estructurarse en un período de latencia o dormancia, al que sigue otro de actividad en el que se crean nuevas células que se incorporan al fuste de la planta. Este periodo presenta a su vez dos momentos bien diferenciados: uno de plena actividad que da lugar al xilema temprano (células anchas, de paredes poco lignificadas y tonalidad clara) y otro de progresiva ralentización que da la detención a origen al xilema tardío (células estrechas, más lignificadas y de tonalidad más oscura). Ambas bandas de células xilemáticas conforman un anillo de crecimiento (Santana, 1999).

El tejido leñoso está constituido principalmente por traqueidas, elementos imperforados con puntuaciones areoladas. En un anillo de crecimiento se distingue el leño temprano formado por traqueidas, son de mayor diámetro y el leño tardío caracterizado por la presencia de fibrotraqueidas, de paredes gruesas, lumen reducido y puntuaciones areoladas con abertura interna alargada (figura 6).

Las traqueidas y fibrotraqueidas miden entre 0.1 a 11 mm de longitud. Los radios medulares son típicamente uniseriados, formados por una hilera de células. Pueden estar constituidos sólo por células parenquimáticas, como en los radios homocelulares, o también por traqueidas cortas, dispuestas en forma horizontal, como en los radios heterocelulares. El área de contacto entre un radio y las traqueidas del sistema vertical se denomina campo de cruzamiento; en tipo de puntuaciones, su número y distribución son caracteres importantes para la identificación de las maderas de Gimnospermas. Cuando presentan un canal resinífero los radios se denominan fusiformes (figura 7).

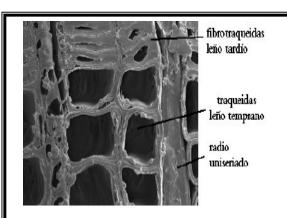


Figura 6 Detalle de la zona límite entre el leño temprano y el leño tardío de un corte transversal de Pino, MEB, 1500x (Fahn, 1974).

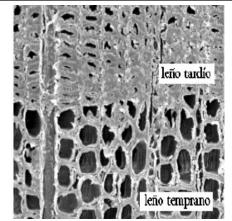
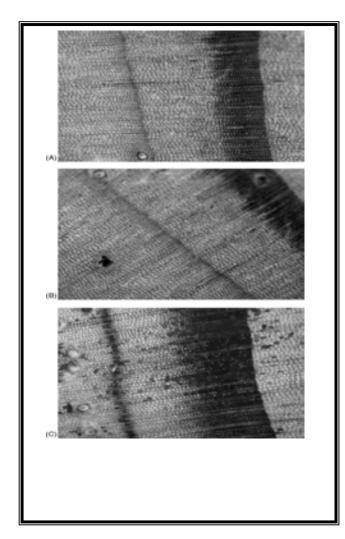


Figura 7. Corte transversal de madera de Pino con menor aumento. MEB 800x (Fahn, 1974).

5.2.5 Tipos de anomalías en anillos de crecimiento

Anillo falso: El momento del año en que el cambium entra en actividad, el lapso de tiempo durante el que está activo y el momento de su detención estacional, son fenómenos fisiológicos producto de una compleja combinación de variables endógenas y exógenas que, en su conjunto, determinan ciertas características estructurales (anchura, y densidades de los leños temprano y tardío) únicas del año formando en un determinado ciclo de crecimiento, mal llamado a priori "año" (Santana, 1999).



Al respecto la S.E.C.F (2005) define un anillo falso como un segundo o posterior anillo de crecimiento con células de madera tardía, causado por la interrupción del crecimiento dentro del periodo vegetativo debido a sequía, defoliación, heladas tardías, etc. (figura 8).

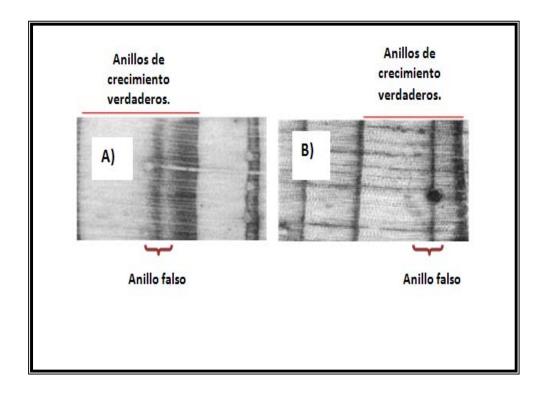
Dentro de las variables de influencia exógenas, en determinados entornos climáticos en los que la variabilidad interestacional en los valores de precipitación y temperatura es cíclica y lo suficientemente intensa, los periodos de actividad e inactividad del cámbium pueden llegar en gran medida a depender de dicha variabilidad. Consecuentemente, no sólo las características estructurales de cada anillo entran en estrecha relación con los valores de precipitación y temperatura alcanzados a lo largo del año, sino que los integrantes de aquella población forestal sometida a tales condiciones de vida presentarán crecimientos en grosor sincrónicos, con los que la variabilidad interanual en las características estructurales de los anillos de cada individuo será en gran medida similar (Santana, 1999).

Este último extremo es, en sí mismo, la base fundamental de la Dendrocronología puesto que la consecución de esa serie media perfectamente datada requiere previamente de una compleja validación gráfica y estadística de las series de crecimiento individuales denominada sincronización o comparación cruzada. Este proceso persigue el doble objetivo de, por un lado, identificar las pautas comunes en el crecimiento presentes en aquellas series con las que se pretende construir la cronología; y, por otro, detectar las posibles anomalías en el crecimiento que puedan presentar dichas series. A este respecto, es común encontrar árboles que en un determinado ciclo de crecimiento no han crecido en parte

o la totalidad del fuste (con lo que se estaría hablando de anillos faltantes) o que presentan más de un ciclo de crecimiento al año (bandas de crecimiento intraanual) (Santana, 1999).

Los anillos falsos aparecen como bandas angostas de traqueidas de paredes gruesas (madera tardía) rodeada por ambos lados de paredes delgadas y traqueidas de diámetro amplio (madera temprana) (Kuo and McGinnes, 1973) (figura 9).

Las fronteras entre las células de las maderas tempranas que siguen a los anillos falsos (figura 9), exhiben un incremento gradual en diámetro celular y una disminución en el grosor de la pared celular que el cambio abrupto en el diámetro celular asociado con un verdadero límite del anillo (Fritss, 1976 citado de Copenheaver et al., 2006).



Este núcleo de cedro rojo es difícil de leer de manera precisa, porque contiene muchos anillos falsos, los cuales pueden confundirse con anillos de crecimiento verdadero y puede ser difícil intentar aplicar su sincronización utilizando patrones de anillos de crecimiento (ver figura 10). Los anillos falsos son definidos como bandas de la zona de madera tardía, seguidas de la zona madera temprana, constituidas por anillos de crecimiento verdadero en los límites de la zona de madera tardía. Éstos son causados por condiciones de estrés durante la estación de crecimiento las cuales son lo suficientemente significativas para inducir cambios en el tamaño y apariencia de los anillos. Afortunadamente, con identificarlos series adecuadas de anillos falsos usualmente se puede (http://www.yale.edu/fes519b/saltonstall/page2.htm#tree%20ring%20intro).



Figura 10. Núcleo de cedro rojo que muestra anillos falsos en su cronología (http://www.yale.edu/fes519b/saltonstall/page2.htm#tree%20ring%20intro).

Anillo anual múltiple:

Crecimiento anual del xilema cuando se forman anillos anuales falsos (S.E.C.F., 2005) (figura 11).

Figura 11. Núcleo que contiene muchos anillos localmente ausentes y encimados entre sí, la cual no fue sincronizada, por lo cual cabe resaltar, que no todas las muestras de anillos de crecimiento se pueden fechar (foto propuesta por H.C. Fritts).

Anillo discontinúo o difuso:

Un anillo de crecimiento que presenta discontinuidades de su perímetro debido a partes en las que el cámbium estaba en reposo vegetativo (S.E.C.F., 2005) (figura 12).

Anillo doble:

Crecimiento anual en grosor que comprende dos anillos (S.E.C.F., 2005).

Anillo suprimido :

El crecimiento de las regiones de madera tardía o temprana puede desarrollar una banda contraria a la región, quedando esta última entre las regiones verdaderas (Fritts 1976).

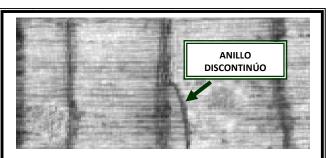
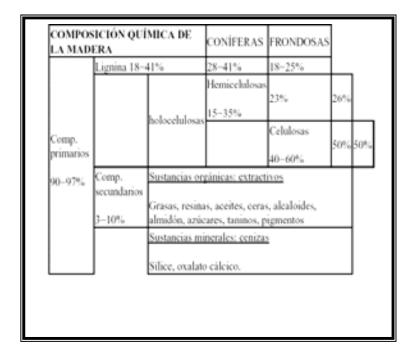


Figura 12. Foto que contiene cuatro anillos de crecimiento, de los cuales sólo tres tienen crecimiento verdadero; de manera evidente en el segundo anillo verdadero, se muestra un anillo discontinuo o "localmente ausente". La muestra se encuentra fechada, no obstante, no se consideraron las anomalías expresadas en la misma muestra (foto propuesta por P.R. Sheppard).

5.2.6 Composición química de la madera

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosas) y ligninas, que están presentes en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad, y las sustancias minerales (ver figura 13). La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas de coníferas y latifolias, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas (Browning, 1967; Fengel *et al.*, 1984). La madera está formada por componentes estructurales y no estructurales, los estructurales son los que componen la pared celular y los no estructurales son denominados como sustancias extraíbles (Bland, 1985).



La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol, en la madera de la albura y duramen, en dirección radial y longitudinal. Los parámetros edafoclimáticos influyen en la composición química, así, se presentan diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas con las que provienen de zonas tropicales (Fengel et al., 1984).

Componentes de la pared celular de la madera.

A) Celulosa.

La celulosa es el homopolisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera (figura 14), es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo, siendo el principal componente de la pared celular (Fengel *et al.*, 1984).

La celulosa consiste en unidades de anhidro- β - D(+) glucopiranosa en conformación C_1 , unidos por enlaces glicosídicos β -1-4, por lo que se puede describir como un polímero lineal de glucanos. La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa (disacárido) con una longitud de 1.03 nm (Fengel, et al., 1984).

El grado de polimerización es del orden de los 15,000, lo que equivale a una masa molar en el orden de los 2,3 millones. Debido al tipo de enlace (R-1-4) la molécula de celulosa tiene una forma lineal, estabilizada por la formación de numerosos puentes de hidrógeno intracadenales e intercadenales. Entre 40 y 70 moléculas se encuentran agrupadas en fibrillas elementales de un espesor de 3,5 y 7,5 nm y una longitud de varios μ m. En ellas las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indica que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla. En estos agregados las moléculas de celulosa no están unidas covalentemente, estabilizados su estructura solamente por puentes de hidrógeno (C_3 - C_6) y (C_2 - C_5), que aunque muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura muy firme y poco sensible a la degradación (Guardiola *et al.*, 1995).

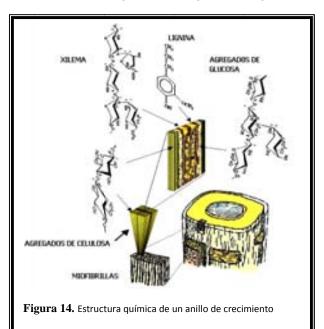
Las microfibrillas construyen las macrofibrillas y éstas a su vez las fibras de celulosa (Browning, 1987; Sjöstrom, 1981).

B) Hemicelulosa

Las poliosas o hemicelulosas son heteropolisacáridos de alta masa molar, que se encuentran constituidos por diferentes unidades de monosacáridos: pentosas, hexosas y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas.

Pueden ser clasificadas como pentosanos y hexosanos, aunque también se clasifican en dependencia de su origen, su composición estructural y solubilidad en álcalis (Tanner y Loewus, 1981).

Las maderas están conformadas por azúcares neutros de seis átomos de carbono: glucosa, manosa, galactosa y de cinco átomos de carbono: la xilosa y arabinosa. Algunas poliosas contienen adicionalmente ácido urónico. Se pueden encontrar los mananos, glucomananos, glucanos, xiloglucanos, ramnogalactouronanos, y en los xilanos encontramos los



arabinoxilanos y O-acetil- 4- O- metilglucuronoxilano (Tanner y Loewus, 1981). Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido – polisacárido.

El contenido de poliosas varía radialmente en la madera aumentando hacia el centro y variado en su composición de azúcares (Fengel *et al.*, 1984).

El tipo y contenido de hemicelulosas presentes en la madera varía con la especie, la edad, parte del árbol, y en muchas especies su regularidad está relacionada con criterios taxonómicos.

Las hemicelulosas de las coníferas no son las mismas que las de las latifolias, siendo las de las coníferas más complejas. Diferencias existen también entre las hemicelulosas del tronco, de las ramas, de las raíces y de la corteza del propio árbol, así como diferencias en cuanto a contenido y composición entre la madera de compresión, tensión y normal.

Las hemicelulosas son importantes en la madera y su localización cobra singular significación, pues todas las células contienen de 50-60% de carbohidratos a excepción de las células del parénquima de las latifolias que pueden llegar a poseer hasta 80% de O-acetil-4-O-metilglucuronoxilano.

Se conoce que las hemicelulosa se encuentran a lo largo de toda la pared celular, desde la lámina media, hasta la capa S₃ de la pared secundaria. Las hemicelulosas presentes en estas paredes son: ß (1-3), ß (1-4) glucanos, calosa ß (1-3), que normalmente se encuentran en pequeñas cantidades y se acumulan como respuesta a una lesión o durante la deformación de las placas cribosas en el floema (Guardiola, 1995; Fueller, 1996)

La función de las hemicelulosa en la madera parece ser el intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas y la celulosa, mas suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Walls (Fueller, 1996).

C) Lignina

La lignina es una macromolécula componente de la madera, de naturaleza polímera especial, formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos (alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), en reacción catalizada por enzimas vía radicales libres. Las unidades de fenil propano (C₉) se unen por enlaces C-O-C y C-C, presentando en su estructura grupos hidroxilos, carbonilos, metoxilos y carboxilos (figura 14).

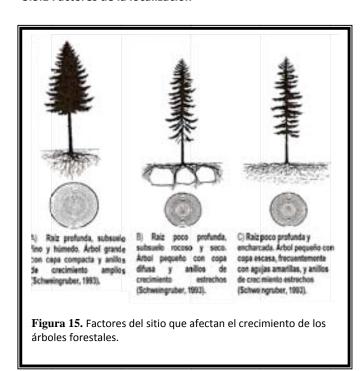
Las ligninas son fracciones no carbohidratadas de la madera libre de extraíbles, extremadamente complejas y difíciles de caracterizar. Constituyen un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente. Las ligninas de la madera se clasifican en lignina de madera de coníferas, lignina de madera de latifolias (Carballo, 1990).

La madera de coníferas presenta ligninas del tipo G-H con 85-90% de unidades aromáticas de guayacil mientras que la madera de las latifolias presenta ligninas del tipo G-S en razón de 1:5 aproximadamente (Carballo, 1990).

Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén. Su composición depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc. (Browning, 1967; Carballo, 1989). Esta sustancia amorfa es localizada como componente de la lámina media y también en la pared secundaria. Durante el desarrollo de la célula, la lignina es incorporada como último componente de la pared celular interpenetrando las fibrillas y fortaleciendo la pared celular (Fengel *et al.*, 1984).

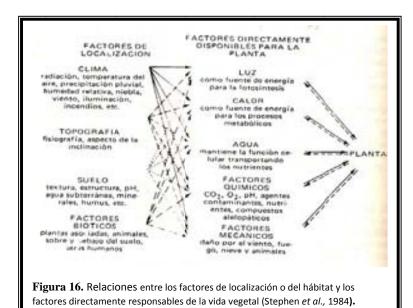
5.3 MEDIO AMBIENTE FORESTAL

5.3.1 Factores de la localización



Los árboles crecen con su corona en la atmósfera y sus raíces en el suelo. A la corona llegan el calor, la luz, el dióxido de carbono y el oxígeno mientras que a la raíz llegan los nutrimentos minerales y el agua necesaria para la fotosíntesis y otros procesos vitales. Estos son los elementos básicos que debe abastecer la localización. Sin embargo, su disponibilidad para cada árbol depende de un sistema de relaciones infinito de cambios climáticos, duración del día y evolución del suelo; muchos de estos factores se encuentran relacionados en parte con las características de la vegetación propia del lugar (ver figura 15).

5.3.2 Clasificación de los factores de localización



Para su estudio y comprensión los factores simples de la localización pueden ser divididos en grupos amplios, los cuales pueden ser considerados separadamente. Los factores de localización que interactúan para abastecer la luz, el calor, el agua, etc., están directamente disponibles y son utilizados por la planta.

Los factores climáticos son aquellos relacionados con la atmósfera en la cual crecen las partes aéreas de los

árboles. La precipitación, sea en forma de lluvia o nieve, no es un factor normalmente un factor climático de importancia directa ya que afecta el crecimiento de la planta primariamente a través de un efecto indirecto sobre la humedad del suelo. Los factores del suelo incluyen todas las propiedades físicas, químicas y biológicas del piso forestal. La naturaleza

del material original, el perfil del suelo, la flora y la fauna del suelo, el ciclo de los nutrimentos entre el suelo y los árboles, y las relaciones suelo-humedad y suelo-aire son particularmente importantes para determinar la calidad del suelo. Los factores biológicos incluyen los efectos de las otras plantas y los animales, tanto superiores como microscópicos, sobre el clima y el suelo, y por lo tanto, sobre la calidad de este último (figura 16).

A) RADIACIÓN SOLAR

Intercepción de la radiación solar

Del sol proviene, directamente o indirectamente, la luz que hace posible la fotosíntesis y el calor que calienta el aire y el suelo hasta el punto en que permite que continúen los procesos vitales de las plantas. De la atmósfera proviene en el oxigeno, el dióxido de carbono requerido para el proceso fotosintético y mucha de la humedad que necesita el árbol. Los gases absorben muy poca radiación solar, mientras que los sólidos y los líquidos lo hacen en grandes cantidades. Así, la mayor parte del calor de la atmósfera proviene de la conducción que se produce desde la tierra hasta el aire en su capa de contacto. El movimiento de la atmósfera afecta profundamente la distribución de este aire caliente y de los gases activos, y el viento, es por supuesto, un factor primordial que gobierna tanto el desarrollo del árbol como la distribución de la vida. Finalmente, la radiación solar gobierna en última instancia la temperatura del aire, y determina, por lo tanto, indirectamente, las condiciones térmicas alrededor y dentro de la planta.

La radiación solar que alcanza la parte exterior de la atmósfera es disipada de muchas formas, siendo en parte reflejada y en parte absorbida por la misma atmósfera, las nubes, otras partículas sólidas de la atmósfera, la vegetación y finalmente por la tierra. Las nubes, por supuesto, reflejan la mayor parte de la luz pero la dispersión y la reflexión de la superficie terrestre también son importantes. En días nublados gran parte de esta es retenida por la capa de nubes de tal manera que los días son relativamente cálidos (Stephen *et al.*, 1984).

La luz y el crecimiento de los árboles

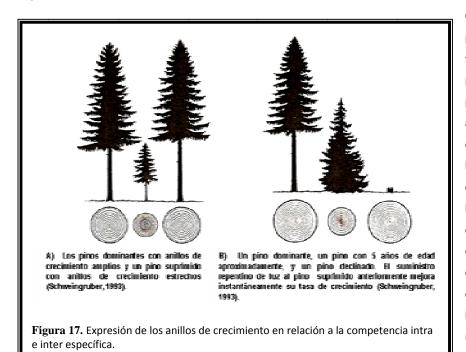
La importancia más obvia de la radiación solar en los árboles forestales descansa en la dependencia de la vida sobre la fotosíntesis y la dependencia que a su vez tiene la fotosíntesis de la luz. Como la clorofila es verde, este pigmento da color al follaje, esta refleja el mayor porcentaje de radiación de longitud de onda verde que azul-violeta o las longitudes de onda largas correspondientes al amarillo-rojo. Para los árboles forestales bajo condiciones óptimas, el punto de compensación de la luz se presenta entre el 1 y el 2 por ciento de absorción de la luz solar total (IR). Las plantas pueden sobrevivir durante periodos de tiempo considerables con las reservas alimenticias acumuladas después de que las condiciones del medio ambiente se desarrollan hasta el punto en que la respiración excede a la fotosíntesis. Otros factores que afectan la capacidad relativa de las diferentes especies para competir bajo condiciones dadas de luz son el color, la forma y el arreglo de las hojas; estos factores regulan la cantidad de luz que llega a la clorofila.

En general, al menos el 20 por ciento de la luz solar total se requiere para la supervivencia durante un periodo de varios años, esta cantidad varía con las especies y con las condiciones de crecimiento.

El marcado efecto de la luz reducida al disminuir el crecimiento de las raíces tiene una mayor importancia cuando se quiere explicar el crecimiento y supervivencia de las plantas en el sotobosque. Bajo un bosque que está creciendo, la competencia de las raíces reduce sustancialmente la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas de semillero (Stephen *et al.*, 1984).

Luz y morfología del árbol

Las plantas que crecen bajo condiciones de sombra desarrollan una estructura y una apariencia diferente de las mismas plantas que crecen bajo la luz solar total. Estos cambios morfológicos son importantes ecológicamente para comprender la capacidad que tienen las especies estudiadas de ajustarse a las condiciones sombreadas y a la reacción de estas plantas cuando subidamente se produce un cambio de dichas condiciones, como en el caso de una apertura del dosel (figura 17).



Como es el la hoia principal órgano fotosintético del árbol y lo tanto, presumiblemente la más afectada por los cambios en la radiación y la luz. La hoja de sombra típica se caracteriza por mantener la fotosíntesis cuando está eficientemente protegida los de efectos deteriorantes del exceso de luz. Por otro lado, las hojas de sombra requieren menos luz en el punto de compensación,

forma que pueden sobrevivir naturalmente y mostrar una fotosíntesis neta con muy poca luz. Típicamente las hojas de sombra son más delgadas y se presentan marcadamente menos lobuladas; este desarrollo produce una mayor superficie por unidad de peso, una epidermis más fina, menos palisadas, más espacios intercelulares y parénquima esponjoso, menos tejido conductivo y de soporte, y pocos estomas comparados con las hojas del sol del mismo árbol.

Cuando las hojas de sombra se les exponen repentinamente a la luz total, como sucede después de una apertura parcial en el dosel, frecuentemente son incapaces de sobrevivir. Esta falla puede deberse en parte a la excesiva pérdida de humedad y en parte al exceso de luz que llega a los cloroplastos. La supervivencia de las ramas depende del desarrollo de un nuevo grupo de hojas con características anatómicas que se ajustan al nuevo juego de condiciones del medio ambiente (Stephen *et al.*, 1984).

❖ Fotocontrol de la respuesta vegetal

El crecimiento y desarrollo de todas las partes de la planta, incluyendo la elongación del tallo, el desarrollo de las raíces, el estado latente, la germinación, la floración y el desarrollo de los frutos están sujetos al mismo fotocontrol causal por medio del cual se absorbe la luz por un sistema de pigmentos reversibles de la planta. Este sistema es la base fisiológica de la fotoperiodicidad, la cual, como ha sido demostrado repetidamente, afecta el ritmo estacional, el tiempo correcto y a la cantidad de crecimiento del árbol. El fotoperiodismo es la respuesta de la planta a la longitud relativa del día y de la noche, y los cambios en las relaciones a través del año (Stephen *et al.*, 1984).

B) TEMPERATURA

Se puede definir a la temperatura como la medida de la cantidad de energía de un objeto. La radiación solar es la fuente de calor que controla el régimen de la temperatura en las capas cercanas a la tierra. Por su parte, la radiación terrestre y los movimientos del aire afectan el nivel y distribución de la temperatura (Stephen *et al.*, 1984).

Temperaturas en la superficie del suelo

El calor específico y la conductividad térmica de los materiales superficiales son aparentemente los factores físicos involucrados más importantes. Sin embargo, dentro de todos ellos la velocidad del viento es la más importante.

La temperatura exacta a la que llega la superficie del suelo depende del grado de absorción de la energía solar y del grado en el cual se disipa una vez absorbida, la cual a su vez depende primariamente de la cantidad de vegetación y la cubierta de humus, y solo secundariamente del color, el contenido de agua y otros factores físicos propios del suelo (Stephen *et al.*, 1984).

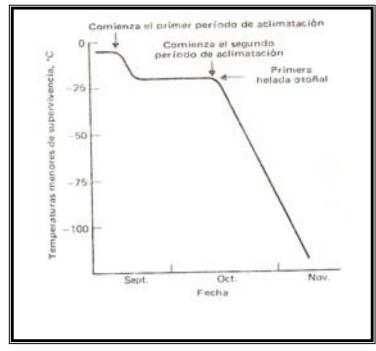
Temperaturas dentro del bosque

Dentro del bosque, la cubierta de luz de la corona y los árboles sin follaje, como en el caso de los árboles de hojas caducas durante la estación de deshoje, tienden a reducir el movimiento del aire mientras que permiten que la radiación solar penetre la canopia. Bajo tales condiciones la temperatura media del aire puede ser más alta dentro del bosque que fuera del mismo.

Cuando los árboles tienen todas las hojas, los cambios extremos dentro del bosque son generalmente menores que en el exterior y la disminución de la radiación dentro del bosque puede dar como resultado un descenso de las temperaturas medias anuales (Stephen *et al.*, 1984).

Fríos invernales y reanudación del crecimiento

La aclimatación o la resistencia son términos utilizados para describir el cambio que sufren las plantas de una condición suculenta (tierna) a una dura o estado latente.



Se reconocen normalmente tres etapas de estado latente: pausa temprana (preestado latente), pausa invernal (verdadero estado latente) y pausa posterior (post-estado latente). Los días cortos actúan como un temprano sistema de aviso provocando el cese del crecimiento e iniciando los cambios metabólicos característicos de la pausa temprana primera etapa aclimatación. Estos cambios facilitan otras respuestas vegetales en la segunda etapa de aclimatación (que también está acompañada por cambios metabólicos) que es activada por la helada. La tercera etapa de aclimatación y obtención del

verdadero estado latente es un proceso puramente físico y es inducido por las bajas temperaturas de -30ºC a -50ºC (Figura 18).

Los brotes y semillas de muchas especies leñosas de la zona templada requieren un periodo de fríos invernales o estratificación (semillas) antes de que se reanude el crecimiento en primavera. La naturaleza del estado latente y el enfriamiento requerido pueden variar con la raza local de las especies (Stephen *et al.*, 1984).

C) HUMEDAD ATMOSFÉRICA

El agua es la sustancia inorgánica más necesaria para las plantas y se encuentra presente en éstas en grandes cantidades. La fuente principal de agua que tiene el árbol, es por supuesto, el suelo, por medio de la humedad que hay en el mismo. La cantidad de humedad en la atmósfera es importante, sin embargo, actúa en forma indirecta debido a que aporta la mayor parte de la humedad del suelo y, afecta el grado de pérdida de agua de las hojas en el proceso de transpiración. También el follaje puede absorber directamente el agua abastecida por el rocío, la lluvia o la niebla. La precipitación pluvial como tal no es factor que influya directamente sobre el crecimiento de las plantas considerando globalmente las condiciones del medio ambiente. La lluvia, la nieve y otras formas de precipitación tienen, en forma indirecta, una gran importancia al restablecer humedad del suelo y de esta forma influir en el crecimiento vegetal a través de un efecto posterior. La precipitación también transporta, por arrastre, iones activos que pueden ser utilizados por el árbol por medio del ciclo de nutrimentos. Aunque se presentan en algunos casos situaciones en las cuales la precipitación influye directamente en el crecimiento vegetal, se encuentra que en otros –particularmente cuando se produce en forma de nieve y nevisca- produce importantes daños a los árboles (Stephen *et al.*, 1984).

D) VIENTO

La turbulencia y el movimiento del aire tienen muchos efectos sobre la distribución y el crecimiento de las especies arbóreas:

- El movimiento del aire regula en gran medida la evapotranspiración de la superficie de las hojas, disminuyendo el grosor de la capa limítrofe e incrementando el intercambio gaseoso. Así, el viento ejerce una influencia sobre el régimen de agua de la planta y al mismo tiempo ayuda a enfriar las hojas.
- Hace circular las pequeñas cantidades de dióxido de carbono hacia la superficie de las hojas, haciendo posible la fotosíntesis, y puede también distribuir sales y compuestos volátiles y contaminantes atmosféricos que pueden dañas o destruir el bosque y los cultivos agrícolas.
- Vientos continuos de una sola dirección pueden ejercer una fuerte influencia sobre la morfología y tamaño de las coronas de los árboles.

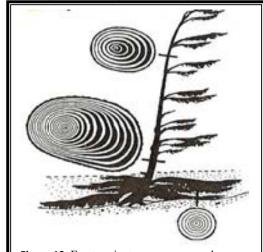
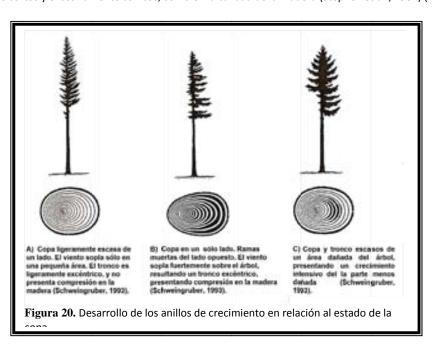


Figura 19. Fuertes vientos provocan que los árboles presenten troncos excéntricos. Las coníferas forman compresión en la madera del lado en que sopla el viento (Schweingruber, 1993).

La desviación causada por el viento puede influir tanto en la forma del árbol, provocando la aparición de troncos cortos y excesivamente cónicos, como en la calidad de la madera (Stephen *et al.*, 1984) (figura 19).



El viento causa muchos tipos de daños a las raíces, incluyendo roturas, desgarramientos y abrasiones (friccionando las raíces a lo largo de las superficies rocosas) que proveen una vía de acceso en estas zonas para la proliferación de hongos (figura 20).

- El viento es una causa importante de la rotura de los tallos, ramas y la mortalidad subsecuente (figura 21).
- Finalmente, el viento es esencial para la diseminación del polen y las semillas de muchas especies forestales (Stephen *et al.*, 1984).



Figura 21. Vientos extremos inducen la interrupción del crecimiento del árbol (Schweingruber, 1993).

E) CLIMA



El clima es originado por la interacción de la radiación solar y la capa atmosférica que rodea la tierra. Se define el clima como un conjunto de fenómenos metereológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una región de la superficie terrestre.

El crecimiento del árbol y específicamente la actividad cambial están influenciados significativamente por el clima y factores atmosféricos. Sin embargo, las características de cada especie están restringidas por factores bióticos y abióticos del medio ambiente en que se encuentran dichas especies (figura 22).

- Región de alta precipitación: Las anchuras de las secuencias de los anillos de crecimiento varían ligeramente, presentando un mayor aumento en el número de células de la madera tardía.
- Región de mínima precipitación La secuencia de los anillos de crecimiento es extremadamente variable (Schweingruber, 1993).

F) SUELO

El drenaje, profundidad y el suministro de nutrientes determinan la tasa de crecimiento de los anillos anuales considerablemente (Schweingruber, 1993).

5.4 CONCEPTO DE DENDROCRONOLOGÍA, DENDROCLIMATOLOGÍA Y DENDROECOLOGÍA

El fechado de anillos de crecimiento es el principio fundamental de la Dendrocronología. Esta aplicación se deriva de un tipo de control experimental porque asegura un adecuado acomodamiento de las capas de células del crecimiento a lo largo del tiempo (Fritts, 1976).

La Dendrocronología (dentro = árbol, cronos = tiempo, logos = el estudio de) puede definirse como la ciencia que, a través de una serie de análisis individuales de anillos de crecimiento de ciertas especies vegetales leñosas, obtiene como resultado una cronología o serie media representativa de la historia vital de una población forestal en la que el dendrocronólogo ha adjudicado a cada uno de los anillos que la integran, el año de su formación de manera inequívoca (Santana, 1999). Esta disciplina utiliza las variaciones del crecimiento radial para conocer la historia de un sitio, determina el impacto de los cambios en el medio ambiente, a través de los anillos de crecimiento, diferencias estructurales y cambios en la dinámica poblacional (Génova, 2003).

La *Dendroclimatología* constituye una disciplina específica que permite seleccionar y obtener la información de carácter climático contenida en la variabilidad de los datos dendrocronológicos; para ello se requiere que estos datos procedan de un conjunto amplio de ejemplares que contengan la mayor varianza común posible que se pueda relacionar con los datos climáticos. (Génova, 2003).

Por su parte Rubio y McCarthy (2004), establecen que la *dendroecología* utiliza las variaciones del crecimiento radial para conocer la calidad de un sitio, determina el impacto de los cambios en el medio ambiente, a través de los anillos de crecimiento, diferencias estructurales y cambios en la dinámica poblacional. La ventaja de la misma, es que permite un análisis enfocado hacia el pasado y al futuro, en campos diferentes como; climatología, arqueología, química, ecología, etc.

5.4.1 Principios dendrocronológicos

La dendrocronología se hace posible por el hecho de que en muchos árboles el crecimiento anual de los anillos es visible es una sección transversal, donde se exhiben diferencias en su tamaño (Stokes y Smiley, 1996 citado de Villanueva y Cerano, 2004). Se requieren cuatro condiciones para que estos crecimientos sean de utilidad en el fechado de una muestra.

- Los árboles deben presentar sólo un anillo para cada estación de crecimiento. No se pueden usar especies que agreguen más de un anillo anual durante una estación de crecimiento.
- 2. Aunque el crecimiento estacional total es el resultado de muchos factores interrelacionados, como genéticos y medioambientales, sólo un factor medioambiental debe dominar y limitar el crecimiento.
- 3. El crecimiento que se propicia por el factor limitante clima debe variar en intensidad de año a año, y los anillos anuales resultantes deben reflejar tal variación en su anchura de crecimiento.
- 4. La variable ambiental limitante debe ser uniforme sobre un área geográfica extensa.

5.4.2 Desarrollo de una cronología en anillos de crecimiento

La obtención de datos dendrocronológicos de interés para el análisis de las variaciones climáticas se puede desglosar en los siguientes aspectos:

Selección del sitio. Se seleccionan sitios con especímenes que posean características morfológicas específicas para desarrollar una buena cronología.

Un aspecto importante en el desarrollo de estudios dendrocronológicos es seleccionar adecuadamente el arbolado. Los árboles que mejor captan la señal climática son aquellos localizados en terrenos de ladera con poca disponibilidad de humedad, donde los individuos están más limitados para la humedad y son más susceptibles a registrar la señal climática. Los árboles que se seleccionan son aquellos con apariencia longeva, generalmente tiene la punta seca, tallo y corteza torcida en forma de espiral, copa no cónica, ramas caídas, etc.

Para cada sitio de trabajo se llena un formato para registrar información geográfica y ecológica del sitio como: coordenadas, elevación, pendiente, nombre del paraje, tipo de vegetación, especies dominantes, uso del suelo, ocurrencia de incendios, etc., datos que permitan disponer de una mejor descripción del área de trabajo, y en dado momento definir que factores climáticos antropogénicos han influido en el crecimiento del arbolado (Villanueva y Cerano, 2004).

Muestreo. La extracción de muestras en árboles vivos se realiza mediante un instrumento habitual en los trabajos forestales, la barrena de Pressler, que permite extraer sin daño un pequeño cilindro de madera desde la corteza hasta la médula (Ceballos, 2002).

El proceso para obtener un núcleo o viruta de un árbol consiste en seleccionar una parte sana y sólida en una sección del tronco, generalmente a la altura del pecho (1.35 m), conocido también como diámetro normal.

Para extraer la muestra la barrena se ubica en lo que se cree puede ser la médula (centro del árbol). Para iniciar la extracción de la viruta, la punta de la barrena se presiona firmemente contra la corteza, colocada en ángulo recto (90°), perpendicular al tronco, y el mango se gira en el sentido de las manecillas del reloj. Una vez que la punta de la barrena se fija firmemente en la madera, sólo se necesita presión girando el mango (Grissino-Mayer, 2003 citado de Villanueva y Cerano, 2004).

Preparación (montado, identificación y pulido). Los núcleos de crecimiento o virutas son porciones de madera muy frágiles, por este motivo, cuando la muestra pierde suficiente humedad (cuando seca), se monta en una moldura de madera con pegamento, ajustando herméticamente con cinta masking tape.

Cuando las muestras ya están firmes en la moldura se pulen con lijas de diferente grosor, cuyo número de grados oscilan entre 120 y 1200. En el caso de las secciones transversales, dada la irregularidad de la superficie, primero se prepulen con un cepillo eléctrico y posteriormente se trabajan con lijas de 30 y 400 grados, procedimiento que permite ver y diferenciar más claramente los anillos en la mayoría de las muestras. Sin embargo, en secciones con microanillos, la discriminación de estos se ve dificultada en distinto grado. La orientación de la muestra al momento del montado es de gran importancia, ya que de esto depende el poder observar con mayor claridad las bandas de crecimiento anual. Las células de la madera (traqueidas) deben quedar perpendiculares a los incrementos anuales (Villanueva y Cerano, 2004).

Medición y análisis de las secuencias de crecimiento. Se pueden medir diferentes variables (densidad de la madera, porcentajes de isótopos, etc.), pero la anchura o grosor del anillo es el dato que más frecuentemente se obtiene. Este proceso se realiza de forma muy precisa, tras preparar las muestras mediante cortes o lijado, mediante un equipo semiautomático y programas informáticos específicos. Estos mismos programas permiten un análisis de los patrones de crecimiento de las secuencias temporales y, en su caso, de las perturbaciones que pueden modificar la tendencia aproximada a una exponencial decreciente debido a la edad (Génova, 2003).

Sincronización (*cross-dated***) y datación**. En climas templados, los árboles crecen a razón de un anillo anual. Los árboles de la misma especie que crecen en la misma localidad tienden a tener similares patrones de crecimiento. Estos ciclos de crecimiento pueden verse claramente en un corte transversal del tronco: los anillos no tienen todos el mismo grosor. Se tornan más estrechos a medida que aumenta la edad del árbol y principalmente su grosor varia acorde a las fluctuaciones climáticas a las que el árbol se ve sometido.

Mediante diferentes técnicas visuales, gráficas y estadísticas de comparación por solapamiento entre numerosas series de crecimiento se detectan errores y anomalías hasta conseguir un conjunto de secuencias adecuadamente sincronizadas, en las que se puede hacer corresponder cada medición de anillo con el año concreto en que fue formado. Este proceso es otro de los pilares básicos de la Dendrocronología y consiste fundamentalmente en la identificación y corrección de irregularidades como heridas o anillos múltiples, discontinuos o ausentes (Génova, 2003).

Estandarización. Para analizar la variabilidad común de las secuencias de crecimiento datadas, que proceden generalmente de árboles de diferentes edades, es indispensable aplicar modelos y filtros que minimicen la tendencia debida a la edad u otras oscilaciones individuales (debidas a competencia, daños o enfermedades) y transformar las secuencias en series temporales estacionarias respecto a la media, conservando las oscilaciones de periodo corto, especialmente anuales. La relación del **crecimiento** con el **clima** se analiza mediante modelos que determinan la respuesta a las variables meteorológicas que queda reflejada en las fluctuaciones de las series dendrocronológicas y requiere que los registros meteorológicos presenten datos continuos durante, al menos, treinta años y que sean representativos (Génova, 2003).

Reconstrucción Dendroclimática. Utilizando como base los análisis anteriores se puede afrontarla empleando las cronologías como estimadores de las oscilaciones climáticas y tras asumir que la relación comprobada para el periodo en que hay datos climáticos será similar a lo sucedido en el pasado. Para ello se utilizan diferentes técnicas, entre otras es muy habitual obtener la función de transferencia, que permite reconstruir variables mensuales, estacionales, anuales e índices climáticos con resolución anual, según presenten una suficiente y fiable varianza explicada. Este tipo de reconstrucciones se encuentran limitadas por la longevidad de los árboles y así, son escasas las que superan el milenio. Las variables climáticas que se estiman con mayor fiabilidad son las más limitantes para el crecimiento y, como las series dendrocronológicas más largas suelen proceder de viejos árboles que habitan en alta montaña o en elevadas latitudes, donde la temperatura constituye el principal factor limitante del crecimiento, son más frecuentes las reconstrucciones de variables térmicas (Génova, 2003).

El estudio de la variabilidad climática basado en series instrumentales está severamente limitado por la extensión temporal de estos registros. En cualquier país el número de estaciones meteorológicas con registros de menos de cien años de extensión es muy reducido, lo que limita enormemente la posibilidad de establecer cuál es el significado de los estadísticos usados para caracterizar las variaciones climáticas de largo plazo. A su vez los registros meteorológicos más extensos proviene de las grandes ciudades donde la señal climática interdecenal ha sido notablemente alterada (particularmente la de temperatura) por el crecimiento de las ciudades (fenómeno de urbanización). Por lo tanto, resulta de gran interés recurrir a indicadores o archivos ambientales que puedan proveer registros climáticos de alta resolución, lo suficientemente largos, como para poder caracterizar en forma apropiada la variabilidad climática natural de una región (Ceballos, 2002).

Entre estos indicadores de alta resolución, los anillos de los árboles ocupan un lugar muy particular. Los anillos de los árboles proveen series continuas, precisamente datadas con un nivel de resolución anual, que normalmente se extienden por varias centurias, y en algunos casos, por varios milenios. Las series de ancho de anillos pueden ser modeladas para reconstruir, con gran precisión, las variaciones anuales o estacionales de la temperatura, la precipitación y/o presión atmosférica durante las últimas centurias o milenios. Estas reconstrucciones de las variaciones climáticas pasadas pueden ser desarrolladas para una localidad en particular, o para toda una región, si se dispone de una red de cronologías de anillos de árboles que cubren un área extensa (Ceballos, 2002).

5.5 EVIDENCIA DEL ESTRÉS EN LOS ÁRBOLES.

La respuesta fisiológica de los árboles a condiciones de estrés, se refleja claramente en el crecimiento radial. El aire de la Ciudad de México, está cargado de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos, 80% de esas partículas puede crear una nube de contaminación, éstas se comportan como núcleos de condensación de la humedad atmosférica y generan una bruma cuya toxicidad está en función de los elementos que transporte (Cruz, 2007).

Al existir un desequilibrio en la composición natural de la atmósfera, se genera inestabilidad a corto o largo plazo en el régimen climático, principalmente en los índices de temperatura y precipitación. Como la disponibilidad de recursos para el árbol se ve limitada, la respuesta es el mayor aprovechamiento posible de recursos y la necesidad de funciones alternativas para su desarrollo (Ciesla, 2002). Por lo tanto, el crecimiento radial se ve afectado al carecer de suficiente agua y de temperaturas poco óptimas, generando anillos muy estrechos para la época de primavera, y mucho más densos y más estrechos aún para invierno (Cruz, 2007).

5.6 IMPORTANCIA DEL OYAMEL

5.6.1 Importancia económica

En México se encuentran varias especies como árboles de Navidad sin presentar inferioridad en la calidad con respecto a las especies importadas. Entre las especies nacionales que se pueden introducir al mercado se encuentra el *Abies religiosa*, árbol que debidamente cultivado y aún en estado silvestre tiene porte y presentación bastante aceptable para árbol de Navidad (Elizalde, 1979). Los precios de los árboles de Navidad de esta especie suelen ser relativamente más

bajos que aquellos de especies importadas (principalmente *Pseudotsuga menziesii* o *Thuja spp*). Los precios de los árboles de Navidad varían entre 200 y 500 pesos mexicanos (base 1999) con un periodo de venta menor a las 3 semanas. El cono se vende seco pero en la mayor parte de los casos cerrado, como suele suceder con otras especies. Los conos secados artificialmente tienen mejor calidad y usualmente mayor precio. Típicamente los conos se venden al público en arreglos florales o con motivos navideños (Valenzuela, 2001).

En México la especie maderable más rica en celulosa es el *Abies religiosa*, en cuyos tallos jóvenes (de 20 a 40 años de edad) contienen hasta el 75% de tejidos celulósicos, y éste a su vez, con el mayor porcentaje de celulosa alfa, que es empleado en la fabricación de papeles finos, y por consiguiente es el que alcanza los mayores precios en el mercado. Así que la tendencia de esta industria es aprovechar los árboles relativamente jóvenes, que presentan tejidos flojos, húmedos y poco lignificados, carentes de olor, pobres en leñosas y esencialmente ricos en celulosa (Garduño; 1944).

A medida que va siendo mayor la edad del árbol, los tejidos celulósicos se impregnan en mayor cantidad de sílice y de colorantes, presentándose entonces el problema de la 'eliminación de todas estas substancias extrañas, y cuya resolución eleva considerablemente el costo de la industrialización y afecta la calidad de la pasta, ésta es la razón, por la cual, la industria papelera prefiere el aprovechamiento de árboles jóvenes (Garduño, 1944).

Para 1944 el Servicio Oficial considera, que para la elaboración de madera aserrada y labrada sólo se aprovecha el 65% del volumen total del árbol, el 35 % queda en puntas y ramas un 20% es aprovechado para la elaboración de postes, pilotes, y durmientes de cortas dimensiones (Garduño, 1944). La superficie de bosques de oyamel en México fue estimada por Manzanilla en 1974 en 40 a 50 mil hectáreas.

La producción de madera en México está basada principalmente en el aprovechamiento de coníferas. En 1987 se produjeron 9.7millones de metros cúbicos en rollo de productos maderables, de ese volumen el 86% correspondió a coníferas, dentro de las cuales, del género *Abies* se aprovecharon 453,275 m³ en rollo que representan un 4.6 % del volumen total y 5.4% del volumen de coníferas (CNIDS, 1988).

5.6.2 Importancia ecológica

Los bosques de *Abies religiosa* del Eje Neovolcánico Transversal, conocidos también como bosques de oyamel u oyametales, son considerados como tipos de vegetación relictuales. Estos bosques requieren para su óptimo desarrollo de una serie de condiciones como: Suelos profundos ricos en alófanos, gruesas capas de materia orgánica en descomposición, cañadas profundas, agrestes y una alta humedad relativa (Nieto de Pascual, 1995).

Las áreas continuas de mayor extensión de estos fragmentos se ubican en las serranías que circundan el Valle de México y le siguen en importancia las correspondientes a otras montañas del Eje Neovolcánico Transversal; otras comunidades de importancia se conocen de la Sierra Madre del Sur y en la Sierra de Juárez en Oaxaca, así como de algunas localidades de Chiapas. De manera más escasa se presentan manchones en algunas localidades de Durango, Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas (Rzedowski, 1979).

Dentro del Eje Neovolcánico Transversal se encuentra un macizo montañoso, donde este tipo de formación forestal presenta un interés particular como es la Reserva Especial de la Biosfera de la Mariposa Monarca en los estados de Michoacán y México. En su interior alberga a la población invernante de mariposas monarca *Danaus plexippus* L. más importante del país y del mundo. Es por ello que estos eco sistemas han atraído durante las últimas décadas la atención de naturalistas, científicos y exploradores producto de la belleza de sus paisajes, hábitat y especies (Rzedowski, 1983).

El bosque de oyamel se considera como uno de los ecosistemas de mayor importancia para la conservación del fenómeno de hibernación de la mariposa monarca en México. Sin embargo, estos sitios están siendo perturbados y reducidos cada vez más por diferentes agentes como: la tala, los incendios, el pastoreo y el aprovechamiento maderable de tipo hormiga, los cuales en su conjunto, no permiten de manera natural el proceso de regeneración, conocido también como proceso sucesional (Gómez, 2003).

La importancia del oyamel, en las diversas cuencas de captación también es grande, pues en estos bosques se registran altas precipitaciones y por las características de la cobertura de los diferentes estratos de la comunidad y las propiedades físicas del suelo, permiten una eficiente absorción y retención del agua de lluvia (Madrigal, 1964).

5.7 REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE OYAMEL.

A) ALTITUD (MSNM)

❖ Media: Óptima 3,200 (López, 1993).

❖ Mínima: 2,800 (Manzanilla, 1974).

❖ Máxima: 3,500 (Manzanilla, 1974).

B) SUELO

Clasificación (Soil Taxonomy)

Histosol (1), Inceptisol, Espodosol (Manzanilla, 1974).

Características físicas

- Profundidad: Generalmente profundos, aunque también en suelos someros (Manzanilla, 1974).
- Textura: Limo-arenosa, arcillo-arenosa, arenosa (Manzanilla, 1974).
- Pedregosidad: De ligera a moderada (Manzanilla, 1974).
- **Estructura:** Granular o en bloques (Manzanilla, 1974).
- ❖ Drenaje: Bien drenados (Mayen, 1987).
- ❖ Humedad aparente: Húmedos la mayor parte del año (Mayen, 1987).
- Color: Café obscuro ó rojizo (Mayen, 1987). Los tonos de color corresponden 10 YR, de acuerdo a las Tablas Munsell (Manzanilla, 1974).

Características químicas

- pH: de 5 a 7 (López, 1993; Manzanilla, 1974).
- Materia orgánica: Muy ricos, hasta 70%, especialmente en horizontes superficiales (Manzanilla, 1974).
- ❖ Temperatura (°C): Media: De 7 a 15; Mínima: -12 (Manzanilla, 1974).
- Precipitación (mm). La precipitación media anual es superior a los 1,000 mm (López, 1993).

c) otros

Los suelos donde se establece el oyamel son muy jóvenes, de origen volcánico (andesitas, basaltos o riolitas), y presentan geoformas con pendientes muy pronunciadas (López, 1993; Manzanilla, 1974); aunque generalmente se establecen en suelos profundos, en el Estado de México y en Jalisco se encuentran sobre una capa muy delgada de cenizas volcánicas; también se menciona que las propiedades físicas del suelo influyen más en el desarrollo de oyamel que las químicas, la profundidad, el drenaje, la textura, estructura y el contenido de humus son propiedades decisivas en el desarrollo del oyamel (Manzanilla, 1974).

5.8 FACTORES FÍSICOS Y BIOLÓGICOS QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y LA REPRODUCCIÓN DE OYAMEL.

A) FUEGO

Los incendios, unidos mas o menos estrechamente con el pastoreo, son también de consideración en el Valle de México y es en el bosque de oyamel donde se presentan con menos frecuencia, tanto por el mayor contenido de humedad del suelo, y en general en todo el bosque, como por la vegetación herbácea que es menos abundante en gramíneas, lo que contrasta con las condiciones de las comunidades vegetales adyacentes. El período de incendio en la Cuenca comprende desde el mes de diciembre, cuando hay muchas herbáceas secas y se prolonga hasta el comienzo de la temporada de lluvias, o esa a finales de mayo o en junio (Gómez, 2003).

B) VIENTO

Los factores del medio ambiente que parecen influir más en la comunidad de *Abies religiosa* son la altitud y el relieve, en función de los cuales varían los factores climáticos (principalmente la temperatura, precipitación y humedad relativa); además del factor suelo (ver cuadro 2) (Gómez, 2003).

C) INSECTOS

Montealegre (1992), realizó un estudio sobre los Curculionidos en el follaje de oyamel (*Abies religiosa*) de Desierto de los Leones, Distrito Federal, en donde se escogieron 14 sitios de muestreo ubicados en la Cañada de las Palomas. En cada sitio se marcó un cuadrante de 1,000 m², seleccionando dentro de estos tres individuos de *Abies religiosa*, tanto de renuevos como de juveniles. La copa del árbol se dividió en tres niveles: inferior, medio y superior; de cada nivel se tomó una muestra cortando el ápice de la rama hasta 25 cm más o menos de longitud. El tipo de muestreo seleccionado fue al azar estratificado, considerando como estratos los niveles seleccionados. De los curculiónidos en el follaje de *Abies religiosa* del Desierto de los Leones Distrito Federal se recolectaron un total de 2,493 ejemplares incluidos en dos

familias Curculionidae y Aplionidae. Estudios señalan que existen insectos que se alimentan de conos y semillas, insectos defoliadores e insectos descortezadores, los cuales causan un grave de daño en la especie.

Cuadro 2. Factores climáticos, que caracterizan mejor a la comunidad de Abies religiosa en el Valle de México (Madrigal. 1963 citado de Gómez. 2003).

Temperatura media	10.5 ºC a 13. ºC
Temperatura máxima extrema	25. ºC a 30 ºC
Temperatura máxima media	17 ºC a 20 ºC
Temperatura mínima extrema	-7.5 ºC a -11 ºC
Temperatura mínima media	3 ºC a 5 ºC
Oscilación diaria media de la	13 ºC a 16 ºC
temperatura en grados C.	
Precipitación total	1,000 mm a 1,400mm
Evaporación total	800 mm a 1,400 mm
Precipitación/Evaporación	0.75 a 1.5
Días con lluvias apreciables	100 a 145
Días con heladas	60 a 95
Días con nevada	0 a 1
Días despejados	120 a 225
Días nublados	65 a 200
Días con niebla	12 a 55
Días con granizo	0 a 10
Días con rocío	1 a 135
Vientos dominantes	0 a 30
Días en tempestad eléctrica	

D) LIMITANTES DEL SUELO

López (1993), realizó una evaluación nutrimental de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, Distrito Federal. En cada sitio se seleccionaron tres brinzales de alrededor de 0.75 m de altura que estuvieran visiblemente llenas de plagas, enfermedades y daños mecánicos. A estos individuos se les tomó el diámetro de la base, la altura al último verticilo, y se determinaron si estaban creciendo: 1) A cielo abierto, 2) Bajo un dosel intermedio y 3) Bajo sombra o dosel cerrado, en la fase de laboratorio se hicieron determinaciones de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn y Mn, Índice DRIS para la plantación del Desierto de los Leones, arrojó los siguientes resultados (Cuadro 3).

De acuerdo ha estos índices, el orden de requerimientos de nutrimentos quedó definido de la siguiente manera:

K> Fe>Mn> P> Zn>N>Mg>Ca>S

El orden de requerimiento muestra que el K, Fe y el Mn son los nutrimentos más limitantes en la plantación del Desierto de los Leones.

La deficiencia de K en el presente trabajo puede atribuirse a tres causas:

- 1) Deficiencia de K en el suelo,
- 2) lixiviación de K propiciada por el daño de ozono (0_3) y de los Óxidos de Nitrógeno (NOx) a las membranas celulares o por el efecto del Bióxido de Azufre (SO2) sobre la cobertura estomática o,
- 3) efectos antagónicos entre el K y otros nutrimentos como NH₄, Ca, Mg. ó NO₃.

En relación a la primera posibilidad, el Cuadro 3 indica que el suelo del Desierto de los Leones tienen una menor cantidad de K que los suelos del área de distribución natural del *Abies religiosa*, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. La menor cantidad de K en los suelos del Desierto de los Leones probablemente tenga relación con el pH de esos suelos, así como con la menor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que presentan los suelos del área. Los suelos del Desierto de los Leones no pueden ser considerados como ácidos; sin embargo, son estadísticamente más ácidos que los suelos del resto del área de distribución natural de oyamel debido tal vez al ingreso de ácidos al suelo. Esto puede estar presentando efecto sobre la lixiviación de iones de K, puesto que cuanto mayor es la acidez de los suelos, menor es su capacidad de retención de este ion.

De manera similar, cuanto menor es la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, mayor es la lixiviación de K (Rodríguez, 1982), y en el caso del Desierto de los leones, los suelos presentan una CIC menor que los suelos del área de distribución natural de oyamel considerada.

En cuanto a la segunda posibilidad, es bastante probable que el 0₃ esté propiciando la lixiviación de iones de K del follaje de los árboles, puesto que este compuesto se encuentra generalmente en concentraciones muy elevadas en la parte Suroeste de la ciudad de México, rebasando con mucha frecuencia la norma establecida por la Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), (ahora Secretaria de Desarrollo Social (SEDESO), la cual equivale a 0.11 ppm de 0₃ (Jáuregui, 1989). Suárez y Pedrero (1989), citado de Gómez, 2003) mencionan que las concentraciones de 0₃ en la zona SW de la ciudad de México rebasan las normas durante todo el invierno, especialmente de las l0 a las 16 h, aunque otros autores señalan que esta norma es rebasada en 90 % de los días del año (Fundación Universo Veintiuno y Fundación Friedrich Ebert Stiftung, 1990), citado de Gómez, 2003).

En relación con los (NOx), aun cuando éstos son precursores del 0₃ junto con los hidrocarburos, generalmente no rebasan la norma (0.21 ppm durante 1 h), habiéndose registrado valores entre 0.06 y 0.18 ppm de NO₃ en la ciudad de México (Gómez, 2003).

El SO₂ cuya norma es de 0.13 ppm durante una hora, ha alcanzado valores hasta de 0.'35 ppm (Suárez y Pedrero, 1989 citado de Gómez, 2003), aunque Velazco (1983 citado de Gómez, 2003) reporta concentraciones de 0.75 ppm de SO2.

La información anterior indica que especialmente los niveles de 0_3 y de SO_2 son demasiado elevados, sobre todo si se considera que concentraciones de estos contaminantes superiores a las normas, son dañinas tanto para la salud pública como para los vegetales.

El 0_3 causa daños a las membranas celulares de los vegetales, incrementando su permeabilidad y facilitando la lixiviación de iones del follaje, especialmente de Mg (Prinz y Krause, 1988), de K (Rehfuess, 1988) y de Ca (Rehfuess, 1988). El $S0_2$ degrada también las membranas celulares e induce una abertura estomática permanente y rápida, lo que redunda en pérdidas excesivas de agua del vegetal (Fitter y Hay, 1987) y probablemente de cationes como potasio.

Cuadro 3. Índice DRIS para la plantación de Abies religiosa (H.B.K) Schl. et Cham del Desierto de los Leones, Distrito Federal (Gómez,

Nutrimentos	Índice DRIS
N	-0.1414
Р	-7.4859
K	-13.1367
Ca	7.0381
MG	2.8482
S	10.4279
Fe	-9.9536
Zn	-0.6366
Mn	-9.8306
Índice de	61.499
desbalance	
nutrimental (IDN)	

Con relación a la deficiencia de Fe que muestran los índices DRIS, ésta básicamente se puede deber a una deficiencia del nutrimento en el suelo o bien, a relaciones de antagonismo con otros nutrimentos. En el presente estudio no se hicieron determinaciones de micronutrimentos en los suelos, pero el estudio de suelo realizado en el paraje "El Cementerio" por Alvarado (1989), muestra que en algunos sitios si existen deficiencias de Fe. Este autor encontró que en los suelos del área de goteo de los árboles enfermos existe una menor cantidad de Fe que en los suelos donde crecían árboles sanos.

El fierro es un nutrimento que presenta antagonismo con el Ca, K y Mg (Mengel y Kirkby, 1982). Al estar presente el Ca en cantidades abundantes,

la forma férrica tiende a la formación de hidróxido férrico (Fe (OH)₃) el cual se precipita haciéndose insoluble, lo que produce en las plantas la denominada clorosis férrica o clorosis caliza (Rodríguez, 1982); sin embargo, en el Desierto de los Leones, el Ca se encuentra a un nivel inferior que en el resto del área de distribución del oyamel, por los que este antagonismo es poco probable. El K compite con el Fe por sitios de· absorción, pero en el presente estudio, el K del suelo presenta baja concentración, lo que significa que es poco probable que esta relación se esté dando. Es posible que el Mg esté teniendo un efecto inhibitorio de la absorción de Fe, puesto que aquel nutrimento se encuentra en el Desierto de los Leones en cantidad poco más elevada que en el resto del área de distribución natural de *Abies religiosa*.

Por otro lado, el fierro presenta efectos antagónicos con otros micronutrimentos tales como Zn, Ca, Cu y Mn; sin embargo es poco probable que en el área de estudio esté sucediendo esto, puesto que según los índices DRIS, el Zn se encuentra en general en un nivel adecuado mientras el Mn está en niveles deficientes. En las muestras de follaje analizadas (área de distribución natural de *Abies religiosa* y plantación del Desierto de los Leones) se trató de determinar Cu por medio de un espectro fotómetro de absorción atómica pero no se encontró el nutrimento en las muestras, por lo que también es improbable un efecto de antagonismo entre Fe y Cu.

En general se puede establecer que los factores que pueden estar determinando la deficiencia de Fe en el área del Cementerio en el Desierto de los Leones son una posible deficiencia del nutrimento en el suelo y posibles efectos antagónicos entre Mg y Co con el Fe. En relación con la deficiencia de Mn, ésta ya había sido detectada en el área del Desierto de los Leones por Alvarado (1989) al comparar la concentración de Mn en follaje de árboles del Desierto de los Leones con árboles de Zoquiapan, México. La forma divalente del Mn es la más importante en la solución del suelo y es por lo tanto la forma más importante desde el punto de vista nutrimental; sin embargo, esta forma es muy móvil en el suelo y es fácilmente lixiviable, especialmente en suelos ácidos (Mengel y Kirkby, 1982), pero en el caso del Desierto de los leones, el pH no tiene un nivel tan bajo que pueda estar propiciando la lixiviación de Mn. Se ha demostrado en varias especies vegetales que la absorción de Mn es regulada por la concentración de Mg en el suelo, lo cual se ha interpretado como un mecanismo de las plantas para mantener el balance iónico (Mengel y Kirkby, 1982). Esta relación antagónica

puede estar teniendo lugar en el paraje El Cementerio, puesto que la concentración de Mg en esos suelos es ligeramente mayor que en los suelos del área de distribución natural de *Abies religiosa*.

El Mn disminuye su disponibilidad al incrementar el pH. Según Mengel y Kirkby (1982) un pH de seis o más disminuye la disponibilidad de Mn. En el paraje El Cementerio el pH promedio es de 6.2, por lo que es posible que esto esté influyendo en buena medida sobre la deficiencia de Mn en el área, especialmente si esto está asociado con una limitada concentración del nutrimento en el suelo, lo cual también es muy probable de acuerdo con Alvarado (1989), quien encontró concentraciones muy bajas de Mn en los suelos donde había árboles enfermos comparadas con aquellas de los suelos donde crecían árboles sanos.

El orden de requerimiento nutrimental indica que en el Desierto de los Leones, los nutrimentos menos requeridos son S, Ca y Mg. En el caso del S, esto se explica por el ingreso al ecosistema de cantidades elevadas de este nutrimento, especialmente en la zona SW del Valle de México debido al arrastre de SO₂ y otros contaminantes del aire por los vientos, pues los vientos dominantes de la Ciudad de México se dirigen de NE a SW (Suárez y Pedrero, 1989). Las plantas tienen capacidad para utilizar el SO₂ de la atmósfera. Faller (1968), citado por Mengel y Kirkby, (1982), encontró que la producción de materia seca en varias especies se relacionó directamente con las concentraciones de SO₂ que proporcionó la atmósfera como única fuente de azufre. En el Desierto de los Leones, el ingreso de SO₂ al ecosistema también se refleja en una concentración de SO₄ ligeramente mayor en los suelos del Desierto de los Leones en comparación con los suelos de otras áreas de oyamel.

En relación al Ca, aun cuando este nutrimento se encuentra en una concentración estadísticamente inferior en los suelos del Desierto de los Leones que en otros macizos de oyamel, en la plantación del área, en general, no existen problemas de deficiencia de Ca, aunque el ingreso de SO₂ al ecosistema probablemente ha propiciado la lixiviación de este nutrimento, pues estos son dos procesos que ocurren paralelamente en el suelo (Mengel y Kirkby, 1982), explicándose así la menor concentración de Ca en: los suelos del Desierto de los Leones.

El bajo requerimiento de Mg en el Desierto de los Leones se explica por la concentración del nutrimento en los suelos del área, la cual es ligeramente mayor en el Desierto de los Leones que en los suelos de los macizos de oyamel considerados.

E) CONTAMINACIÓN

La declinación forestal en México se empieza a considerar como tal a partir de que se detectan los primeros síntomas en el Desierto de los Leones a inicios de los años 80, por De La Isla y colaboradores (López, 1996). Varios han sido los estudios que desde entonces se han realizado tratando de comprender el fenómeno, así como para determinar las causas del mismo. Actualmente son varios los autores que coinciden en que las causas son múltiples, incluyendo: la contaminación ambiental, las plagas y enfermedades, la extracción de agua, falta de manejo forestal, así como los procesos naturales de cambio en la vegetación (Sierra et al., 1988 citado de Gómez, 2003). Sin embargo, también son varios los autores que concuerdan en que al menos una de estas causas puede ser primaria, señalando como tal a la

contaminación ambiental proveniente de la Ciudad de México (Hernández, 1984; Ciesla, 1989; Cibrián, 1989; Alvarado, 1989; Nieto, 1995; López *et al., 1995*).

Con el propósito de describir y explicar la naturaleza de la declinación y muerte extensiva de árboles de *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones, Alvarado *el al*, (1993) realizaron un estudio en el cual analizaron de manera separada varios factores que consideraron podrían estar involucrados en la declinación de esta especie. Los factores estudiados fueron: manejo del bosque, extracción de agua y precipitación, patógenos e insectos y contaminación ambiental. Concluyeron que el estudio confirma que la contaminación ambiental, especialmente el ozono, es el responsable de la pérdida de vigor y demás síntomas que muestran los oyameles, Los autores mencionan que los otros factores estudiados parecen ser secundarios, pero que seguramente contribuyen a acelerar el proceso de declinación del bosque de oyamel.

Las características topográficas del Valle de México propician un patrón ordinario de flujo superficial que favorece el traslado de la masa de contaminantes hacia el Suroeste de la ciudad, justo a donde se localiza el Desierto de los Leones (Cibrián, 1989). El ambiente aéreo de la Ciudad de México está cargado con una gran cantidad de contaminantes fitotóxicos, entre los que destacan: ozono, nitrato de peroxiacetilo (PAN), dióxido de azufre, etileno y dióxido de nitrógeno, principalmente (De la Isla y Hernández, 1986), que de ninguna manera son los únicos, pero sí los que según estos mismos autores, han manifestado su presencia en plantas indicadoras que mostraron los síntomas característicos de dichos contaminantes.

En condiciones normales el oyamel presenta una copa en forma de pirámide, el follaje es de un color verde obscuro y retiene las hojas hasta por seis años (Alvarado *et al.*, 1993), siendo esta una especie tolerante. Cuando las condiciones son favorables se localiza en masas puras con una gran densidad y con individuos de todas las clases de edad.

En el Desierto de los Leones, los árboles muestran una copa muy escasa con un elevado número de ramas muertas, presentando un patrón de muerte ascendente. Generalmente la copa presenta un estado clorótico y se localizan hojas solamente de uno, dos y ocasionalmente tres años de edad (Ciesla y Macías, 1987 Cibrián, 1989), las cuales en algunos casos, según Ciesla (1989), muestran el síntoma típico del daño por ozono consistente en un moteado clorótico.

5.9 FUNCIONALIDAD DE OYAMEL BAJO CONDICIONES LIMITANTES

A) TEMPERATURAS EXTREMAS

Verduzco *et al.* (1962) citado de Gómez (2003) citan una temperatura media anual de 10 a 17°C, mínimas absolutas de -8°C y a veces menores, y una precipitación de 1,000 mm a 1,200 mm. La temperatura y la luz, parecen tener pocas fluctuaciones dentro del bosque de oyamel en relación con otras comunidades de coníferas, lo cual se deriva de la gran cobertura de sus estratos (Madrigal, 1964).

B) SOMBRA

Para su germinación y desarrollo en las primeras etapas requieren de una relativa cantidad de sombra, y una vez bien establecidos, pueden prescindir de ella, debido que los juveniles y adultos requieren luz para crecer (Gómez, 2003).

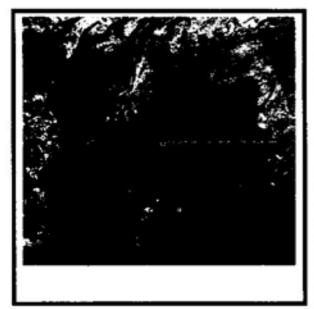
VI. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 PARQUE NACIONAL DESIERTO DE LOS LEONES

6.1.1 Descripción Geográfica

El Parque Nacional Desierto de los Leones se localiza en la región central de la República Mexicana, al surceste de la Cuenca de México. Pertenece a la unidad geomorfológica Sierra de Las Cruces, que forma parte del sistema montañoso denominado Ele Neovolcánico Transversal (Cantoral, 1986).

II Parque Nacional cuenta con una superficie decretada de 1529.00 ha. De acuerdo al plano oficial de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, el Parque cuenta con una superficie de 1,523.95 ha; sus coordenadas UTM extremas son: 465261.25 m E y 2137029.52 m N; 468996.54 m E y 2129839.47 m N (figura 23).



El Parque se ubica al poniente de la Ciudad de México, dentro de las delegaciones Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos, en el Distrito Federal.

5.1.2. Edafología

Los suelos del Desierto de los Leones son de origen volcánico, dominan las andesitas; son profundos, relativamente abundantes, blen drenados y fértilles; húmedos la mayor parte del año.

Los valores de pit son, por lo general, ligeramente ácidos. De acuerdo con INEGI (2000), citado por el Programa

de conservación y manejo Parque nacional "Desierto de los Leones (2004), en la totalidad del Parque Nacional el tipo de suelo se clasifica como podzólico y corresponde al tipo café vegetal con textura arcilio-arenosa. Por su parte Freyermuth (1952) cita suelos de textura arcillosa, profundos en las partes bajas, ricos en materias nutritivas y un subsuelo rocoso e impermeable. Rzedowski (1978), al referirse a la comunidad de Ables religioso (H.B.K.) Schi et Cham., da como características para los suelos, una textura arenoso-limosa, ligeramente ácidos y con gran cantidad de materia orgánica.

6.1.3 Clima

Con base en la clasificación de Köppen, modificada por García (1988), citado por el Programa de conservación y manejo Parque nacional "Desierto de los Leones (2004), el tipo de clima para el Desierto de los Leones corresponde a C [W2] W) (bligo, que equivalen a:

- · Templado, con lluvias en verano
- Precipitación invernal, con respecto al total es menor de SN.
- · Forma parte del grupo más húmedo de los subhúmedos.
- Isotermal (la diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío es motor a 5°C.

Según el INEGI (1991), citado por el Programa de conservación y manejo Parque nacional "Desierto de los Leones (2004), en el Parque abravieran dos isotermas: una en la porción norte de 10AC; y la otra, en la porción centro-sur de BAC. En la porción sur del Parque para una isosecta de 1,500 mm.

El Servicio Metrorológico Nacional (SARH, 1982), citado por el Programa de conservación y manejo Parque macional "Desierto de los Leones (2004), reporta ocho ambientes climáticos en el Rarque Nacional, los cuales se enlistan en los cuadros 4, 5 y 6:

Cuadro 4. Ambientes climáticos del "Desierto de los Leones" (SARH, 1992).

Ambiente climático	Localización	Clima	femperatura *C	Pp mm 1 200		
17	Norte	Fresco subhúmedo	12			
20	Norte	Fresco subhúmedo	9-12	1200		
34	Norte	Fresco subhúmedo	9-12	1200 - 1300		
44	Oriente-Poniente	Semifrio	9-11	1 300		
51	Paralelo al Interior	frig hameda	6-9	1 300		
6.7	Vertiente-Oriente	Fria húmedo	6-9	1 200 - 1 300		
79	Taludes Superiores	Frio subhúmedo	6-9	1 200		
87	Anribe de 3.725 monm	Frip subhúmedo	- 6	1 200		

Cuadro 5. Temperatura y Precipitación anual (INEGI, 2000).

	Teny	peratura media anua media mensuali	e ('c) y			
Estación	Periodo	Temperatura promedio	Temperatura del año más frio	Temperatura del año más caluroso		
Desierto de los Leones	1951 a 1988	10.8	8.6	12.0		
	Precipit	eción total anual (mi	(imetros)			
Estación	Periodo	Precipitación promedio	Precipitación año más seco	Precipitación año má lluxioso		
Desierto de los Leones	1951 a 1988	1 340.6	1 005.5	1 837.6		

Cuadro 6. Temperatura (9C) y Precipitación media mesasal (mm) (TNEGI, 2009).

ESTACIÓN	DERIGON !	-	-	м		м		, , , , , ,			-		-
ESTACION	P(R)000			M	Α.	M	,	, ,	^	,	0	N.	, ,
CONCEPTO													_
				0	esierto	de los k	eones						

	1988	I		Γ								-	r-
				Prec	ipitacio	in total	mensual				_	_	
			_			de los i							
Promedio	1951 a 1988	12.8	34.2	23.2	38.3	97,4	241.2	275.6	275.9	218.8	96.2	16.5	10.3

6.1.4 Vegetación

El Desierto de los Leones se encuentra dentro de la Región Mesoamericana de Montaña, formando parte de la provincia Horistica de l'as serranias meridionales, a la qual se adsorben el Eje Volcánico Transversal. Esta provincia incluye las elevaciones más altas de México, así como muchas áreas mentañosas aldadas, cuya presencia propicia el desarvollo de muy numerosos endemismos (Reedowskii, 1978).

En base a lo anterior, se encuentran diferentes comunidades vegetales tales como: bosque de Abies-Pinus-Quercus (comprendiendo la mayor parte del área del Parque), bosque de Abies religioso (ubicado en la parte central del Parque), por amiba de los 3,000 mismil, bosque de Abies religiose perturbado por incendio (representa gran parte del área del Parque), bosque de Abies-Pinus hortwegli (ubicada al sur del área) , bosque de Anus hortwegli quetius) (se considera como la mejor adaptada al clima de alta montaña), vegetación secundaria (ubicada principalmente al sur del Parque, en sitios de diosque de Abies, los cuales han sido perturbados) y áreas de Reforestación (han sido intensamente reforestadas, principalmente con Pinus potulo, P. oyocohuite, P. montezumos y Cupressus Austránico).

6.1.5 Fauna

Los estudios de fauna realizados en el Parque Nacional Desierto de los Leones son escasos; destaca el realizado por la COCCOCR (1993), citado por el Programa de conservación y manejo Parque nacional "Desierto de los Leones (2004) Se han reportado 57 familias de vertebrados, de las cuales 3 corresponden a antibios, 5 a reptiles, 14 a mamíferos y 35 a aves, con 131 especies en total

En oranto a representación; las familias mejor representadas son: Plethodoxidas (Clase Amphibia), con cinco especies, Phymosomatidas (Clase Reptilia) con tres especies, Munidae (Clase Mammalia) con quatro géneros y siste especies y Parulidas (Clase Aves) con 13 especies.

Estas especies representan para los antibios el 58.3% y para los reptiles el 30.7% con respecto a la lista potencial de especies reportadas para la Cuenca de México por Dúges (1888), Díaz (1961), González (1964) y Aguilar (1971). Los matriferos representan el 32.1% de la reportada para la Cuenca de México (Caballos y Galindo, 1985) y la Sierra del Ajusco (Aranda et ot. 1980); y las aves, el 27.6% de las señaladas para la Cudad de México por Wilson y Caballos Lassuráin (1987) y el 42.2% de las citadas por Velárquez y Romero (1999), citado por el Programa de conservación y manejo Parque nacional "Desierto de los Leones (2004).

5.2 PARQUE NACIONALIZTA-POPO

6.2.1 Descripción geográfica

Es decretado Parque Nacional el 7 de noviembre de 1935 por el presidente Lisaro Cárdenas. Abarca varios municipios de Puebla, Estado de México y Morelos (Melo, 1977; citado por Calva, 1999). Se obicación geográfica se localiza entre los meridianos de coordenadas 98+ 42* 54** y 98+42*40** longitud ceste y entre los paralelos 18-54** y 19-15*30** de latitud norte (Vargas, 1984). El Parque Nacional Izta-popo tiene un área de 25, 679 ha ubicado en el eje neovolcanico transversal y se encuentra localizado entre los limites de los distados de México, Puebla y Morelos, aproximadamente a 80 Km. al surceste de la ciudad de México; (con los Municípios de Tiamanalco, Amecameca, Alauta y Ecatzingo); También Municípios de Huejotzingo, San Salvador el verde, Domingos Arenas, San Nicolás de los Ranchos, Tochimico (Puebla), Município de téleia del voicán (Morelos) tiene una superficie de 25,679 hectáreas y un rango latitudinal que va de los 3600 m.s.n.m. a los 5452 m.s.n.m. (Vargas, 1984; 2000). Tiene una extensión de 3,848.5 m², las coordenadas son 19°05°04 N y 98°40′47W a 3035 m (figura 24). En esta área posee la mayor densidad, frecuencia, abundancia y diversidad, cuya cota latitudinal va de los 2600 a los 1850 msnm. A priori a esta zona de amortiguamiento contiene la reserva de la biodiversidad más importante en el mismo Parque Nacional.



6.2.2 Edafología

Los suelos predominantes que se encuentran en esta zona es Andosot, esto es, suelo joven derivado de cenizas volcánicas. Se extiende en el 22% del estado, se considera de baja calidad agrícola. Le siguen los Feorem que cubren el 215% del territorio estatal y se localiza en las partes intermedias y bajas de montañas. Los vertisoles con 14% del territorio, seguido con un 11% los Regosoles y con pedrogosidad (Chavarria, 2007).

6.2.3 Clima

El clima que presenta es muy frió, lluvias en verano, temperatura media anual de 2 ·C, la del mes más caliente de 5 a 12 ·C y más frió de 0 ·C; C (W³) (W) semifrio húmedo, isoyecta de 1,200 milimetros (Estación meteorológica 15.024 (7.) 1,187.5) (Vargas, 1984), citado de Chavarria (2007).

5.2.4 Vegetación

La vegetación se divide en matorrales áridos (serófilos), bosques templados, bosques de encino, bosque de oyamel, bosques mesófilo de montafia, vegetación de humedales (acuática y subacuática) y la selva baja caducifolia (Chavarria (2007).

VII. MÉTODO

Para el alcance de los objetivos de este trabajo se abarcaron tres fases: gabinete, campo y laboratorio, que se describen:

7.1 FASE DE GABINETE:

Revisión bibliográfica. Se realizó una búsqueda de trabajos relacionados con las líneas de investigación. Consultando bibliografía actualizada de algunas instituciones externas (COLPOS Montecillo, INIFAP México, UACH, Instituto de Biología, Instituto de Ciencias de la Atmósfera, UNAM) a la unidad de investigación de contaminación ambiental (UNAM).

En un mapa topográfico 1:50,000, de los Parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los leones, se ubicaron y delimitaron las zonas de estudio de acuerdo a la localización del bosque de oyamel, a los vientos dominantes y su incidencia con la Ciudad de México.

Además de que se obtuvieron bases de datos de estaciones meteorológicas (Amecameca de Juárez y Desierto de los Leones) cercanas a las zonas de estudio en el Servicio Meteorológico Nacional, con la finalidad de conseguir datos climáticos como temperatura y precipitación, para que por medio de éstas, se calculara la humedad relativa, y de esta manera poder correlacionarlos con el ancho de los anillos de crecimiento de oyamel en ambas zonas de estudio.

Revisión de Páginas Electrónicas. Se investigó de manera digital artículos relacionados con la formación de anomalías a nivel mundial y nacional en revistas científicas públicas y privadas como Elservier, Science, Redalyc, Sociedad Botánica de México, IAWA Journal, Biotrípica, Climate Research, Journal of ecology, entre otras; relacionadas con las áreas disciplinas (dendroecología, dendroclimatología y dendrocronología).

7.2. FASE DE CAMPO:

Elección de Zonas y Especies. Para el muestreo de núcleos, fue necesario ubicar en un mapa topográfico las zonas de estudio con especímenes que tuvieran características morfológicas específicas para desarrollar una buena cronología, en base en lo anterior, se seleccionó a oyamel como especie de estudio; además de las altitudes a las que se deseaban muestrear. Se realizaron dos salidas de muestreo durante los meses de marzo-septiembre del 2007 y para ello se eligió el Paso de Cortés, en lo que respecta al Parque Nacional Izta-Popo a una altitud de 3324 msnm y para el Parque Nacional Desierto de los Leones los kilómetros 31 y 35 de la carretera Exconvento de los Leones a una altitud de 3052 y 3054 msnm (Figura 25-A). Los ejemplares no debían de presentar daño o deformación en el fuste (bifurcado, ocoteado, quemado o talado), así como apariencia longeva, es decir, medir más de 1 metro de circunferencia del tronco a la altura del pecho del investigador (Stokes y Smiley, 1968).

Para cada sitio de trabajo se llenó un formato para registrar información geográfica y ecológica del sitio como coordenadas y altitud con ayuda de un geoposicionador MAGELLAN SporTrak, nombre del paraje, especie, tipo de

vegetación, fecha, especies dominantes, uso del suelo, nombre del recolector, circunferencia con un flexómetro, % de retención de copa (SAGAR, 1984), color con base a las tablas Munsell y altura por medio del uso de un Spiegel-Relaskop de los ejemplares muestreados.

Obtención de las muestras. Para extraer la muestra la barrena se ubicó en lo que se cree puede ser la médula (centro del árbol). Se ubicó el área de extracción en el plano perpendicular a la pendiente del sitio para extraer el núcleo y se presionó firmemente contra la corteza, colocada en un ángulo recto (90°) con un taladro Pressler de 40 cm de longitud y 5 mm de diámetro girando el mango en el sentido de las manecillas del reloj a la altura del pecho (1.35 m) como se observa en la Figura 25-B (Grissino-Mayer, 2003 citado de Villanueva y Cerano, 2004), el núcleo obtenido se colocó en un popote de plástico (figura 25-C, D), etiquetado con sus respectivos datos y fue nombrado Núcleo A, se efectúo el mismo procedimiento en la cara contraria del tronco para obtener el Núcleo B.

La perforación realizada por el barrenamiento fue sellada con cilindros de madera, previamente impregnados en una solución antiséptica de formol/alcohol 1:10 para evitar al árbol una invasión por hongos o insectos y para promover su compartimentalización. Todos los popotes se colocaron en una caja para transportarlos al Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES-Z.



Figura 25. Obtención de núcleos de crecimiento por zona de estudio. A) Selección del área de muestreo, B) Barrenamiento con el taladro Pressler, C) Extracción del núcleo con el extractor de incrementos, D) Protección del núcleo.

7.3 FASE DE LABORATORIO

Secado, montado, identificación y pulido. Se colocaron los popotes con las muestras en una estufa Kimet, durante 2 días a 40°C, para secar los núcleos y evitar la invasión de hongos y/o bacterias por humedad (Figura 26-A). Para la manipulación de los núcleos de crecimiento en el Laboratorio, fue necesario utilizar guantes esterilizados para evitar la contaminación de los mismos.

Posteriormente, las muestras se trasvasaron a bastidores de madera de 40 cm de longitud, con un canal de 5 mm de ancho y 2 mm de profundidad previamente etiquetados, y se procedió a orientar, dejando expuesta la cara transversal del núcleo que reflejó la luz; se adhirió firmemente al bastidor con pegamento especial para madera. Una vez seco, se recortó la cara expuesta con una navaja de acero inoxidable (Figura 26-B), obteniendo una superficie plana, y posteriormente se afinaron cada una de las muestras de las zonas de estudio con lijas para madera de diferente medida (1200, 800 y 300) para facilitar la observación de los anillos.

Marcaje y Conteo de Anillos. Se adhirió papel milimétrico en una pared del bastidor para marcar cada cinco años su cronología y con un estereoscopio MOTIC modelo DMW143 y resolución 4X; se marcaron los anillos visibles o bien se agregaron unas gotas de agua desionizada a lo largo del núcleo para clarificar los anillos y así poder observar con mayor confiabilidad las anomalías encontradas en las muestras (anillos falsos, falsos múltiples, difusos, difusos múltiples y suprimidos) por cada zona de estudio (12 individuos de oyamel del Parque Izta-popo y 14 individuos del Parque Nacional Desierto de los Leones)(figura 26-C). La fecha de formación de cada anillo puede establecerse comenzando desde el centro hasta la corteza del árbol y asignando al último anillo la fecha del año presente. De esta manera podemos datar cada sector del tronco y por lo tanto asignar fechas absolutas a los fenómenos que observamos en la madera. A continuación, se midieron las anchuras de los anillos de crecimiento, madera temprana y madera tardía en mm por individuo en ambas caras (A y B) por lo que para esta sección se utilizo el programa WINDENDRO, el cual permitió obtener nueve variables del núcleo de crecimiento de oyamel tales como: medida en milímetros, porcentaje y densidad del anillo total de crecimiento, madera temprana y madera tardía. Utilizándose solamente, la medida en milímetros de la anchura total de anillos de crecimiento, madera temprana y madera y de esta manera poder hacer la sincronización (Cross-dated) (Figura 26-D). Posteriormente, se registraron las mediciones en un formato, tales como zona de estudio, nombre del recolector, % porcentaje de retención de copa, fecha, diámetro, altura, especie, edad, ancho total del anillo, ancho de la madera temprana, ancho de la madera tardía y tipo de anomalías.

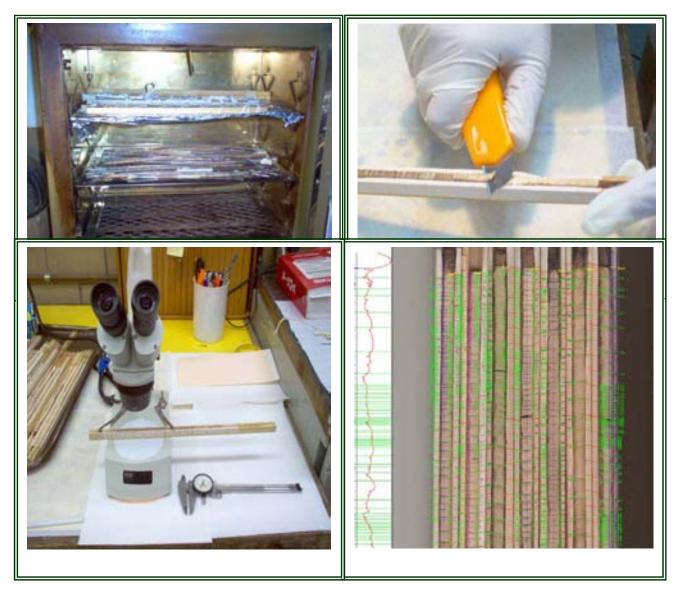


Figura 26. Preparación de los núcleos. (A) Secado de muestras en la estufa kimet; (B) montado y pulido; (C) identificación de anillos de crecimiento anuales y anomalías de oyamel en ambas zonas de estudio y (D) obtención y medición de anchura de anillos de crecimiento, madera temprana y madera tardía (mm) por medio del programa Windendro.

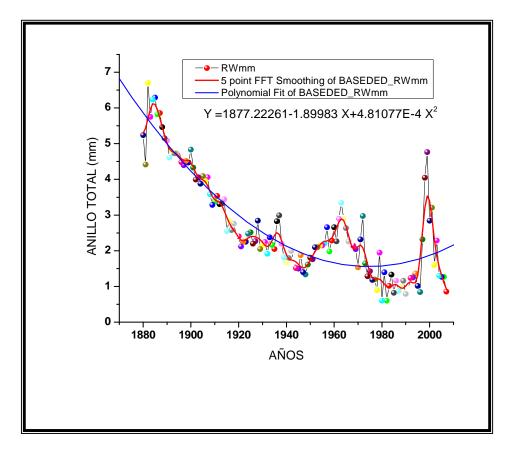
7.4 FASE DE GABINETE

Teniendo la temperatura, precipitación y humedad relativa (T^oC/mm x 100) en base a las estaciones meteorológicas, se procedió a promediarlas por década de cada zona de estudio, para poder relacionar estas variables con la anchura de los anillos de crecimiento de oyamel, madera temprana, madera tardía y número de anomalías, y así de ésta manera interpretar la asociación de cada una de las variables por medio del programa Origin 7.5.

VIII. ANÁLISIS Y DICUSIÓN DE RESULTADOS

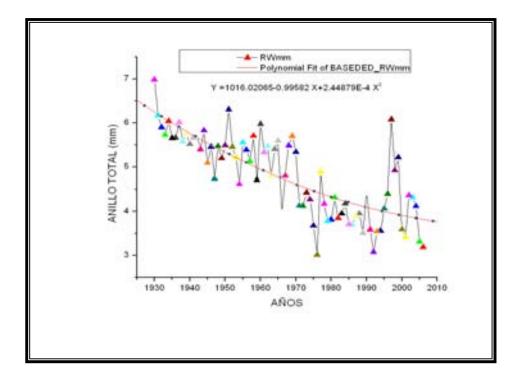
8.1 Cronología de oyamel en el Parque Nacional Desierto de los Leones e Izta-Popo.

Se analizaron 14 individuos de oyamel de la zona de Desierto de los Leones, obteniendo cronologías durante el periodo 1880-2006 (figura 27). La figura muestra que la especie (*Abies religiosa*) tuvo un buen crecimiento que oscila entre 5 y 6 mm durante el periodo de 1880 a 1890, no obstante, en los años 1891-1914 el grosor del anillo cambió ligeramente su crecimiento (4 y 3 mm). Sin embargo, hay un cambio en el grosor de los anillos de crecimiento que va desde los 2,1 y 0.5 mm durante 1915-1997, esta reducción en el anillo de crecimiento para el año 1997 se puede explicar, debido a que para el año 1996 hubo una extrema sequía, lo cual puede explicar el porqué se encontró una reducción en el grosor del anillo de crecimiento. Durante los años 1998, 1999 y 2001 hay un cambio drástico en el crecimiento anual presentando grosores que van de los 3 a 4 mm. En cambio, durante los años 2000, 2002-2006 hay un decaimiento de dicho crecimiento que va desde los 2 a 0.8 mm.



En lo que respecta a la zona del Parque Nacional Izta-Popo se analizaron 12 individuos de la especie (*Abies religiosa*) durante el periodo 1930-2006 (figura 28). El grosor de los anillos de crecimiento anuales de dicha especie, expresaron en general un buen crecimiento, ya que éste osciló entre 3 y 6 mm. Sin embargo durante 1980-1994 el crecimiento se

mantuvo en 3 mm y durante 1995-1999 el crecimiento del grosor de los anillos anuales oscilo entre 4 y 5 mm. Durante el periodo 2000-2006 el crecimiento se redujo ligeramente presentando medidas entre 3 y 4 mm.



Bernal (2004) realizó una comparación de los ritmos estacionales en la formación de los anillos de crecimiento y la acumulación de la madera en árboles de *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* en la Sierra Nevada al oriente del Estado de México. De 56 muestras de 23 árboles de *Pinus hartwegii*, no pudieron ser correctamente fechadas, principalmente por la formación de más de un anillo por ciclo de crecimiento. Al respecto determinó que la formación de un anillo de crecimiento por año para *Abies religiosa* la hace una especie susceptible para estudios dendrocronológicos, mientras que la presencia de anillos falsos en *Pinus hartwegii* limita la posibilidad de utilizar esta especie para los mismos propósitos.

En *Abies religiosa* se observan las fases de actividad y de dormancia, junto con los dos periodos de transición, los cuales se consideran dentro de la fase de actividad debido a la presencia de divisiones y a los cambios observados en el citoplasma, lo cual indica actividad metabólica.

Sin embargo, en el presente estudio oyamel mostró un porcentaje amplio de anomalías (ver figura 29) al ser una especie sensible a cambios climáticos como lo reporta Manzanilla en 1974. Por lo cual se recomienda para estudios dendrocronológicos por presentar anillos de crecimiento bien diferenciados (tanto en la zona de madera temprana y madera tardía), tal como lo muestra la figura 30.

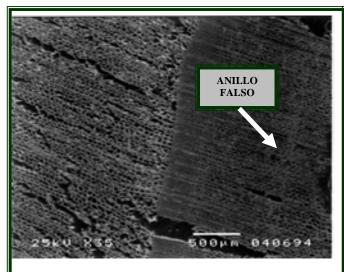


Figura 30. Anillo de crecimiento anual de oyamel con un anillo falso (derecha) tomado de Flores, 2006, por medio de SEM (Sacnning Elctron Micrscopy).

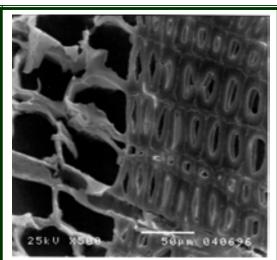


Figura 30. Anillo de crecimiento anual de oyamel tomado de Flores, 2006, por medio de SEM (Sacnning Elctron Micrscopy).

La actividad del cámbium vascular en los árboles es controlada por factores bioquímicos, fisiológicos y genéticos, los cuales son afectados, a su vez, por las fluctuaciones ambientales en le área de distribución de las especies (Oribe y Kubo 1997, citado de Bernal, 2004; Liphschitz *et al.*, 1984).

Al respecto, Bernal (2004) determina que la actividad del cámbium vascular en oyamel inicia a finales de enero y cesa a mediados de noviembre, con dos periodos de máxima división en los meses de marzo a mayo y de agosto a septiembre. La formación y acumulación de la madera temprana es de marzo a septiembre en este último se presenta la transición hacia la formación de la madera tardía, la cual se prolonga hasta mediados de noviembre, el límite de anillo de crecimiento se produce en este mes. En el área de estudio las temperaturas mínimas en pocas ocasiones bajan de los cero grados centígrados por periodos mayores a dos semanas durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero (García, 1968). Por lo tanto Bernal (2004) considera que la temperatura es uno de los factores que estimula tanto la dormancia como la actividad en el cambio vascular en oyamel, asociada con otros factores como por ejemplo el fotoperiodo. El cambium vascular de *Abies religiosa* está activo durante gran parte del año y esta actividad cambial se asocia a las condiciones climáticas favorables de la zona donde se desarrollan las especies. En este lugar la temperatura promedio anual es de 10° C y la humedad relativa promedio anual es de 71% (García, 1968). Estos factores posibilitan que la actividad cambial se realice la mayor parte del año.

En el primer periodo de transición de la fase de dormancia hacia la fase de actividad, las células están metabólicamente activas con escasas divisiones. En este periodo existe almacenamiento y translocación de fotosintatos en las células que conforman la zona cambial y las células del parénquima de los radios (lqbal, 1995; Riding y Little 1984, 1986 citados de Bernal, 2004). En los árboles de oyamel, la primera evidencia de la actividad cambial es la turgencia o expansión radial de las células. Esta señal aparece varias semanas antes del primer máximo en la tasa de división, en esta época la temperatura y el fotoperiodo parecen ser los factores que inciden en el inicio de la actividad metabólica, mientras que el

agua pasa a ser un factor secundario. En investigaciones sobre actividad cambial en *Crytomeria japonica*, Otibe y Kubo (1997) menciona que la temperatura del aire es el principal factor en el rompimiento de la dormancia y a su vez el detonante de la actividad metabólica de la zona cambial.

En la fase de actividad, cuando se observan los periodos máximos en la tasa de división, las células se encuentran en división y diferenciación, formando principalmente madera temprana. En esta fase la temperatura por si sola no puede incrementar la tasa de división, se necesita tiempo para la síntesis y el transporte de los fotosintatos desde el follaje, junto con un estado hídrico óptimo que propicie el proceso de división en la zona cambial (Rao y Rajput, 1999, citado de Bernal, 2004; Ajmal e Iqbal, 1987). En la época de división celular el agua puede ser el factor limitante, debido a que la actividad fotosintética alcanza los máximos niveles y un estrés hídrico puede disminuir el transporte de fotosintatos a la zona cambial y de esta forma reducir o inhibir la actividad cambial (Dünisch y Bauch, 1994; Antonova *et al*.1993, citados de Bernal, 2004)

En el segundo periodo de transición de la fase de actividad hacia la fase de dormancia que ocurre de fines de octubre a mediados de enero, se observa la acumulación de la pared secundaria de las traqueidas de la madera tardía y escasa divisiones en la zona cambial. Por último, de mediados de Enero a la primera semana de Febrero, las células cambiales están en estado de dormancia, sin actividad metabólica aparente y sin presencia de divisiones. Para oyamel, los periodos de transición son mayores a un mes y posiblemente tengan gran influencia sobre la acumulación de la madera debido a ala actividad metabólica observada. La secuencia de eventos en la zona cambial permitió delimitar las épocas de formación de la madera temprana, tardía y los anillos de crecimiento para ambas especies (Bernal, 2004).

La actividad del cambium vascular en las latitudes intertropicales es mas amplia durante el año, que en las especies de zonas templadas. Esta amplitud se debe principalmente a la presencia de una mayor temperatura y humedad, junto con un fotoperiodo más prolongado (Siddiqi, 1991; Ajmal e Igbal, 1987; Lipschitz *et al.* 1984).

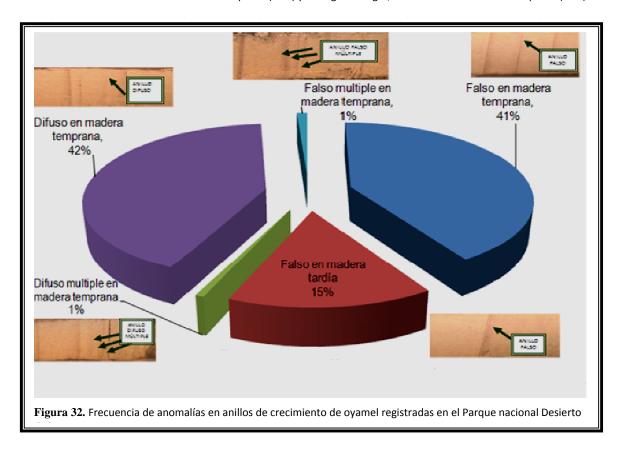
8.2 Identificación y clasificación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en el Parque Nacional Desierto de los Leones e Izta-Popo.



De 14 individuos analizados del Parque Nacional Desierto de los Leones y de 12 individuos para el Parque Nacional Izta-Popo resultó difícil identificar anomalías, debido a que en algunas ocasiones los anillos falsos suelen confundirse con anillos de crecimiento verdadero tal y como lo muestra C.H. Baisan en la figura 9 del marco teórico (ver figura 31).

Para la clasificación de dichas anomalías se basó en las imágenes propuestas por H.C. Fritts (anillo anual múltiple) y por C.H. Baisan (anillo anual falso) para ambas zonas.

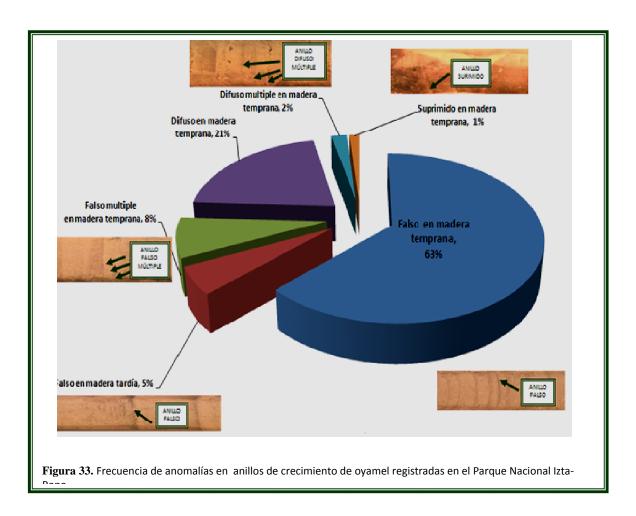
De manera particular para el Desierto los Leones se encontraron las siguientes anomalías (figura 32). En primer lugar se encuentran los anillos difusos en madera temprana (42%) y en segundo lugar, anillos falsos en madera temprana (41%).



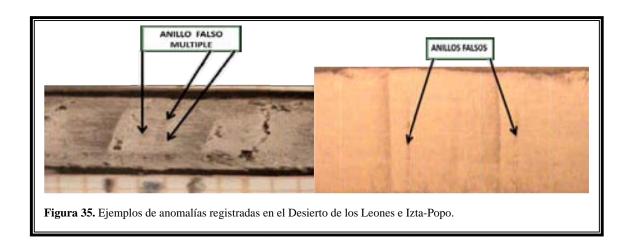
Los anillos de crecimiento falsos en las regiones templadas se producen durante periodos de estrés ambiental (Lorimer *et al.*, 1999, citados de Bernal, 2004). Más de un anillo puede generarse en un ciclo de crecimiento cuando las divisiones en la región cambial se detienen brevemente en respuesta al estrés y el número depende de la duración del periodo de estrés, así como de la tasa de divisiones en el momento del mismo (Lorimer *et al.*, 1999, citados de Bernal, 2004; Larson, 1994).

Bernal (2004) menciona que la formación de anillos falsos en *Pinus hartwegii* se presentó bajo dos situaciones: en la época de la acumulación de la madera temprana, un periodo de sequía puede promover su formación y un incremento en la precipitación durante la etapa de transición actividad-dormancia cuando se está acumulando la madera tardía, también induce su formación. El desarrollo de los anillos falsos se atribuye a los disturbios fisiológicos a partir de las fluctuaciones en temperatura y humedad (Priya y Bhat, 1998; Dünisch y Bauch, 1994, citados de Bernal, 2004).

De 12 individuos analizados del Parque Nacional Izta-Popo se encontró un mayor número de anomalías de anillos falsos en madera temprana con 63% y anillos difusos en madera temprana con 21%, tal como lo muestra la figura 33.

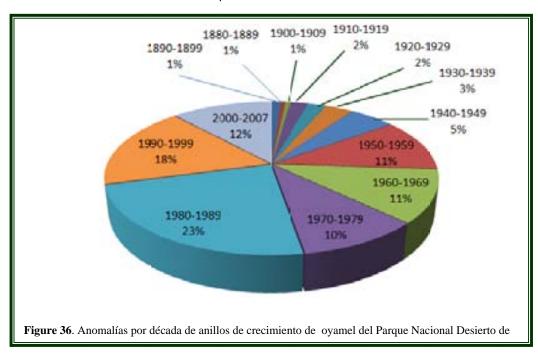


En la figura 34, se muestran algunas imágenes que se obtuvieron durante la observación de las anomalías encontradas por zona de estudio.

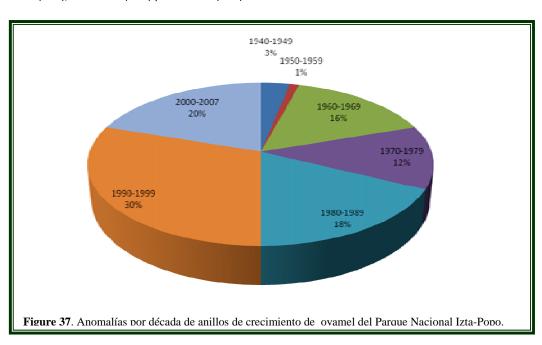


8.3 Obtención de frecuencias de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel por década en ambas zonas de estudio.

En la figura 35 se muestra el número de anomalías por década para la zona de Desierto de los Leones, esto es con la finalidad de poder contrastar los resultados con estudios internacionales. Al respecto se encontró un mayor número de anomalías en las décadas de 1980-1989 con 23% y 1990-1999 con 18%.



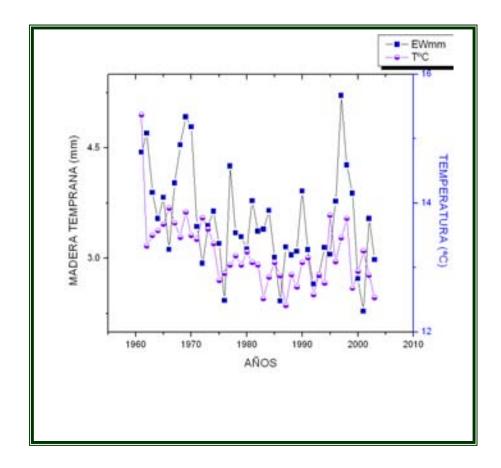
En la figura 36 se muestra la frecuencia del número de anomalías por década, en donde se encontró que en las décadas 1990-1999 (30%), 2000-2006 (20%) y 1989-1980 (18%).



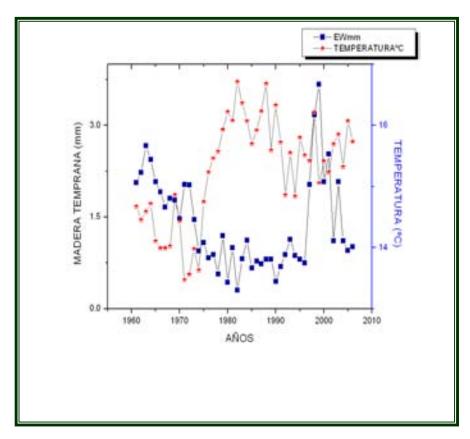
8.4 Relación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en el grosor y formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel en los Parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.

En la figura 37 se muestran la madera temprana (mm) y temperatura (°C) vs tiempo (años) del Parque Nacional Izta-Popo, debido a que el periodo de primavera está en función de la temperatura. Esta temperatura se obtuvo de la estación meteorológica Amecameca de Juárez del Servicio Meteorológico Nacional durante el periodo 1961-2003, lo cual es una limitante para tener el estudio completo. La temperatura osciló entre 12 y 14°C principalmente durante este periodo.

Madrigal (1967), citado de Gómez (2003) menciona que la temperatura media que caracteriza mejor a la comunidad de oyamel oscila de 10.5 a 13.0 °C; la temperatura máxima extrema va de los 25 a 30°C; la temperatura máxima media (17.0 a 20°C); temperatura mínima extrema (-7.5 a -11°C); temperatura mínima media (3.0 a 5.0°C) y una oscilación diaria media de la temperatura en grados centígrados (13.0 a 16.0°C). A pesar que los datos caen en el rango citado por el autor anteriormente, se encontró que la temperatura de la zona es un factor individual que probablemente afecta el crecimiento de la especie, y también la formación de anomalías en anillos de crecimiento, debido que se hallaron porcentajes altos de anillos falsos en madera temprana (63%) y como lo muestra la figura 33 existe una relación inversamente proporcional de la temperatura y el grosor del anillo de crecimiento en función del tiempo, ya que cuando la temperatura es alta el anillo de crecimiento disminuye y cuando la temperatura es baja, el anillo de crecimiento es mayor.



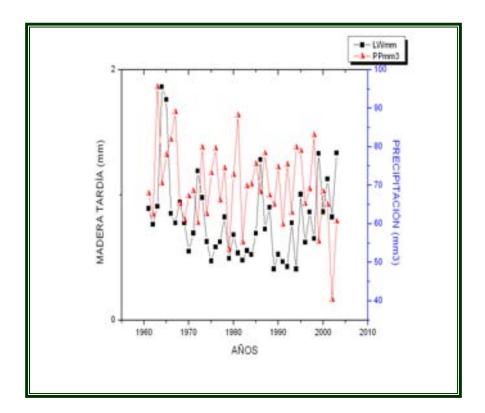
En el Parque Nacional Desierto de los Leones en la figura 38 se muestran la temperatura (°C) y madera temprana de oyamel (EW) vs tiempo (años) de la estación meteorológica Desierto de los Leones del Servicio Meteorológico Nacional durante el periodo 1961-2006, siendo de la misma manera que en la estación meteorológica Amecameca de Juárez una limitante para tener el estudio completo. Esta temperatura osciló entre 16 y 13 °C. Sin embargo, la temperatura durante el periodo 1961-1975 fue de 13 y 14 °C. A diferencia del periodo anterior, la temperatura ha aumentado desde 1976-2006 que va de 15 a 16 °C. Esto ha repercutido en el grosor de la madera temprana (mm), y también en la formación de anomalías en anillo de crecimiento de oyamel. No obstante, durante los años 1998 y 1999 oyamel presentó un buen crecimiento, en donde la temperatura parece no haber influido en la disminución del grosor de los anillos de crecimiento. Todos los datos anteriores de temperatura caen nuevamente de acuerdo con Madrigal (1963) citado por Gómez (2003), y que al igual que la zona de Izta-Popo si influye de manera significativa en los anillos de crecimiento existiendo una relación inversamente proporcional de la temperatura y el grosor del anillo de crecimiento en función del tiempo, ya que cuando la temperatura es alta el anillo de crecimiento disminuye y cuando la temperatura es baja, el anillo de crecimiento es mayor.



En la figura 39 se puede observar que la precipitación (mm³) ha tenido influencia de manera considerable en el grosor de la madera temprana (mm) de oyamel en el Parque Nacional Izta-Popo. Sin embargo, no se puede definir con certeza si es un factor causal en la formación de anomalías.

La precipitación osciló entre 95.47 mm³ para el año 1963 y 40.33 mm³para el año 2002 durante dicho periodo. Específicamente, para el año 1998 la precipitación fue de 83 mm³, demostrando con esto que no se puede establecer

con certeza si es un tiene gran influencia en el crecimiento de la especie (*Abies religiosa*). Para el año 2002 la precipitación bajó drásticamente de 64 a 40 mm³, lo cual tiene estrecha relación en el grosor de los anillos de crecimiento.



Para la zona Desierto de los Leones, la precipitación máxima se presentó para el año 1991 con 88.7 mm y la mínima fue de 38.1 mm para el año 1982. La figura 40 muestra oscilación de precipitación durante el periodo de 1961-2006, no habiendo periodos muy marcados en donde haya precipitaciones bajas específicas para los años en que hubo un menor grosor de los anillos de crecimiento de oyamel, por lo anterior es posible determinar que la precipitación no influye de manera significativa en el

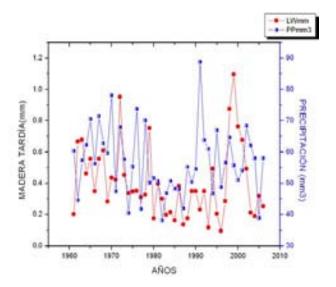
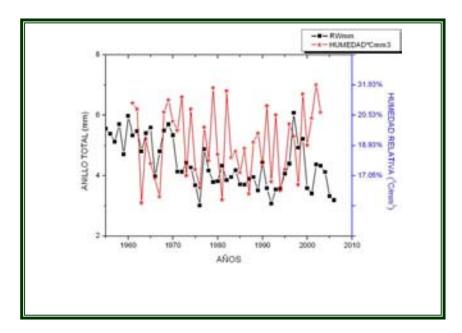


Figure 41 Registro de precipitación y madera tardía vs tiempo de la estación

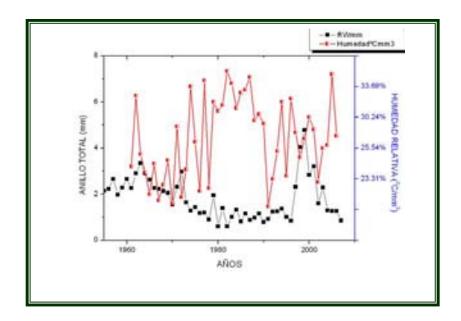
crecimiento de dicha especie. Sin embargo, no se puede definir con certeza si es un factor causal en la formación de anomalías.

Bernal (2004) realizó un estudio en Michoacán de 15 individuos de Abies religiosa para determinar la actividad cambial y la producción estacional del xilema secundario para examinar la sensibilidad de las dimensiones de las traqueidas y el ancho de los anillos de crecimiento a las variaciones climáticas anuales. Indicó que la precipitación es importante en la formación de los anillos puesto que el agua es necesaria al inicio de la actividad cambial para permitir un estado hidratado en la célula, con el potencial hídrico adecuado que favorezca una actividad metabólica eficiente. La temperatura juega un papel importante al permitir las reacciones enzimáticas dentro de la célula. Sin embargo, puede disminuir la actividad cuando ésta es demasiado alta y producir estrés hídrico, inhibiendo la fotosíntesis y reduciendo de manera importante la actividad cambial llegando a detenerla (Lipschitz et al., 1984). En climas templados el aumento de la temperatura junto con un déficit hídrico en el periodo de crecimiento genera el fenómeno conocido como la pausa del crecimiento de media temporada, reduciendo las divisiones celulares en el cambium vascular, lo cual produce en muchas ocasiones anillos de crecimiento falsos (Larson, 1994). En Abies religiosa Bernal (2004) observó la pausa de crecimiento de media temporada, sin embargo no apreció la formación de anillos falsos. La pausa de crecimiento de media temporada provocó un engrosamiento en la pared de las traqueidas de la madera temprana, sin una reducción en su lumen. Los factores ambientales que se sugieren tiene mayor influencia sobre la acumulación de la pared y la expansión celular de los elementos traqueales son la temperatura yu la precipitación respectivamente (Antonova y Stasova, 1993, citados de Bernal, 2004).

En la figura 41 se muestra el porcentaje de humedad relativa (calculado a partir de los datos de temperatura y precipitación x 100) de la estación meteorológica Amecameca de Juárez por parte del Servicio Meteorológico Nacional y anillo total para el periodo de 1961-2003 de oyamel para la zona del Parque Nacional Izta-Popo, siendo la mínima de 14.13% para el año de 1963 y la máxima de 31.93% para el año 2002. Dicha humedad es un factor ambiental que repercute de manera significativa en el crecimiento de oyamel, siendo indispensable para su desarrollo.



En lo que respecta al Parque Nacional Desierto de los Leones, la humedad es un factor ambiental que repercute de manera significativa en el grosor de los anillos de crecimiento de oyamel, como lo muestra la figura 42. La humedad relativa se obtuvo al dividir la temperatura entre la precipitación multiplicándola por cien, de los datos obtenidos a partir de la estación meteorológica Desierto de los Leones, siendo la máxima de 41.31% para el año 2005 y la mínima de 17.7% para el año 1991. La humedad influye de manera significativa en la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel, puesto que no hay datos que sean muy sobresalientes para cada periodo, y que de ésta manera se explique la disminución del grosor de sus anillos. De acuerdo con Bernal (2004), menciona que la humedad que reporta como un factor que incide en el buen crecimiento de la especie (*Abies religiosa*) es 71% y en general para las zonas de estudio es baja, durante los periodos analizados.



A diferencia de las anomalías encontradas en este estudio, Priya P.B. y Bhat K.M. (1998), realizaron un estudio en Nilambur, India de 60 árboles de 8 a 12 años de edad de *Tectona grandis* L.f. durante el periodo de 1976-1983, contrastando los registros de lluvia mensual con anillos de crecimiento de la especie, encontrando un 73% de anillos falsos en su segundo año de crecimiento, en la madera temprana en todos los árboles. De los cuales, algunos presentaron anillos falsos dobles y múltiples, siendo en su mayor parte discontinuos, en el año de 1976, de los factores que consideraron para su estudio (precipitación, temperatura, defoliación de insectos, edad, defoliación y trasplantación), la precipitación es el principal factor ambiental causante de anomalías en anillos de crecimiento. Sin embargo, cabe señalar que la sequia, edad, defoliación y trasplantación también son factores primordiales causantes de anomalías. No obstante, no encontraron una relación significativa de la defoliación de insectos con la formación de dichas anomalías.

Raventós *et al.,* (2004) hicieron un estudio en la región de Valencia localizada cerca de la Costa Mediterránea de España de la cual obtuvieron 2000 muestras de árboles de *Pinus halepensis* en tres niveles de daño de copa (sano, moderado (25-60% de copa dañada) y severo (60-99% de copa dañada) de seis sitios diferentes durante el periodo de 1981-2000,

de las cuales sólo 15 de cada sitio se analizaron durante el periodo de 1820-1980, del total de árboles analizados, en general los árboles sanos mostraron un alto porcentaje de anillos dobles y perdidos, de dichas anomalías encontradas dichos autores determinaron que la temperatura, precipitación y sitio geográfico son los factores causantes de las mismas. En Guadamar y Saler Árboles sanos y moderadamente sanos tuvieron aprox. el mismo porcentaje, mientras que los severamente dañados, mostraron un bajo porcentaje de anillos falsos y perdidos. Sin embargo, durante las dos últimas décadas en lo que respecta a anillos perdidos, el incremento en el porcentaje se da conforme aumenta el daño de nivel de copa, es decir, la cantidad de los mismos fue mayor en árboles con daño severo. En cambio en árboles sanos y moderadamente sanos, se tuvo aprox. el mismo porcentaje de anillos falsos. En ambos sitios se observó un incremento de 0.5ºC en la temperatura media anual mientras que la precipitación anual permaneció constante. Dada una baja precipitación en estos sitios, especialmente en Guadamar, el incremento de la temperatura promedio provocó la aparición de anillos perdidos y un decremento de anillos falsos. En general, los sitios con alta temperatura y baja precipitación anual mostraron un alto porcentaje de anillos perdidos, no obstante, la variación de la precipitación interanual juega un papel decisivo. Así, de este modo, en áreas internas (Zorita y Biar) donde la variación de la precipitación es baja, el porcentaje de anillos perdidos es escaso. En contraste, en áreas costeras, donde la variación de la precipitación es alta (Guadamar y Saler) el porcentaje de anillos pedidos es extremadamente frecuente. En áreas intermedias (Maigmo y Alcoy), los anillos perdidos muestran valores intermedios. Además de establecer que en áreas mediterráneas la actividad cambial no solamente se detiene en invierno con las bajas temperaturas, sino también en los veranos secos, de temperaturas elevadas durante el periodo de sequia. Este fenómeno es el llamado "doble estrés" mediterráneo el cual induce la formación de anillos falsos o dobles (Susmel et al., 1976; Mitrakos, 1980; Terradas y Savel, 1992).

Por otro lado cuando las condiciones ambientales son extremas los árboles pueden no producir anillos anuales, a lo que se le llama "anillos perdidos". Un problema adicional es que estos dos fenómenos pueden aparecer de manera irregular en el espacio y tiempo (Ravéntos *et al.*, 2004).

Por su parte (Tingley, 1937; Schulman, 1938 citado de Ravéntos *et al.*, 2004) aseguran que un anillo doble es causado por la interrupción del curso normal de crecimiento durante una temporada; una de las zonas de crecimiento de tal anillo se conoce como anillo falso.

Masiokas y Villalba, (2004) realizaron un estudio en Argentina, durante el periodo de 1760-1997. De 7,368 núcleos analizados de *Nothofagus pumilio* (Pop et Ednl.), 588 mostraron anillos falsos, determinando que su formación se manifiesta como una respuesta de primaveras con sequía-cálida anómalas, seguidas de veranos tardíos húmedo-cálidos, encontrando además anillos estrechos formados en los años siguientes a la formación de bandas intraanuales, reflejan el efecto retardado de condiciones climáticas desfavorables en cada estación de crecimiento subsecuentes a la estación de crecimiento. Estas anomalías ocurrieron más frecuentemente en el siglo XX, en comparación con los siglos XIX y XVIII, estos autores han determinado que estas anomalías son causadas principalmente por la precipitación en comparación a la temperatura. Estos patrones contrastantes parecen ser una respuesta de la combinación de periodos cálidos teniendo un decremento significativo de la precipitación registrada en los últimos 100 años en el sitio de estudio. Siglo XX (78%) 1917-1923 (3 eventos), 1930-1947 (6), y 1951-1979 (7). El suceso de 1910 fue registrado en 95% de los árboles,

por el contrario en 1796 y 1977 estos sucesos sólo fueron registrados en un 25%. Mientras que no hubieron suceso de ésta índole entre 1796 y 1843 (47 años).

Copenheaver et al., (2006) mencionan que la formación de anillos falsos, una fuente común de error en la investigación de anillos de los árboles, es detonada por la sequía durante la temporada de crecimiento. El estrés por sequia produce un diámetro pequeño y una pared gruesa en las células de madera tardía. Después en la temporada de crecimiento, las condiciones de humedad permiten al árbol el retorno en la producción de un amplio diámetro del tronco y una pared delgada en las células de la madera temprana; ésta serie de eventos da como resultado la formación de una banda intraanual de madera tardía, comúnmente llamada como anillo falso. Los anillos falsos no se forman uniformemente a lo largo del árbol a causa de las señales químicas para formar maderas tardías originadas desde un meristemo lateral activo. Por lo tanto, las ramas y porciones del tronco que están más próximas a las ramas de crecimiento activo son más probables de formar anillos falsos que las secciones más bajas del tronco con ramas. Los árboles más jóvenes y los árboles con tasas de crecimiento activo son más propensos a formar anillos falsos Otros factores causales de anillos falsos a parte de la sequia, son los elevados niveles de contaminación en el aire, las inundaciones periódicas inusuales y la experimentación de leves heladas en las primavera tardías y en los veranos tempranos (Young et al., 1993; Kurczynska et al., 1997; kozlob and Kisternaya, 2004 citado de Copenheaver et al., 2006).

Sin embargo en su estudio realizado en Estados Unidos durante 1910-1995, encontraron un mayor número de anillos falsos durante 1980-1985 en *Pinus banksiana* Lambert. Relacionando éstas anomalías con la edad, clase de copa y tasa de crecimiento. No encontraron relación significativa en la formación de anillos falsos con la precipitacion y temperatura.

Algunos estudios han relacionado la defoliación por insectos con la formación de anillos falsos, mientras que otros no han encontrado relación alguna (Copenheaver *et al.*, 2006). Bajo condiciones de invernadero Lloyd *et al.* (1996) encontraron que la formación de anillos falsos se ha expresado en *Abies balsamea* a través de la exposición de los árboles a temperaturas cálidas y a fotoperiodos de 15 horas, en la temporada de crecimiento tardío. Todos estos estudios indican que la formación de anillos falsos es ocasionada por condiciones ambientales específicas. Una vez que las relaciones entre el detonante y la formación de anillos falsos se establecen, éstos pueden servir como datos confiables para reconstruir sequías, inundaciones, heladas o daños por insectos (Copenheaver *et al.*, 2006).

Un estudio realizado por Aguilar y Barajas (2005) en México , demostró que de 29 especies, 62% no mostraron anillos de crecimiento evidentes, entre las estructuras que analizaron fueron las siguientes: características microscópicas cualitativas (anillos de crecimiento, tipo de porosidad, tipo de fibras, parénquima axial (tipo, distribución y abundancia), composición celular de los radios y el tipo de placa de perforación) y cuantitativas (longitud de elementos del vaso y diámetro tangencial de los vasos más grandes, incluyendo su pared; de las fibras se midió la longitud, el diámetro tangencial y el grosor de paredes) de la madera. Atribuyen que este porcentaje parece congruente con la homogeneidad climática presente en la zona (bosque mesófilo de montaña), pues la temperatura es isotermal y prácticamente no se presentan temperaturas por debajo de 0ºC (Luna-Vega *et al.*, 1989). Además la precipitación anual puede ser considerada como intermedia (entre los climas muy húmedos de la selva alta y los secos de los matorrales xerófilos) y la humedad ambiental y del suelo se mantienen relativamente altas, incluso durante los meses más fríos (Rzedowski,

1978). En Brasil, Alves y Angyalossy (2000) encontraron resultados similares, pues del 52% total de las especies que viven en climas mesotérmicos, muy similares al bosque mesófilo de montaña en Ocuilan, no presentaron anillos de crecimiento evidentes. Además Aguilar y Barajas (2005), analizaron otras características anatómicas , observando una tendencia a la presencia de porosidad difusa (83%), elementos traqueales que se clasifican como medianos y largos (55 y 45%) y fibras con paredes muy delgadas (90%). Estos caracteres pueden estar relacionados con el ambiente húmedo del área, pues en otros trabajos anatómicos las tendencias ecológicas señalan la presencia de porosidad difusa en ambientes en donde no existe una estacionalidad marcada (Woodcock et al., 2000), así como la disminución en la longitud de los elementos traqueales y el incremento de fibras con paredes gruesas conforme aumenta la aridez del clima (Baas et al., 1983; Barajas-Morales, 1985, 1987; Lindorf, 1994; Aguilar et al., 2000) mientras que las especies que disponen de mayor cantidad de humedad o que crecen cerca de corrientes de agua tienen fibras con paredes delgadas (Fritts, 1976; Fahn et al., 1986). En las regiones templadas del mundo ha sido evidente la interrelación entre la presencia de anillos de crecimiento y la fenología foliar (Paliwal y Prasad, 1970), pues en especies caducifolias el desarrollo de hojas nuevas al inicio de la estación de crecimiento demanda un incremento en los tejidos conductores, con la consecuente formación de anillos de crecimiento. Los resultados obtenidos por Aguilar y Barajas (2005), tanto las especies con anillos (38%) como las que no los presentan de manera evidente se comportan indistintamente como caducifolias o perennifolias, por lo que las especies de Ocuilan no parecen ajustarse al comportamiento de los árboles de regiones templadas. Por el contrario, coinciden más con las afirmaciones de Tomlinson y Craighead (1972) y Bailey (1980), acerca de que los anillos de crecimiento no siempre están presentes en especies caducifolias o ausentes en las perennifolias.

Creus y Saz (2004) muestrearon tres localidades españolas durante 1940-2000, con el fin de encontrar los árboles más sensibles al clima de Pinus halepensis Mill., eligieron aquellos situados en zonas con menor suelo y por tanto más dependientes de las condiciones climáticas, además de que tuvieran una edad mínima de 60-70 años. Eligieron entre 8 y 12 árboles en cada localidad, a los que se extrajo una o dos muestras con barrena Pressler. En las tres localidades la precipitación y la temperatura estival tienen influencias contrapuestas, pero su cuantía evidencia un mayor impacto de la precipitación. Su ausencia es capaz de paralizar la actividad cambial y P. halepensis debe controlar las pérdidas hídricas cerrando sus estomas y adaptando su metabolismo para resistir la sequía (Borghetti et al., 1998). Si las lluvias reaparecen, aunque sea a principios de otoño, se reinicia el crecimiento y se generan anillos falsos, tan característicos de esta especie que algunos autores califican como policíclica (Serre, 1973). En estas condiciones el crecimiento radial se reactiva y persiste de forma significativa (Nicault, 1999). De esta manera concluyen que una elevada sincronización que ofrecen las tres cronologías indica la existencia de un factor que controla la continuidad del crecimiento durante el periodo vegetativo y que es común a las tres localidades. Tal factor es, según las funciones respuesta, la precipitación estival, entendida como presencia o ausencia de la misma. Por ello, a pesar de la elevada amplitud ecológica que caracteriza a P. halepensis, especialmente por su capacidad para adaptarse a ambientes de muy escasa humedad, la sequia estival deviene como el principal factor limitante para el desarrollo de esta especie en el sector central del valle del Ebro, de manera que los mayores crecimientos van asociados a los escasos veranos húmedos y menos calurosos, mientras que los menores se deben a la intensa sequia que afecta a esta zona casi todos los años. En el ámbito circummediterráneo, la fase de crecimiento primaveral queda separada de la otoñal por un periodo de paralización de la actividad cambial debido a la frecuente e intensa sequía estival (Nicault, 1999). A ello contribuye la elevada temperatura canicular que activa la evaporación y aumenta el estrés hídrico. Si tienen lugar precipitaciones capaces de interrumpir dicha pausa, o reactivar el crecimiento en otoño, se forman frecuentes anillos falsos entre el 15 y 25% de los años según muestras) que indican la frecuencia con que se dan este tipo de situaciones. Su ubicación altitudinal en este sector, comprobable en la sierra de Alcubierre, puede estar muy relacionada con el rechazo a las heladas que acontecen al comienzo de la actividad vegetativa primaveral, por lo que elige vivir en zonas situadas por encima del nivel de inversión térmica donde los riesgos de helada son menores.

En el norte de la Patagonia Villalba y Veblen (1997) notaron que las bandas intraanuales de las coníferas xéricas (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Endl), se formaron en respuesta a las características anuales a través de las primaveras cálidas-secas seguidas de veranos tardíos frescos. Además, dedujeron información adicional sobre la fuerza, sincronización de los eventos climáticos anómalos a partir del porcentaje de árboles, mostrando bandas intraanuales en un año dado, el promedio de la localización de las bandas en un anillo y las características limitantes de las mismas.

La presencia de bandas intraanuales o estructuras anatómicas es más común en árboles que se encuentran en hábitats limitados bajo condiciones de estrés (Fritts 1976). Los árboles sensibles a la precipitación, con periodos de sequia amplios, pueden dar por resultado la formación de células parecidas a la madera tardía, tan pronto después de iniciar la actividad cambial seguida de periodos de dormancia normales. La subsecuente aparición de lluvia en la mitad de temporada de crecimiento puede revertir la formación de la madera tardía a células parecidas a la madera temprana (Kuo and McGinnes 1973).

IX. CONCLUSIONES

- Fue notoria la angostura de los anillos de crecimiento del oyamel en el Desierto de los Leones, con respecto a los arboles del Izta-Popo.
- ❖ La comparación en la anchura mínima de los anillos del oyamel mostró una proporción (1:6) entre el Parque Nacional Desierto de los Leones vs Parque Nacional Izta-Popo, y con respecto a la máxima anchura el registro fue de 1:1.
- Un mayor número de anomalías se determino en la madera temprana de los anillos del Oyamel colectados en el Parque Nacional Desierto de los Leones (74.91%), en comparación al Parque Nacional Izta-Popo (25.08%).
- El mayor tipo de anomalías (anillos falsos, falsos múltiples; anillos difusos y difusos múltiples, y anillos suprimidos) en el Parque nacional Izta-Popo.
- ❖ La década de mayor número de anomalías de los anillos de oyamel fue durante ochentas y noventas en el Parque Nacional Desierto de los Leones. No así para el Parque Nacional Izta-Popo en donde se registraron en los noventas, en el dos mil y los ochentas.
- ❖ La menor frecuencia en el número fue anomalías durante los 77 años correspondió al Parque Nacional Izta-Popo y la mayor para el Parque Nacional Desierto de los Leones.
- Con la oscilación de la temperatura y precipitación para ambas zonas no fue posible determinarlas como factores causales de anomalías y sí para la ganancia de la anchura.
- Con la humedad se determinó que es factor causal de anomalías en ambas zonas.

X. RECOMENDACIONES

- Utilizar oyamel para estudios dendrocronológicos, debido a que presenta longevidad mediana y anillos de crecimiento bien defiaidos.
- Realizar un registro de temperatura, precipitación y humedad de por lo menos 100 años para tener un panorama más amplio de la influencia que tienen estos factores ambientales en el grosor y la formación de anomalías en anillos de crecimiento de oyamel para ambas zonas de estudio.
- Considerar otros factores biológicos causales de la formación de anomatias en análos de crecimiento, tales como la edad, tasa de crecimiento, defoliación de insectos y clase de copa para ésta especie u otras especies arbóreas.
- Analizar por quinquenios para tener con mayor certeza la fermación de anomalias a lo largo de la vida de las especies arbóreas a nivel local y nacional.
- Considerar éste tipo de estudios para poder contrastarlos con el fenómeno de Cambio Climático.
 Global y asi poder determinar si dicho fenómeno está influyendo de manera considerable en la formación de dichas anomalias.
- Hacer estudios de ésta indole a nivel nacional para tener un mayor registro de factores que afectan el crecimiento y formación de anomalias en anillos de crecimiento anual.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar R. S., Barajas M. J. y Tejero-Díez J.D. (2000) *Anatomía de Maderas de México: Especies de un Bosque Mesófilo de Montaña*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Aguilar R. S. y Barajas M. J. (2005) *Anatomía de la madera de especies arbóreas de un Bosque Mesófilo de Montaña: un enfoque ecológico-evolutivo*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. Botánica estructural 77:51-58.
- Alvarado R. D. (1989) *Declinación y muerte del bosque de oyamel (Abies religiosa) en el sur del Valle de México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. 78 p.
- Alves E. S. y Angyaloss A. V. (2000) *Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels.* International Association of Wood Anatomists Journal 21:3-30.
- Alvarado R. D., Saavedra R. L. de L., Vargas H. J. y Hernández T. T. (2002) *Análisis de la precipitación pluvial en bosques de Abies religiosa (hbk.) schltdl. et cham., en el sur de la Ciudad de México*. Agrociencia. Enero-febrero. Número 1. 37: 57-64.
- Ayala I. J. L., Valdez I. J. H., Terrazas T., J. Valdez. L. R. (2006) *Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del Estado de Colima, México.* Mayo. Agrociencia 40: 533-544.
- Baas P., Werker E. y Fahn A. (1983) *Some ecological trends in vessel characters*. International Association of Wood Anatomists Bulletin new series 4:141-159.
- Bailey D.C. (1980) Anomalous growth and vegetative anatomy of Simmondsia chinensis. American Journal of Botamy 67:147-161
- Barajas M. J. (1985) Wood structural differences between trees of two tropical forests in Mexico. International Association of Wood Anatomists Bulletin new series 6:355-364.
- Barajas M. J. (1987) Wood specific gravity in species from two tropical forests in Mexico. International Association of Wood Anatomists Bulletin new series 8:143-48.
- Bernal S.S.I. (2004) El papel de las variables ambientales y los contaminantes atmosféricos en la actividad cambial. Tesis de doctorado. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgrados. Montecillo, Texcoco. Estado de México.
- Bigler C., Jozica Gricar, Harald Bugmann, Katarina Cufar. (2004) *Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir.* Forest Ecology and Management 199: 183-190.
- Biondi F. (2001) A 400-year tree-ring chronology from the tropical treeline of North America. Ambio 30:162–166
- Biondi F., Gershunova. and Cayan R. D. (2001) *North Pacific Decadal Climate Variability since 1661*. Letters. American Meteorological Society. Vol. 14:5-10 pp.
- Bland, D.E. (1985) The composition and Analysis of eucalyptus wood. Appita, Vol. 38, №4, p.291-294.
- Bojorges S, 1. A. (1990) Índice de sitio para oyamel en Zoquiapan México. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Estado de México. México.
- Borghetti, M. et al. (1998) Impact of long term drought on xylem embolism and growth in Pinus halepensis Mill. Trees, Structures and Functions, 12, pp. 187-195.

- Bouriaud, O., Leban, J.M., Bert, D., Deleuze, C. (2005) *Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce*. Tree Physiol. 25, 651–660.
- Browning, B.L. (1967) Methods of wood chemistry. Intersci, Public. N.Y., London, vol. 2, p.800.
- Brunstein FC (1996) Climatic significance of the Bristlecone Pine latewood frost-ring record at Almagre Mountain, Colorado, USA. Arc Alp Res 28(1):65–76.
- Cantoral, H., M. 1986. Comunidades liquénicas epifitas en Abies religiosa (H.B.K.) Cham & Schl.,como indicadoras de contaminación atmosférica en el Parque Cultural y Recreativo "Desierto de los Leones". Tesis de Biólogo.

 Escuela de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM.
- Cámara Nacional de las Industrias Derivadas de la Silvicultura. (1987 a 1988) Memoria económica. México 60 p.
- Carballo, L.R. (1990) The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (Pinus caribea) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp. Faculty of wood Technology, University College of Foresty and wood Technology. Dissertation Thesis of the degree of CSc Zvolen. Rep. Eslovaca.
- Carwardine M. (1992) Manual de Conservación del Medio Ambiente. Plural Ediciones, S.A. Barcelona. Pp. 188.
- Ceballos J. R. (2002) *Los árboles, seres vivos para la ciencia*. Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza. España. 2: 1-16.
- Chavarria P. V. (2007) *Monitoreados (1997-2004) de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Iztapopocatepet*l.

 Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología. FES-Zaragoza, UNAM. México D.F.
- Chávez Ma. Teresa. (2002) Conservar los bosques del Izta-Popo (Un reto para asegurar el futuro). Ciencia y Tecnología, 20-27 pp.
- Cherubini P, Gartner B.L., Tognetti R., Bräker O.U., Schoch W., Innes J.L. (2003) *Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates.* Biol Rev 78:119–148.
- Chowdhury, K.A. (1939) *The formation of growth rings in Indian trees*. Part I. Indian For. Rec (N.S.), Utilisation II (1), 1-39, Manger of pub. New Delhi.
- Cibrián Tovar, D. (1989) Air pollution and forest decline near México city. Environmental Monitoring and Assessment. 12: 49-58.
- Ciesla W, M. (1989) Aerial photos for assessment offorest decline. A multinational overwiew. Jour. For. 87:37-41.
- Ciesla, A. W. (2002) Non wood forest products from temperate broad leaved trees. FAO. Roma. 125 Pp.
- Copenheaver C. A., Elizabeth A. Pokorski, Currie J. E. and Marc D. A. (2006) *Causation of false ring formation in Pinus banksiana: A comparison of age, canopy class, climate and growth rate.* Forest Ecology and Management. December .236:348-355.
- Creus N. J. y Saz. M. A. S. (2004) La sequía como principal factor limitante del desarrollo de pinus halepensis Mill. En el sector central del Valle del Ebro. Departamento de Geografía, Universidad de Zaragoza. España.4: 607-617.
- Cruz M. A. R. (2007) Dendrocronología y PIXE para la Evaluación del Crecimiento de pino Influenciado por el Cambio del Régimen Climático y la Contaminación Atmosférica en el Iztapopo. Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología. FES-Zaragoza, UNAM. México D.F.
- De la I. de Bauer M, L Y T. Hernández T. (1986) *Contaminación: una amenaza para la vegetación en México*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 84 p.

- Departamento de Parques Nacionales. (1959) *Parques Nacionales de México*. Subsecretaria de Recursos Forestales y de Caza. S.A.G. 24 p.
- Díaz S. C., Touchan R. and Swetnam T. W. (2001) A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. Int. J. Climatol. 21: 1007–1019.
- Díaz V. J., David W. Stahle, Brian H. Luckman, Julian Cerano-Paredes, Mathew D. Therrell, Malcom K. Cleaveland, Eladio Cornejo-Oviedo. (2007) *Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico*. Climatic Change. Marzo. 83:117-131.
- Elizalde del Castillo Negrete, N. (1979) *Uso de preservadores en los árboles de navidad (Abies religiosa* (H.B.K) Schl. et Cham.). Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México, México. 48 p.
- Esper J., Shiyatov S. G., Mazepa V. S., Wilson R. J. S., Graybill D. A. and Funkhouser G. (2003) *Temperature-sensitive Tien*Shan tree ring chronologies show multi-centennial growth trends. Climate Dynamics 21: 699–706.
- Fahn, A. (1974) Anatomía Vegetal. H. Blume Ediciones. Madrid.
- Fahn A., Werker E. y Baas P. (1986) Wood anatomy and Identification of Trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions. The Israel Academic of Science and Humanities, Jerusalén.
- Fengel, D., Wegener, G. (1984) Wood Chemistry, Ultraestructure Reaction. Walter de Gruytier, Berlín, p.2-220.
- Filion L., Payette S., Gauthier L., Boutin Y. (1986) *Light rings in subarctic conifers as a dendrochronological tool*. Quat Res 26:272–279
- Fitter A, H.; R. K. M. Hay. (1987) Environmental physiology of plants. 2nd. Ed. Academic Press. landan. 423 p.
- Flores N. P. (2006) Aplicación de SEM/EDS (Scanning Electron Micrsocopy/Energy Dispersion Spectroscopy) para la determinación structural y elemental de anillos de Abies religiosa del Parque Nacional Izta-popocatépetl. Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología. FES-Zaragoza, UNAM. México D.F.
- Freyermunth Jiménez, Enriqueta. 1952. Contribución al conocimiento de la flora fanerogámica del "Desierto de los Leones". Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Fritts H.C. (1976) *Tree rings and climate.Laboratory of Tree-Ring Research*. Academic Press. Tomo II. 245 pp.
- Fritts H.C. & Swetnam T.W. (1986) *Dendroecology: A tool for Evaluating Variations in Past and Present Forest Environments*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, AZ, USA.
- Fritts H.C, Eugene A. Vaganov, Irina V. sviderskaya, Alexander V. shashkin (1991) Climatic variation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density. Climate Research. Abril. Vol. 1:97-116.
- Fueller, G., Mckeon, T. A and Bills, D.D. (1996) *Agricultural Materials as Renervable Resources*. ACS Symposium, Series 647, p.12-15.
- García, L. E., Guindeo, C.A., Peraza, C.O. y Palacios de P. (2003) La madera y su anatomía (anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular). Fundación Conde del Valle de Salazar. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Garduño García, R. (1944) El oyamel y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. Departamento de Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 76 p.
- Génova, M. (2003) Los anillos de crecimiento como indicadores climáticos. Revista de Ciencia y Tecnología. Universidad de Barcelona. No. Especial: 29-31.

- Gómez G. R. (2003) *Estado del conocimiento de oyamel.* Tesis de licenciatura. Febrero. Escuela Nacional de Agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. México.
- González- Elizondo M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre. (2005) *Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidenta*l. Forest Ecology and Mangement. November. 213:39-53.
- Gourlay, I. D. (1995) Growth ring characteristics of some African Acacia species. J. Trop. Ecol. 11: 121-140.
- Grissino-Mayer, H. (2003) A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. Tree-Ring Research 59(2):63-79.
- Guardiola, J. L. y Amparo, G. L. (1995) Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte. Editora Síntesis, Valencia, España, p.27-63.
- Hernández T., T. (1984) Efecto de los gases oxidantes sobre algunas especies del género Pinus nativas del valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de fitopatologna, Colegio de Postgraduados. 109 p.
- Hernández T. T. y L. I. de Bauer. (1989) *La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica.* Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. México. p. 79.
- Hinds, H. V; Larsen. (1961) "Collecting tree seed in Mexico" Empire Forestry Review. 40 (103): 43-53. New Zealand.
- Hook D., C. Brown and R. Wetmore. (1972) Aeration in trees. Bot. Gaz. 133 (4):443-454.
- Iraolagoitia, I. and Ruíz, U. E. (2003) *Dendroclimatología: el árbol como testigo del pasado climático*. Revista Euskonews & Media, 204. zbk (2003/03/21-28).
- Jáuregui O, E. (1989) Aspectos meteológicos de la contaminación del aire en la ciudad de México. In: L.M. Guerra, Impactos económicos y ecológicos del cambio de combustibles en México. Friedrich Eber stiftung México. pp. 113-127.
- Jiménez A.M., N. Rios y G. Moglia. (2000) *Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña*Seca. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques. Argentina. Quebracho 8: 56-63.
- Kozlov, V., Kisternaya, M. (2004) *Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in northern Russia.* Palaeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 209, 103–111.
- Kuo, M., McGinnes Jr., E.A., (1973). Variation of anatomical structure of false rings in eastern redcedar. Wood Sci. 5, 205–210.
- Kurczynska, E.U., Dmuchowski, W., Wloch, W., Bytnerowicz, A. (1997) *The influence of air pollutants on needles and stems of Scots pine (Pinus sylvestris L.) trees.* Environ. Pollut. 98, 325–334.
- LaMarche VC, Hirschboeck KK (1984) Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. Nature 307:121–128.
- Leuchards, D. (1960) Latin American conifers in Uganda. Tech. Note. For. Dep. Uganda. No. 87.11 pp. 10 refs.
- Liang C., Filion L., Cournoyer L. (1997) Wood structure of biotically and climatically induced light rings in eastern larch (Larix laricina). Can J For Res 27:1538–1547
- Liechty H. O., G. D. Mroz, and D. D. Reed. (1993) Cation and anion fluxes in northern hardwood throughfall along an acidic deposition gradient. Can. J. Forest Res. 23: 457-467.
- Lindholm, M., Lehtonen, H., Kolström, T., Meriläinen, J., Eronen, M. & Timonen, M. (2000) *Climatic signals extracted* from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. Silva Fennica 34(4): 317–330.

- Lloyd, A.D., Mellerowicz, E.J., Riding, R.T., Little, C.H.A., (1996) Changes in nuclear genome size and relative ribosomal RNA gene content in cambial region cells of Abies balsamea shoots during the development of dormancy. Can.

 J. Bot. 74, 290–298.
- López L. M. A. (1993) Evaluación nutrimental de Abies religiosa en el Desierto de los Leones, Distrito Federal. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. Montecillos. México. 101 p
- López L. M. A. (1996) Declinación del oyamel del Desierto de los Leones D. F.: Un modelo del proceso. In: De la I. de Bauer, M. L., C. Rodríguez H., L. Tijerina Ch., A. Carballo c., E. Palacios V. y F. Escobedo C. Memorias del 11 simposio inter nacional y 111 reunión nacional sobre agricultura sostenible: Una contribución al Desarrollo Agrícola Integral. Comisión de Estudios Ambientales y Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados. pp. 425-431.
- Lovett, G. M., E. S. Lindberg, D. D. Richter., and W. D. Johnson. (1985) *The effects of acidic deposition on cation leaching* from three deciduous forest canopies. Can. J. Forest Res. 15: 1055-1060.
- Luna-Vega., Almeida-Leñero L. Llorente-Bousquets J. (1989) Floristica y aspectos fitogeográficos del bosque mesófilo de montaña de las cañadas de Ocuilan, Estado de Morelos y México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 59:63-87.
- Madrigal S., X. (1964). Contribución al conocimiento de la ecología de bosques de oyamel (Abies religiosa (HB.K.) Schl el Cham., en el Valle de México. Tesis de Licenciatura. México. Distrito Federal. Instituto Nacional de Ciencias Biológicas. 111 p.
- Madrigal S. X. (1967) Contribución al conocimiento de la ecología de los bosques de oyamel (ANes religiosa H.B.K. Schl el Cham en el Valle de México. Instituto Nacional de Investigación. Bol. Tec. 18 México. Distrito Federal. 94 p.
- Manzanilla, H. (1974) *Investigaciones Epidométricas y Silvícola en bosques mexicanos de Abies religiosa*. Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAGAR. México, 165 pp.
- Martinelli N. (2003) *Climate from dendrochronology: latest developments and results*. Global and Planetary Change 40: 129–139.
- Masiokas, M., Villalba, R. (2004) *Climatic significance of intra-annual bands in the wood of Nothofagus pumilio in southern Patagonia.* Trees 18, 696–704.
- May ek, N. G. (2001) Dinámica de la regeneración de Abies religiosa (H.B.K) Schl. el Cham., y Pinus hartwegii Lindl., en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 78 p.
- Mayen, L. 1987. Evaluación de los efectos de tres tipos de agua en el tiempo y porciento de germinación de semillas de Oyamel (Abies religiosa). Tesis profesional (Ing. Agrícola). FES Cuautitlán. UNAM. México.
- Mengel, K. Y A. E. Kirkby. (1982) Principles of plant nutrition. International Potash Institute
- Metcalfe C.R. y Chalk L. (1989) Anatomy of the Dicotyledon. Vol. II. 2a ed. Clarendon Press, Oxford.
- Miina J. (2000) Dependence of tree-ring, earlywood and latewood indices of Scots pine and Norway spruce on climatic factors in eastern Finland. Science Ecological Modelling 132 (2000) 259–273.
- Mitrakos, K. (1980) A theory for Mediterranean plant-life. Oecologia Plantarum 15, 245-252.
- Montealegre Lara, A. L. (1992) *Curculionidae (Ins Col) en el follaje de oyamel (Abies religiosa) de Desierto de los Leones, Distrito Federal.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Autónoma de México. México Distrito Federal. 103 p.

- Nicault, A. (1999). Analyse de l'influence du climat sur les variations inter et intra annuelles de la croissance radiale de pin d'Alep en Provence. Thèse. Aix-Marseille, 254 pp.
- Nieto de Pascual, P.C. (1995) Estudio sinecológico del bosque de oyamel de la caña de Contreras, Distrito Federal. Ciencia Forestal en México, vol. 20(77):3-34.
- Paliwal G.S. y Prasad N.U.S.R.K. (1970) The cambium of Alseuosmia, Phytomorphology 9:5-8.
- Panshin A.J. y De Zeeuw C. (1970) Textbook of Wood Technology. Vol. I. McGraw-Hill. New York.
- Prinz, B. y G. H. M. Krause. (1988) *Damage to Norway spruce*. In: Kral-Urban, B., H. E. Papke, K. Peters y Chr. Schimansky.

 Cause-effect research in the United States of America and Federal Republic of Germany: Forest decline. Jülich

 Nuclear Research Center for the US Environmental Protection Agency and German Ministry of Research and

 Technology. Pp 56 y 57.
- Priya, P.B., Bhat, K.M. (1998) False ring formation in teak (Tectona grandis L.f.) and the influence of environmental factors. Forest Ecol. Manage. 108, 215–222.
- Puckett L. J. (1990) *Time and pH-dependent leaching of ions from deciduous and coniferous foliage*. Can. J. Forest Res. 20: 1779-1785.
- Raisman S. J. y González A. (2005) Hipertextos del área de biología. UNNE (Universidad Nacional del Nordeste).
- Raventós J., Dorado I., Gras M.J., Arrillaga M. De Luis y González-Hidalgo J.C. (2004) *Tree rings anomalies on Pinus halepensis in an inland/ coast gradient: a dendroecological preliminary approach*. Proceedings 10th MEDECOS Conference, April 25-May 1. Rhodes, Greece Arianoutsou & Papanastasis (eds). Millpress, Rotterdam.
- Rehfuess, K. E. (1988) *Damage to norway spruce.* Research site: Luchsplatzl. In: Krahl-Urban, B., H. E. Papke, K. Peters y Chr. Schimansky. Cause-effect research in the United States of North America and Federal Republic of Germany: Forest Decline. JUlich Nuclear Research Center for the US Environmental Protection Agency and Genman Ministry ofResearch and Technology. pp. 72-75
- Robles F.E. y Echenique M.R. (1983) Estructuras de madera. Limusa. México. Pp. 13-15.
- Rodríguez L, R. (1982) *Plagas forestales y su control en México*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología.
- Rozas V. (2004) Efectos de la historia del dosel y el clima sobre los patrones de crecimiento radial de Fagus sylvatica L. y Quercus robur L. Invest Agrar: Sist Recur For 13 (3), 479-491.
- Rubio D.L. & McCarthy B.C. (2004) *Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events.*Dendrochronologia. 21:97-215.
- Rzedowski J. (1978) Vegetación de México. Limusa, México, D.F.
- Rzedowski, J. (1979) Vegetación de México. Primera Edición. México, Editorial Limusa.
- Rzedowski, J. L. (1983) Vegetación de México. Limusa. México. 478p.
- Salazar B. S. y Terrazas S. T. (2000) Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en Abies religiosa. Madera y Bosques 6(1): 73 86 73.
- Salazar B. S., Terrazas S. T. y Alvarado D. (2004) *Impact of air pollution on ring width and tracheid dimensions in abies* religiosa in the Mexico City basin. IAWA Journal, Vol. 25 (2), 2004: 205–215.
- Santana J. Carlos. (1999) Primeros Resultados para la Reconstrucción Dencroclimática de Canarías. Vegueta. 4: 9-25.
- Scott, S. D. (1966) *Dendrochronology in Mexico*. Papers of the laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona Press, tUcson. 80 pp.

- Schulman (1938) Classification of false annual rings in Monterey pine. Tree-ring Bulletin 4, 4-7.
- Schulman, E. (1944) Dendrochronology in Mexico. Tree-Ring, Buletin 10:18-24.
- Schweingruber F. H. (1993) Trees and wood in Dendrocronology. Germany.
- Serre, F. (1973) Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (Pinus halepensis Mill). Thése de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, 236 p.
- Serre-Bachet and Tessier (1989) Response Function Analysis for Ecological Study. In: Cook R. & Kairiukstis L.A. (eds).

 Methods of Dendrochronology. Klumer Academnic Publishers, International Institute for Applied Systems
 Analysis, Boston.
- Sjöström, E. (1981) Wood chemistry fundamentals and applications. New York, Academic Press.p. 98-103, 223.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales (S.E.C.F.) (2005) *Diccionario Forestal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona. México.
- Stahle D.W. (1990) *The tree-ring record of false spring in the southcentral USA*. PhD thesis, Arizona State University, Tempe.
- Stephen H. Spurr, Burton V. Barnes. (1984) Ecología Forestal. AGT Editor, S.A. México. 3ra. Edición. 107-190 Pp.
- Stokes M. A. and T.L. Smiley. (1996) An introduction to Tree-Ring Dating. University of Arizona Press. Tucson, Az.
- Streets, M. A. (1962) Exotic Forest trees in the British Cornmonwealth. Clarendon Press. Oxford. Pp 133-134.
- Susmel, V. & Bassato (1976) Ecologia della lecceta del Supramonte di Orgosolo (Sardegna Centroorientale). Cedam, Padova, Italy.
- Szeicz J.M. (1996) White *Spruce light rings in northwestern Canada*. Arc Alp Res 28:184–189.
- Tanner, W. and Loewus, F. A. (1981) Extracelular carbohydrates. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, vol.13B, Plant Carbohidrates II, N.Y.
- Terradas, J. & Savel, R. (1992) The influence of summer and winter stress and water relationships on the distribution of Quercus ilex L. Vegetatio 99/100: 137-145.
- Tingley, M. A. (1937) Double growth rings in Red Astrachan. Proceedings American Society Horticultural Science 34: 61.
- Tomlinson P.B. y Craighead F.C. (1972) *Growth-rings studies on the native trees of sub-tropical Florida*. En: Ghouse A.K.M. Ed. Research Trends in Plant Anatomy, pp. 39-51, K.A. Chowdhury Commemoration Volume. Tata McGraw-Hill, Nueva Delhi.
- Treter, U., Block, J., Kastner, R. (2002) Dendrochronology and dendroecology results from larch forests in northwestern Mongolia high steppes. Stuttgarter Geographische Studien 133, 83–98.
- Trouet V., Coppin P. and Beeckman H. (2006) *Annual Growth Ring Patterns in Brachystegia spiciformis Reveal Influence of Precipitation on Tree Growth*. Biotropica 38(3): 375–382.
- Valenzuela H. I. (2001). Estimación de secuestro de carbono en los bosques naturales de oyamel (Abies religiosa) en el Sur del Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 128 p.
- Vázquez Soto, J.; W. Barret E.; E. Litle Jr. (1962) Botánica. *Consideraciones generales sobre Coniferas Mexicanas*. En FAO-INIF. Seminario y viaje de estudio de coniferas latinoamericanas. Pub. Esp. No. 1. Inst. Nal. Invest. For. México, Distrito Federal. Pp. 17-20.

- Vázquez S. J. (1987) Los tratamientos silvícolas del Desierto de los Leones. Sus fundamentos. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Rural". México. 34 p.
- Villalba R, Boninsegna JA, Veblen TT, Schmelter A, Rubulis S. 1997. Recent trends in tree-ring records from high elevation sites in the Andes of northern Patagonia. Clim Change 36:425–454.
- Villanueva D. J. (1996) *Influence of land-use and climate on solis and forest structure in mountains of the Southwestern United States and Northern Mexico.* Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson, 2003 p.
- Villanueva D. J. & McPherson G. R. (1995) Forest satnd structure in mountains of Sonora, Mexico, USA In: DeBano, L. F.,
 P. E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. J. Gottfried, R. H. Harnre, and C. R. Edminster (Tech. Coord.). Biodiversity and
 Manegement of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United Sates and Northern
 Mexico. USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. Pp. 416-423.
- Villanueva D. J. & McPherson G. R. (1996) Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. Hidrology and Water Resources in Arizona and the Southwest. Hydrology Section, Arizona Nevada Academy of Science 26:45–54
- Villanueva D.J y Cerano P.J. (2004) *Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México*. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Folleto Técnico No. 2 Julio.
- Volney W.J.A., Mallet K.I. (1992) Light rings and the age of jack pine trees. Can J For Res 21:2201–2013
- Weaver S.A. (1988) The use of increment cores for the analysis of tree ring chronologies for fijian kauri (Agathis Macrophylla). Tuatara: Volume 30, Issue 1, December 1988.
- Wheeler A.E., McClammer J. y La Pasha A.C. (1995). Similarities and differences in dicotyledonous woods of the Cretaceous and Paleocene. San Juan Basin, New Mexico, USA. International Association of Wood Anatomists Journal 16:223-254.
- Wiles C. G., Parker E. Calkin, Gordon C. Jacoby. (1996) *Tree-ring analysis and Quaternary geology: Principles and recent applications*. Geomorphology 16:259-272.
- Wimmer R. y Grabner M. (2000) A comparison of tree-ring features in Picea abies as correlated with climate. IAWA Journal, Vol. 21 (4) pp. 403–416.
- Wimmer, R., Strumia, G., Holawe, F. (2000). *Use of false rings in Austrian pine to reconstruct early growing season precipitation*. Can. J. Forest Res. 30, 1691–1697.
- Woodcock W.D., Dos Santos G. y Reynel C. (2000) *Wood characteristics of Amazon forest types*. International Association of Wood Anatomists Journal 21:277-292.
- Worbes M. (2004) *Tree-Ring Analysis*. Elsevier Ltd. Göttingen, Germany. Pp. 13.
- Xiaoniu X., Qin W., Eiji H. (2005) *Precipitation partitioning and related nutrient fluxes in a subtropical forest in Okinawa, Japan.* 245 Ann. For. Sci. 62 pp. 245–252.
- Yamaguchi D.K., Filion L., Savage M. (1993) Relationship of temperature and light ring formation at subarctic treeline and implications for climate reconstruction. Quat Res 39:256–262
- Young, P.J., Megonigal, J.P., Sharitz, R.R., Day, F.P. (1993) False ring formation in baldcypress (Taxodium distichum) saplings under two flooding regimes. Wetlands 13, 293–298.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS:

http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/464/desierto.html).

http://www.yale.edu/fes519b/saltonstall/page2.htm#tree%20ring%20intro.