



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA



ANOMALÍAS EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Abies religiosa* (Kunth)
Schltl. & Cham. COMO POSIBLE EFECTO DE LAS EMISIONES VOLCÁNICAS
EN DOS PARAJES DEL PARQUE NACIONAL “EL CHICO” EN HIDALGO.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO PRESENTA:

IRMA GRACIELA HERNÁNDEZ VERA

DIRECTOR: M. EN C. GERMAN CALVA VÁZQUEZ

CIUDAD UNIVERITARIA, CDMX

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A mi abuelo el Sr. José Vera Lozada †
A mi abuela María de la luz Delgadillo Márquez, en su 98 aniversario de vida (09-05-
1919) eres una mujer admirable

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por darme la vida y darme en cada día la oportunidad de ser mejor y amar. Sin tu presencia nada en mi sería posible, Te amo.

Al M. en C. German Calva Vázquez, por creer y confiar en mi, por dejarme ser parte de este proyecto, por sus consejos, por su paciencia y estar siempre al pendiente para terminarlo, es el mejor Maestro.

Al Dr. Efraín Ángeles Cervantes, por los aportes, y las recomendaciones a este trabajo, también por la paciencia en cada revisión.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval. Por ser un excelente maestro, por las atenciones brindadas a este proyecto, y por su incondicional apoyo.

A la bióloga Aida Zapata Cruz, por ser parte de este jurado, por los comentarios para mejorar mi tesis y por ser una gran maestra en todos los sentidos, las clases impartidas por usted serán siempre un recuerdo invaluable para mi.

Al M. En C. Genaro Montaña Arias, Por las valiosas recomendaciones a este proyecto, por la ayuda otorgada y por ser un gran humano y profesor.

A toda la plantilla de profesores por darme la formación, y a mis compañeros que han sido una gran familia en mi vida académica, siempre los tendré presentes.

¡¡GRACIAS A MI ALMA MÁTER POR SER MI CASA DE ESTUDIOS, POR SIEMPRE TENER UNA OPORTUNIDAD PARA MI, POR EL TIEMPO DE ESTANCIA Y POR SER LA ÚNICA Y LA MEJOR!!

DEDICATORIAS

A Aram mi más grande amor, mi bendición, mi luz y mi desvelo...gracias porque aún siendo tan pequeñito has entendido de este proceso, ¡¡mi niño este logro es para ti...te amo hijo!!

A Ahuizotl gracias por estar a mi lado en todo momento, por darme tanto amor y una hermosa familia, por todo el apoyo para terminar mi tesis. Te amo...eres tú mi instante favorito por siempre!!

A mis padres Juvenal Cruz Hernández Olvera y Graciela Vera Delgadillo por su amor, por su ejemplo de esfuerzo, por guiar mis pasos, por darme tanta confianza, y por estar conmigo siempre en todo momento...¡¡los amo son los mejores padres y mi gran orgullo!!

A mis herman@s: Juan, Eduardo, Karina y Marisol, por ser mis compañeros de infancia y de travesuras, por estar siempre presentes en las buenas y en las malas, y por su apoyo en esta aventura...los amo!!

A mis sobrin@s: Viviana, Valeria, Vania, Alexandra, Itzel, Said, Valentina, Ximena, Sofía y Daniel, cada sonrisa es una bendición, y su presencia siempre será una luz en mi vida.

A mis amig@s: Lorena M., Nohemí C., Mary Carmen A., Dora A. L., Verónica V., Gloria G., Tania A., América C., Yolanda T., Yalina V., Eglé M., Rocío O., Abigail L., Cinthia V., Yolo V., Jane Olvera, Enrique Lucas, Alejandro Rubio, Alfredo Nuñez, Salvador Urquilla, y Adrián Rodríguez porque cruzaron la línea, y ahora forman parte de la familia que se elige con el corazón.

A Erika García Vera, Diana Pérez Vera, Norma Angélica Pérez Vera, y Alfredo Pavana Vera, la distancia no aleja a los corazones que se aman, solo los une más.

A la Familia Gutiérrez Castillo, por todos los bellos momentos, por el apoyo incondicional para terminar este proyecto, y por dejarme formar parte de su vida.

A cada integrante de las familias Hernández Olvera y Vera Delgadillo, siempre los llevo en mi corazón.

Tabla de contenido

RESUMEN	x
I.INTRODUCCIÓN.....	11
II. ANTECEDENTES.....	12
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
IV. JUSTIFICACIÓN	14
V. OBJETIVOS.....	16
5.1.- Objetivos particulares.....	16
VI. HIPÓTESIS.....	16
VII. MARCO TEÓRICO	17
7.1.- Volcanes activos de México	17
7.2.-Emisiones volcánicas de los últimos cien años en México y eje Neovolcánico transversal	18
7.3.-Patrones de viento.....	19
7.4.-Los bosques de <i>Abies religiosa (Kunth) Cham. & Schltl</i> en México	21
7.5.-Anatomía de la madera.....	24
7.5.1.-Corteza	25
7.5.2.-Albura y duramen	25
7.5.3.-Anillos de crecimiento	26
7.6.-Efecto de las emisiones volcánicas en la formación de anillos de crecimiento	30
7.7.-Descripcion de la especie	31
VIII. ÁREA DE ESTUDIO	34
8.1.-Parajes dentro del área de estudio.....	35
IX. MÉTODO	36
9.1.-Fase de campo	36
9.2.-Fase de laboratorio	36
9.3.-Fase de gabinete	37
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
10.1.-Caracterización de los rodales.....	41
Finalmente, ambos parajes se determinaron como no coetáneo con dos estratos de la corona de acuerdo a la clasificación propuesta por Harold & Hocker (1984).....	42
10.2.-Datos dasométricos de los parajes “El Cedral” y “Estación Forestal”	42
10.3.-Prefechado y construcción de las cronologías de los núcleos en los dos parajes	44
10.4.-Determinación de las cronologías e identificación de LAS anomalías (falsos, dobles, inconclusos y múltiples), PARAJE CEDRAL	45
10.4.2.-Cronologías del paraje “Estación Forestal”	47
10.5.- COMPROBAR SI LAS EMISIONES VOLCANICAS INFLUYEN EN LA FORMACION DE EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO	56
10.5.1.-Gráficas de la frecuencia de anomalías por décadas en ambos parajes.....	56

<i>10.5.2.-Porcentaje de anomalías en ambos parajes.....</i>	58
<i>10.5.3.-Grafica de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes.....</i>	61
<i>10.5.4.- Promedios y ganancias de crecimientos en ambos parajes</i>	63
<i>10.5.5.-Acontecimientos volcánicos en comparativa de los dos parajes y sus anomalías registradas durante nueve décadas</i>	64
XI.CONCLUSIONES.....	67
BIBLIOGRAFIA	68
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	73

INDICE DE FIGURAS

	Pag
Figura 1.- Mapa de los volcanes activos de México.....	9
Figura 2.- Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo.....	18
Figura 3.- Anatomía de la madera.....	19
Figura 4.-Anillo de crecimiento, indicando leño de verano y leño de primavera...	22
Figura 5.- Anillos de crecimiento de <i>Pinus sylvestris</i> ,.....	24
Figura 6.-Imagen de <i>Abies religiosa</i> (Kunth)Schltdl. & Cham.....	28
Figura 7.- Ubicación de los dos parajes en el Parque Nacional “El Chico”.....	30
Figura 8.-Partes que conforman al barreno de Pressler (modificado-de-Jozsa-1988).....	33
Figura 9.- A)Extracción de núcleos de acuerdo a la pendiente del árbol. B) Núcleo de <i>Abies religiosa</i> . C) Núcleos con popotes para protección.D) Montado del núcleo en los bastidores de madera, visto en el estereoscopio.....	33
Figura 10.-A) Núcleos colocados en los bastidores de madera. B) Lijado de los núcleos (600, 400, 200 grosor de lijas). C) Núcleos orientados y colocados en bastidores.....	34
Figura 11.- Núcleos lijados antes de colocar papel milimétrico.....	34
Figura 12.- A) Colocación de papel milimétrico para señalar los anillos. B) Anillos de crecimiento visto a través del estereoscopio. C) Núcleos prefechados y seccionados por parajes.....	35
Figura 13.-A) Núcleos listos para la observación en estereoscopio. B) Núcleos terminados y observados en estereoscopio y WINDENDRO®.....	35
Figura 14.- Tallas de los troncos, densidad arbórea e imágenes de las copas. Paraje “Estación Forestal”.....	36
Figura 15.- Tallas de los troncos de oyamel registrados.....	37
Figura 16.- Núcleos antes de ser procesados con WINDENDRO®.....	39
Figura 17.- Cronología de <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. & Cham., de WINDENDRO.....	40
Figura 18.-Continuación de la cronología del paraje “El cedral” (3B-5B).....	41
Figura 19.-Continuación de la cronología del paraje “El Cedral” (6A-8A).....	41
Figura 20.-Continuación de la cronología del paraje “El Cedral”(8B-10B).....	42
Figura 21.-Parte de la cronología del paraje “Estación Forestal” (1A-3).....	43
Figura 22.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (3B-5B).	43
Figura 23.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (6A-8A).....	44
Figura 24.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (8B-10B).....	44
Figura 25.- anillo falso entre el año 1978 a 1984.....	45
Figura 26.- Anillo falso por erupción del volcán Chichonal.....	46
Figura 27.- Anillo falso, registrado después de la erupción del volcán Tacaná.....	46
Figura 28.- Anillo doble posterior a la emisión volcán de Colima.....	46
Figura 29.- Anillo inconcluso entre el año de 1998 y 1999.....	47

Figura 30.- Anillos múltiples entre el año de 1988 y 1989.....	47
Figura 31.- Anillos múltiples derivados del volcán de Colima.....	48
Figura 32.- Anillos falsos entre el año de 1933 y 1935.....	48
Figura 33.- Anillo doble derivado de Chichonal (Chiapas) en 1982.....	49
Figura 34.- Anillo doble derivado de Chichonal (Chiapas) registrado en otras virutas del mismo rodal.....	49
Figura 35.- Registro de los anillos múltiples registrados entre los años de 1955, 1956, 1957, y 1959.....	50
Figura 36.- Registro de los anillos múltiples.....	50
Figura 37.- Integración de las anomalías en el Paraje estación Forestal”.....	51
Figura 38.- Integración de las anomalías en el Paraje “El Cedral.....	52
Figura 39.-Paraje “Estación Forestal” donde se ve la diversidad y el porcentaje de anomalías.....	54
Figura 40.-Paraje “El Cedral” donde se ve la diversidad y el porcentaje de anomalías.....	55
Figura 41.- Relación de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes en el Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo.....	56
Figura 42.- Graficas de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes en el Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo.....	57
Figura 43.- Aplicación de modelo polinomial y potencial para determinar el patrón (tendencia) del crecimiento en relación al tiempo.....	58
Figura 44.- Registro del anco de los anillos de crecimiento de ambos parajes.....	59
Figura 45.- Línea de tiempo en donde se observan ambos parajes, registrando cada uno los acontecimientos volcánicos que han afectado durante los últimos 100 años, también se observan las distintas anomalías y el número de cada una de ellas.....	61

INDICE DE CUADROS

	Pag
Cuadro 1.- Principales estudios que reportan anomalías en relación actividad volcánica.....	8
Cuadro 2.- Datos de Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México (Con datos de acuerdo en Macías, 2005).....	13
Cuadro 3.- Datos dasométricos del paraje El Cedral, en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.....	39
Cuadro 4.- Datos dasométricos del paraje Estación Forestal, en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.....	39
Cuadro 5.- Tipos de anomalías por paraje, cantidades totales.....	60

RESUMEN

Se realizó un estudio dendrológico en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo. En esta zona se encuentran bosques de coníferas en donde el oyamel es una de las especies que domina en la población arbórea. Se tomaron dos parajes para realizar el muestreo, el paraje “Estación Forestal”, y “El Cedral”. Se tomaron muestras de 10 árboles para cada área de muestreo, siendo taladrados con barreno Pressler para la obtención de los núcleos, de acuerdo a lo descrito por Fritts (1976) y Cook (1990).

La perforación de cada individuo se realizó perpendicular a la pendiente del suelo de acuerdo a lo descrito por Grissino Mayer (2003), tomando dos muestras por cada árbol, y en la cara Norte. En el trabajo de laboratorio, los núcleos fueron colocados en la estufa a 40°/ 48 horas para la eliminación de agua e inhibición de agentes patógenos. Una vez secos los núcleos, se procedió al montado, orientación y lijado, para posteriormente realizar la contabilidad de los anillos de crecimiento, en el estereoscopio. Posteriormente se realizó la medición de crecimiento de verano, primavera y total por medio de un escáner, con el programa WINDENDRO®, donde nos indicó la cronología de cada individuo y sus anomalías.

Los resultados obtenidos en este trabajo nos indican la presencia de anomalías, las cuales son diversas y tienen una variación con respecto al tiempo y a las emisiones reportadas. También tenemos el resultado con respecto a la longevidad de los rodales, la cual nos indica que son bosques con mediana edad.

Palabras clave: oyamel, anillos de crecimiento, anomalías, cronologías, El Chico

I.INTRODUCCIÓN

La dendrocronología es una disciplina que permite reconstruir la variabilidad climática y ambiental empleando los anillos de crecimiento anual de los árboles (Fritts, 1976). Se basa en que el crecimiento radial de las especies leñosas es rítmica y de forma anual, de acuerdo a condiciones ambientales determinadas por las estaciones del año. Así a cada anillo de crecimiento se le puede asignar un año calendario específico. Por otro lado el crecimiento de los árboles es el resultado que integra un conjunto de estímulos ambientales bióticos (competencia) y físicos (temperatura, precipitación), e incorpora esa información en la estructura de sus anillos, convirtiéndolos en verdaderos "archivos ambientales" (<http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html>).

Al hacer el estudio dendrocronológico en dos parajes (El Cedral y Estación Forestal) situados en el Parque Nacional "El Chico" se determinó que las emisiones volcánicas afectan de manera indirecta el crecimiento del bosque. Las anomalías registradas demuestran que las partículas de las emisiones volcánicas viajan a través de la atmósfera depositándose en la elaboración de la madera, en bosques lejanos. Incluso después de cinco años de ocurrir el evento volcánico los aerosoles permanecen suspendidos en la atmósfera. (Ingersoll, 1983).

Se sabemos que las emisiones volcánicas en la atmósfera baja reflejan en buena medida la incidencia de la luz solar y con ello disminuye significativamente la fotosíntesis, de ahí la reducción en el crecimiento de los anillos, retrasando hasta tres años la ganancia en su crecimiento (Biondi, 2003). En este estudio se hizo una comparación con dos parajes ubicados en el Parque Nacional "El Chico", en donde se pudo observar la aparición de anomalías con respecto a las emisiones volcánicas, y en donde su crecimiento se ve afectado al observar el radio de los árboles que conforman el bosque.

II. ANTECEDENTES

La dendrología es una disciplina que nos aporta una gran ayuda para conocer parte de la historia climática y ecológica de distintos hábitats a través de los años. Las anomalías en particular nos indican años con ganancias discontinuas. Estas se originan en los anillos de crecimiento, que al ser estudiadas nos reflejan un ritmo de cambios climáticos, así como contaminación la cual en parte puede ser causada por emisiones volcánicas. A lo largo de varios años se han estudiado las cronologías de varias especies para determinar estos cambios, encontrando este efecto en los anillos de crecimiento en la formación de anomalías.

Cuadro 1.- Principales estudios que reportan anomalías en relación actividad volcánica.

AUTOR / AÑO	ESTUDIO	SP DE ÁRBOL	OBSERVACIONES
Eggler, 1967	Anomalías	<i>Pinus sp</i>	Pinos que crecen cerca de volcán Paricutín (México) por 8 años de actividad volcánica, registraron en su Xilema varios tipos de anomalías: anillos anuales de crecimiento estrecho, incompleto y asimetría. Una alta correlación entre la densidad de la madera y su porosidad.
Ingersoll 1983	Emisiones volcánicas	Sin sp	La nube de polvo inyectada en la estratosfera por la erupción del volcán el chichón en México el 4 de abril de 1982, fue cartografiada por un satélite de órbita. Las partículas de polvo son altamente reflectantes y disminuyen la cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra. El efecto neto de la nube será por lo tanto disminuir la temperatura global media (tanto como un grado Celsius) y reducción fotosintética
Priya, y Bhat, 1998	Anomalías	<i>Tectona grandis L.F</i>	La formación del anillo falso de la teca (<i>Tectona grandis LF</i>) y la influencia de los factores ambientales (específicamente la sequía)
Biondi <i>et al</i> 2002.	Emisiones volcánicas	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	Los efectos a largo plazo son medidos por la disminución de la temperatura del aire. Los anillos anuales en pino de montaña de México indican muy bajo crecimiento en 1913 y 1914 después de la erupción del Volcán de Fuego, con una reducción del crecimiento radial de un 30% en un 73% de los arboles muestreados.
Revantos, Dorado, y Gras, 2004	Anomalías	<i>Pinus halapensis</i>	Anomalías en anillos de crecimiento de árboles de <i>Pinus halapensis</i> en un gradiente de interior / costa: una primera aproximación dendroecológica.
P.R. Sheppard <i>et al</i> 2007	Emisiones volcánicas	<i>Pinus sp.</i>	Se investigaron dos propiedades dendrocronológicas -el ancho del anillo y la química del anillo- en árboles cerca de Cone Cinder en el Parque Nacional Volcánico Lassen, California, con el propósito de reevaluar la fecha de su erupción. Los árboles que crecen en ceniza muestran cambios de anchura de anillo de crecimiento

Cruz Muñoz, <i>et al</i> 2007	Emisiones volcánicas	<i>Pinus montezumae</i>	El volcán Popocatepetl desde el año 1991 ha afectado las condiciones ambientales del bosque que le rodea. Un análisis elemental con PIXE-RBS en los anillos de árbol de <i>Pinus montezumae</i> arrojó concentraciones de elementos asociados a las emisiones volcánicas. Y disminución del ancho del anillo tres años después de la emanación.
Martínez-Pacheco, 2008	Contaminación	<i>Pinus patula Schl. et Cham.</i>	Variaciones climáticas en anillos de crecimiento <i>Pinus patula Schl. et Cham.</i> Como indicadores del calentamiento global el Parque Nacional Desierto de los Leones.
Ávila-Campusano 2008	Anomalías	<i>Abies religiosa (HBK) Cham. & Schltl</i>	Factores ambientales que influyen en la formación de anillos de crecimiento con anomalías en <i>Abies religiosa (HBK) Cham. & Schltl</i> , de los Parques Nacionales Izta-Popo y Desierto de los Leones.
Charlotte et al., 2009	Anomalías	<i>Juniperus sp</i>	Dendroquímica de los anillos de crecimiento de árboles con anomalías asociadas con la erupción de la isla volcánica de Thera en la Edad de Bronce tardía.
Pieper <i>et al</i> 2014	Emisiones volcánicas	<i>Quercus robur</i> L. Y <i>Pinus silvestris</i> L.	Los paleoclimáticos han mostrado vínculos entre los cambios climáticos y la actividad volcánica. Se investigó el efecto de grandes erupciones volcánicas sobre la tasa de crecimiento de los árboles que se correlacionan con la producción primaria neta forestal
Soto-Carrasco 2014	Contaminación	<i>Abies religiosa (HBK) Cham. & Schltl</i>	Influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de <i>Abies religiosa (HBK) Cham. & Schltl</i> de los Parques Nacionales Izta-Popocatepetl y El Chico Hidalgo.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La emisión de fumarolas de los volcanes se componen de aerosoles del sulfuro de hidrogeno, vapor de agua, dióxido de carbono, y metales traza. En la atmosfera, se generan indirectamente dos fenómenos; *i*) reflejo una parte del **espectro de luz solar** (oscurecimiento) y aquel que lo traspasa llega con poca suficiencia que retrasa la fotosíntesis; *ii*) alteración el **régimen del clima**, y en consecuencia hay presencia de anomalías alterando la formación de los anillos de crecimiento, según reportes, llegan a retrasarse hasta tres años después de haber ocurrido la emisión volcánica.

Se espera que en P N Mineral el Chico, tenga un clima más estable y sin la influencia de la antropocenos. Si así fuese, estarían poco presentes las anomalías.

IV. JUSTIFICACIÓN

La elaboración de estudios que prueban el retraso en el crecimiento de los anillos es un fenómeno ecológico que merece un estudio sistemático útil para los programas de manejo y conservación ecológica. Este trabajo es un estudio donde se enfoca al crecimiento y retraso de anillos de crecimiento basados principalmente en emisiones volcánicas y las anomalías que se generan por la contaminación atmosférica.

La ubicación del Parque Nacional “El Chico” le confiere a la región una diversidad biológica, lo que permite una alta biodiversidad, al ser relativamente pequeña su área al compararse con las del Valle de México (CONANP, 2005). El estudio justifica la conservación del crecimiento en el bosque en Hidalgo, las emisiones provenientes de Popocatepetl, Volcán de Colima, Tacaná y Chichonal forman parte del riesgo de atenuar el crecimiento.



Figura 1.- Mapa de los volcanes activos de México. <http://mr.travelbymexico.com/940>

A nivel regional el área de Parque Nacional “El Chico” tiene influencia, por su cercanía, con el volcán Popocatepetl. Sin embargo, las emisiones de hasta 9 Km de altura en columna de humo y fumarolas del volcán de Colima, hace que su radio de

influencia sea tan amplia que llega hasta el bosque del Parque Nacional en estudio. Ingersoll en 1983 probó con fotografía satelital que las emisiones del volcán de Colima permanecieron hasta cinco años cubriendo la parte central de la República y paradójicamente es un volcán muy alejado de la meseta central. Por otra parte, ya se realizan estudios de influencia del volcán Popocatepetl en el Parque Nacional “El Chico” y de ahí la importancia de complementar la información para la meseta central.

V. OBJETIVOS

Determinar el efecto de las emisiones volcánicas en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham para la formación anomalías, en dos parajes del Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo.

5.1.- Objetivos particulares

- Se determinara el efecto del crecimiento radial con el Prefechado (edad) y la construcción de las cronologías de las virutas en los dos parajes.
- Determinar los tipos de anomalías que se presentan en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Falsos, dobles, múltiples, e inconclusos).
- Ubicar en las décadas, emisión volcánica y anomalías, para ambos parajes.
- Comprobar si las emisiones volcánicas influyen en la formación de anomalías en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham.

VI. HIPÓTESIS

Si, las emisiones volcánicas reflejan la luz solar, produciendo un efecto de obscurecimiento y en consecuencia el adelgazamiento en la formación del anillo, entonces, se registrarán anomalías en los anillos de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. provocadas por las emisiones volcánicas.

VII. MARCO TEÓRICO

7.1.- Volcanes activos de México

México alberga a 22 de los 300 volcanes activos del mundo que, junto con Centroamérica y la zona andina, constituyen las regiones geográficas con mayor actividad volcánica en el mundo. En México han sido trece los volcanes que han producido erupciones en tiempos históricos, actividad originada por la dinámica en la zona de subducción del Pacífico, las fallas Montagua-Polochic, la falla Rivera y la reactivación de la falla que de este a oeste configura el Eje Neovolcánico Transmexicano (Plan de contingencias del volcán Popocatépetl, Puebla, 1995).

Los volcanes que mantienen actividad, y que son de gran importancia por cambiar constantemente el paisaje, pasan por la faja Neo-volcánica Transversal son los siguientes: Popocatépetl, entre los estados de México, Puebla y Morelos, El Chichón o Chichonal, en el estado de Chiapas, El Tacaná, en el estado de Chiapas y en frontera con la república de Guatemala, Pico de Orizaba, en los estados de Puebla y Veracruz, San Martín Tuxtla, en el estado de Veracruz, El Volcán de Colima, en la frontera de los estados de Jalisco y Colima, El Parícutín y Jorullo, en el estado de Michoacán, Tres Vírgenes, en el estado de Baja California Sur, El Bárcena y Everman, en las Islas Revillagigedo. Ceboruco y Sangagüey, en el estado de Nayarit. La primavera, en el estado de Jalisco. El Xítle, en el Distrito Federal.

La mayor parte de los grandes volcanes de nuestro país se encuentran ubicados en la parte frontal de la Faja Volcánica Transmexicana y en otras zonas volcánicas aisladas. Las emisiones volcánicas que han tenido lugar en distintos años, debido a las erupciones de varios de los volcanes, son ahora motivo de estudio para saber qué tipo de anomalías padecen nuestros bosques circundantes, el grado de afectación y si el crecimiento de estos, se refleja en un rango normal (Macías, 2005).

7.2.-Emisiones volcánicas de los últimos cien años en México y eje Neovolcánico transversal

Cuadro 2.- Datos de Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México (Con datos de acuerdo en Macías, 2005).

AÑO	ACONTECIMIENTO
1913	17 de Enero, volcán de fuego en Colima, dejó un cráter de 400 m de diámetro.
1917-1927	Popocatépetl, erupciones constantes durante esa década
1930	Chichonal en el estado de Chiapas, comienza la actividad volcánica con emanaciones de fumarolas
1943	20 de Febrero, nace en el estado de Michoacán el volcán en el poblado de San Juan Paricutín, por medio de una fuerte erupción
1949	Activación del volcán Tacaná en el estado de Chiapas, el día 22 de Diciembre, se observaron columnas blancas y caída de ceniza
1950	Erupción del volcán Tacana, que llama la atención a los geólogos catalogando al Tacaná como volcán activo
1956	Erupción en la isla San Benedicto, (Archipiélago de las Islas Revillagigedo) al oeste de las costas de Colima, dando lugar a la formación de volcán Bárcena
1962	Inicio de actividad del volcán de Colima, con erupciones en 1962, 1976, 1981, 1987, 1991, 1994, 1998, 2000, 2002, 2005
1982	28 de Marzo, erupción catastrófica del Chichonal en Chiapas, causo grandes efectos globales con la emisión de 7 m de SO ₂ a la atmosfera y reducción de la temperatura en 0.5° C durante varios meses.
1986	Reactivación del volcán Tacaná en Chiapas con una pequeña erupción freática que origina fumarola.
1994	Reactivación del volcán Popocatépetl el 21 de Diciembre hasta finales de Marzo de de 1995 con fumarolas
1996	Marzo, el volcán Popocatépetl nuevamente tiene emanaciones
1997	30 de Junio el volcán Popocatépetl hace erupción, formando una columna eruptiva de 8 km de altura, la cual se dispersa en la Cd de México, con caída de ceniza
2000	18 de Diciembre, erupción del volcán Popocatépetl que lanzo proyectiles a mas de 5km produciendo incendios en el bosque.
2001	21 de Enero, una de las últimas erupciones más importantes del volcán Popocatépetl. Con actividad intermitente.
2000-2003	Volcán de Colima formaciones de domo, flujos piroplasticos caída de ceniza con dirección al Sureste, Sur y Este.
2004	Volcán de Colima flujos de lava que alcanzaron distancias de hasta 5 km
2008-2012	Volcán de Colima, crecimiento del domo
2014	Volcán de Colima, nuevo domo y numerosas explosiones, derrames de lava hacia el Oeste y Sureste.

7.3.-Patrones de viento

Los patrones de viento juegan un papel muy importante en la distribución de los productos piroclásticos de un volcán. Los vientos superficiales (debajo de los 3000 m) tienen una fuerte tendencia N-S que no rebasa los 5 m/s de velocidad promedio en algunos meses, los vientos entre 3000 y 5800 m muestran las mismas tendencias que los vientos superiores (> 5800 m) mientras que otros meses presentan distribución dispersa pero transicional entre los vientos superficiales y los vientos superiores con velocidades entre los 5 y 10 m/s (Delgado *et al.* 1995).

Los vientos superiores (hasta 20 000 m) soplan de noviembre a abril con dirección W y WSW; y de junio a septiembre del Este (ENE, E y ESE). Los meses de mayo y octubre son de transición. Entre abril y mayo los vientos guardan el mismo patrón W y WSW hasta los 16 500 m y de esta altitud hasta los 20 600 m las direcciones son del E y del ENE con velocidades de 10 a 15 m/s a partir de los 20 600 los vientos provienen preferentemente del E ($80^{\circ} - 100^{\circ}$) de abril a noviembre y de diciembre a marzo también se observan vientos del W hasta 20-30 m/s particularmente en julio y septiembre (Delgado *et al.* 1995).

La dispersión de la ceniza alrededor del volcán o en una dirección determinada por la influencia de los vientos dominantes, da lugar a una zonación en las áreas afectadas en la que disminuyen los efectos a medida que nos alejamos del cráter. Durante las erupciones volcánicas se emiten a la atmósfera ingentes cantidades de gases contenidos en el magma. Estos gases forman parte de las columnas eruptivas, son el elemento imprescindible en la formación y desplazamiento de los flujos piroclásticos, y están contenidos en las lavas que se desplazan sobre la superficie, escapándose de ellas de manera más o menos violenta a lo largo de su recorrido. Estos últimos llevan a la formación de ácido sulfúrico. La presencia de aerosoles en la atmósfera provoca una

disminución de la radiación solar necesaria para la fotosíntesis de las plantas y de los árboles (González, 2006).

En erupciones explosivas, la emisión de flujos piroclásticos, el desencadenamiento de avalanchas y la caída de ceniza van a ser los eventos que causen un mayor daño en la cobertura vegetal. Erupciones en las que se emiten columnas de varios kilómetros de altura, la formación de aerosoles puede dar lugar a la presencia de lluvia ácida, con lo que los resultados nocivos afectarán a un territorio mucho más amplio, comúnmente de carácter regional o en grandes erupciones de carácter global. La dispersión de la ceniza por los vientos dominantes, va a ser un factor crucial a la hora de delimitar áreas de impacto, y también de evaluarlo zonalmente (González, 2006).

La mayor parte de productos piroclásticos son transportados verticalmente en columnas eruptivas consistentes de una zona inferior de empuje de gases y una zona superior convectiva (Sparks y Wilson 1976; Wilson 1980; Carey y Sparks 1986 en Delgado, 1995) el ascenso convectivo de una columna es continua, hasta que su densidad se iguala con la de la atmósfera circundante, es momento cuando la columna sufre una expansión lateral sin dejar de ascender debido a la inercia y forma una amplia nube con forma de paraguas (Sparks 1986, en Delgado, 1995) que juega un papel importante en el transporte de piroclastos (Carey y Sparks 1986, en Delgado, 1995).

La altura de una columna eruptiva y la distribución de tefra dependen de la temperatura del material expulsado, de su tasa de emisión y de la dirección y fuerza del viento. Las nubes de cenizas están formadas por cenizas finas y gases acarreados por los vientos a partir de una columna eruptiva. Las erupciones volcánicas de gran magnitud producen nubes que entran en la estratosfera y pueden ser acarreadas por las corrientes de chorro a miles de kilómetros (Delgado *et al* 1995).

En cuestión de semanas, estas nubes pueden dar la vuelta al mundo, pero depositan la mayor parte de ceniza en periodos que van de unas cuantas horas hasta varios días (Delgado *et al* 1995). De una forma o de otra los efectos de las erupciones van a depender tanto de su dinámica, como de las características de la vegetación afectada, así como de circunstancias locales que pueden disminuir o acrecentar dichos efectos. (González, 2006).

7.4.-Los bosques de *Abies religiosa* (Kunth) Cham. & Schldl en México

Los bosques de oyamel son comunidades vegetales integradas por *Abies*, *Pseudotsuga* y *Picea*, en México cubren aproximadamente 32,000 hectáreas, siendo *Abies religiosa* y *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* las especies más comunes. Estos bosques están confinados a laderas protegidas del viento así como de la intensidad solar fuerte, muchas veces en cañadas o barrancas que ofrecen un microclima especial (Rzedowski, 1978, en Encina *et al* 2008) ó en terrenos con fuertes pendientes (Madrigal, 1967, en Encina *et al* 2008). Los bosques de mayor extensión se presentan en la Faja Volcánica Transmexicana, así como en la Sierra Madre del Sur (Encina *et al* 2008)

Los boques de coníferas, se les encuentra prácticamente desde el nivel del mar hasta el límite de la vegetación arbórea; prosperan en regiones de clima semiárido, semihúmedo, y francamente húmedo y varios existen sólo en condiciones edáficas especiales (Rzedowski, 2005). Si bien algunos parecen representar comunidades secundarias, que se mantienen como tales debido al disturbio causado por el hombre, otros corresponden a la fase clímax y al parecer han existido en México desde hace muchos millones de años (Rzendowski, 2005).

Aun cuando no cubren grandes superficies de terreno, los bosques de *Abies* sobresalen entre el conjunto de las comunidades vegetales dominadas por coníferas. Tal

hecho se debe principalmente a las particulares condiciones ecológicas en que se desarrollan y de cuya existencia son indicadores. Destacan al mismo tiempo por su majestuosidad y belleza (Rzendowski, 2005).

El bosque puede absorber desde un 60% a un 90% de la energía solar que recibe, lo que depende de su densidad, del tipo y desarrollo de su follaje, de su exposición y latitud geográfica. La radiación es un factor abiótico que varía en la naturaleza de varias maneras. Casi todas las variaciones son potencialmente importantes para las plantas. Esta afecta los procesos fisiológicos pudiendo llegar a alteraciones a nivel del gran proceso de las plantas, la fotosíntesis (Proyecto de Cooperación Técnica, 2008).

En las regiones templadas los árboles generalmente producen un anillo de crecimiento cada año. Así, es posible medir la fecha con precisión, mediante los anillos. Sin embargo, los anillos de crecimiento están expuestos a la contaminación, la cual se transporta a través del tejido de conducción de agua de los anillos y se acumula en la madera. Cuando esto sucede los anillos anuales pierden función, y los elementos especialmente captados desde el entorno se depositan sólo en las partes crecientes del árbol (Nabais, 1999).

En México, la comunidad de coníferas está prácticamente confinados a sitios de alta montaña, por lo común entre 2400 y 3600 m de altitud, ya que entre estas cotas se localiza cuando menos 95% de la superficie que ocupa. La distribución geográfica de los bosques de *Abies* en México es en extremo dispersa y localizada. En la mayor parte de los casos la comunidad se presenta en forma de manchones aislados, muchas veces restringidos a un cerro, a una ladera o a una cañada. Las áreas continuas de mayor extensión se presentan en las serranías que circundan al Valle de México y les siguen en importancia las correspondientes a otras montañas sobresalientes del Eje Volcánico

Transversal, como por ejemplo, el Pico de Orizaba, el Cofre de Perote, el Nevado de Toluca, el Tancítaro, el Nevado de Colima, y algunas otras más (Rzendowski, 2005).

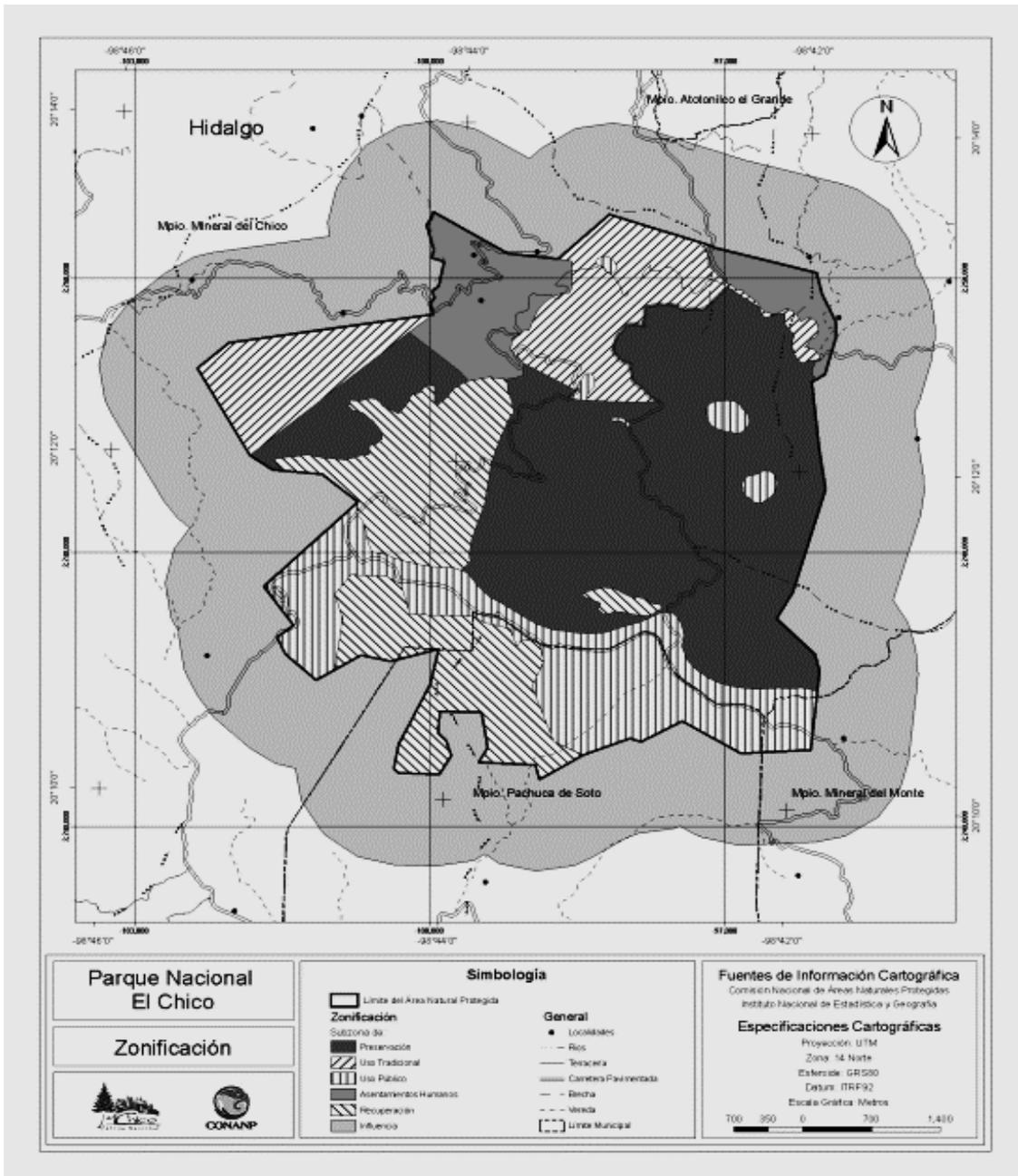


Figura 2.- Ubicación geográfica del Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo

http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5107107

En el centro de México *Abies religiosa* es la especie frecuente y los bosques que forma son relativamente extensos y muchas veces puros, aunque localmente puede haber acompañamiento de *Pinus*, *Cupresus*, o *Pseudotsuga* y a veces también de

Quercus, *Alnus*, y otros árboles. Las elevaciones del Eje Volcánico Transversal en Jalisco, Michoacán, México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo y Veracruz, son las que ostentan a menudo esta comunidad en el piso altitudinal correspondiente (Rzendowski,2005).

7.5.-Anatomía de la madera

La madera (del lat. materia), xilema (del griego lignificarse) o leño (del lat. *Lignum*) es la parte sólida de los árboles por debajo de la corteza. Es el conjunto de elementos lignificados, traqueídas. En sentido estricto, en cuanto al período de su formación, toda suerte de tejido secundario producido por el cambium hacia el interior del mismo: Corteza, Madera o Xilema, y Anillos de crecimiento (http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera)

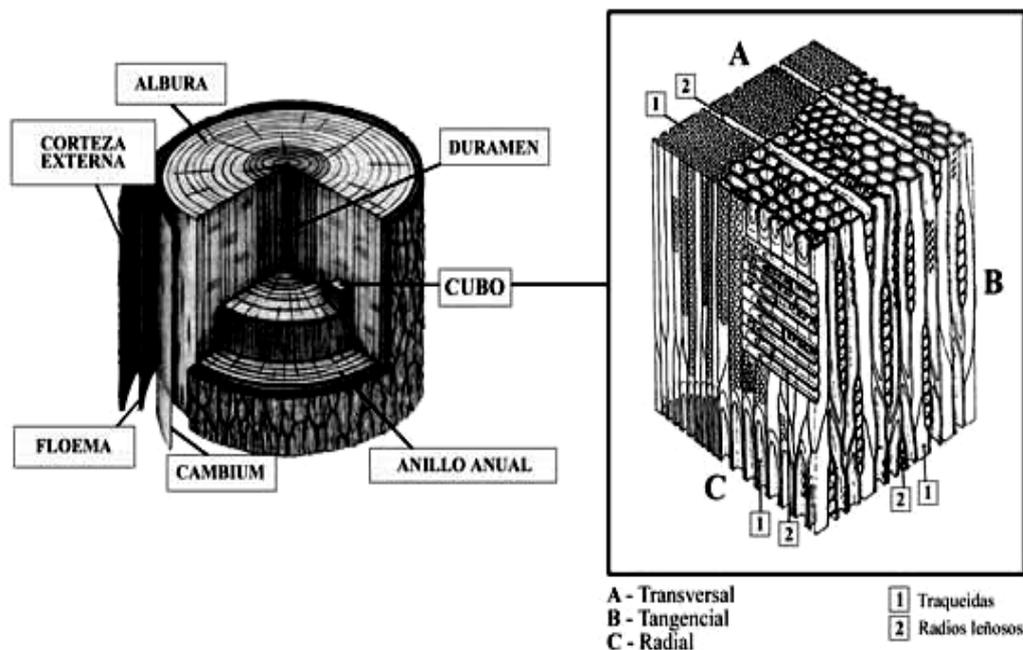


Figura 3.- Anatomía de la madera. <http://www.paleobotanica.uchile.cl/paleoxilologia.html>

7.5.1.-Corteza

La corteza está constituida interiormente por floema, conjunto de tejidos vivos especializados en la conducción de savia elaborada, y exteriormente por ritidoma o córtex o corteza muerta, tejido que reviste el tronco.

La corteza es de gran importancia en la identificación de árboles vivos; y el estudio de su estructura despierta cada vez más interés por contribuir enormemente en la diferenciación de individuos semejantes. La corteza protege al vegetal contra el desecamiento, ataques fúngicos o fuego además de la función de almacenamiento y conducción de nutrientes

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera).

7.5.2.-Albura y duramen

La madera del árbol vivo se caracteriza por presentar dos zonas definidas fisiológicamente y en muchos casos a nivel macroscópico. Ellas son albura y duramen.

La albura es la parte activa del xilema, que en el árbol vivo, contiene células vivas y material de reserva. La albura conduce gran cantidad de agua y de sales en solución, desde la raíz a las hojas; provee rigidez al tallo y sirve de reservorio de sustancias.

El duramen es leño biológicamente inactivo, con funciones de sostén que ocupa la porción del tronco entre la médula y la albura, generalmente de estructura más compacta y de coloración más oscura que la albura.

La causa fisiológica de la formación del duramen es el hecho que al envejecer el árbol, los anillos más externos son los que conducen el líquido.

Debido a que el duramen es un tejido más compacto y más pobre en sustancias nutritivas, es mucho más resistente al ataque de hongos e insectos, presenta una durabilidad natural superior a la de la albura y se impregna con mayor dificultad (http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera).

La proporción de albura y duramen varía de un árbol a otro y dentro de una especie depende de la edad, sitio, clima, suelo y otros factores. No todos los árboles presentan diferencia de coloración entre albura y duramen, a pesar de poseerla fisiológicamente. En algunos árboles donde no se evidencian diferencias macroscópicas entre albura y duramen.

7.5.3.-Anillos de crecimiento

Normalmente, en zonas de clima templado, los anillos de crecimiento representan un incremento anual del árbol. Cada año se forma un anillo, razón por la que son llamados anillos anuales. Estos determinan la edad del árbol. Un análisis de los anillos de crecimiento, nos indica si el árbol tuvo un crecimiento rápido (anillos bien espaciados), o lento (pequeño espacio entre anillos), o aquellos años que han sido desfavorables para la planta (espacios menores), o más beneficiosos (espacios mayores) (http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera).

El estudio del ancho de los anillos de crecimiento, además de dar una información valiosa sobre la vida del árbol, es de gran interés para la Silvicultura, Dasimetría y Ordenación. La información de los anillos de crecimiento contribuye con la Meteorología, por permitir estimar las precipitaciones acaecidas durante un período de actividad vegetativa o descubrir variaciones climáticas de épocas pasadas.

Un anillo de crecimiento típico consta de dos partes:

- leño temprano (de primavera o inicial)
- leño tardío (de otoño o de verano)

El Leño de Primavera corresponde al crecimiento del árbol al inicio del período vegetativo, normalmente en primavera, época en que las plantas reinician su actividad vital con toda intensidad luego de un período de dormancia. Las células producidas en este período presentan las paredes delgadas, lumen grande y adquieren en conjunto una coloración clara (http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera).

Leño de Otoño o tardío. A medida que se aproxima el fin del período vegetativo, normalmente el otoño, las células van disminuyendo su actividad vital, y consecuentemente las paredes se tornan más espesas y sus lúmenes menores, tomando el conjunto un aspecto más oscuro, constituyendo el leño de Otoño o Tardío. Esta alternancia de colores se observa normalmente en los anillos de crecimiento de numerosas especies, especialmente en las Coníferas.

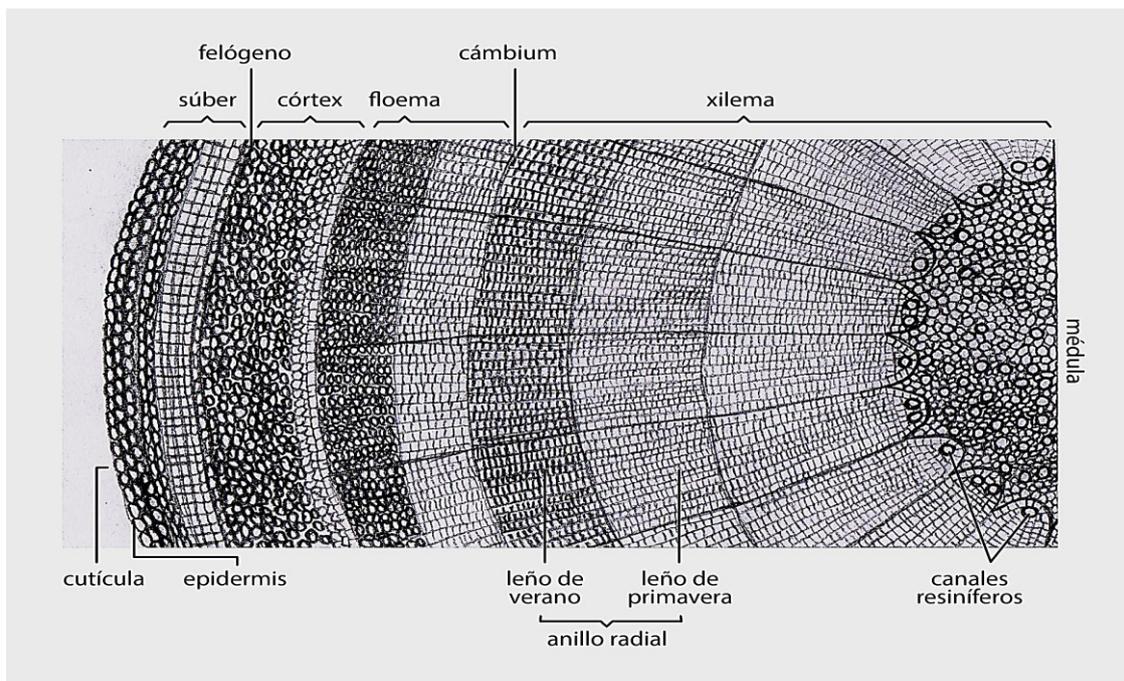


Figura 4.-Anillo de crecimiento, indicando leño de verano y leño de primavera

Además de las características propias de la especie, los árboles que crecen en regiones con estaciones del año marcadas, presentan anillos de crecimiento bien nítidos, mientras que las que crecen en lugares donde las condiciones climáticas se mantienen constantes durante gran parte del año, tienen anillos de crecimiento poco notables ([http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia de la madera](http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera))

7.5.4.-Anomalías

Es común encontrar en troncos, anillos de crecimiento discontinuos o los llamados falsos anillos de crecimiento, que dificultan la determinación exacta de la edad de un árbol y cuya formación puede atribuirse a causa externas que alteran el funcionamiento normal del cambium. Los anillos discontinuos, ocurren principalmente en árboles que presentan copa asimétrica. Algunas regiones del tronco permanecen en dormancia durante una o varias estaciones de crecimiento, provocando discontinuidad en los anillos.

Las causas de la presencia de los falsos anillos de crecimiento pueden ser: heladas tardías, caída temporaria de hojas, defoliación y fluctuaciones climáticas en general, así como también emisiones volcánicas ([http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia de la madera](http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera))

La transición de madera temprana a madera tardía depende del ambiente y las especies. En algunos casos, la variación abrupta en condiciones climáticas dentro del mismo año favorece la formación de más de un anillo, dando lugar a anillos “falsos” (Constante *et al.*, en Martínez, 2011).

Anillo falso: En 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 período vegetativo debido a la sequía, defoliación, heladas tardías, etc.

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



Figura 5.- Anillos de crecimiento de *Pinus sylvestris*,

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tree_rings.jpg#/media/File:Tree_rings.jpg.

Anillo anual múltiple: crecimiento anual de Xilema cuando se forman anillos anuales falsos (S.E.C.F., 2005).

Anillos discontinuos o difusos: Un anillo de crecimiento que presenta discontinuidades de su perímetro debido a partes en las que el cambium estaba en reposo vegetativo (S.E.C.F., 2005)

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

7.6.-Efecto de las emisiones volcánicas en la formación de anillos de crecimiento

Las emisiones volcánicas a menudo dejan algún tipo de consecuencia cuando estas suceden, siendo la vegetación una de las principales afectadas. Cuando hablamos de consecuencia debemos enfocarnos en efectos ya que en la vegetación eso es visible con respecto a su crecimiento, follaje, fuste o copa en general.

Eggler (1967) Nos explica cómo afectan las emisiones volcánicas en el crecimiento radial de los árboles en un bosque, en su estudio nos dice lo siguiente: El Xilema formado en cuatro pinos que crecen cerca del Volcán Parícutín, México, durante 8 años de actividad volcánica tuvo varios tipos de anomalías, incluyendo capas de crecimiento anual, estrecho, ancho, asimétrica e incompleta, y anormalmente baja, así como de alta, al igual que en las proporciones de densidad en la madera porosa. (Esto significa que el crecimiento radial en los árboles se ve afectado, produciendo madera temprana y tardía, con anomalías, las cuales se verán reflejadas en sus cronologías).

El impacto de las erupciones volcánicas en los ecosistemas forestales puede investigarse utilizando registros dendrocronológicos. Mientras que los efectos a largo plazo son generalmente medidos por la disminución de la temperatura del aire, lo que resulta en el ensanchamiento de los anillos de crecimiento o reducción de la densidad máxima de la madera tardía, estos efectos locales incluyen la supresión brusca del

crecimiento radial, en ocasiones seguido de un mayor crecimiento que las tasas de crecimiento normales (Biondi 2003).

7.7.-Descripción de la especie

Nombre científico: *Abies religiosa* (Kunth)Schltdl. & Cham.

Sinonimia: *Pinus religiosa* Kunth, *Abies religiosa* var. *emarginata* Look et Martínez

Nombre(s) común(es): Abeto – Veracruz; acshoyatl – México; bansú (lengua otomí) – Hidalgo; ocopetla - Teotepac, Gro.; oyamel - México, Hidalgo; pinabete – Michoacán y Jalisco; thúcum (lengua tarasca) – Michoacán; ueyomel - Ixcaltepec, Gro.; xolócotl – México.

Estatus: Ninguno

Origen: Árbol nativo de México

(<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873Abies%20religiosa.pdf>.)

Es nativo de las montañas centrales y del sur de México (Eje Volcánico Transversal, Sierra Madre del Sur), oeste de Guatemala. Crece a altitudes de 2,500 a 4,100 msnm en bosques fríos y con alta pluviosidad (gran cantidad de lluvia), de veranos húmedos y caída de nieve invernal. Árbol monoico de 35 a 40 m de altura, en ocasiones hasta 60 m, y diámetro normal hasta de 1.80 m con hojas perennifolias. Sus flores son estructuras reproductivas masculinas y femeninas que se presentan desde diciembre, su fructificación se presenta de noviembre a enero, la dispersión de las semillas ocurre entre marzo y abril (CONANP, 2014).

Los conos tienen 8 a 16 cm de longitud y 4 a 6 cm de ancho, antes de madurar presentan color azul púrpura oscuros; las brácteas son púrpura o verdosas, de moderada longitud. Las semillas aladas se despegan cuando los conos se desintegran en la madurez, 7 a 9 meses luego de la polinización (CONANP, 2014).

7.7.1.-Distribución y hábitat

Es un árbol de alta montaña muy resistente al frío pero no así a las altas temperaturas, en alturas inferiores a los 2,000 msnm presenta enfermedades y plagas que lo pueden matar. Vegeta en suelos generalmente profundos, aunque también en suelos someros de textura limo-arenosa, arcillo-arenosa o arenosa con una pedregosidad de ligera a moderada, granular o en bloques, con un pH de 5 a 7, y muy ricos en materia orgánica (hasta 70%, especialmente en horizontes superficiales). Prefiere sustratos bien drenados y húmedos la mayor parte del año (CONANP, 2014).

Las temperaturas en su hábitat varían entre los -20 °C, una media de 7° a 15° hasta máximas de 25°. La precipitación media anual es superior a los 1,000 mm.

Los suelos donde se establece el oyamel son muy jóvenes, de origen volcánico (andesitas, basaltos o riolitas), y presentan geoformas con pendientes muy pronunciadas; 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 que las químicas, la profundidad, el drenaje, la textura, estructura y el contenido de humus son propiedades decisivas en su desarrollo (CONANP, 2014).

7.7.2.-Importancia ecológica

Los bosques de *Abies religiosa* del eje Neovolcánico Transversal, conocidos también como bosques de oyamel u oyametale, 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 humedad relativa (Nieto de Pascual, 1995).

La importancia del oyamel en 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).

La captura de carbono y la formación del suelo son sus principales fortalezas; además de ser un nicho de diferentes especies a las que sirve de refugio (CONANP, 2014).

7.7.3.-Amenazas

Las plagas forestales como el muérdago y los descortezadores, son su principal enemigo natural. La tala por parte del hombre y la falta de criterios para las reforestaciones, en relación a la obtención de semillas fértiles, son su principal amenaza (CONANP, 2014).



Figura 6.-Imagen de *Abies religiosa* (Kunth)Schltdl. & Cham. Tomado de: <http://conifersociety.org/conifers/conifer/abies/religiosa/> Figura 7.- Parque Nacional “El Chico” tomado de: Archivo del Laboratorio de contaminación atmosférica, FES Zaragoza UNAM

VIII. ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Mineral El Chico que se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca entre las coordenadas extremas de los 20° 10' 10'' a 20° 13' 25'' de latitud Norte y los 98° 41' 50'' a 98° 46' 02'' de longitud Oeste, comprende una superficie total de 2739.0263 ha. posición enclavada en el sector centro Sur-oriente de la República Mexicana, que corresponde al extremo occidental del sistema orográfico Sierra de Pachuca, incluido en la porción austral del eje Neovolcánico Transversal.(CONANP, 2005).

Con base al sistema de Köppen modificado por García (1981), en el Parque Nacional se presenta un clima C (m) (w) b (i') gw" que corresponde a un templado sub húmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C, existiendo influencia de monzón y presentándose un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual. El verano es fresco y largo, con inviernos fríos con poca oscilación térmica y presencia de canícula.

El tipo de roca predominante es ígnea extrusiva del tipo brecha volcánica y andesita. Los suelos predominantes son del tipo Cambisol húmico, Regosol districo y Andosol húmico de textura media. La vegetación en la mayor parte del parque está formada por bosques de oyamel, con distintas condiciones de productividad. Las principales especies arbóreas son *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl & Cham., *Quercus spp.* y *Pseudotsuga macrolepis* (Amezcuca y Valderrama, 1999).

Las características topográficas, geográficas y climáticas de la región donde se localiza el parque le confieren una vegetación con gran riqueza de especies. De los nueve géneros de coníferas representados en México, seis se encuentran en esta área (Medina y Rzedowki, 1981; citado en Estrada, 2007) Entre las diferentes comunidades

vegetales que se encuentran dentro del Parque Nacional El Chico, tenemos las siguientes: Bosque de *Abies religiosa* (Oyamel), Bosque de *Quercus*, Bosque de *Abies religiosa-Quercus*, Bosque de *Pinus*, Bosque de *Juniperus deppeana*, y Pastizal. (Estrada, 2007).

8.1.-Parajes dentro del área de estudio

El paraje “Estación Forestal” tiene una altura de 2925 msnm y su ubicación N 20° 10’ 25.0” y W 98° 41’ 50.6” con exposición N.

El paraje “El Cedral”, tiene una altura de 2951 msnm y con una ubicación N 20° 11’



17.2” y W 98° 44’ 39.2”

Figura 7.- Ubicación de los dos parajes en el Parque Nacional “El Chico”

IX. MÉTODO

Como objetivo principal para la elaboración y alcance de este trabajo se llevaron a cabo tres fases: de campo, laboratorio, y de gabinete, las cuales se describen a continuación:

9.1.-Fase de campo

Se realizó el muestreo usando el método del vecino más cercano, y se seleccionaron árboles con un grosor cercano a los 100 cm.

Durante el muestreo, se utilizó el GPS para ubicar coordenadas y altura del lugar, después se procedió a seleccionar los árboles de Oyamel utilizando una cinta diamétrica para medir el grosor a la altura de pecho. Una vez seleccionados los ejemplares y medidos se perforaron de acuerdo a la perpendicular del suelo utilizando el barreno Pressler (Fig.8) Al obtener los núcleos se colocaron en popotes de plástico (Fig.9 C), se etiquetaron con número de árbol, paraje, e indicando si era muestra A o B, se anotó su diámetro basal y a la altura de pecho, y especie, todo esto para un mejor procesamiento de datos en gabinete.

Se extrajeron dos muestras de cada árbol (A y B) cada muestra es perpendicular entre si, cada ejemplar se eligió sin que tuviera bifurcación, signos de quemaduras por quemas controladas, que no tuviera barrenadores ni defoliadores, que no estuvieran ocoteados y con retención de copa de un 70% y tronco con diámetro de 100 cm (Fig.9 A y B).

9.2.-Fase de laboratorio

El laboratorio, se colocaron las muestras en una estufa Kimet, a 40° esto para su secado y para la eliminación de agentes patógenos durante una semana. Pasado este tiempo se llevó a cabo el montado de los cores o núcleos (Fig.9 D y 10 A), para esto se

utilizarón bastidores de madera de 0.5mm, se colocaron los núcleos adecuadamente para que las traqueídas queden de forma vertical y se facilite la lectura de los anillos (Fig. 10 C).

Una vez terminado el montado de los núcleos, y ya secos, siguió el proceso de pulido, el cual consistió usar lijas de grano de 200, 400, y 600, de esta forma se fue puliendo hasta tener una superficie lisa (Fig.12 B). Se colocó el papel milimétrico en los costados del bastidor, esto para tener una referencia en mm al momento de realizar el conteo en el estereoscopio (Fig.11, 12 A y B) Al realizar el prefchado se marcaron los anillos visibles, empezando por el centro o núcleo del árbol para seguir hacia la corteza, en donde se marcó el último anillo que nos da el año de la colecta del core (Fig.12 C) Una vez realizado el prefchado de cada núcleo y , seccionados por paraje, se procedió a realizar el conteo con el programa WINDENDRO® en donde obtuvimos las cronologías, datos de madera temprana, madera tardía, ancho total y promedios en ganancia de crecimiento, así como las anomalías y sus diferentes tipos (Fig. 113 A y B).

9.3.-Fase de gabinete

En esta fase se realizó la investigación bibliográfica con referencias electrónicas, artículos, libros, mapas, y todo documento válido para la adecuada redacción de este trabajo.

Se realizó el procesamiento de base de datos, esto para tener promedios y hacer mediciones de ancho total, ancho de verano, ancho de primavera, y con las cronologías de WINDENDRO® se observaron con detalle las anomalías, las cuales se clasificaron en anillos falsos, difusos, múltiples e inconclusos, se realizó conteo de cada una de ellas, se agruparon en décadas, y se relacionaron con respecto al tiempo y a los acontecimientos volcánicos ocurridos en los últimos cien años en el país. De esta forma

se interpretaron los resultados obtenidos en las gráficas, se agregan imágenes para complementar la información.



Figura 8.-Partes que conforman al barreno de Pressler (modificado-de-Jozsa-1988).

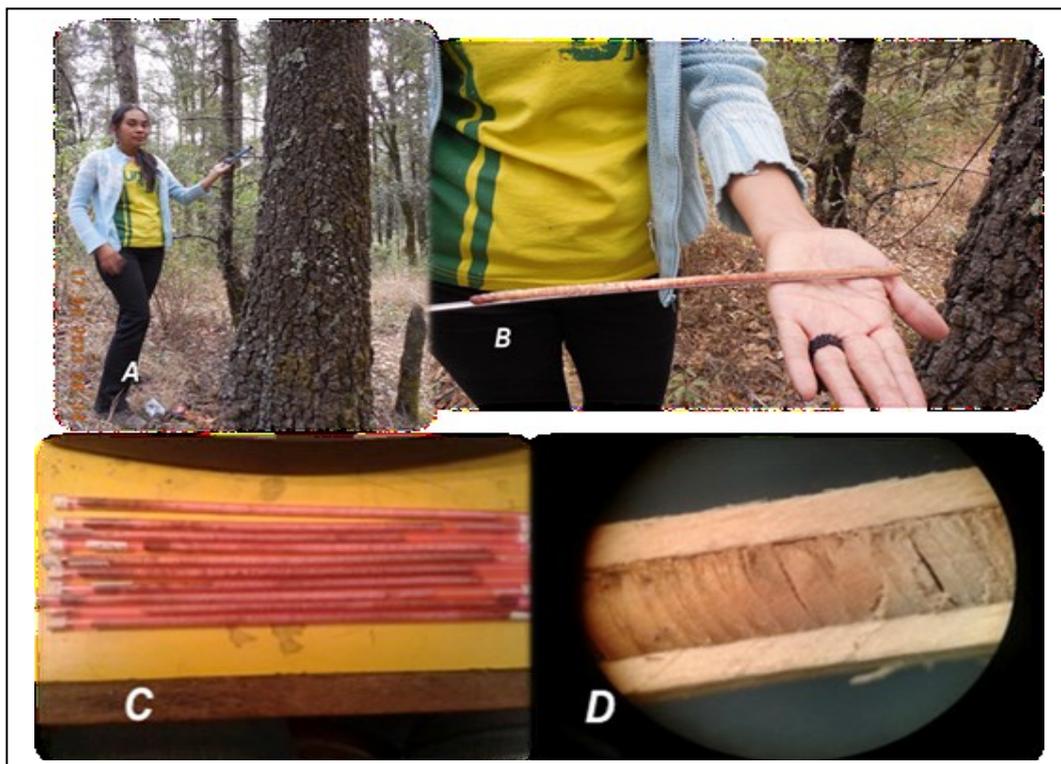


Figura 9.- A)Extracción de núcleos de acuerdo a la pendiente del árbol. B) Núcleo de *Abies religiosa*. C) Núcleos con popotes para protección.D) Montado del núcleo en los bastidores de madera, visto en el estereoscopio.



Figura 10.-A) Núcleos colocados en los bastidores de madera. B) Lijado de los núcleos (600, 400, 200 grosor de lijas). C) Núcleos orientados y colocados en bastidores.



Figura 11.- Núcleos lijados antes de colocar papel milimétrico.

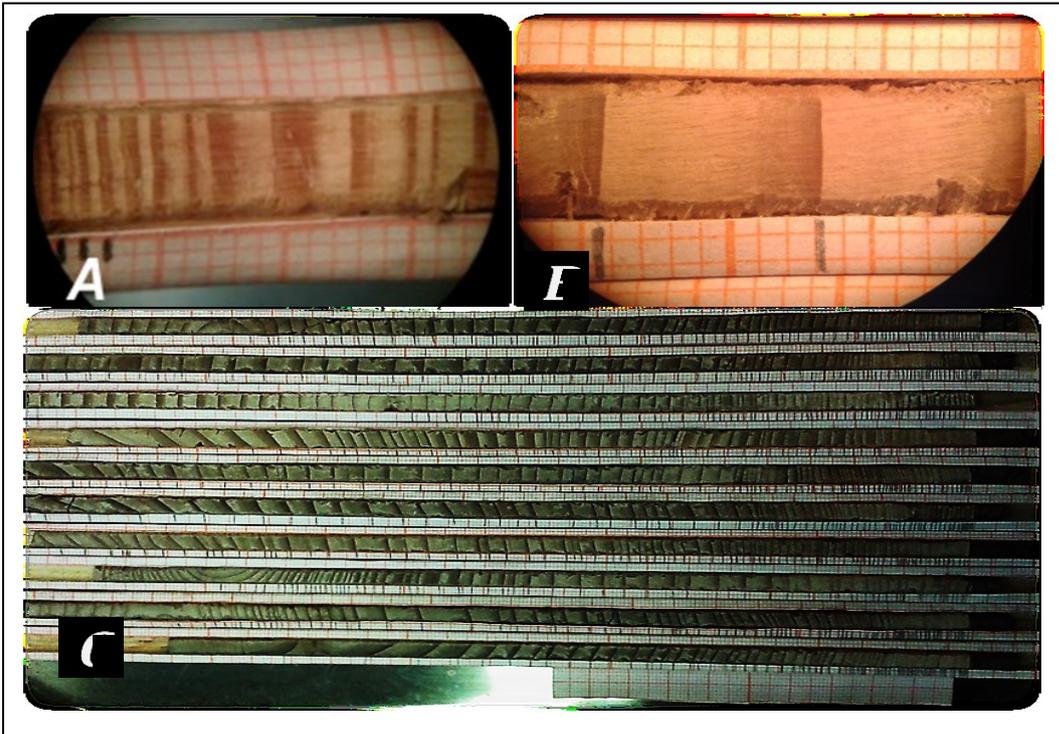


Figura 12.- A) Colocación de papel milimétrico para señalar los anillos. B) Anillos de crecimiento visto a través del estereoscopio. C) Núcleos prefichados y seccionados por parajes

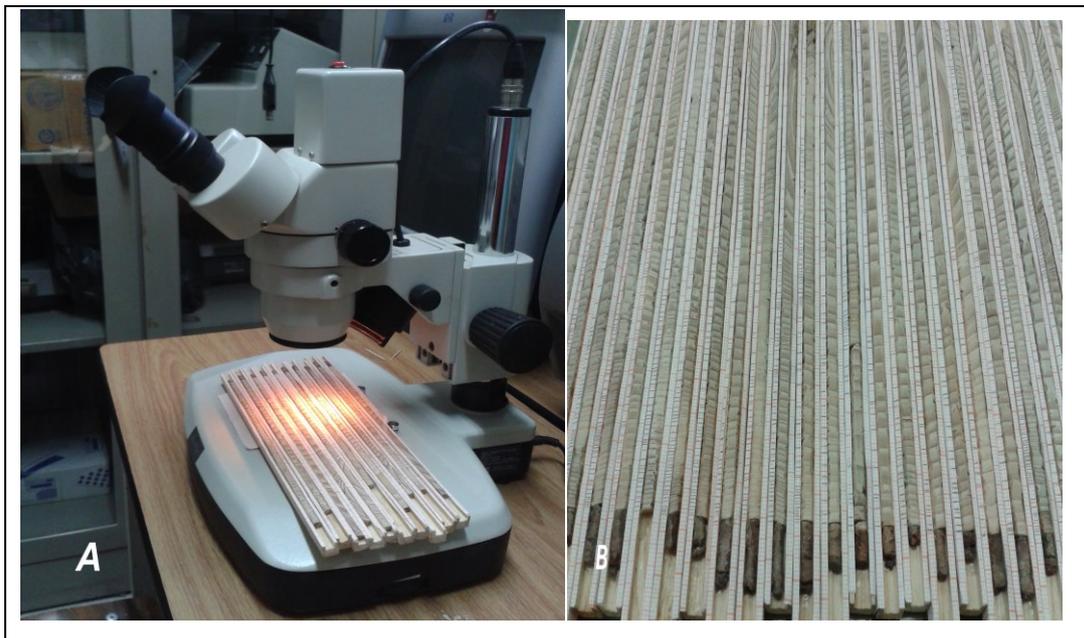


Figura 13.- A) Núcleos listos para la observación en estereoscopio. B) Núcleos terminados y observados en estereoscopio y WINDENDRO®

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1.-Caracterización de los rodales

Paraje “Estación Forestal”

A medida de lo posible, se escogio un sitio en donde no hubiera competencia intraespecifica e interespecifica, ahí los árboles perforados arrojaron agua con nutrientes y minerales, lo cual indica que la especie tiende a guardar reservas de líquido en tiempo de estiaje, y que la zona tiene suficiente precipitación para abastecer al bosque de agua. También se observó la sanidad de cada uno de los ejemplares elegidos, y que tenían una copa en un 80%, sin insectos defoliadores y barrenadores. no se observó signos de muerte apical y el suelo tiene una capa de material orgánico suelo con hojarasca. las tallas de los troncos son de menor grosor que las determiandas para el paraje “el cedral”. en el paraje la pendiente obtenida fue de 15°, cerca del sitio de muestreo se encuentra una carretera que es la que nos lleva a este paraje (Fig. 14).

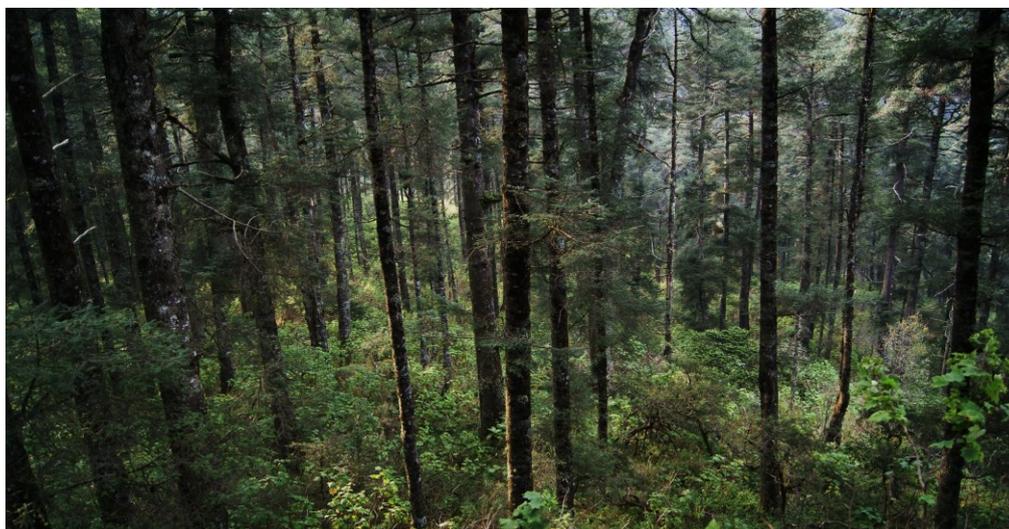


Figura 14.- Tallas de los troncos, densidad arbórea e imágenes de las copas.

Paraje “Estación Forestal”

En el paraje “El Cedral” hay más claros de luz (Figura 16), debido a la distribución selectiva de los árboles adultos, ya que hay muchos en estado “juvenil” con

copas pequeñas (30-45 %), de acuerdo a las categorías diamétricas definidas por Manzanilla (1974). Se eligieron árboles sanos para colectar las virutas, con copa mayor al 70%, sin parásitos defoliadores, barrenadores, muérdago y signos de muerte apical, en comparación con el paraje “Estación Forestal” en “El Cedral hay más impacto social, ya que se encontraron restos de polución cerca de la zona de muestreo.



Figura 15.- Tallas de los troncos de oyamel registrados

En general los árboles elegidos son sanos, se registró vegetación arbustiva y musgos, se caracterizó ambos sitios como Bosque de *Abies religiosa* ya que es la especie dominante, con poca perturbación, y sin vegetación secundaria.

Finalmente, ambos parajes se determinaron como no coetáneo con dos estratos de la corona de acuerdo a la clasificación propuesta por Harold & Hocker (1984).

10.2.-Datos dasometricos de los parajes “El Cedral” y “Estación Forestal”

Los registros se resumen de los cuadros 3 y 4, en donde destaca que en 100 m² se seleccionaron diez arboles por el método del vecino más cercano y en ambos parajes.

De acuerdo con Manzanilla la categoría diamétrica (39.0-59.7 cm) hace suponer que es un bosque adulto con alturas menores a los 30m y cuya densidad está cercana a los 21 árboles para el paraje El Cedral.

Cuadro 3. Datos dasométricos del paraje El Cedral, en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

# ARBOL	DIAM. BASAL (cm)	DIAM. NORMAL (cm)	GRADOS (°)
A 1	54.5	46.4	75°
A 2	48.2	41.9	110°
A 3	47.2	39.0	22°
A 4	65.8	52.7	115°
A 5	62.7	51.3	24°
A 6	47.1	50.5	99°
A 7	58.4	46.5	39°
A 8	50.9	42.7	270°
A 9	62.7	59.7	51°
A 10	57.8	45.9	51°

Nota: ubicación en grados de cada del árbol de donde se tomó la muestra y perpendicular a la pendiente.

Respecto al registro de la estación Forestal los diámetros son un poco mayores y oscila entre los 44.1 y 72.5 de diámetro normal cuya altura supera los 30m y la clase de árbol es superior a 22 (Manzanilla, 1974).

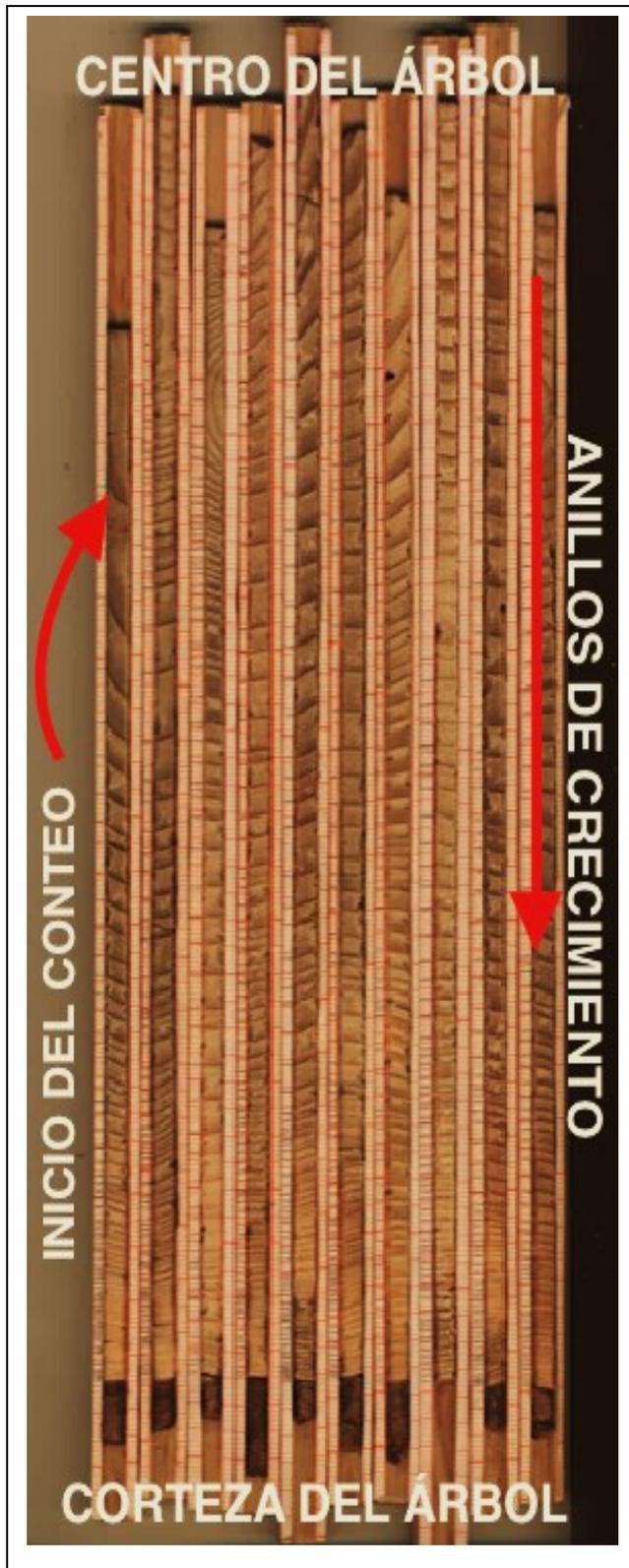
Cuadro 4. Datos dasométricos del paraje Estación Forestal, en el Parque Nacional “El Chico”, Hidalgo.

# ARBOL	DIAM. BASAL (cm)	DIAM. NORMAL (cm)	GRADOS
A 1	59.2	50.4	231°
A 2	54.3	44.1	247°
A 3	71.1	59.9	250°
A 4	75.2	72.5	286°
A 5	60.7	47.9	293°
A 6	62.7	52.3	249°
A 7	52.1	45.6	273°
A 8	58.2	48.7	240°
A 9	62.9	50.0	220°
A 10	64.9	54.2	234°

Nota: ubicación en grados de cada del árbol de donde se tomó la muestra y perpendicular a la pendiente.

De acuerdo con Manzanilla (1984) la estructura del rodales son categoría dos y su edad oscila 60 y 80 años, con diámetros menores a 62 cm, con dominio del piso superior en alturas, desde la óptica estructural se considera como un bosque virgen.

10.3.-Prefechado y construcción de las cronologías de los núcleos en los dos parajes



En la figura 16 se muestran los núcleos a los que antes de haber realizado los registros de ancho de los anillos con el software windendro®, los núcleos corresponden al paraje “estación forestal”. El prefchado se utilizó como referencia para el análisis cronológico.

Las flechas indican la medula del árbol, en donde se inicia el conteo. También se ubica la corteza en el extremo contrario al núcleo, el último anillo indica el año de colecta de la muestra.

En el prefchado se registraron años distintos a los obtenidos en las cronologías de windendro®, el prefchado se realizó con estereoscopio y los anillos falsos se contabilizaron de forma inicial. al procesar los núcleos se reacomodaron las fechas con respecto a primer año de vida del árbol. Los cinco pares de virutas corresponden a árboles con cuyo tronco no es simetrico.

Figura 16 .- Núcleos antes de ser procesados con WINDENDRO®

10.4.-Determinación de las cronologías e identificación de LAS anomalías (falsos, dobles, inconclusos y múltiples), PARAJE CEDRAL

10.4.1.-Cronologías del paraje “El Cedral”

En la figura 17 se observa la cronología concluida de los parajes. Se realizó la cronología con el software WINDENDRO®, con respecto al prefchado permitió que se corrigieran las diferencias en fechas, ya que los datos tuvieron variación en el primer año de vida de los árboles. Las diferencias en la datación se dan principalmente por la contabilización de los anillos falsos en el prefchado, en tanto que con el software se

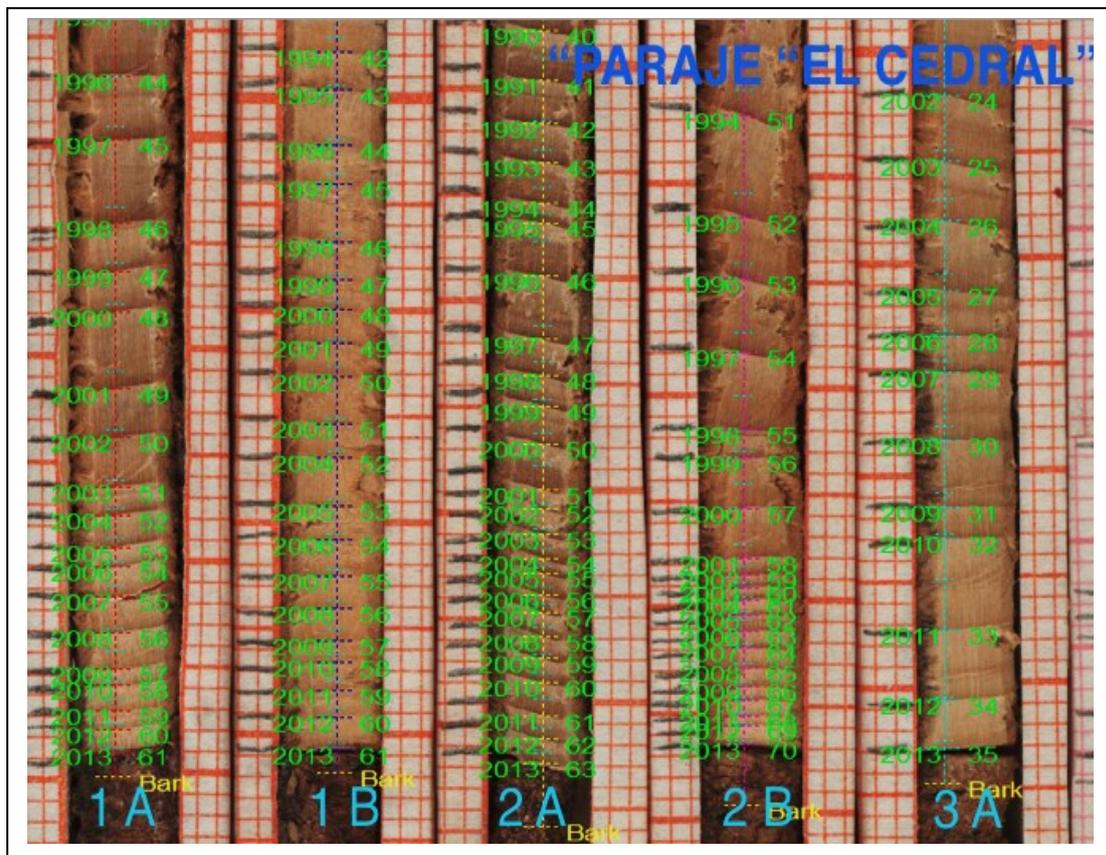


Figura 17.- Cronología de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham., de WINDENDRO

Corrige windendro no contabiliza anillos falsos, en cada paraje las cronologías tuvieron diferencia de datos, y la contabilidad inicial data de 1926 y 1934 destaca que las virutas muestran una reducción en el ancho de los anillos correspondientes al periodo 2001-2013 con excepción de las virutas (3a-3b, 5a-5b, y solo un ejemplar del 4a; Figura 18) anterior al año 2001 se observa una regularidad en el ancho de los anillos.

Los años 1994, 1995 y 1998 donde se registró emisión del Popocatepetl no todas las virutas mostraron la disminución en el grosor de anillos. Continuado con la descripción de la viruta de los árboles (Figura 18) la irregularidad en el ancho de los anillos es polémica de diversos autores (Wimmer & Vetter, 1999).

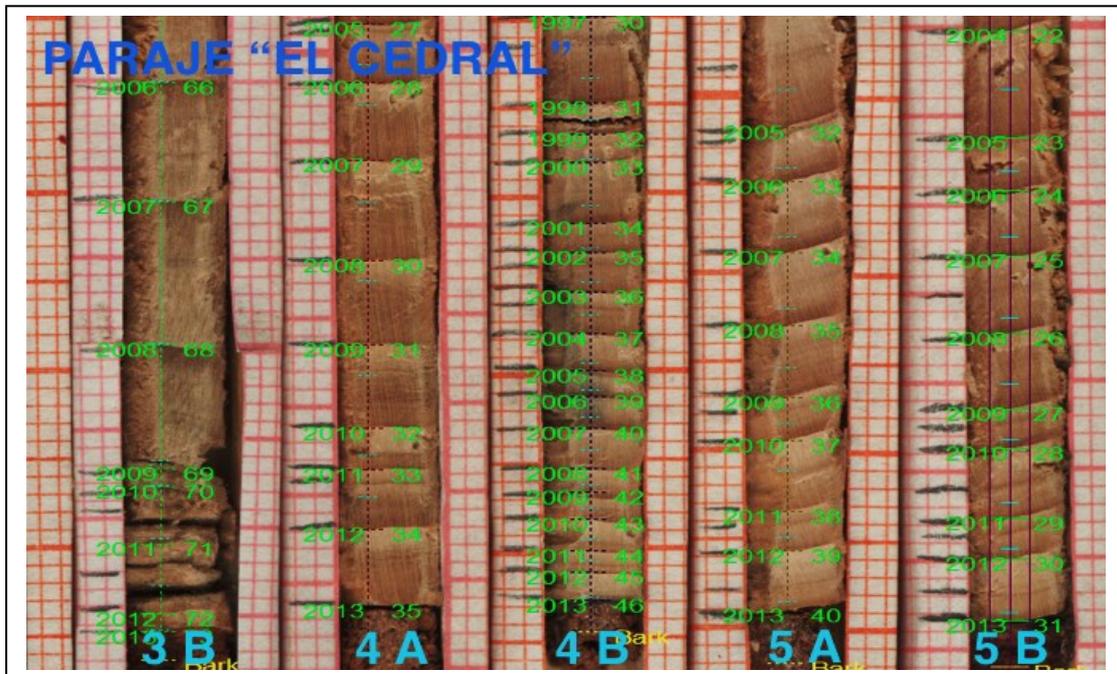


Figura 18.-Continuación de la cronología del paraje “El cedral” (3B-5B).

Respecto al total del rodal (estand) se puede observar en las virutas (3A, 3B, 4A, 5A Y 5B) que tres de los arboles no tienen la esbeltez de los anillos posteriores al 2013.

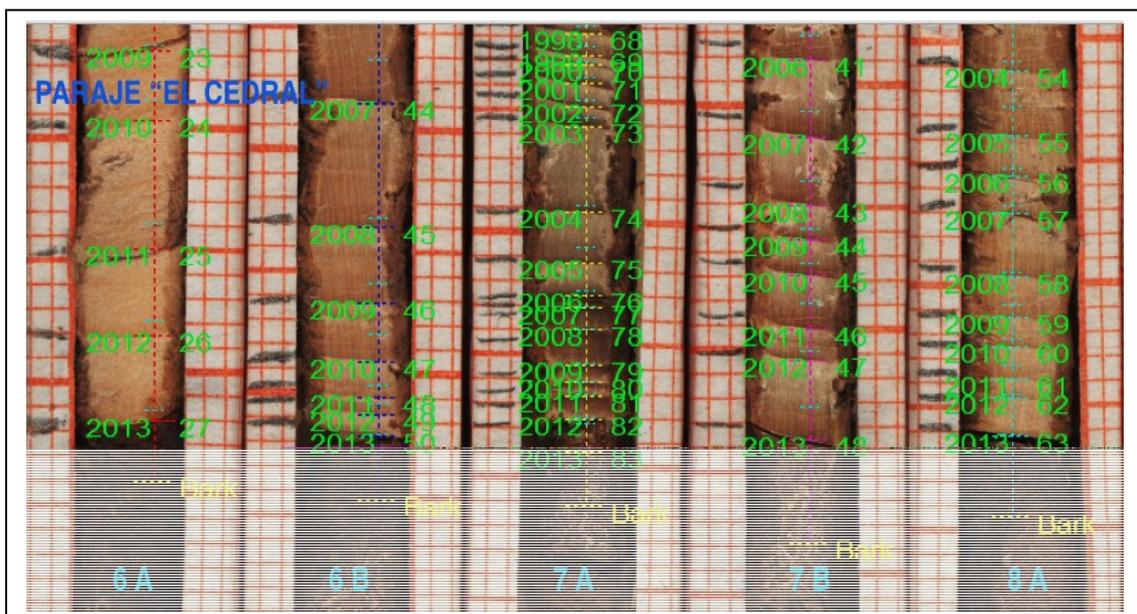


Figura 19.-Continuación de la cronología del paraje “El Cedral” (6A-8A).

En las imágenes (Fig. 17, 18, 19 y 20) observamos las cronologías del paraje “El Cedral”, en donde se ve parte de los años que se han fechado, también se observa el ancho de anillo de crecimiento el cual no es homogéneo y presenta variación, éste valor se obtuvo en el prefchado y en las cronologías.

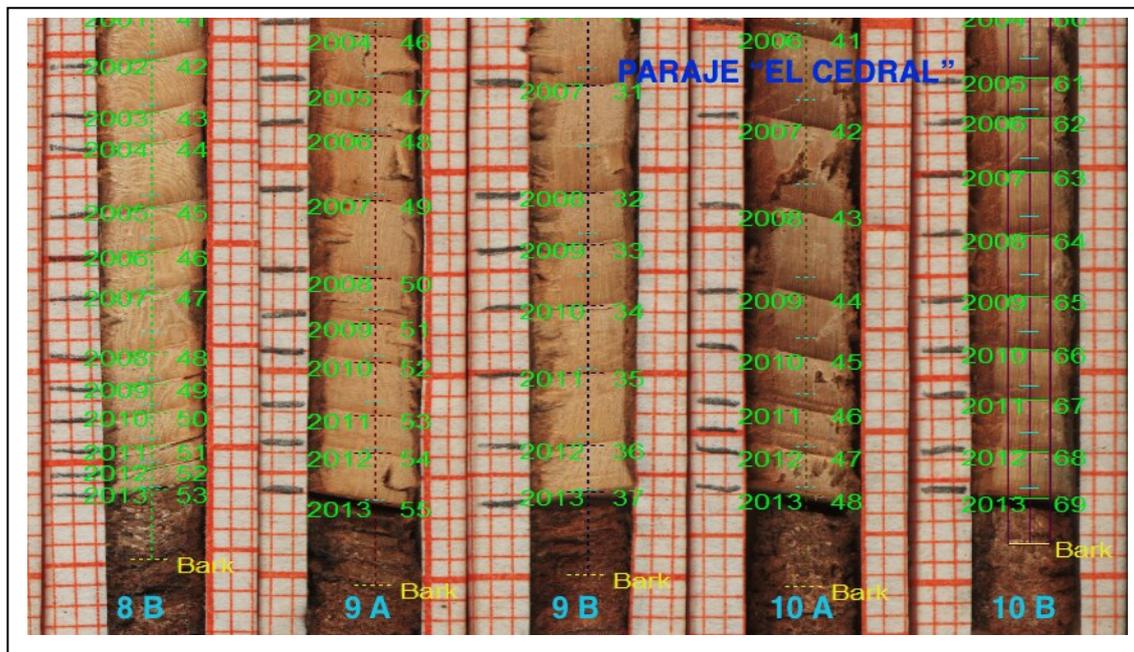


Figura 20.-Continuación de la cronología del paraje “El Cedral”(8B-10B)

Los autores Schweingruber (1983), Fritz (1976) y Cook ((1981) coinciden en señalar que las diferencias de anchos en los anillos de crecimiento podrían deberse a factores ambientales ajenos a la competencia interespecifica e intraespecifica, tal como podría ser: radiación solar, longitud de onda y más recientemente el obscurecimiento global.

10.4.2.-Cronologías del paraje “Estación Forestal”

En el Paraje “Estación Forestal” (Fig. 21, 22, 23 y 24) se observó que; al comparar las imágenes del ancho de los anillos de crecimiento, la mayoría tienen una regularidad en la mayoría de la virutas, contrario a lo determinado al paraje “El cedral”. Otro aspecto relevante es que entre los 19 años ocurridos desde el primer evento de

emisión volcánica (Figura 22) y que los anillos se adelgazan en años recientes de forma conspicua. Es de llamar la atención sobre en crecimiento radial que por los generales

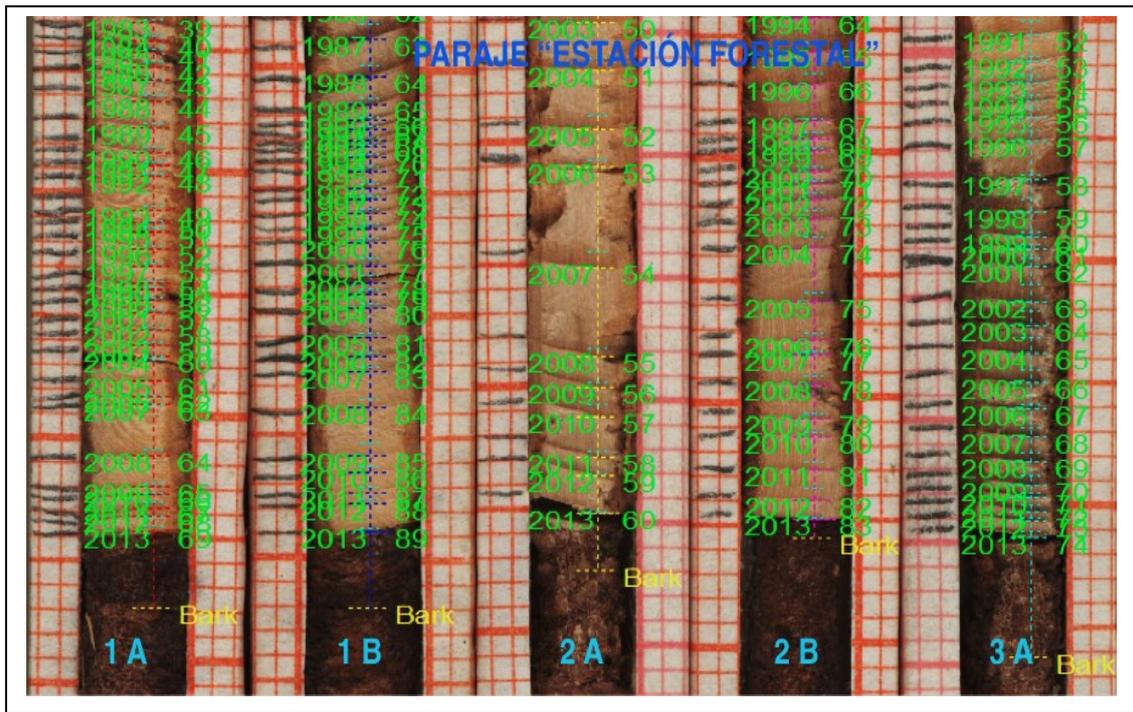


Figura 21.-Parte de la cronología del paraje “Estación Forestal” (1A-3A)

obliga a la reducción de los anillos en los años más reciente, se angostan de manera más regular.

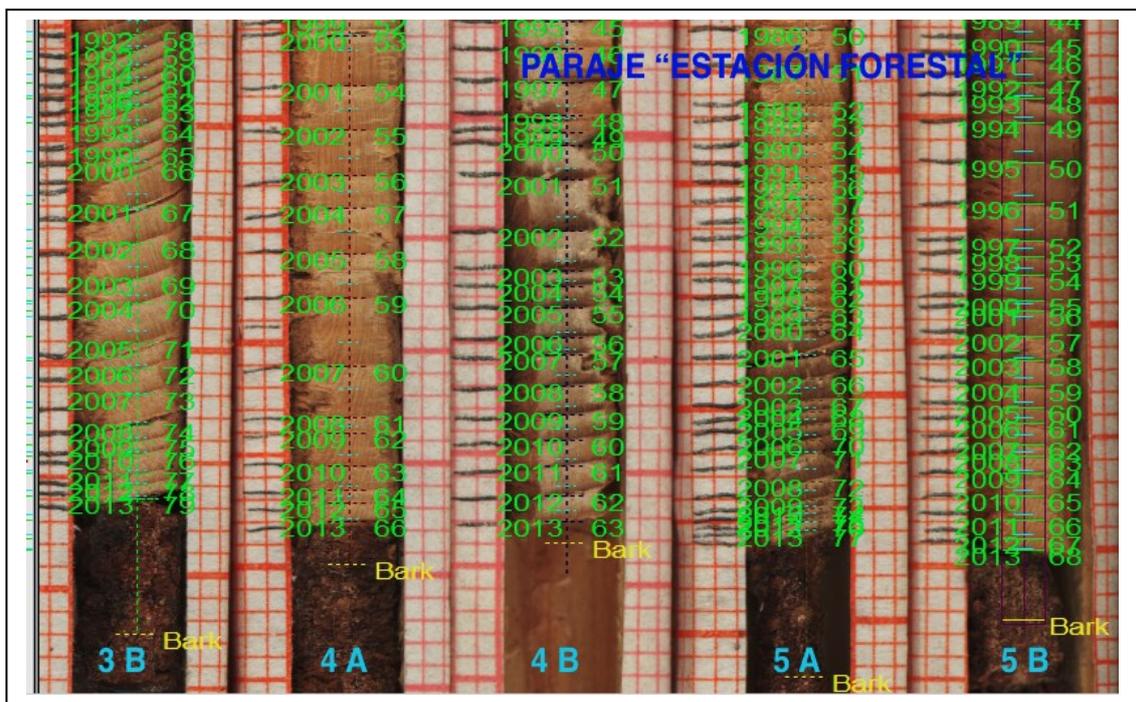


Figura 22.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (3B-5B).

El régimen climático es un factor causal de la anomalía en la formación de los anillos, su irregularidad está vinculada para algunos autores con su alteración. La regularidad

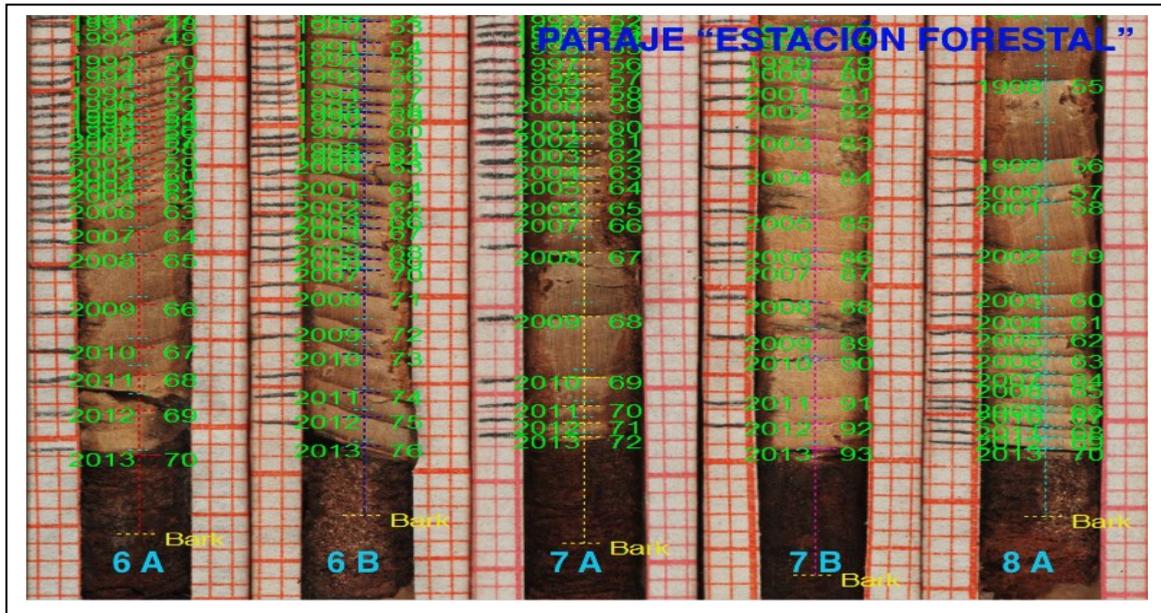


Figura 23.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (6A-8A).

del ancho del anillo tendrá que ser removida para efectos de obtener la ganancia neta y los eventos intrínsecos como el agua y nutrientes del suelo, ciclos estacionales y densidad arbórea son factores que intervienen en la producción de anillos.

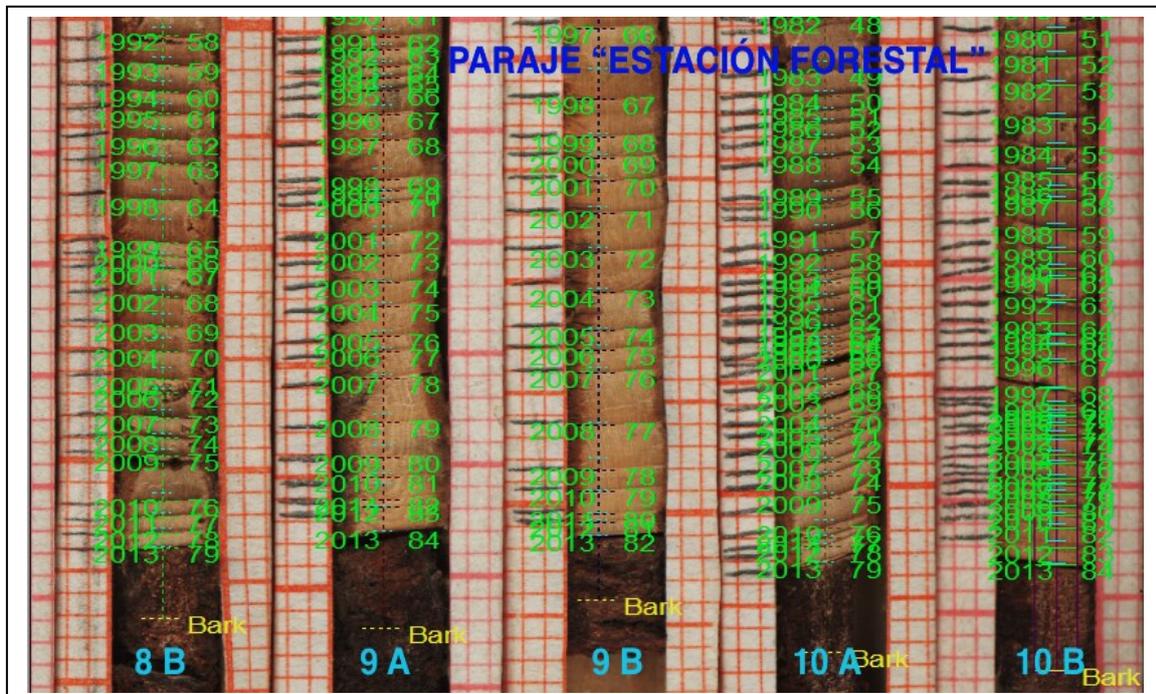
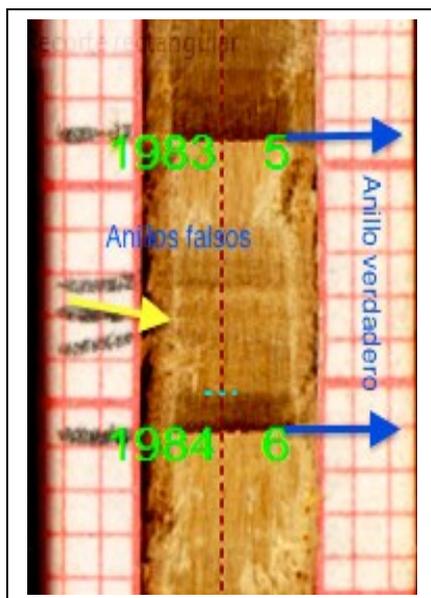


Figura 24.-Continuación de la cronología del paraje “Estación Forestal” (8B-10B).

Como indica la teoría citada por los autores del cuadro resumen de la sección de antecedentes, la modificación en el régimen climático será el primer factor que cambia en la región que rodea al volcán Popocatepetl, El de Colima y el Chichonal, el área de influencia depende de *la intensidad, frecuencia y dirección* de la emanación, por ejemplo, los tres volcanes desde 1960 hasta la fecha; las temperaturas mínimas pasaron de los 8° C (1950) a 12°C, y las máximas aumentaron en un grado centígrado.

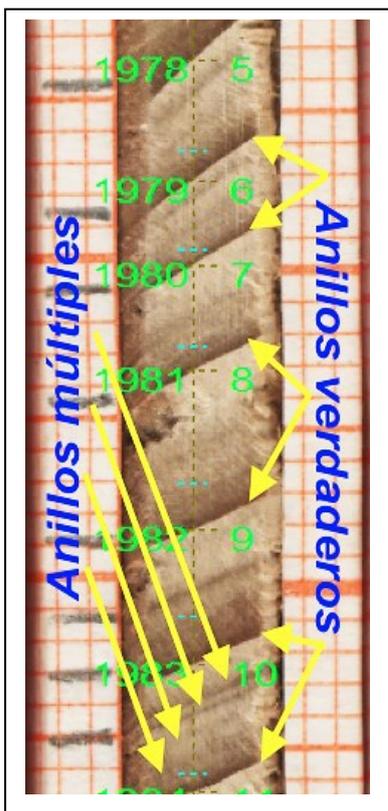
En términos dendrocronológicos la sequía meteorológica corresponden a la dormancia del oyamel y pino; su metabolismo es bajo durante los meses de octubre a febrero y la falta de agua no les afecta. Al inicio de la primavera, con las lluvias incipientes la actividad fotosíntesis produce la madera temprana. El efecto de “disturbio” que provocan las emanaciones del volcán en el régimen del clima, se registran en los anillos como las anomalías; por ejemplo, la reducción en el ancho de los anillos en la década de los 50s fue de 2.1 mm y pasó a 1.4 mm en la década 60-70s.

10.4.3.-Identificación de los tipos de anomalías Paraje “El Cedral”



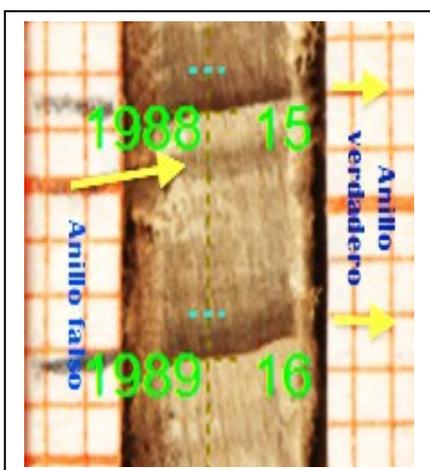
Del análisis de las décadas de las virutas se derivó el registro de las anomalías, se presentaron los siguientes tipos de anomalías: anillos de crecimiento múltiples (figura 25), también se presentan los falsos, y que estos se pueden repetir en dos o tres ocasiones durante el tiempo de formación de un solo anillo. Con el pre fechado.

Figura 25.- anillo falso entre el año 1978 a 1984.



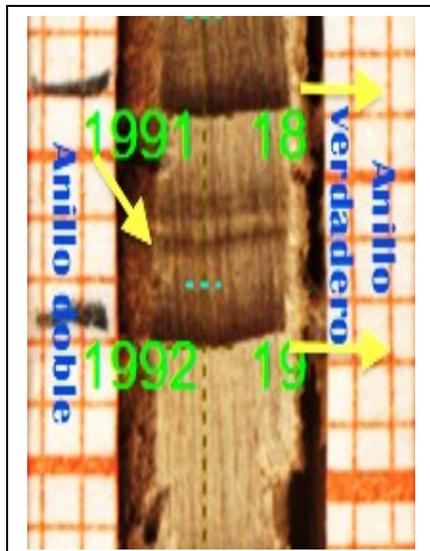
Se registró como verdadero, pero al analizar con el programa y corroboró con el estereoscopio. Por ello se corrigieron las edades diferencia de edades, al realizar la cronología se ajustaron los datos. Un año después de la fecha de la erupción del volcán Chichonal, en 1982 en el estado de Chiapas; se registró en el crecimiento de la madera temprana (delimitada por la línea punteada azul) para los años 1983 a 1984. El anillo 1983 es de 6.5 mm de ancho y la talla se explica por el aporte de nutrimentos (S, Ca, Na; Zn, Cu, Mg) de las cenizas.

Figura 26.- Anillo falso por erupción del volcán Chichonal



En 1986 el volcán Tacaná presenta una erupción la cual queda registrada en el árbol en forma de anillo falso. El registro esta entre los años de 1988 y 1989 y tiene un ancho de 4 mm. La formación de la anomalía tardo dos años en expresarse.

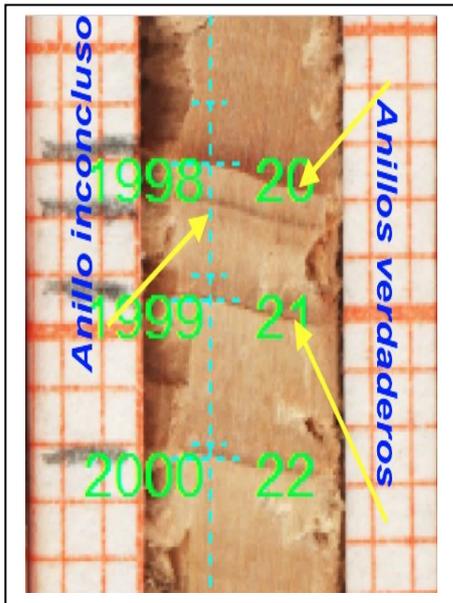
Figura 27.- Anillo falso, registrado después de la erupción del volcán Tacaná



En la figura 28 se observa la anomalía de anillo doble. Registrada en entre el año de 1991 y 1992, la erupción que podría dar origen el volcán de Colima en el año de 1991.

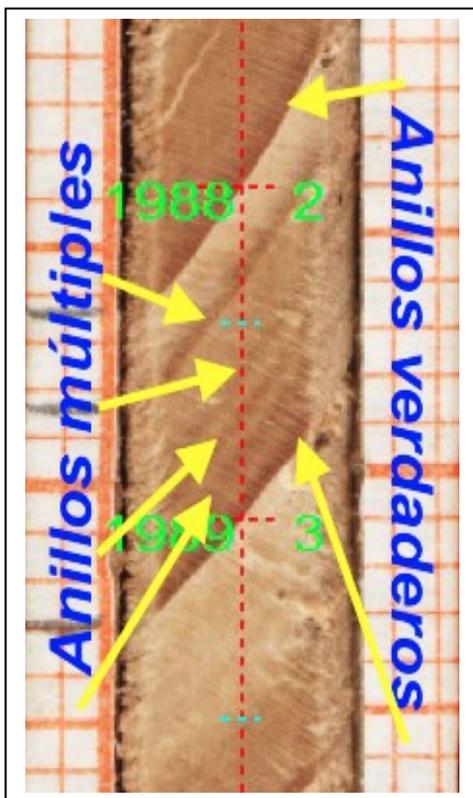
Figura 28.- Anillo doble posterior a la emisión volcán de Colima

“El Cedral” tuvo cuatro anomalías de este tipo por causa de esta emisión. En este año, el volcán de Colima tuvo emisiones las cuales se registran en los árboles muestreados, cabe resaltar que este paraje presentó más sensibilidad en esta erupción, en comparación con el paraje Estación Forestal, el cual solo tuvo un anillo doble derivado de Colima en este mismo año. El acontecimiento volcánico que da origen a la anomalía



en la figura 29 corresponde a las emisiones del volcán Popocatepetl en los años de 1996, 1997 y 1998. El paraje “El Cedral registra un anillo inconcluso justo después de un anillo falso entre los años de 1998 y 1999.

Figura 29.- Anillo inconcluso entre el año de 1998 y 1999



Entre el año de 1988 y 1989 “El Cedral registra la anomalía denominada como anillos múltiples, esto derivado de la erupción del volcán de Colima en el año de 1987. En la figura 30 se observa que el primer anillo falso se nota con más coloración en la madera, mientras que los tres restantes se ven menos pigmentados.

Figura 30.- Anillos múltiples entre 1988 y 1989

El volcán de Colima presento eventos eruptivos desde 1978, 1979, 1980, 1981, 1982 hasta 1983, siendo este último año en el que se registrara durante la formación del anillo de crecimiento de

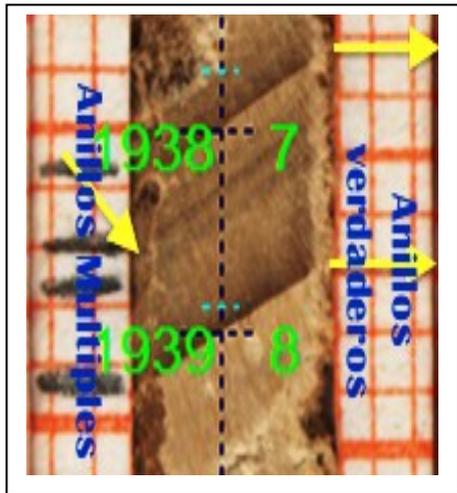
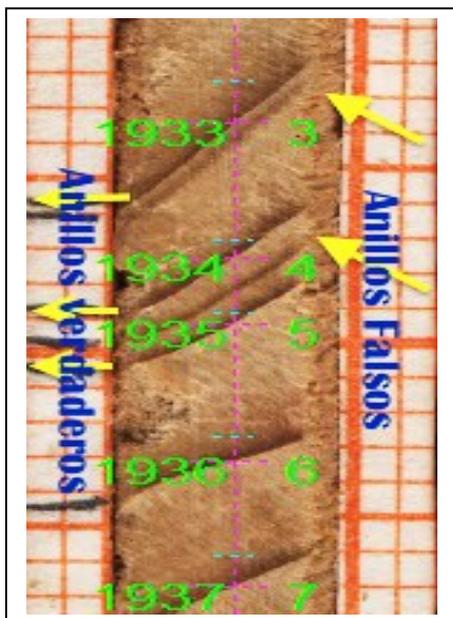


Figura 31.- Anillos múltiples derivados del volcan de Colima

la madera del árbol. Las anomalías que se presentan fueron: anillos múltiples (Figura 31) entre los años de 1988 y 1989. *A priori* los milímetros de éste grupo de anillos va de 2 a 6 mm. El paraje “El Cedral” tuvo menor sensibilidad en anomalías registradas con respecto al paraje “Estación Forestal”

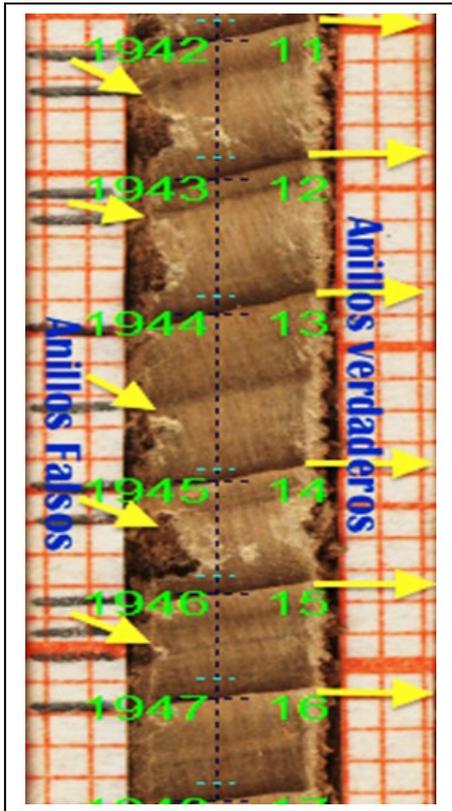
10.4.4.-Identificación de los tipos de anomalías “Estación forestal”



En 1930 el volcán Chichonal en el estado de Chiapas tiene una fuerte erupción dejando rastro en la madera del árbol siendo anillos falsos los que se reflejan y se observan claramente en la figura 32. Esto ocurre después de tres años del acontecimiento entre el año de 1933, 1934 y 1935.

Figura 32.- Anillos falsos entre el año de 1933 y 1935

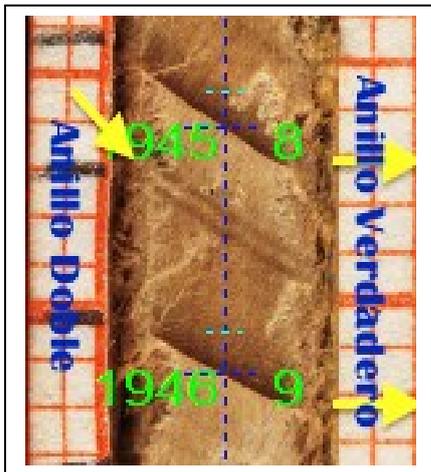
En 1930 el volcán Chichonal en el estado de Chiapas tiene una fuerte erupción dejando rastro en la madera del árbol siendo anillos falsos los que se reflejan y se observan claramente en la figura 40. Esto ocurre después de tres años del acontecimiento entre el año de 1933, 1934 y 1935.



En el año de 1943 nace el volcán Paricutín en el estado de Michoacán dejando registro en la madera del árbol de forma consecutiva se presentaron los anillos falsos desde 1943 a 1946. Como se muestra en la figura 33 los anillo dobles se presentaron en un lapso de 6 años se forma consecutiva. El ancho registrado oscilo entre los 4 mm a 6 mmm.

Figura 33.- Anillo doble derivado de Chichonal (Chiapas) en 1982

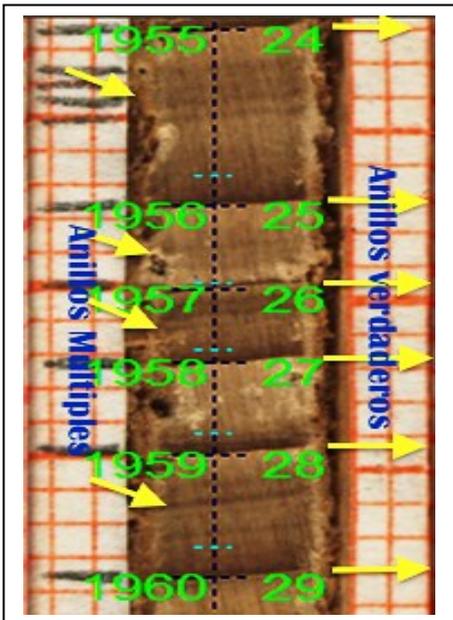
Esta situación de la presencia de anillos falsos dobles, también se presentó en otros anillos de crecimiento de otras extracciones de virutas del mismo rodal como se ilustra



en la figura 34. Sí los anillos respondieran a factores climáticos todos los anillos dobles estarían presentes en cualquiera de las virutas extraídas, por otro lado, si fuera un factor ecológico de competencia intraespecifica, producido por una supresión competitiva, entonces estarían presentes en directamente afectados y ellos serían los afectados.

Figura 34.- Anillo doble derivado de Chichonal (Chiapas) registrado en otras virutas del mismo rodal.

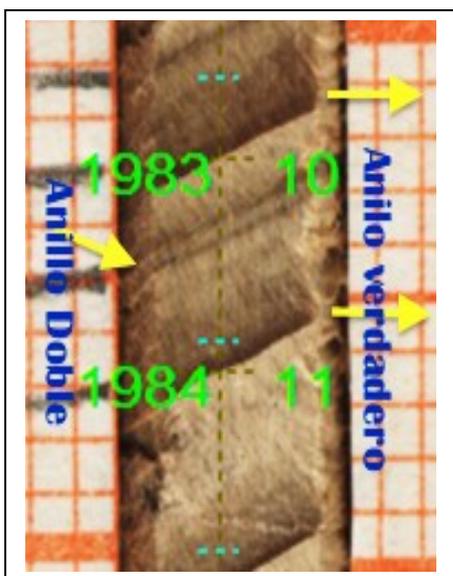
En 1962 el volcán de Colima presenta emisiones que deja registro en la madera del árbol la anomalía denominada anillo inconcluso que se localiza entre el año de 1962 y 1963. La formación de éste sucede en una porción de la viruta y en el otro extremo (Figura 34) muestra el anillo inconcluso en el año 1952. El registro de anillos múltiples



en la figura 35 indica el acontecimiento del nacimiento del volcán Bárcena, en las islas Revillagigedo, en el Pacífico en el año de 1956 los anillos múltiples se encuentran en los años 1955, 1956, 1957, y 1959. El volcán Tacaná en 1949 hace erupción, y es la posible causa del anillo múltiple registrado en el año de 1955.

Figura 35.- Registro de los anillos múltiples registrados entre los años de 1955, 1956, 1957, y 1959

Las anomalías registradas en ambos parajes indican una relación con respecto a los acontecimientos volcánicos ocurridos en México a lo largo de aproximadamente cien años. Se observa que las anomalías varían en forma (anillos dobles, falsos, múltiples, e inconclusos) y también en relación a tiempo, es decir en su mayoría tardan de dos hasta cinco años en promedio en expresarse en la madera del árbol, Ingersoll (1983) afirma que la nube de productos pirolásticos se mantiene en la atmósfera hasta después de cinco años ocurrido el evento volcánico. De esta forma se confirma que las



anomalías tienen su origen en muchos de los acontecimientos volcánicos del país y que el Parque Nacional “El Chico” tiene sensibilidad con respecto a las emisiones volcánicas, sin necesidad de estar cerca de algún volcán activo.

Figura 36.- Registro de los anillos múltiples

10.5.- COMPROBAR SI LAS EMISIONES VOLCANICAS INFLUYEN EN LA FORMACION DE EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

10.5.1.-Gráficas de la frecuencia de anomalías por décadas en ambos parajes

Las figuras 37 y 38 muestran la década en la que se registró la anomalía y su proporción en relación a las décadas. Para el paraje “Estación Forestal”, las anomalías registradas con más casos es en las décadas de 1940 y 1950, estas son las que tienen más alto índice de anomalías, las cuales coinciden con los acontecimientos de 1930 del volcán Chichonal en Chiapas, en 1943 con el nacimiento del volcán Parícutin en Michoacán, en 1949 con la activación del volcán Tacaná en Chiapas, en 1950 con la erupción del volcán Tacaná, y en 1956 con el nacimiento del volcán Bárcena, en el Archipiélago de las Islas Revillagigedo.

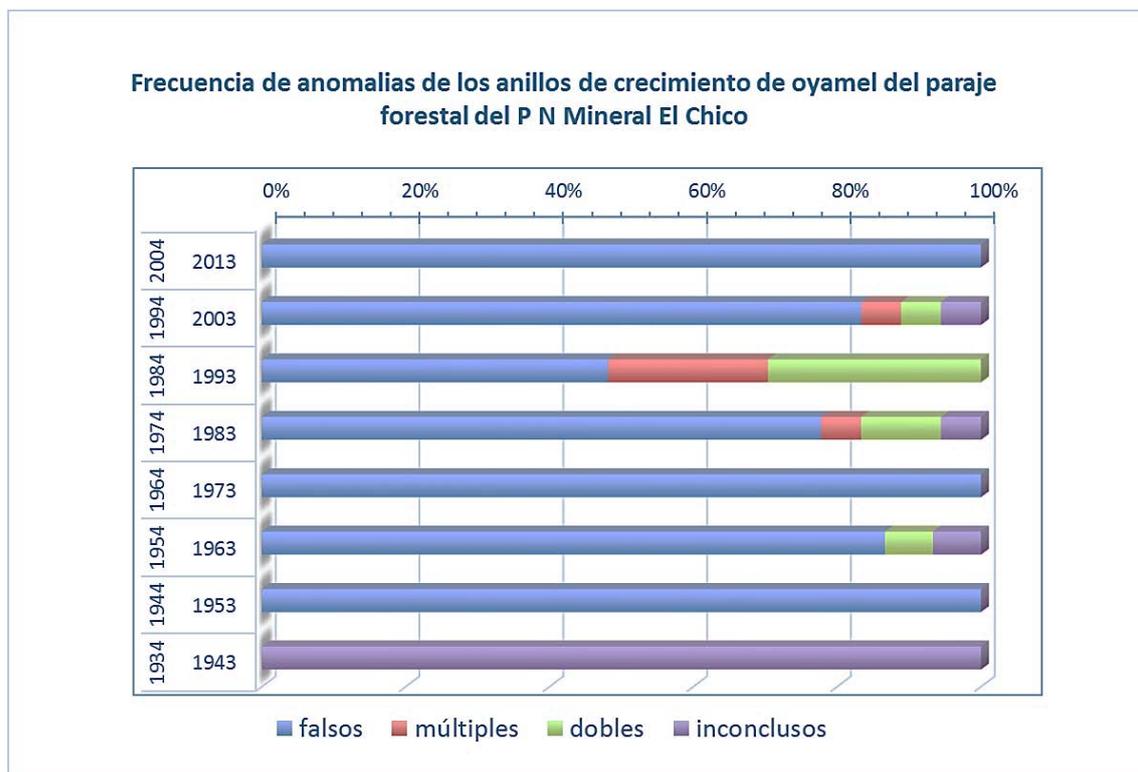


Figura 37.- Integración de las anomalías en el Paraje estación Forestal”

El paraje “Estación Forestal” muestra más sensibilidad en los acontecimientos volcánicos en las décadas mencionadas, y mayor frecuencia de anomalías con respecto al paraje “El Cedral” En la década de los años 60, 70 y 80 tenemos una disminución de anomalías registradas, esto coincide con los acontecimientos en el centro y sureste del

país. Y a la distribución de los vientos que dispersan las cenizas y contaminantes. Para la década de 1990 el paraje “Estación Forestal” registra solo tres anomalías las cuales son las últimas que se observan en esta década para después no registrar ninguna más.

En paraje “El Cedral” se puede observar como la dirección de los vientos cambia con respecto a la ubicación de la zona de muestreo y a la temporada del año, ya que el efecto que muestra es por acontecimientos distintos a los de la zona del pacífico. “El Cedral” tiene mayor sensibilidad a las emisiones de los acontecimientos registrados en el centro y sur del país, en las décadas de 1930, y 1940 tiene tres anomalías registradas. Los volcanes que originan las anomalías restantes son Colima, Chichonal, Tacaná y Popocatepetl.

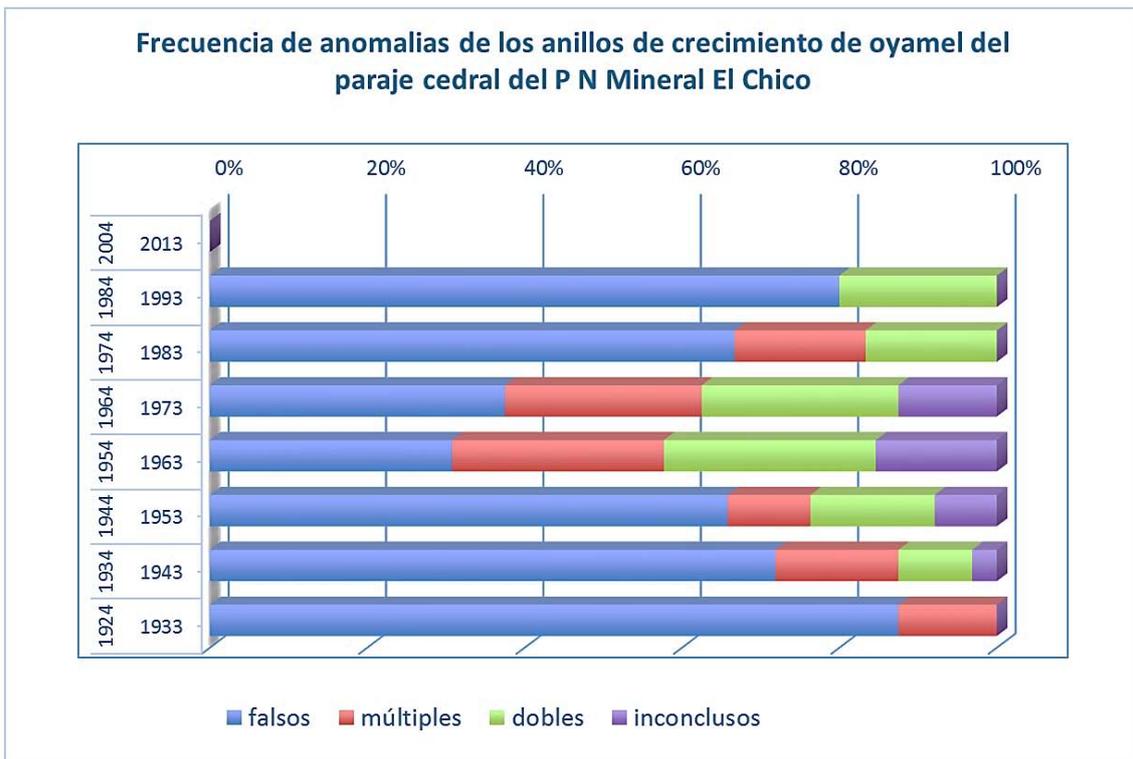


Figura 38.- Integración de las anomalías en el Paraje “El Cedral”

Para las décadas de 1970, 1980, 1990, y 2000 “El Cedral” tiene su mayor registro de anomalías, esto significa que la ubicación hace que la sensibilidad de cada uno de los parajes sea distinta con respecto al tiempo y a los vientos que dominan la

región, sin embargo tiene menos anomalías registradas en comparación del paraje “Estación Forestal” el cual tiene 123 anomalías en comparación de las 118 que presenta “El Cedral”.

A mitad de siglo los parajes se muestran más estables con respecto a la ganancia de crecimiento de sus anillos, manteniéndose casi uniformes en cada paraje. En la década de los años 80's empieza a disminuir la ganancia para ambos parajes, aquí debemos tomar en cuenta que los árboles ya son adultos y la ganancia no se verá reflejada de la misma forma que al inicio de su crecimiento, también influye el tamaño de copa que se ha desarrollado en cada árbol, los nutrientes del suelo, el tipo y la cantidad de precipitación las cuales se van modificando de acuerdo a la madurez del bosque y a los cambios climáticos

10.5.2.-Porcentaje de anomalías en ambos parajes

Al comparar las frecuencias del grupo de las anomalías entre los parajes se determinó que:

- a) las anomalías más presentes fueron los anillos falsos en el cedral con 60.16 % y de 75.42% para forestal, Figuras 38 y 39 respectivamente.
- b) Los anillos dobles se presentaron en 16.26 % para el cedral y 11.86 % para el forestal, Figuras 38 y 39 respectivamente.

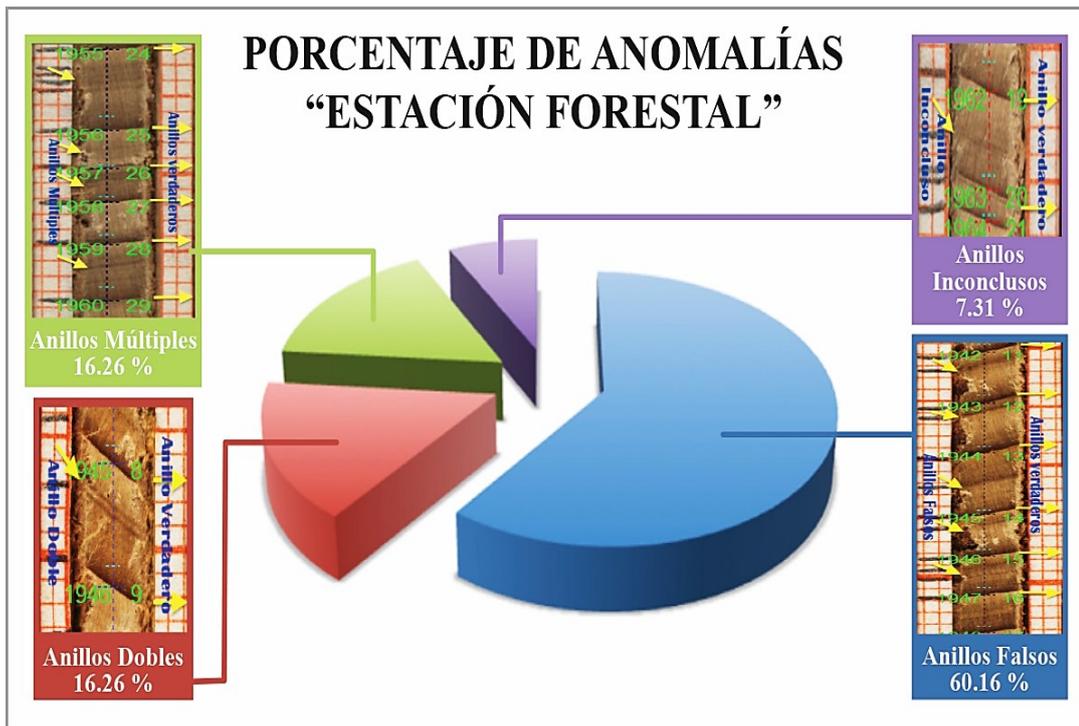


Figura 39.-Paraje “Estación Forestal” donde se ve la diversidad y el porcentaje de anomalías.

- c) Los anillos múltiples se presentaron con una frecuencia del 16.26% en el cedral y del 7.252 % en forestal, Figuras 38 y 39 respectivamente.
- d) Los anillos inconclusos se presentaron en 5.082% en el paraje del Cedral y de 7.31% del forestal, Figuras 38 y 39 respectivamente

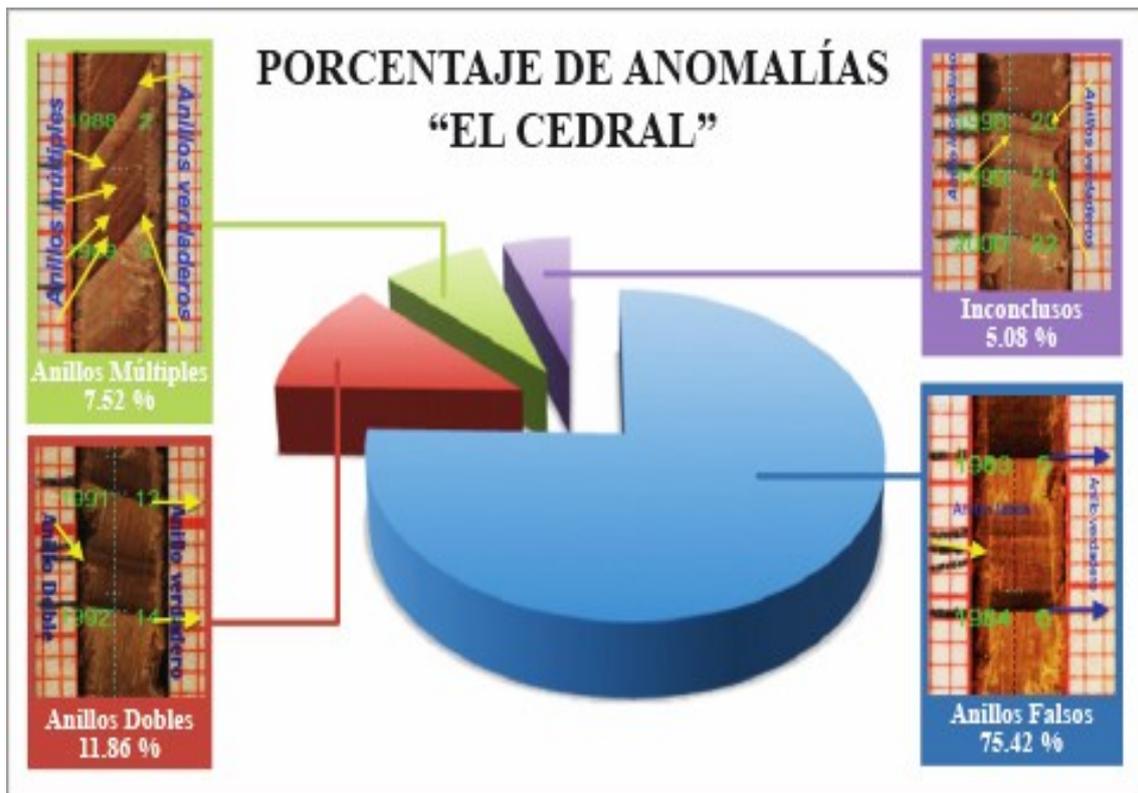


Figura 40.-Paraje “El Cedral” donde se ve la diversidad y el porcentaje de anomalías.

Cook (1990) hace referencia que los factores naturales exógenos como deslizamiento, tormentas de nieve y viento, tornados, temblores y huracanes, son los causantes de las anomalías de los anillos.

Otro factor exógeno producido por el hombre es la contaminación de la atmosfera que provoca las anomalías de la misma forma que las naturales. Sin embargo, son pocas las referencias que se lo adjudican a las emisiones.

Toda vez que se ha determina la década con más anomalías, el tipo, en relación a la estructura del rodal, se hará el análisis del efecto del disturbio en relación de la competencia ecológica.

10.5.3.-Grafica de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes

En las gráficas (Figura 41 y 42) podemos observar la tendencia de la ganancias en crecimiento de los anillos del paraje el cedral (rojo) y forestal (azul). Ya fue removida la tendencia del crecimiento radial a través de las ecuaciones propuestas por Vogt (1999) de la Universidad de Yale (USA), Larsson (2004) de la Union Forestal de Alemania.

Es determinante que la madera temprana no describe una relación en los anillos de crecimiento de ambos parajes, se esperaba que a medida que se hacen más recientes los anillos se hacen más angostos porque tendrían que cubrir una mayor área. Sin embargo no se comporta como sugiere la teoría y además por que el crecimiento celular se describe con una función polinomial. Son varias las causas por la que se estimula el crecimiento: luz, nutrientes, agua, y espacio, es necesaria para asegurar un óptimo desarrollo.

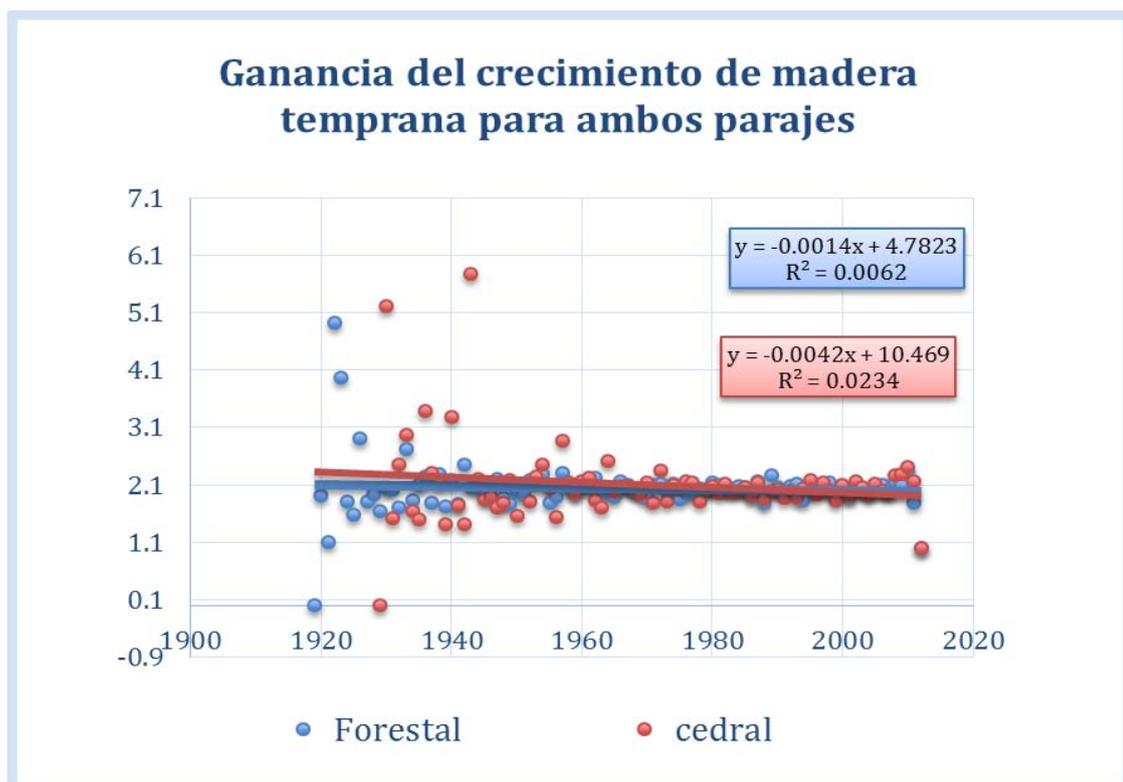


Figura 41.- Relación de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes en el Parque Nacional "El Chico" en Hidalgo.

Con respecto a la madera tardía se determinaron varios aspectos: una diferencia en el grosor del anillo en el verano, así los arboles del paraje forestal no aumentaron en la misma proporción como se registró en la madera temprana (prácticamente fueron muy similares); los grosores de la madera temprana resultaron ser mayores para el paraje Cedral superando al forestal por casi 2 mm (desfase de las líneas). Se determinó una mayor relación aplicando ecuaciones exponencial y potencial, no así para la madera temprana.

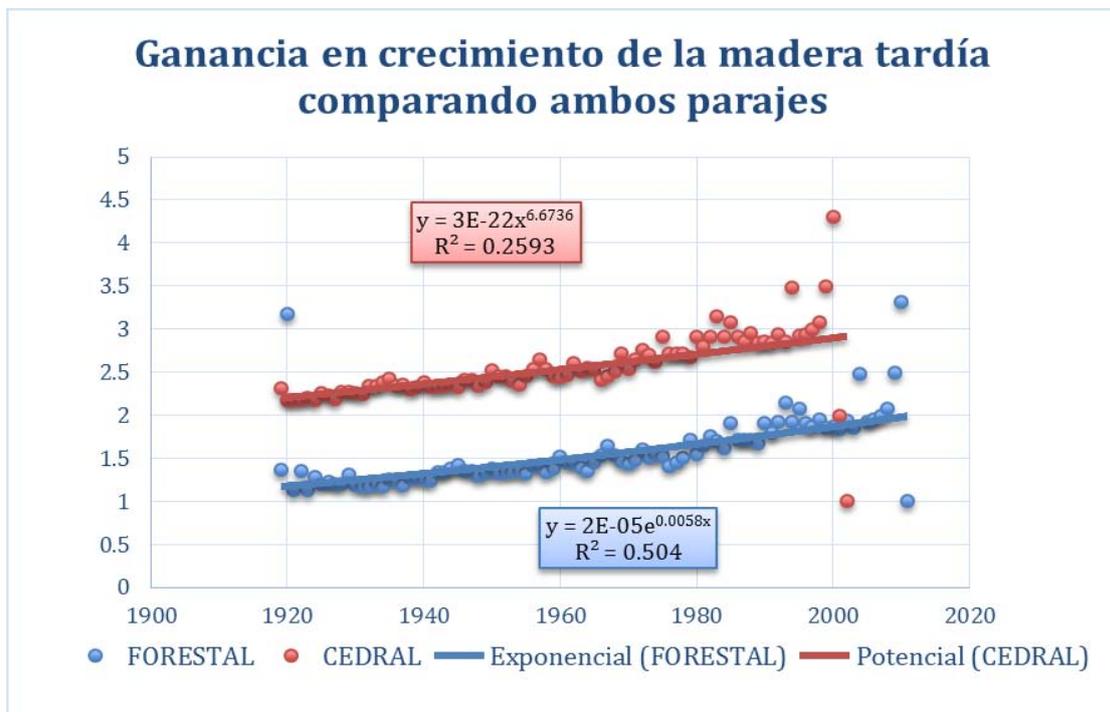


Figura 42.- Graficas de ganancias de crecimiento totales en ambos parajes en el Parque Nacional "El Chico" en Hidalgo.

Finalmente podemos ver como ambos parajes mantienen crecimiento mayor al que se va registrando conforme pasan los años, esto lo podemos interpretar de acuerdo a la edad del bosque ya que los dos parajes están en una etapa de su crecimiento, en donde la competencia por luz, nutrientes, agua, y espacio no sean factores que influyan sobre el crecimiento, es necesaria para asegurar un óptimo desarrollo.

10.5.4.- Promedios y ganancias de crecimientos en ambos parajes

En las gráficas de ganancias del crecimiento de los anchos de anillos de crecimiento pueden ser descritos por modelos polinomial o bien, potencial (Gráfica 43, 44), el de mayor ajuste es el polinomial en ambos casos poniendo en evidencia que el crecimiento descrito como un fenómeno ecología podría depender de la presión de

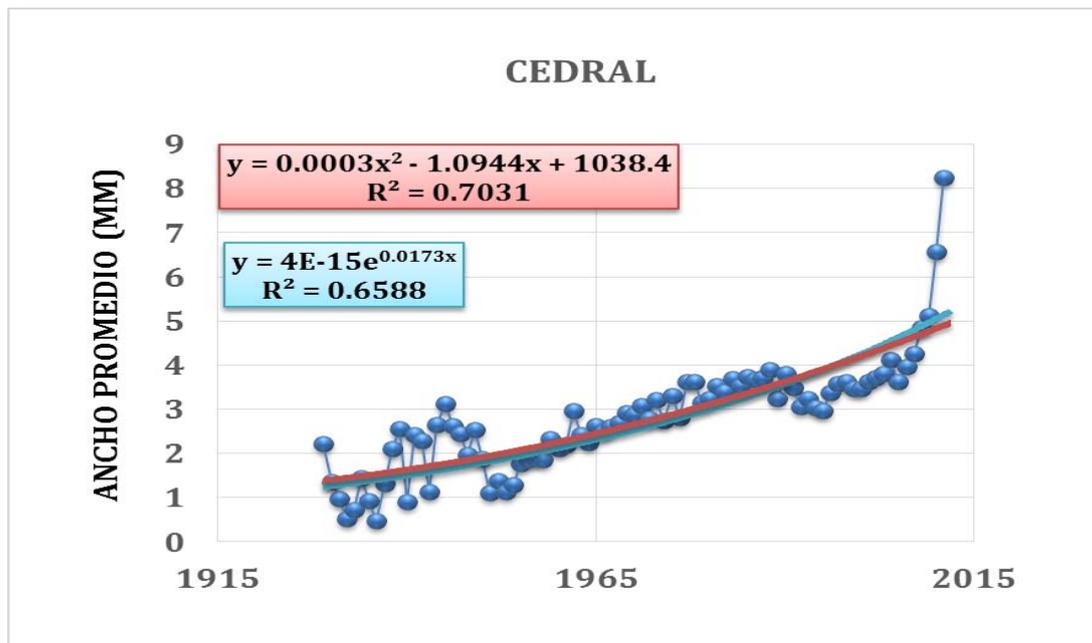


Figura 43.- Aplicación de modelo polinomial y potencial para determinar el patrón (tendencia) del crecimiento en relación al tiempo.

Factores externos como pestes o contaminación del aire. Cook en 1990 determino los patrones polinomiales para diversas comunidades arbóreas descartando el efecto de los factores exógenos y endógenos. Las tendencias son similares a las descritas en la página 98 de su libro métodos dendrocronológicos. Destaca el hecho de que la regresión obtenida para el paraje cedral fue 0.70 y resultado menor a la obtenida para el rodal forestal.

En la distribución de las anomalías durante las nueve décadas, nos indica que las emisiones volcánicas si son un factor determinante para la formación de anillos falsos en arboles de ambos rodales. También vemos que las emisiones no se reflejan justo en el año en que acontecen.

Es decir los árboles que muestran sensibilidad al manifestar las anomalías, lo hacen después de un tiempo el cual tiene variación desde uno, dos, tres y hasta cinco años, después de ocurrido el evento volcánico. Reforzando así la teoría que nos indica Ingersoll (1983) En donde se dice que las emisiones viajan a través de la atmosfera, siendo dispersadas en distintas direcciones por los vientos, depositándose de forma parcial en los bosques de mayor altura, y también siendo dispersados los contaminantes por las lluvias.

Gráfica de dos parajes en el Chico Hidalgo, donde se muestran las distintas anomalías encontradas en un período de 100 años, relacionados con los eventos volcánicos registrados en este mismo período en México.

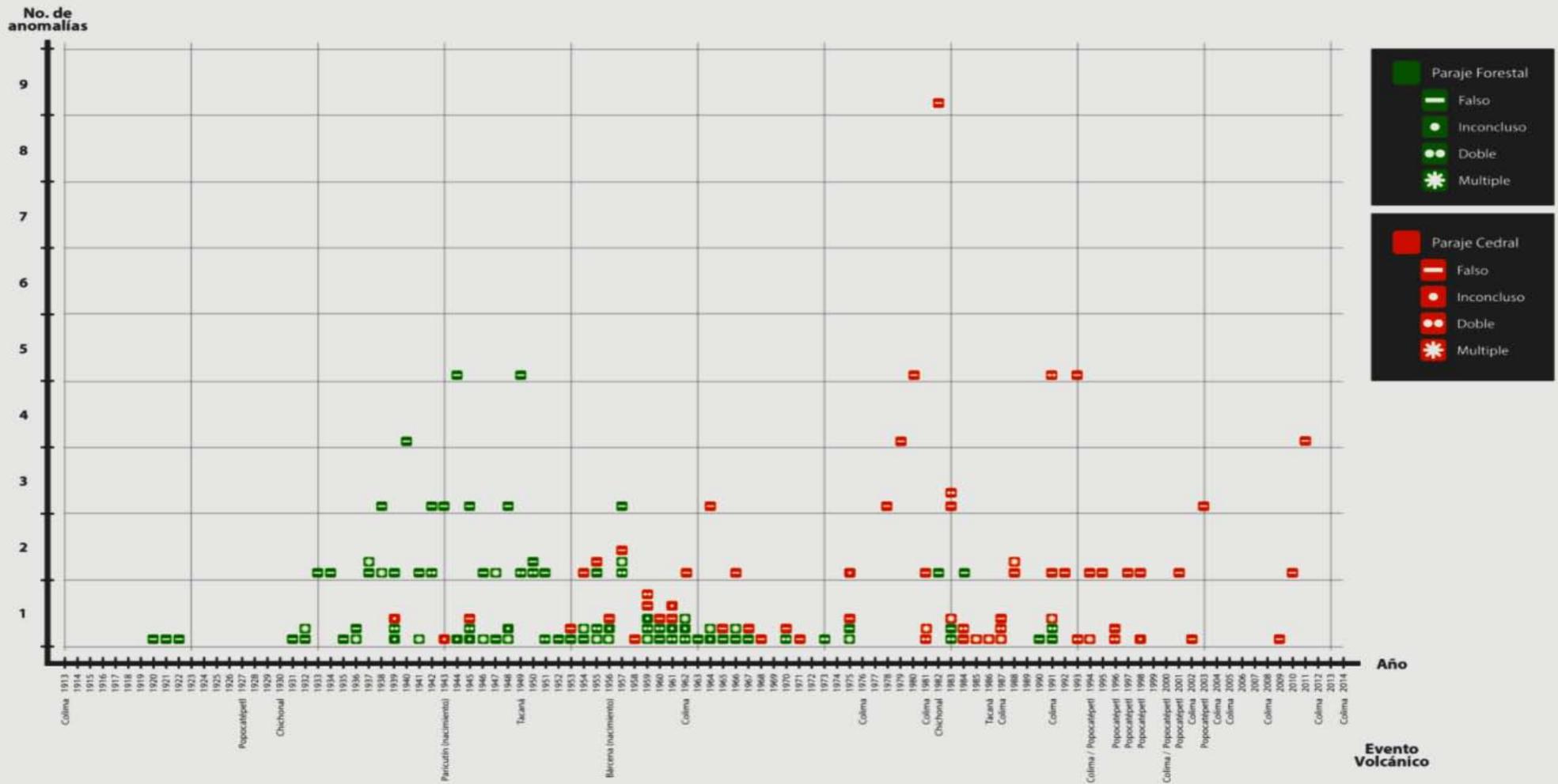


Figura 45.- Línea de tiempo en donde se observan ambos parajes, registrando cada uno los acontecimientos volcánicos que han afectado durante los últimos 100 años, también se observan las distintas anomalías y el número de cada una de ellas.

XI.CONCLUSIONES

Los parajes no presentan daño mecánico, ni afectación por la antropocenos, y son coetáneos.

El prefecado indicó que los árboles tienen un inicio de vida de aproximadamente de 1930, por lo cual se les ubico con un desarrollo fustal.

La edad de los árboles en ambos parajes fue de 70 años aproximadamente.

Las anomalías de los anillos falsos fueron las más frecuentes (60.16 %) en “Estación Forestal” y de (75.42 %) en “El Cedral”, predominando los anillos dobles 16.26 % y 11.86%, respectivamente. Anillos múltiples (16.26% y 7.62%) y anillos inconclusos (7.31 % y 5.08 %).

De las anomalías (123) registradas para el paraje “Estación Forestal” y (118) en el paraje “El Cedral” se confirmó su atribución al efecto indirecto de las emisiones

En las cronologías se determinó la presencia de anillos falsos, múltiples, inconclusos, y dobles después de cada evento eruptivo, con la formación de anomalías dadas hasta después de cinco años como lo describe Ingersoll (1983)

Las emisiones volcánicas provocan la formación de anomalías indirectamente en *Abies religiosa* (Kunth) Cham. & Schtdl.

BIBLIOGRAFIA

Amezcuca C. P., Valderrama L.H.L. (1999) *Productividad de suelos con Abies religiosa Schl. Et Cham. En el Parque Nacional “El Chico” Hidalgo*. Departamento de Suelos. Tesis profesional. Universidad Autonoma de Chapingo.

Ávila Campuzano G.R. (2008) “Factores ambientales que influyen la formación de anillos de crecimiento con anomalías en *Abies religiosa* en los parques Nacionales Izta-Popo y DDL (Tesis de licenciatura UNAM).

Biondi, F., Galindo, E.I. Gavilanes, J.C. and Elizalde, T.A. (2003) Tree growth response to the 1913 eruption of Volcán de Fuego de Colima, México. *Quaternary Research* 59:293:299

Calva-Vasquez G. 2012. *Dendroquímica en estudios ecológicos y ambientales –El caso de los bosques templados de pino-oyamel en la Cuenca del Valle de México- LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG and licensors (Editorial Académica Española). Saarbrücken, Germany*

Cook E.R. (1990) “Methods of dendrocronology applications in the enviromental sciences” Tree-rings Laboratory, Lamont-Doherty Geological Observatory. New York U.S.A.

Charlotte *et al.*(2009) “Dendrochemical analysis of a tree-ring growth anomaly associated with the Late Bronze Age eruption of the Thera” *Journal of archaeological science* 36, p. 1206-1214

CONANP, (2005) Programa de conservación y manejo del Parque Nacional “El Chico” Hidalgo. México, 236p

Cruz-Muñoz, A. R., Rodríguez-Fernández, L., Calva-Vázquez, G., & Ruvalcaba-Sil, J. L. (2008). Effects due to Popocatepetl volcano eruptions on the elemental concentrations in tree growth rings. *X-Ray Spectrometry*, 37(2), 163-168.

Delgado H. (2001) *Las cenizas volcánicas del popocatepetl y sus efectos para la aeronavegación e infraestructura aeroportuaria*. UNAM. México. CENAPRED.

Delgado Granados H. Carrasco, G., Cervantes P., Córtes R., Molinero R.,(1995) *Patrones de viento en la región del Volcán Popocatepetl y Ciudad de México. Volcán Popocatepetl, estudios realizados durante la crisis de 1994-1995*.CENAPRED-UNAM p. 295 326 México.

Dirección del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl. (2014) Ficha: Especies bajo monitoreo. 27-05-2014, de SEMARNAT, CONANP, MAB, Parque Nacional Izta-Popo Zoquiapan. Sitio web: <http://iztapopo.conanp.gob.mx>

Eggler W.A-(1967) "Influence of volcanic eruptions on Xylem growth patterns" Ecology, Volume 48, Issue 4 (Jul. 1967) 644-647 p

Estrada C. I. Angeles C. E. R.(2007) Evaluacion de combustibles forestales en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Ecología y biodiversidad, claves de la prevencion.- Evaluacion de combustibles Forestales- Para la revista Wildfire, en Sevilla España. 2007

Fritts, H. C. (1976), *Tree-rings and climate*, Academic Press, New York.

García E. (1981) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. Instituto de Geografía. UNAM. México.

González Cárdenas, E. (2006): "*Peligros y riesgos volcánicos en Biogeografía: efectos sobre la vegetación*". En: Redondo, M.; Palacios, M.T.; López, F.J.; Santamaría, T. & Sánchez, D. (Edt.) *Avances en Biogeografía* MEC-UCM, 263-273

Grissino-Mayer H.D. (2003) "A MANUAL AND TUTORIAL FOR THE PROPER USE OF AN INCREMENT BORER" In *TREE -RING RESEARCH*, vol. 59, 63-79.

Hocker, H. W., & Hocker Jr, H. W. (1984). *Introducción a la biología forestal* Primera edición. A.G.T. Editor S.A.Mexico, D.F. Capitulo 4 p: 93-148

Ingersoll A.P., (1983) *The Atmosphere*. In Scientific American. Vol. 249, No. 3, 114

Kuo, M. McGinnes. Jr., E.A. (1973) *Variation of anatomical structure of false rings in eastern redcedar*. In Wood Science 5:205–210.

Macías J.L. (2005). “Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México”. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, vol. LVII, 379-424.

Madrigal S.X. (1964) *Contribución al conocimiento de la ecología de bosques de oyamel (Abies religiosa (H.B.K.) schl el Cham., en el Valle de México*. Tesis de licenciatura. México. Distrito Federal. Instituto Nacional de Ciencias Biológicas

Manzanilla, H. (1974). Investigaciones epidométricas y silvícolas en bosques mexicanos de *Abies religiosa*. Editado por la Dirección General de Información y Relaciones Públicas de la SAG. México

Martinez Molina G. (2011) “Índices de anillos de crecimiento en coníferas del eje neovolcánico transversal de México” (Tesis de maestría COLPOS, Campus Montecillo)

Martinez Pacheco I.L. (2008) “Variaciones climáticas en anillos de crecimiento *Pinus patula Schl. Et Cham*. Como indicadores del calentamiento global El Parque Nacional Desierto de los Leones” (Tesis de licenciatura UNAM).

ENCINA-DOMÍNGUEZ, JUAN A., ENCINA-DOMÍNGUEZ, FRANCISCO J., MATA-ROCHA, EFRÉN, VALDES-REYNA, JESÚS, Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México Boletín de la Sociedad Botánica de México [en línea] 2008, (Sin mes) Disponible

en:<<http://www.uacm.kirj.redalyc.org/articulo.oa?id=57711109003>> ISSN
0366-2128

Nabais,U.C., Freitas,H., Hagemeyer,J., (1999). “Dendroanalysis: a tool for biomonitoring environmental pollution?” *ELSEVIER The Science of the Total Environment*, Vol.232, 33-37

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

Pieper, H., Heinrich, I., Heußner, K. U., & Helle, G. (2014). The influence of volcanic eruptions on growth of central European lowland trees in NE-Germany during the last millennium. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 411, 155-166.

Plan de contingencias del volcán Popocatepetl (1995) Gobierno del Estado Libre y Soberano de Puebla, Secretaria de Gobernación y Sistema Estatal de Protección Civil, 77 p.

Proyecto de cooperación técnica TCP/CH 13102(A). (2008). “Manual de plagas y enfermedades del bosque nativo en Chile”. Santiago de Chile: Maval Ltda.

Priya, P.B., Bhat K.M. (1998) “False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.F) and the influence of environmental factors” *Forest ecology and management*. Volume 108, Issue 3, pages 215-222

Rzedowsky J. (2005). “*Vegetación de México*”. México: Digital.

Raventós, J. Dorado I. Gras M.J., (2004) “*Tree rings anomalies on pinus halapensis in an inland/coast gradient: a dendroecological preliminary approach*” Conference, April 25- May 1 2004, Rhodes, Greece.

Santana, J.C. (1999) “*Primeros resultados para la reconstrucción dendroclimática de Canarias*”. *Vegueta*. 4: 9-25

Sheppard, P. R., Ort, M. H., Anderson, K. C., Clynne, M. A., & May, E. M. (2009). Multiple dendrochronological responses to the eruption of Cinder Cone, Lassen volcanic National Park, California. *Dendrochronologia*, 27(3), 213-221.

Sociedad Española de Ciencias Forestales (S.E.C.F.) (2005) “Diccionario Forestal”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona. México.

Soto Carrasco Y. (2014) “Influencia de la precipitación y temperatura en el crecimiento de *Abies religiosa* (HBK) Cham. Et Schltdl de los Parques Nacionales Izta-Popo y El Chico, Hidalgo” (Tesis de licenciatura UNAM).

Villanueva,D.J., Cerano,P.J., Constante, G.V., Montes, G.L.E., Vázquez, S.L., (2009) “Muestreo dendrocronológico: colecta, preparación y procesamiento de núcleos de crecimiento y secciones transversales” Manual CENID-RASPA, INIFAP. Gomez Palacio, Durango. Mayo de 2009

Wimmer R and R. B. Vetter Tree Ring Analysis: Biological, Methodological and Environmental Aspects. Wallingford, Oxon, UK ; New York, NY, USA : CABI Pub., c1999.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Anatomía de la madera

<http://www.paleobotanica.uchile.cl/paleoxilologia.html>

CONAFOR, Paquetes tecnológicos SIRE

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/873Abies%20religiosa.pdf>

Tesis de Maestría

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera

imagen anillos de crecimiento de pinus sylvestris

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tree_rings.jpg#/media/File:Tree_rings.jpg

Concepto de dendrocronología

<http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html>

Mapa del Parque Nacional “El Chico” en Hidalgo

http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5107107

Mapa de los volcanes activos de México.

<http://mr.travelbymexico.com/940-volcanes-activos-dentro-de-mexico/>

Foto de Abies religiosa (kunth)

<http://conifersociety.org/conifers/conifer/abies/religiosa/>

Componentes de barreno pressler B

https://www.researchgate.net/figure/272677956_fig2_Figura-2-Barreno-de-Pressler-de-21-pulgadas-de-longitud-marca-Haglof

Componentes de barreno presler A

https://www.researchgate.net/figure/272677956_fig1_Figura-1-Partes-que-conforman-al-barreno-de-Pressler-modificado-de-Jozsa-1988

Anatomía de la madera

http://www.fing.edu.uy/iq/maestrias/icp/materiales/2010/01_Quimica_y_Estructura_de_la_madera/Anatomia_de_la_madera